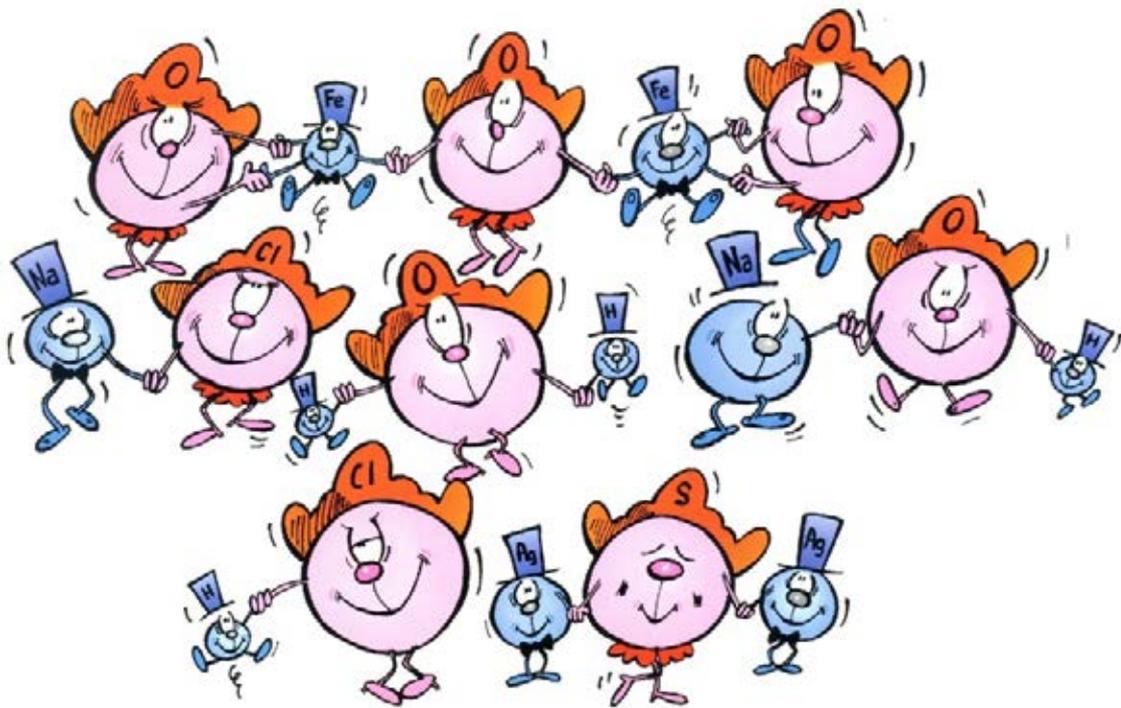


Le Monde étrange des Atomes

Conception et texte : Jacques Deferne

Dessins : Alain Gassener



Avertissement

Que les chimistes et les physiciens veuillent bien me pardonner ! Les simplifications et les raccourcis que je me suis permis d'apporter à leur sujet d'étude, le côté anecdotique que j'ai donné à ce petit fascicule, ainsi que son aspect "bande dessinée" n'ont qu'un seul but : permettre à un large public, peu connaisseur de la chimie, de s'intéresser à ce sujet, de comprendre comment la matière est faite, de saisir la signification des formules chimiques, d'avoir une idée sur la constitution des atomes et de faire connaissance avec la décroissance radioactive et la fission nucléaire.

A l'origine, l'idée avait été d'écrire un petit ouvrage de chimie à l'usage des amateurs de minéraux, puis, pris d'affection pour les personnages attachants de ce Monde étrange, j'ai dérivé sur l'anatomie et les maladies génétiques des atomes. Cela m'a permis d'aborder un aspect de la physique dont on parle beaucoup mais qui reste encore très méconnu: la distinction entre la décroissance radioactive et la fission nucléaire.

Pour les spécialistes, cet ouvrage est destiné à leur apporter un instant de rêverie et à leur montrer que l'atome de Niels Bohr peut présenter aussi un caractère humain qui le rapproche du monde des poètes.

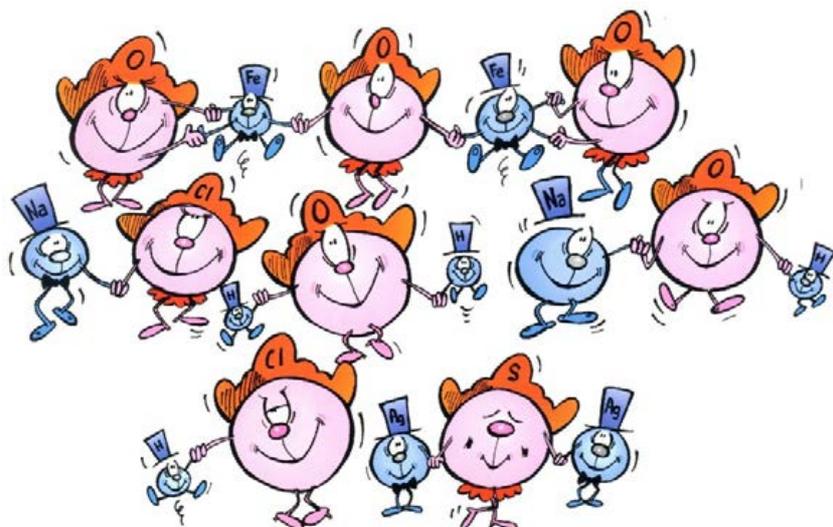
Pour les professeurs qui essayent d'inculquer la chimie aux élèves des écoles secondaires, cet ouvrage pourrait être le point de départ et le support mnémotechnique de cette discipline qui demeure aride, si on en reste aux formules et aux réactions chimiques!

Puisse ce Monde étrange des Atomes apporter quelques réponses aux questions que se posent toutes les personnes curieuses des secrets de la nature, tout en les distrayant du monde bien banal dans lequel nous vivons.

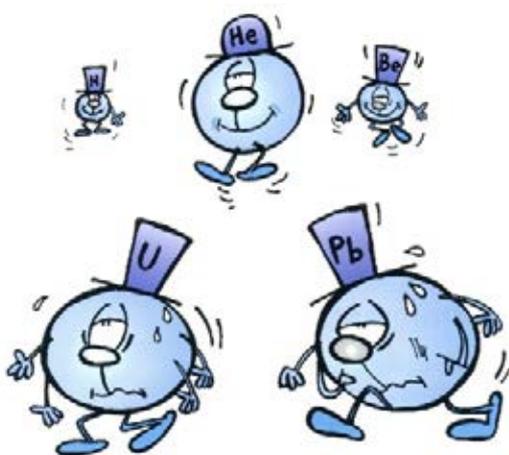
Jacques Deferne

Les premiers contacts

Voyage dans l'infiniment petit



Si, comme Gulliver, nous pouvions débarquer dans le pays infinitésimal des atomes, nous découvririons un monde étrange, peuplé de joyeux personnages constamment agités de mouvements dansants, unis par leurs nombreuses mains en groupes plus ou moins importants.



Certains paraissent légers, d'autres se déplacent péniblement, accablés par leur poids qui semble considérable

Leur tête et leur tronc sont confondus en un corps unique, approximativement sphérique, d'où partent un ou plusieurs bras. Certains sont gros, d'autres petits. Quelques-uns paraissent très légers alors que d'autres se déplacent péniblement, accablés par leur poids qui paraît considérable.

Comme dans notre monde, il y a des dames et des messieurs. On les distingue facilement car les dames portent des habits roses et sont coiffées d'un bonnet de dentelle. Les messieurs sont habillés en bleu et ils portent un haut-de-forme. Nous verrons plus loin les causes anatomiques qui déterminent le sexe d'un atome.

En observant un peu plus attentivement tout ce petit monde, on remarque qu'il y a de nombreuses catégories d'individus qui diffèrent les uns des autres par leur taille, leur poids, leur nombre de bras et par le chapeau qu'ils portent. Tous ont été répertoriés et chacun d'entre eux porte un nom, un surnom (appelé aussi symbole) et un numéro de matricule.



Il y a des dames et des messieurs

Les noms des atomes

Tous les atomes portent un nom patronymique qui indique à quelle famille ils appartiennent. Ceux qui portent le même nom ont un aspect et des habitudes semblables. On dénombre dans la nature environ 90 familles d'atomes. Les noms qu'ils portent ont des origines très diverses. On trouve, par exemple:

- **des noms régionaux :**

Europium, Francium, Germanium, Polonium, Hafnium (nom latin de Copenhague)

- **des noms tirés de la mythologie :**

Cérium (Cérès), Palladium (Pallas), Tantale, Plutonium (Pluton), Thorium (Thor).

- **des noms de matériaux :**

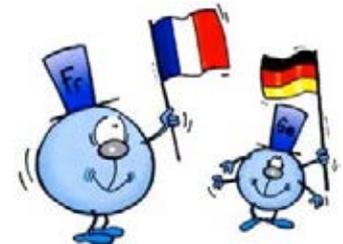
Carbone, Soufre, Fer, Cuivre, Nickel, Plomb, Or, Zinc

- **des noms de savants :**

Curium, Einsteinium, Mendeleevium, Nobelium¹

- **des noms indiquant un caractère physique :**

*Phosphore : qui porte la lumière
Fluor : qui fond facilement
Iode : violet
Brome : à odeur fétide
Dysprosium : difficile à trouver*



Messieurs Francium et Germanium sont nationalistes



Monsieur Plutonium fait très peur



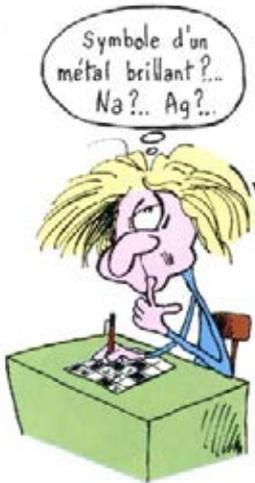
Monsieur Phosphore porte la lumière



Mademoiselle Fluor fond facilement

¹ ne concerne que quelques familles expérimentales non naturelles, créées par les Terriens.

Symboles chimiques



Au lieu des noms entiers, les chimistes (et les cruciverbistes) préfèrent utiliser des sigles plus courts, formés d'une ou deux lettres et connus sous le nom de symboles chimiques. Dans notre monde imaginaire, les atomes portent ce symbole inscrit sur leur chapeau.

Habituellement ce sont les deux premières lettres du nom ou parfois la première seulement qui constituent le symbole chimique.

Aluminium :	Al	Fer :	Fe	Carbone :	C
Soufre :	S	Nickel :	Ni	Hydrogène :	H

L'usage veut que la première lettre soit une majuscule, la seconde une minuscule. Dans quelques cas le symbole est d'origine étrangère et n'a pas de ressemblance directe avec le nom de l'atome. Ce sont, par exemple :

Sodium :	Na (du latin Natrium)	Potassium :	K (du latin Kalium)
Or :	Au (du latin Aurum)	Azote :	N (du latin Nitrum)

Numéros d'ordre

Dans le monde des atomes, l'organisation est paramilitaire: en plus de son nom, chaque individu porte un matricule ou numéro d'ordre compris entre 1 et 92 qui indique à quelle famille il appartient¹. Dans leur langage, les chimistes parlent de **numéro atomique**.

L'administrateur qui leur a attribué ces numéros est un terrien du nom de Mendeleïev². Le principe de cette numérotation est simple : l'atome le plus léger, Monsieur Hydrogène, porte le numéro 1, le plus lourd, Monsieur Uranium, le numéro 92. A quelques exceptions près, l'ordre de la numérotation correspond à l'ordre croissant de leur poids.

Il faut noter toutefois que le génie génétique des Terriens sait aujourd'hui créer des familles d'atomes inconnues jusqu'ici. Ainsi quelques nouveaux arrivés sont venus s'ajouter au monde des atomes naturels. Le plus connu d'entre eux est le Plutonium auquel on a attribué le numéro 94.

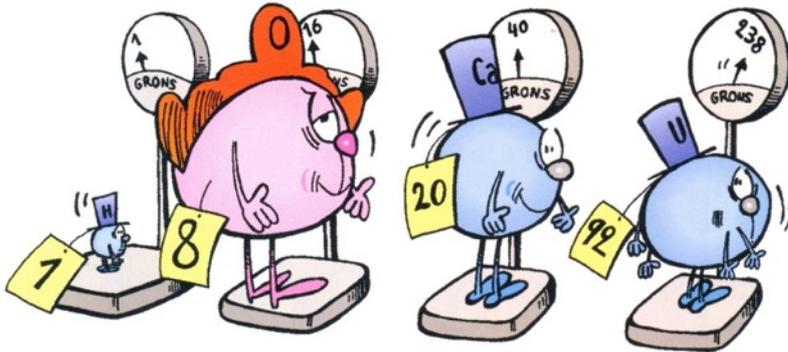


Les atomes portent aussi un numéro de matricule.

- 1 Ceux qui portaient les numéros 43 et 61, Messieurs Technetium et Prométhéum, ont disparu du monde des atomes naturels, victimes d'une maladie congénitale : la décroissance radioactive galopante. Aujourd'hui les terriens ont réussi à les recréer artificiellement, mais leur espérance de vie reste très précaire!
- 2 Dmitri Ivanovitch Mendeleïev, chimiste russe (1834-1907), inventeur de la classification périodique des éléments chimiques.

Poids des atomes

À quelques exceptions près, la plupart des atomes d'une même famille ont le même poids. Par contre, entre individus de familles différentes, les poids diffèrent notablement. Le poids atomique est donc une des caractéristiques de chaque famille d'atomes. Si nous pesons le plus léger d'entre eux, le petit Hydrogène, nous obtenons: 0,000000000000000000000000166 grammes, ce



Le poids des atomes s'échelonne entre 1 gron pour le petit Hydrogène et 238 grons pour le pesant Uranium.

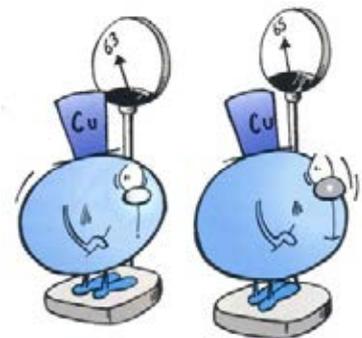
qui est évidemment bien peu! Aussi, pour éviter de manipuler des nombres si encombrants, le bureau des poids et mesures du Pays des Atomes a choisi comme unité de référence le gron¹, qui est précisément le poids d'un atome d'hydrogène. Et maintenant, si nous pesons les autres atomes, une surprise nous attend: leur poids est presque toujours un multiple entier de celui de Monsieur Hydrogène! Par exemple Madame Oxygène est 16 fois plus pesante que

Monsieur Hydrogène, et Monsieur Calcium 40 fois. En examinant les poids de tous les atomes, on constate que ceux-ci s'échelonnent entre 1 gron pour l'Hydrogène et 238 grons pour l'Uranium.

Certains atomes ne font pas le poids

Mais nous savons que rien n'est parfait, même dans le monde des atomes, et on trouve à l'intérieur d'une même famille certains individus qui "ne font pas le poids". On a ainsi trouvé dans la famille Uranium quelques individus qui ne pèsent que 235 grons au lieu des 238 habituels. Ils ne sont pas très nombreux et ne représentent que 0.7 % des membres de la famille. Toutefois ils sont très recherchés des Terriens qui en ont besoin pour leurs centrales nucléaires. Les membres d'une même famille qui présentent ainsi des poids un peu différents sont appelés «isotopes».

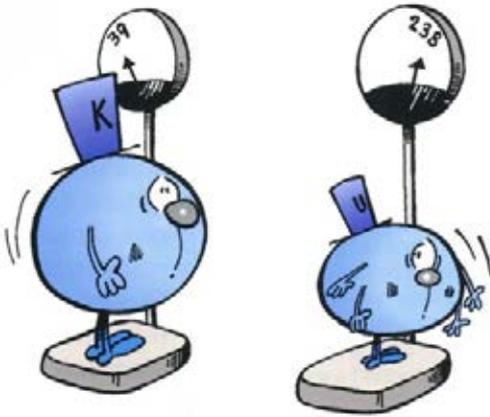
Dans beaucoup de familles on trouve de tels isotopes qui pèsent un peu moins ou un peu plus que la majorité des individus. Mais ils n'existent généralement qu'en faible quantité. Toutefois, dans certaines familles ils peuvent être tout de même abondants. Chez les frères Cuivre, par exemple, la scission est très marquée : 30% d'entre eux ont un poids de 65 grons alors que les autres n'en pèsent que 63. Cependant, malgré cette différence de poids, le comportement social de tous les isotopes d'une même famille reste exactement le même.



Certains membres de la famille Cuivre ne font pas le poids !

¹ Unité imaginaire utilisée dans le «Monde étrange des Atomes». En réalité, c'est le poids, exprimé en grammes de 602.488 milliards de milliards d'atomes d'hydrogène. Ce grand nombre est connu sous le nom de «Nombre d'Avogadro» (célèbre chimiste italien, 1778-1856). Il permet de comparer entre eux des mêmes nombres d'atomes en en exprimant le poids en grammes. En réalité, les chimistes ont défini plus précisément «l'unité de masse atomique» (U.M.A.) comme le douzième du poids de l'atome de Carbone C¹², ce qui équivaut à 1.66×10^{-24} g.

Taille des atomes¹



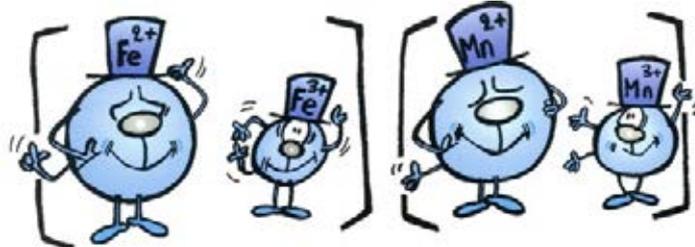
Il n'y a pas de relation directe entre le poids et la taille des atomes.

Les atomes sont approximativement sphériques. Nous pourrions donc exprimer leur dimension par leur tour de taille, mais l'usage veut plutôt qu'on exprime leur taille par le rayon: c'est le rayon atomique. On l'exprime par une très petite unité, l'angstrœm² [Å], qui vaut un dix milliardième de millimètre.

Il n'y a pas de relation directe entre le poids d'un atome et sa taille. Ainsi Monsieur Potassium, qui pèse 39 grons, possède un rayon atomique de 1.33 Å, alors que le pesant Uranium (238 grons) ne mesure que 0.97 Å de rayon. On remarque tout de suite que les dames ont une forte tendance à l'embonpoint alors que les messieurs restent plutôt fluets. Nous verrons plus loin que la taille des messieurs diminue d'une manière générale avec l'augmentation du nombre de bras. Chez les dames, c'est le contraire qui se produit.

Nombre de bras³

Nous avons déjà remarqué, dans notre monde imaginaire, que les atomes n'aiment guère la solitude et qu'ils forment habituellement des petits groupes⁴ à l'intérieur desquels ils se tiennent par les mains. Les bras jouent donc un rôle essentiel de liaison.



Messieurs Fer et Manganèse gardent parfois une main dans leur poche. Curieusement, lorsqu'ils la sortent, ils maigrissent.

Tous les atomes n'ont pas le même nombre de bras. Ainsi Messieurs Sodium et Potassium n'ont qu'un bras alors que Messieurs Calcium et Strontium en ont deux. Monsieur Aluminium en a trois, Monsieur Silicium, quatre. Il y a un atome bien connu et un peu facétieux, c'est Monsieur Fer: il possède deux bras bien actifs plus un troisième qu'il tient dans sa poche et qu'il ne sort que lors-

¹ Les chimistes voudront bien excuser les raccourcis que prend l'auteur : il s'agit du rayon ionique qui joue un rôle important dans le monde des minéraux.

² Anders Jonas Ångström(1814-1874), physicien suédois connu par ses recherches sur le spectre solaire et les gaz simples.

³ Le nombre de bras dépend d'éléments anatomiques de l'atome ainsi que de son état d'excitation. Cela sera expliqué plus loin dans le chapitre "Anatomie des atomes".

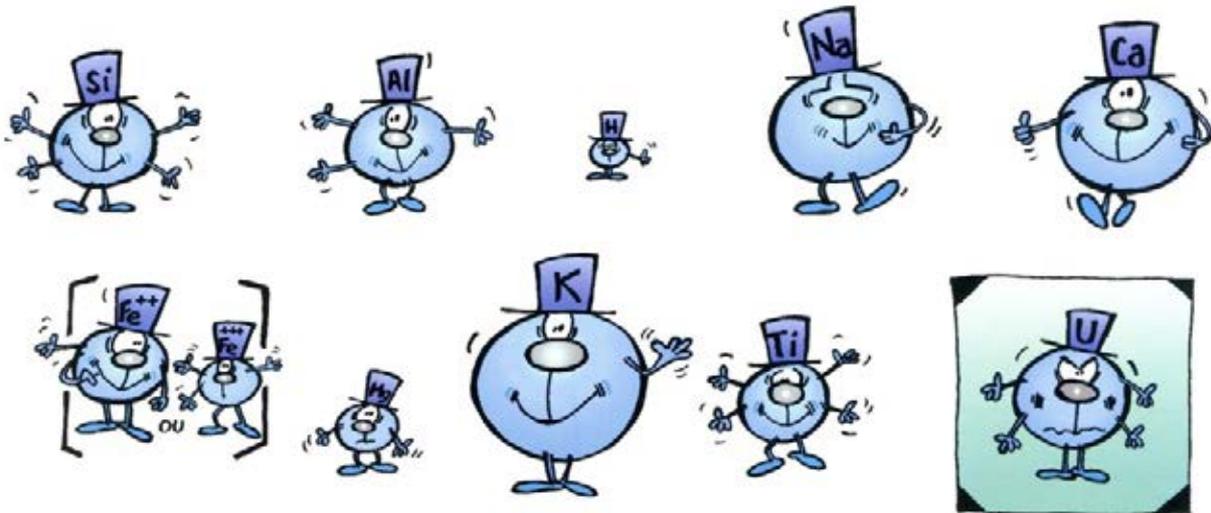
⁴ Ces groupes sont connus des chimistes sous le nom de molécule.

qu'il est un peu excité. Ce qui est alors remarquable, c'est que sa taille diminue sensiblement lorsqu'il sort le troisième bras de sa poche. Avec deux bras, son rayon est de 0,76 Å, avec trois bras, il n'est que de 0.64 Å !

Un ami intime du Fer, Monsieur Manganèse, se comporte exactement de la même manière. Beaucoup d'autres atomes encore ont un nombre de bras qui varie selon leur état d'excitation: nous aurons l'occasion de reparler de cette particularité.

Les dames et les messieurs

Contrairement à ce qui se passe chez les Terriens, les sexes se répartissent par famille : il y a des familles de dames et des familles de messieurs.



*Les principaux messieurs : ils sont habillés en bleu et portent des haut-de-formes.
Le dernier d'entre eux est le lourdaud et irascible Uranium.*

Les familles des messieurs sont très nombreuses alors qu'il n'y a guère qu'une demi-douzaine de familles de dames. Mais parmi ces dernières, on remarque tout de suite les sœurs Oxygène : elles constituent une famille dominatrice dont les membres représentent près de 62 % de la population totale du monde des atomes. Les sœurs Oxygène régentent aussi la quasi-totalité des mariages, régnant presque sans partage sur la population masculine. On trouve bien quelques autres dames, Mesdames Fluor, Chlore, Soufre, mais elles sont peu nombreuses et n'ont qu'une influence très limitée.



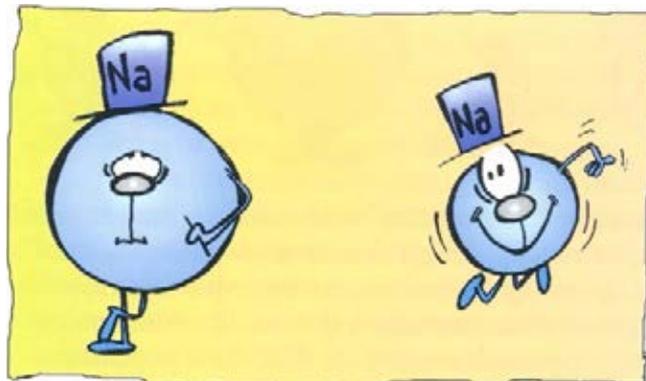
*Les Dames portent des habits roses et sont coiffées d'un bonnet de dentelle.
Elles aspirent toutes au mariage et montrent une forte tendance à l'embonpoint.*

Maigrir ou grossir: une question d'excitation

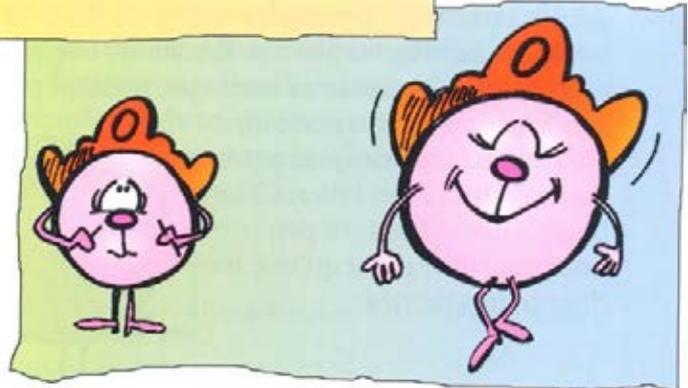
Nous avons vu que les messieurs étaient plutôt fluets alors que les dames montraient une forte tendance à l'embonpoint. Au repos, les messieurs sont assez gros et tiennent leurs mains dans leurs poches. A la moindre excitation, ils sortent les mains des poches et, curieusement, maigrissent. Chez les dames c'est le contraire: Madame Oxygène double presque de taille lorsque l'excitation lui fait sortir les mains de ses poches.

Les chimistes - et les cruciverbistes, toujours très intrigués par le monde des Atomes - sur-nomment «**ions**» les atomes à l'état excité (ou encore porteurs de charges), plus précisément, «**anions**» si ce sont des dames, «**cations**» si ce sont des messieurs.

L'excitation fait maigrir les messieurs...



...mais fait grossir les dames.

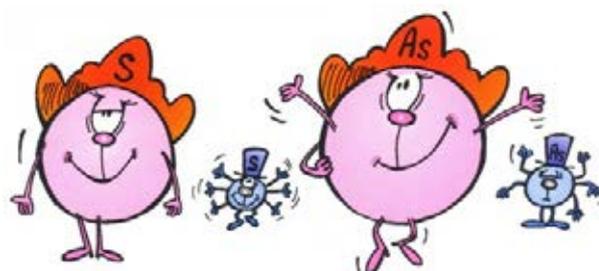


Les cruciverbistes connaissent aussi les ions, les cations et les anions !

Les androgynes

On trouve encore quelques familles d'atomes dont les tendances masculines ou féminines ne sont pas très bien marquées et qui, suivant les circonstances, se comportent tantôt comme des dames, tantôt comme des messieurs. Dans cette catégorie nous trouvons principalement les membres des familles Soufre, Arsenic et Antimoine, plus rarement le Carbone.

Notons encore que les chimistes regroupent parfois sous le nom de métalloïdes tous les atomes qui ne sont pas franchement des messieurs. On y retrouve les dames et les androgynes.

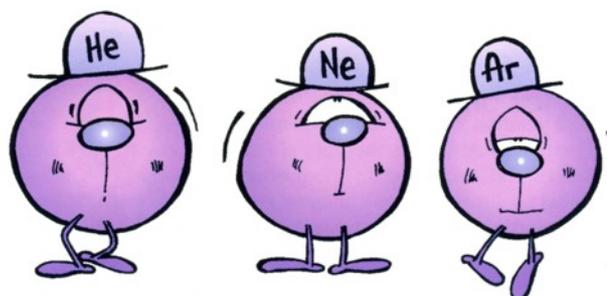


Tantôt dames, tantôt messieurs, ce sont les Androgynes.

Les célibataires endurcis

Bien que les mariages soient la règle dans le monde des atomes, on trouve quelques familles de célibataires endurcis : Messieurs Hélium, Néon, Argon, Krypton, Xénon et Radon. Ils sont habillés en violet et portent un chapeau rond, comme certains ecclésiastiques. Ils ne possèdent pas de bras. Leur air vaporeux et leur très faible abondance les ont fait surnommer les gaz rares¹.

Les célibataires endurcis n'ont pas de bras. Ils sont habillés en violet et portent un chapeau rond, comme certains ecclésiastiques. Leur petit nombre et leur air vaporeux les a fait surnommer «les gaz rares»



Répartition de la population

La répartition de la population entre les 90 familles existantes est très peu homogène. Les derniers recensements² ont montré qu'une dizaine de familles représentaient, à elles seules, 99.3 % de la population et que les 80 autres familles se partageaient le 0.7 % restant !

¹ A température ordinaire, ces éléments sont toujours à l'état gazeux.

² Les recensements ne concernent que la croûte terrestre, soit approximativement les trente premiers kilomètres qui se trouvent sous nos pieds.

Parmi ces dix grandes familles on trouve une famille de dames (les sœurs Oxygène) et neuf familles de messieurs. Le tableau ci-contre donne une idée de l'importance numérique de ces familles.

Les membres de la famille Cuivre, qui nous paraissent être abondants par l'usage qu'en font les Terriens, n'existent en réalité qu'en très faible quantité: deux ou trois atomes sur 100.000 ! Les frères Carbone qui nous semblent abondants par le rôle important qu'ils jouent dans le monde vivant ne représentent que 0.1 % de la population. Ne parlons même pas des aristocrates Or, Argent ou Platine, encore bien plus rares, qui ne constituent que moins de un cent millionième de la population !

*Dernier recensement effectué
au Pays des Atomes
(exprimé en pour-cent d'individus).*

Oxygène	61.5 %
Silicium	20
Aluminium	6
Hydrogène	2.8
Sodium	2.3
Calcium	1.8
Fer	1.8
Magnésium	1.7
Potassium	1.2
Titane	0.2
autres familles	<u>0.7</u>
total :	100

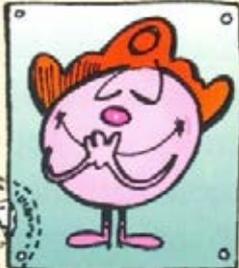
Les passeports

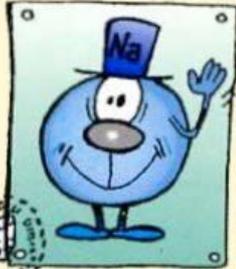
Afin de bien identifier leurs administrés, les responsables de l'Etat-civil du Monde des Atomes établissent, pour chaque famille, un passeport qui comporte les renseignements suivants :

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| • nom de famille | • taille |
| • symbole chimique | • nombre de bras |
| • matricule ou numéro d'ordre | • sexe |
| • poids | • signes particuliers |

Le passeport décrit généralement les caractères moyens de toute une famille, en particulier le poids qui est une moyenne de ceux des divers isotopes constituant la famille, pondérée par le pourcentage de chacun d'entre eux. C'est pour cette raison que le poids indiqué n'est pas toujours un nombre entier¹. Sur demande, les isotopes différents d'une même famille peuvent obtenir des passeports séparés.

¹ voir les paragraphes "certains atomes ne font pas le poids", p. 8, et "les isotopes" p. 47

<p>RÉPUBLIQUE D'ATOMLAND *****</p> <p>Passeport N° 246342892</p> <p>Nom : OXYGÈNE</p> <p>Symbole : O</p> 	<p>RÉPUBLIQUE D'ATOMLAND *****</p> <p>— 246342892 —</p> <p>Matricule : 8</p> <p>Poids : 16</p> <p>Taille : 1,40 A</p> <p>Nb. bras : 2</p> <p>Sexe : FÉMININ</p> <p>Etat civil : PRESQUE TOUJOURS MARIE</p> <p>la Chancellerie: D.L. NewDeW</p>
--	--

<p>RÉPUBLIQUE D'ATOMLAND *****</p> <p>Passeport N° 248672761</p> <p>Nom : SODIUM</p> <p>Symbole : Na</p> 	<p>RÉPUBLIQUE D'ATOMLAND *****</p> <p>— 248672761 —</p> <p>Matricule : 11</p> <p>Poids : 23</p> <p>Taille : 0.95 A</p> <p>Nb. bras : 1</p> <p>Sexe : MASCULIN</p> <p>Etat civil : TOUJOURS MARIÉ</p> <p>la Chancellerie: D.L. Mendeliv</p>
--	--

La grande photo de famille¹

Les diverses classes sociales

Dans le Monde des Atomes la vie sociale est très structurée. C'est le nombre de bras qui détermine le plus sûrement la classe sociale à laquelle appartient un atome. Certaines classes ont des moeurs et des habitudes très strictes, chez d'autres les habitudes sont un peu plus relâchées. D'une manière générale, moins ils ont de bras, plus ils sont sectaires.

Au cours d'une étude sociologique approfondie, le savant russe Mendeleïev avait remarqué qu'en disposant (à quelques interversions près) le petit monde des atomes par poids croissant, on voyait apparaître une périodicité rigoureuse dans l'ordre de placement des individus d'une même classe sociale. Cette périodicité est régie par quatre nombres sacrés: 2, 8, 18 et 32.

Le service du Contrôle de l'Habitant a pris conscience de l'intérêt d'une telle photo de famille qui permettrait de connaître d'un seul coup d'oeil le caractère et les tendances de chaque individu.

Nous avons cherché à nous procurer une photo un peu générale où l'on verrait un représentant de chacune des 90 familles existantes. Nous n'avons trouvé qu'une photo partielle sur laquelle ne figurent que les 18 atomes les plus légers. Nous vous la présentons à la page suivante.

L'examen de cette photographie conduit aux constatations suivantes :

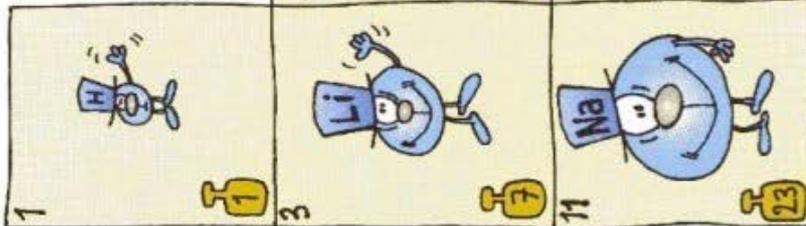
- le poids des atomes croît avec le numéro de matricule;
- les individus situés dans une même colonne appartiennent à la même classe sociale et possèdent un nombre de bras identique;
- de gauche à droite on trouve successivement, les unibras, les deux-bras, les trois-bras, etc...
- le nombre de bras est égal :
- au numéro de la colonne pour les messieurs;
- à huit (nombre sacré) moins le numéro de la colonne pour les dames;
- les messieurs occupent la partie gauche de la photo, les dames sont à droite, juste avant la dernière colonne qui est réservée aux célibataires endurcis;
- la taille des atomes augmente dans une même colonne, du haut vers le bas.
- en ce qui concerne les messieurs, leur taille diminue dans une même rangée avec l'augmentation du nombre de bras.

¹ connue des chimistes sous le nom de Tableau périodique des éléments

LA PHOTO DE FAMILLE

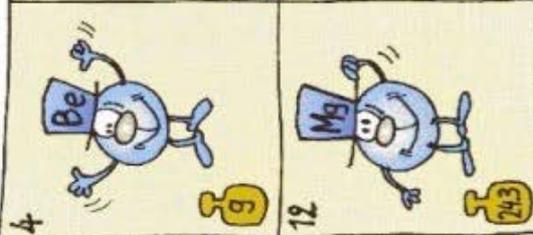
Photo partielle des dix-huit atomes les plus légers

Unibras

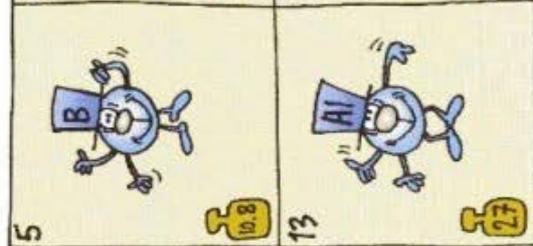


Les messieurs se placent toujours du côté gauche

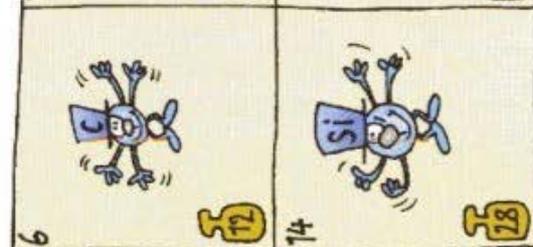
Deux-bras



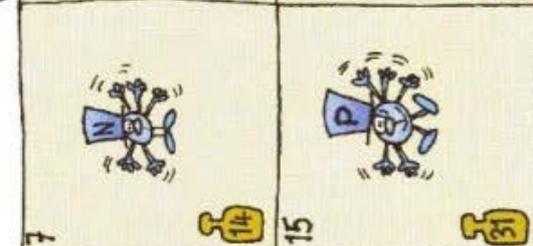
Trois-bras



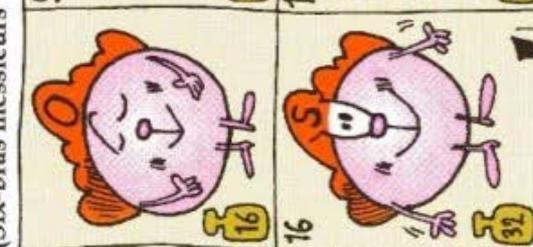
Quatre-bras



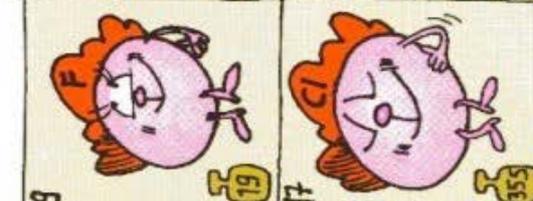
Cinq-bras



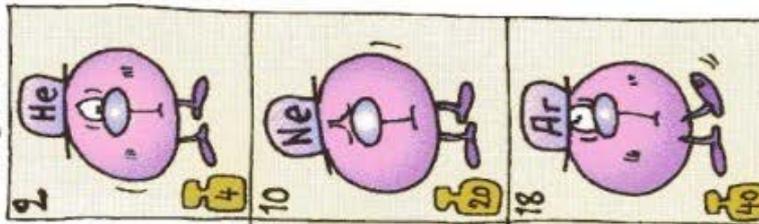
Deux-bras dames
(Six-bras messieurs)



Unibras dames



Célibataires
ou gaz rares



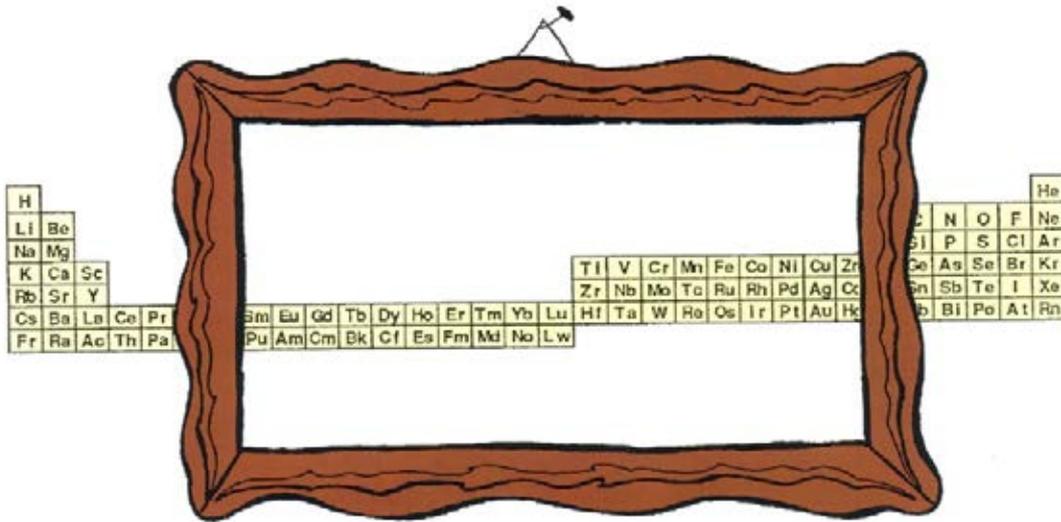
M. (ou Mme) Soufre est androgyne:
- tantôt dame avec deux bras,
- tantôt monsieur avec six bras!



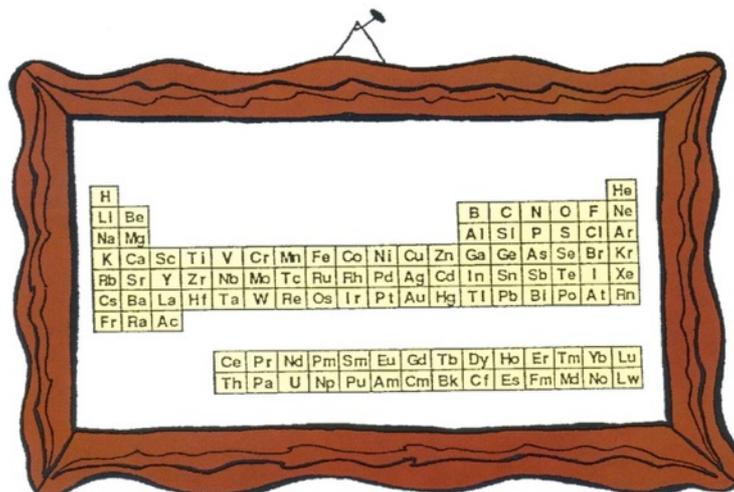
Pour sa photo de famille, Mendeleïev disposa tout ce petit monde sur une série de sept gradins, plaçant les plus légers sur les niveaux supérieurs, les plus lourds en bas, de la manière suivante

- première marche (haut): 2 personnes : MM. Hydrogène et Hélium,
- deuxième marche : 8 personnes, de Lithium à Néon,
- troisième marche : 8 personnes, de Sodium à Argon,
- quatrième marche : 18 personnes, de Potassium à Krypton,
- cinquième marche : 18 personnes, de Rubidium à Xénon
- sixième marche : 32 personnes, de Césium à Radon
- septième marche : 32 personnes, de Francium à Lawrencium

La rangée inférieure aurait dû aussi compter 32 personnes, mais elle est restée incomplète car on n'a pas trouvé suffisamment d'atomes dans la nature pour occuper toutes les places. En réalité, Mendeleïev n'a trouvé que 6 personnes pour cette dernière marche, MM. Francium, Radium, Actinium, Thorium, Protactinium et Uranium. Depuis lors, les généticiens ont réussi à créer artificiellement une douzaine de familles qui ont trouvé place sur ce niveau. Mais ces nouveaux venus sont très instables et leur espérance de vie n'est pas très grande.



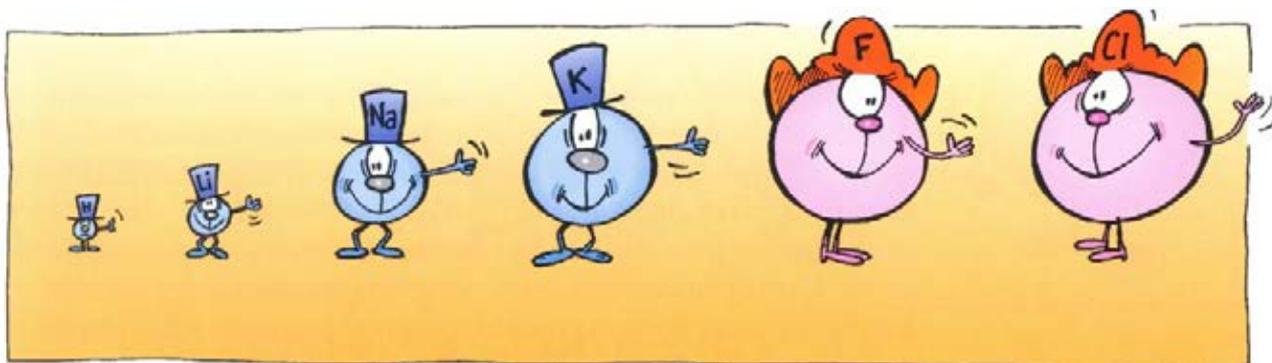
Malheureusement cette disposition n'est pas très commode: les rangées supérieures sont très clairsemées et il est difficile de trouver un cadre qui ait une proportion si peu commune pour y loger la photographie. Aussi les successeurs de Mendeleïev ont-ils pris l'habitude de retrancher 14 atomes de chacune des rangées les plus longues (celles de 32 places) pour les disposer sur deux rangées supplémentaires en bas à droite.



Les chimistes ne se séparent jamais de cette photo de famille qu'ils ont baptisée prosaïquement "**Tableau périodique des éléments**". Ils ont enfermé les atomes dans des "cases" à l'intérieur desquelles ils ont inscrit les principales caractéristiques de chacun d'eux : nom de famille, symbole, numéro d'ordre (ou numéro atomique), poids, nombre de bras (qu'ils nomment curieusement "état d'excitation"), taille, plus encore divers autres renseignements.

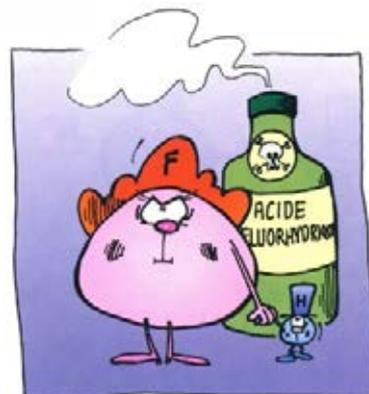
La classe des unibras

Les unibras sont plutôt *fundamentalistes*. Ils montrent une grande homogénéité de caractères et d'habitudes, et obéissent à des traditions très strictes. On y rencontre principalement Messieurs Lithium, Sodium, Potassium et Mesdames Fluor, Chlore, Brome et Iode. A l'exception du petit Hydrogène, les messieurs se comportent comme des métaux brillants de faible densité avec un point de fusion assez bas.



Les unibras fournissent des personnages de premier plan, en particulier MM. Sodium et Potassium ainsi que le petit Hydrogène. Séduisantes et corrosives, Mmes Fluor et Chlore ne restent jamais longtemps célibataires.

Ils sont très portés sur les dames et ne restent jamais célibataires. Ils se lient souvent avec Mesdames Fluor et Chlore, deux dames influentes de la même classe sociale pour former les couples NaCl (halite) et KCl (sylvine), bien connus des amateurs de minéraux, ou le dangereux HF (acide fluorhydrique). Les deux principales représentantes féminines de cette classe, Mmes Fluor et Chlore, sont très vaporeuses et elles montrent un certain embonpoint. Séduisantes, très agressives, elles ne restent pratiquement jamais célibataires.

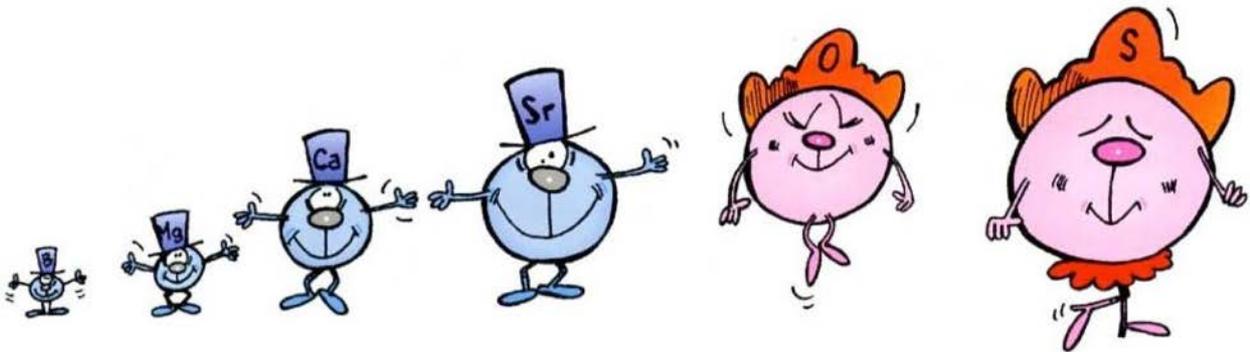


Le dangereux couple acide fluorhydrique

La classe des deux-bras

Bien qu'un peu moins fundamentalistes que les unibras, les deux-bras constituent néanmoins une classe bien unie. Les messieurs ont aussi un aspect de métal avec une densité assez faible, mais leur point de fusion est déjà plus élevé que celui de leurs voisins, les unibras. C'est à la classe des deux-bras qu'appartient Mme Oxygène qui, nous le verrons plus loin, arrange la plupart des mariages du pays. Mme Soufre est un peu moins enthousiaste pour le mariage que sa voisine du dessus et montre parfois des tendances androgynes. Elle a tout de même un faible pour Messieurs Fer, Plomb, Zinc et Cuivre, des amis d'une autre classe sociale, avec qui elle contracte des alliances que les minéralogistes ont baptisées pyrite (FeS_2), galène, (PbS) blende (ZnS) et chalcopyrite (CuFeS_2).

En plus de l'omniprésente Madame Oxygène, cette classe fournit également deux personnages qui jouent un rôle très importants dans la croûte terrestre: Messieurs Magnésium et Calcium. Signalons encore le léger Béryllium et le lourdaud Barium.



Deux dames importantes, Mmes Oxygène et Soufre font partie de la classe des deux-bras. Toutefois, Mme Soufre montre souvent son côté «androgyn» et apparaît alors comme un petit monsieur à 6 bras.

La classe des trois-bras

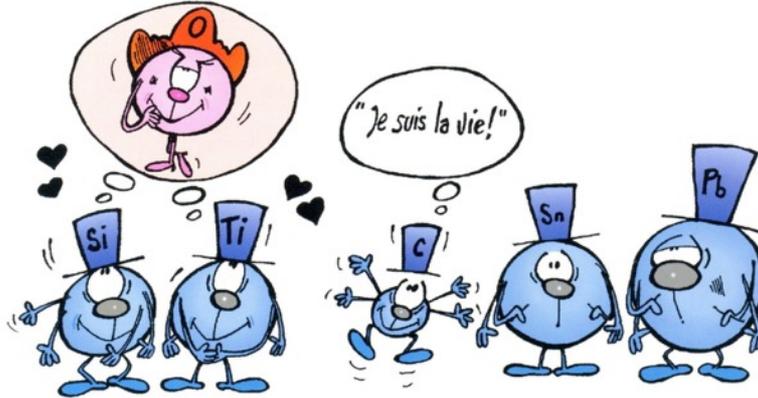
Un seul membre de cette classe joue un rôle important. Il s'agit de Monsieur Aluminium, un garçon un peu léger, mais qui noue pourtant de solides unions avec les sœurs Oxygène. En effet, on trouve parfois des communautés constituées de deux frères Aluminium et de trois sœurs Oxygène, connues sous le sigle Al_2O_3 , que les minéralogistes appellent corindon. Les autres membres de cette classe sont assez effacés et peu nombreux. Il n'y a pas de dames.



Monsieur Aluminium est le seul représentant important de la classe des trois-bras.

La classe de quatre-bras

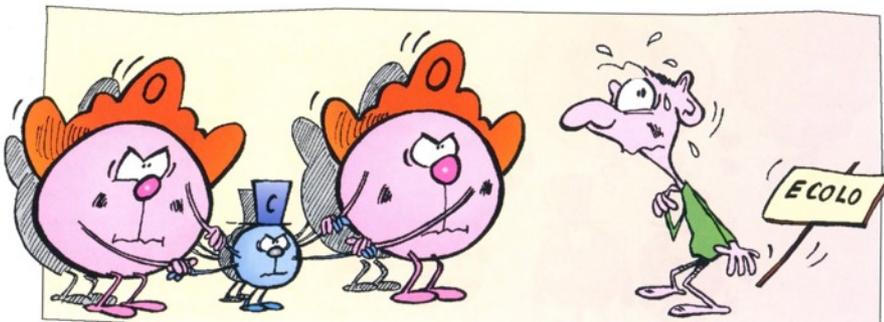
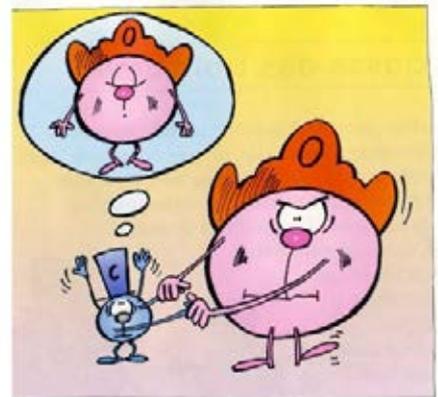
On rencontre dans cette classe quelques personnages très en vue, en particulier Messieurs Silicium et Titane qui montrent une attirance extrême pour les sœurs Oxygène, formant les trios SiO_2 (le quartz) et TiO_2 (le rutile).



Chez les quatre-bras, on rencontre des gens très connus.

Il y a aussi un personnage assez original: c'est le père Carbone. Très polyvalent, il peut rester célibataire ou se lier à Madame Oxygène pour former une union incomplète, le dangereux couple CO qui peut vous asphyxier si vous ne vous en méfiez pas, ou le trio CO_2 qui préoccupe actuellement beaucoup les écologistes.

Le couple CO est très dangereux et peut vous asphyxier si vous ne vous méfiez pas. Il aspire toujours à séduire une seconde demoiselle Oxygène...



...pour former le trio CO_2 qui donne tant de soucis aux écologistes.

Le carbone est aussi un des principaux actionnaires des sociétés pour les hydrocarbures et il est aussi fortement engagé dans l'organisation de la matière vivante !

Le père carbone est à l'origine de la vie !

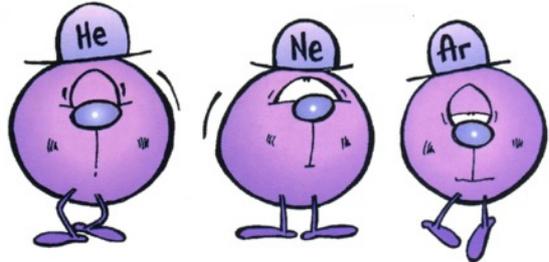
Le père carbone joue un rôle très important : souvent il folâtre avec le petit Hydrogène, formant des petits groupes, de longues farandoles ou des anneaux, qui tous constituent le club très courtisé des **hydrocarbures**. Ce club peut s'élargir, par l'admission d'autres membres, en particulier les frères Azote et les sœurs Oxygène, pour constituer des groupes plus importants connus sous le nom de **molécules organiques**. Ces associations sont très importantes car ce sont elles qui sont à l'origine de la vie.



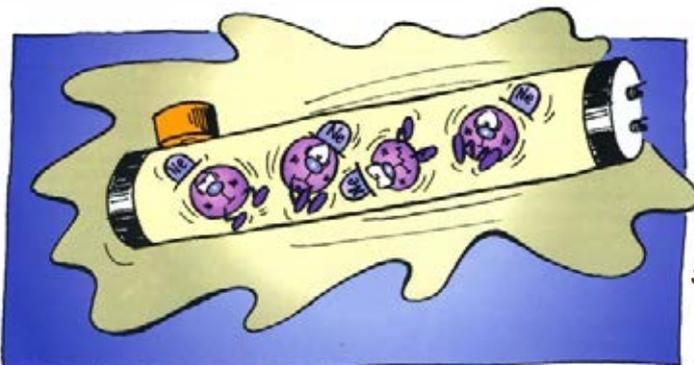
La farandole de butane C_4H_{10} appartient à la grande société des hydrocarbures

La classe des sans-bras

C'est une classe à part, très sectaire. Ses membres ne se lient jamais à personne. Ces célibataires endurcis, peu nombreux, sont gazeux à température ordinaire. On les appelle les **Gaz rares**. Le plus connu d'entre eux, le néon, peut être excité par des décharges électriques à l'intérieur d'un tube de verre. Il dégage alors une lumière rougeâtre : ce sont les tubes lumineux utilisés pour les panneaux publicitaires lumineux.



Les sans-bras sont très sectaires. Ce sont des célibataires endurcis qui ne



Soumis à de vigoureux électrochocs, les gaz rares émettent de la lumière

Les autres classes sociales

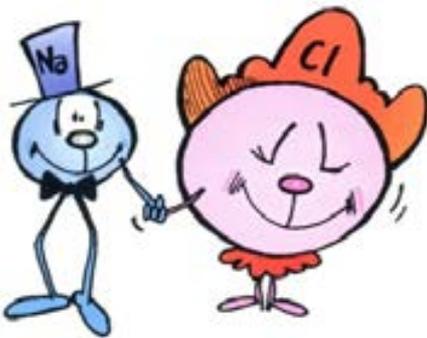
Elles sont beaucoup moins strictes et structurées que les classes précédentes, et les individus qui les composent ne sont que peu attachés à des traditions rigoureuses. Il n'y a aucune dame parmi eux. Ils ont tous des propriétés de métaux, leur densité est plutôt élevée et ils conservent très souvent un ou quelques bras dans leurs poches qu'ils ne sortent que dans certaines occasions. Ils ne montrent pas tous un grand enthousiasme pour le mariage et peuvent même rester assez longtemps célibataires. Beaucoup d'entre eux sont bien connus à cause des services qu'ils rendent aux Terriens. Citons Messieurs Fer, Cuivre, Nickel, Manganèse, Argent, Or, Platine et bien d'autres encore.

Les mariages au Pays des Atomes

Le mariage est de règle au pays des atomes. Presque tout le monde est lié à un ou plusieurs autres atomes, le plus souvent par l'intermédiaire de l'agence matrimoniale des sœurs Oxygène, qui possèdent un quasi monopole dans ce domaine. Seuls les célibataires endurcis - les gaz rares - ainsi que quelques aristocrates, comme Messieurs Or et Platine, échappent à cette emprise. Quelques autres encore essaient de se soustraire à cette obligation. Parmi eux, citons Messieurs Soufre, Carbone, Cuivre¹. Cependant ils n'échappent jamais bien longtemps au mariage et finissent presque toujours par se soumettre aux usages en cours du Pays des Atomes².

Les mariages obéissent à quelques règles simples :

- Les unions possibles sont la monogamie, la polygamie, la polyandrie, les communautés.
- Les partenaires doivent globalement compter autant de bras féminins que masculins.
- Toutes les mains doivent être liées à des mains d'atomes de sexe opposé.
- Les couples ou les groupes ainsi constitués portent le nom de "molécule". Les chimistes d'aujourd'hui préfèrent parler de «corps composé». Pour les identifier on les désigne par la liste des symboles des partenaires associés, affublés chacun d'un nombre en indice qui indique combien ils sont. Très souvent aussi, on leur attribue un nom patronymique particulier.

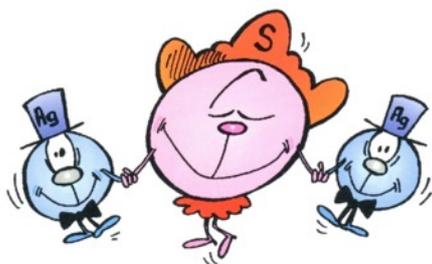


Monsieur Sodium est monogame : sa main unique tient fermement celle de Madame Chlorine.

Monsieur Titane est polygame. Lié à deux sœurs Oxygène, il forme l'union TiO_2 connue des minéralogistes sous les noms de rutile, d'anatase ou de brookite.

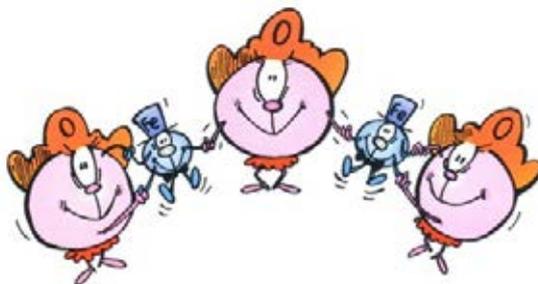


-
- 1 On appelle "éléments natifs" les substances naturelles constituées d'un seul élément. Parmi eux notons l'or, le platine, le cuivre, le soufre, le carbone (diamant, graphite).
 - 2 Pour leur usage personnel, les Terriens obligent certaines familles d'atomes à divorcer et à devenir célibataires. Ils ont ainsi asservi les familles Fer, Cuivre, Plomb, Zinc et bien d'autres encore. Mais les sœurs Oxygène veillent sournoisement, elles minent les efforts des Terriens. Elles obligent le fer à rouiller, le cuivre à se recouvrir de vert-de-gris et elles oxydent le zinc et le plomb.



La polyandrie existe aussi. Ici, Madame Soufre a mis la main sur deux frères Argent. Les chimistes nomment cette union sulfure d'argent. Les minéralogistes parlent d'argentite.

Mais le plus souvent, les atomes vivent en petites communautés. Ici, deux frères Fer se sont mis en ménage avec trois sœurs Oxygène. C'est l'oxyde de fer Fe_2O_3 des chimistes ou l'hématite des minéralogistes



Les certificats de mariage

Il n'existe qu'un seul régime matrimonial au Pays des Atomes: la communauté des biens. Les propriétés nouvelles des molécules que constituent ces communautés, sont décrites dans les certificats de mariage qu'établissent les responsables de l'Etat-civil. Une des principales caractéristiques des molécules est leur poids, qu'on appelle poids moléculaire. On le trouve facilement en additionnant les poids atomiques de tous les membres de la communauté. Sur le certificat de mariage figurent encore divers renseignements, tels les points de fusion et d'ébullition, le poids spécifique, l'indice de réfraction et d'éventuels signes particuliers.

Certificat de mariage

Par devant nous ont été unis par le mariage : Monsieur **Silicium** et deux sœurs de la famille **Oxygène**
La communauté ainsi formée portera les noms et symbole suivant :



Patronyme : Oxyde de silicium
Symbole : SiO_2
Autres noms : Silice, quartz
calcédoine, agate,
améthyste...

Les propriétés qui découlent de cette union sont les suivantes :

Poids moléculaire : 60.08 [grons] Point de fusion : 1610° [C]

Poids spécifique : 2.65 [gr/cm³] Ebullition : env. 2'500° [C]

Indice de réfraction : 1.54 Dureté : 7

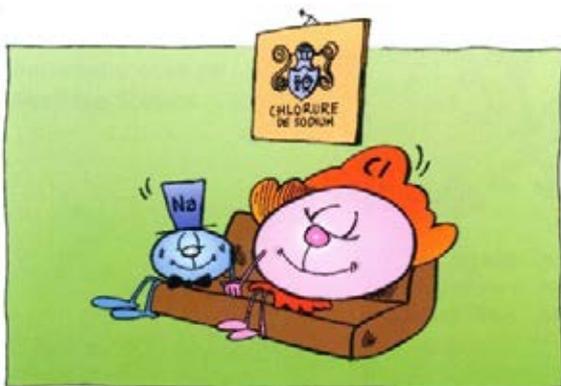
Signes particuliers : Union très stable, insoluble dans les acides, cristallise dans le système rhomboédrique.

Origine : Un des constituants des granites et des gneiss. La désagrégation de ces roches produit le sable des rivières, des lacs et des océans.

Usage : Industrie du verre. Utilisé pour ses propriétés piézo-électriques en électronique.

Les noms patronymiques des molécules

Les nouveaux noms des communautés matrimoniales sont très ronflants, comme dans l'ancienne noblesse. Ainsi le couple désigné par NaCl porte un beau nom à particule : Monsieur et Madame Chlorure de Sodium. On peut donc constater que, contrairement à l'usage en cours chez les Terriens, c'est le nom de la femme qui constitue le fondement du patronyme.



Monsieur et Madame Chlorure de Sodium portent un beau nom à particule

C'est ainsi que toutes les unions, dans lesquelles Madame Chlore est une partenaire importante, adopteront un nom commençant par "Chlorure de...". Toutefois les noms peuvent différer d'une corporation à l'autre. L'abréviation "NaCl" ainsi que le nom complet "Chlorure de Sodium" sont des termes de chimistes. Mais les minéralogistes attribuent des noms particuliers aux substances chimiques qui forment de beaux cristaux : ils appellent halite le minéral constitué de NaCl, alors que dans le langage des épiciers et des ménagères on ne le connaît guère que sous le nom de sel de cuisine!



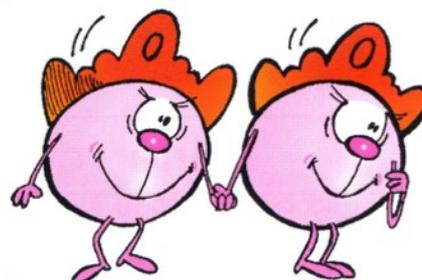
Mais les minéralogistes préfèrent les appeler halite...



... Alors que les épiciers et les ménagères ne les connaissent que sous le nom de sel de cuisine

Certains atomes peuvent parfois rester célibataires

Certains atomes, habituellement très portés sur le mariage, comme Mesdemoiselles Oxygène ou Messieurs Hydrogène, peuvent, s'ils n'ont pas eu l'occasion de trouver un partenaire, vivre un certain temps non mariés. Toutefois ils détestent la solitude et dans leur célibat momentané, ils se promènent toujours deux par deux, se tenant par la main. C'est le cas des sœurs Oxygène lorsqu'elles se déplacent dans l'atmosphère. On les désigne alors par les symboles O₂.



Deux sœurs Oxygène se promènent dans l'atmosphère. Elles se tiennent par la main, faute d'avoir pu trouver un parti honorable.



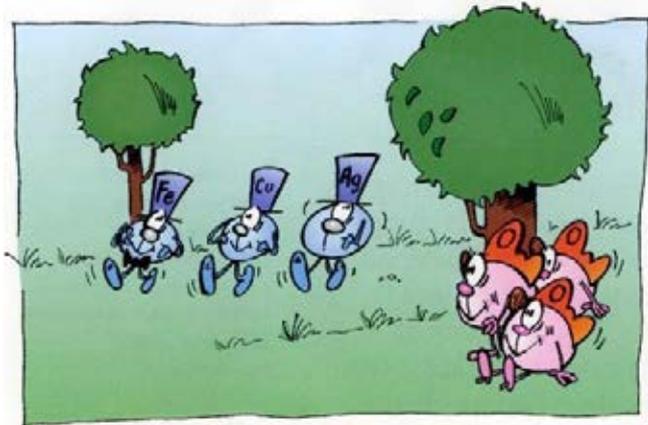
Plus rarement, elles se promènent par groupes de trois. Ce petit groupe, porte le nom d'**ozone**.

Parfois même, mais beaucoup plus rarement, on peut rencontrer les sœurs Oxygène trois par trois (O_3). Ce trio préoccupe beaucoup les Terriens : ils l'ont baptisé **Ozone** et s'inquiètent beaucoup de sa raréfaction grandissante dans les hautes couches de l'atmosphère car ce petit groupe est très efficace pour filtrer les rayons ultraviolets du Soleil.

D'autres atomes encore peuvent se complaire dans l'état de célibat. C'est par exemple le cas de Messieurs Cuivre, Fer ou Argent qui peuvent se balader tranquillement les mains dans les poches.

En réalité ce sont surtout les Terriens qui les forcent un à rester célibataires pour les usages qu'ils en font. Toutefois, les sœurs Oxygène veillent sournoisement et sont prêtes à oxyder l'argent et le cuivre et à rouiller le fer.

Les sœurs Oxygène guettent sournoisement les atomes encore célibataires.

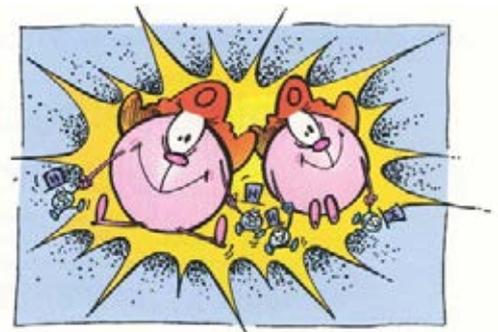


Une rencontre explosive

Si d'aventure, quelques sœurs Oxygène célibataires rencontrent quelques frères Hydrogène, marchant eux aussi deux par deux, et que la chaleur ambiante soit suffisamment élevée pour vaincre leur timidité, ils tombent brusquement dans les bras les uns des autres dans une violente explosion de joie pour constituer des molécules qui réunissent chacune une demoiselle Oxygène à deux frères Hydrogène.

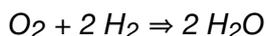


Au cours d'une promenade, deux sœurs Oxygène rencontrent quelques frères Hydrogène...



...la chaleur ambiante les aide à vaincre leur timidité et, dans une grande explosion de joie, ils contractent les unions H_2O , bien connues des Terriens sous le nom de molécules d'eau.

Ces groupes nouveaux sont très connus sous le nom de H_2O ou "molécule d'eau". Les chimistes, réfractaires à la poésie, décrivent ce genre d'histoire émouvante à leur manière:



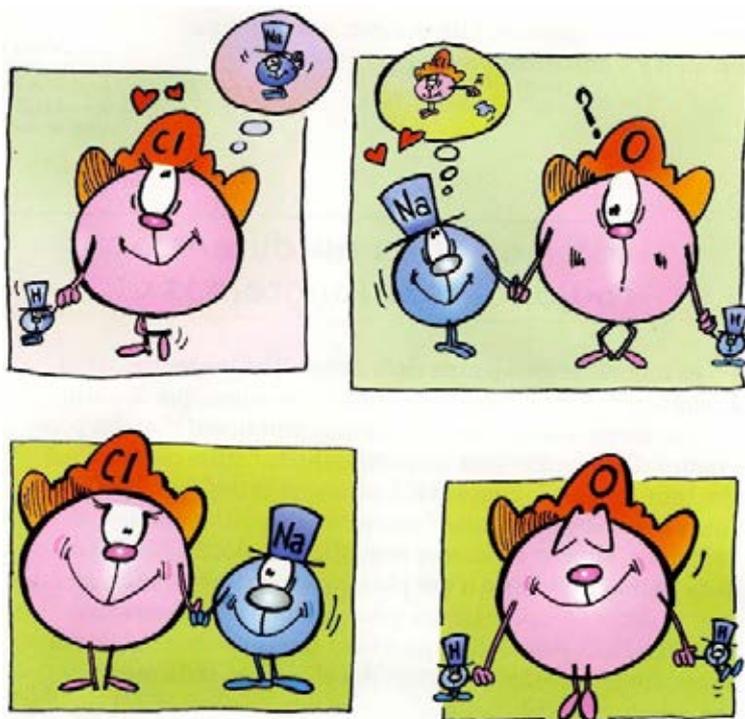
Cet exemple fait ressortir une caractéristique curieuse de la cérémonie de mariage : si l'atmosphère est très chaleureuse, il y a augmentation de la température ambiante avec un dégagement de chaleur plus ou moins important.

Dans le cas de l'union de deux frères Hydrogène avec une demoiselle Oxygène, le dégagement de chaleur est tel qu'il peut conduire à une forte explosion. Les Terriens provoquent des unions de ce type pour obtenir des températures élevées : ce sont les chalumeaux oxyhydriques !

Dans certains cas contraires, l'ambiance peut devenir glaciale et tout le monde est refroidi. Les chimistes, qui aiment bien montrer qu'ils connaissent le grec, parlent d'une **réaction exothermique** lorsqu'il y a dégagement de chaleur, **endothermique** lorsqu'il y a refroidissement.

Les mariages ne durent pas toujours très longtemps

Les unions ne sont jamais définitives. Il arrive très souvent, lorsqu'une molécule en rencontre une autre, que des affinités plus fortes que les liens du mariage entraînent l'un des partenaires d'une union vers un partenaire de l'autre union. C'est ainsi que lorsque le couple HCl rencontre la molécule NaOH, l'inconstant Sodium quitte l'union NaOH pour rejoindre Madame Chlore et constituer avec elle la molécule NaCl. Les deux frères Hydrogène n'ont plus qu'à se mettre en ménage avec la dame Oxygène laissée pour compte, pour former la molécule H_2O , déjà décrite plus haut sous le nom de molécule d'eau.



Au cours d'une promenade, le couple HCl rencontre le trio NaOH. Quelques idées de changement germent dans les esprits... Madame Chlore et Monsieur Sodium se mettent alors en ménage, confiant la garde des deux petits Hydrogène à Madame Oxygène qui s'en accommode fort bien !

Toujours dans le langage des chimistes, cette romanesque aventure s'écrit :

Acide chlorhydrique + Soude caustique \Rightarrow Chlorure de sodium + Eau

ou, en abrégé : $HCl + NaOH \Rightarrow NaCl + H_2O$.

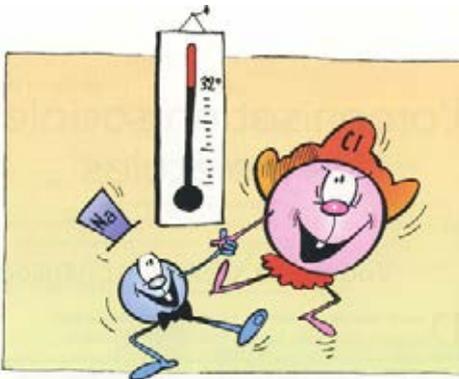
Ils appellent prosaïquement ce genre d'aventure: "**réaction chimique**"!

Les Terriens sont passés maîtres dans l'art de provoquer les divorces et forcer les atomes à des unions nouvelles qui n'existent pas toujours dans la nature, tout cela pour leur confort ou pour les besoins de leur industrie. Ils appellent cela la «**chimie appliquée**».

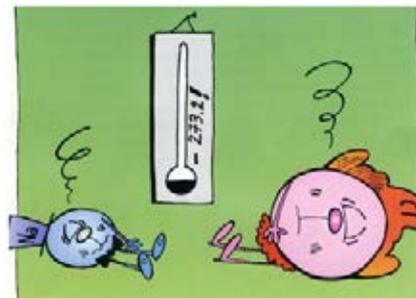
L'organisation sociale au Pays des Atomes

L'agitation sociale est permanente

Dans le monde des atomes, tous les personnages sont joyeusement agités par des mouvements dansants incessants. Certains même se déplacent infatigablement à toute vitesse, en tous sens, rebondissant contre leurs congénères ou contre les obstacles qu'ils rencontrent. Cette agitation est permanente. Mais contrairement aux Terriens qui s'agitent et battent des pieds pour se réchauffer lorsqu'il fait froid, les habitants du Monde des Atomes sont d'autant plus agités qu'il fait plus chaud. Cette agitation diminue lorsqu'il fait plus froid et ils tombent même en léthargie lorsque la température s'approche de $273,2^\circ$ au dessous de zéro. Cette température extrême est appelée «**zéro absolu**». Les physiciens ont démontré qu'il était impossible d'obtenir une température inférieure à cette limite.



Plus il fait chaud, plus les atomes sont agités.



Le froid les paralyse. Aux alentours de -273° [C], ils tombent en léthargie.

L'instinct grégaire pousse les molécules à se réunir par clans

Les molécules semblables - ainsi que les rares atomes célibataires d'une même famille - ont une forte tendance à se grouper en clans distincts les uns des autres. C'est une certaine force d'attraction qui pousse les mêmes atomes et les mêmes molécules à se serrer les uns contre les autres. Ces clans présentent une forte densité de population s'ils sont sous forme solide ou liquide. La densité est plus faible s'il s'agit d'un gaz. Par exemple, un rubis¹ de 20 carats (4 gr. et 1 cm^3) est un clan qui réunit environ 20'000 milliards de milliards de molécules d' Al_2O_3 serrées les unes contre les autres. Un centimètre cube d'eau renferme 34.000 milliards de milliards de molé-

¹ Variété précieuse de corindon de couleur rouge

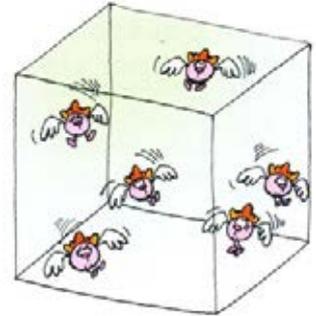
cules d'eau, alors qu'un même centimètre cube de vapeur d'eau ne contient "que" 28 milliards de milliards de ces mêmes molécules, soit environ 1200 fois moins.

Les trois sortes de clans¹

Chacun peut constater, qu'à pression ordinaire, le clan H₂O (l'eau) existe sous forme liquide entre 0° et 100°, sous forme gazeuse au-dessus de 100° (la vapeur d'eau) et sous forme solide en dessous de 0° (la glace). On peut se demander ce qui conditionne l'existence d'un état plutôt qu'un autre ?

La réponse se trouve dans le comportement social des atomes et des molécules. Prenons l'exemple de la molécule H₂O :

1. Au-dessus de 100° les molécules d'eau sont très agitées et elles parcourent l'espace à grande vitesse, rebondissant les unes contre les autres ou contre divers obstacles. La force d'attraction des molécules les unes pour les autres est beaucoup trop faible pour stopper l'une d'entre elles dans sa course folle, lorsqu'elle passe à proximité d'une autre : c'est alors «**l'état gazeux**».



L'état gazeux : les molécules se déplacent à grande vitesse, rebondissant sur les obstacles qu'elles rencontrent.

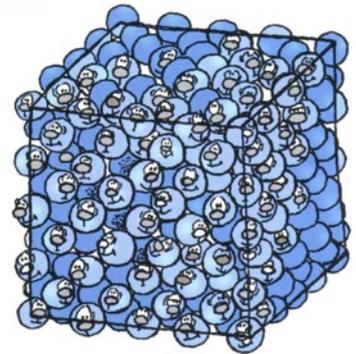


L'état liquide : les molécules s'accrochent mollement les unes aux autres. Il faut un récipient pour les contenir.

2. Lorsque la température baisse, la vitesse des molécules diminue et, à un moment donné, cette force d'attraction arrive à maintenir les molécules les unes près des autres, sans toutefois parvenir à leur assigner des emplacements fixes: c'est l'état liquide. Les molécules sont toujours agitées. Elles se déplacent les unes par rapport aux autres, se bousculant dans une foule dense de molécules identiques, sans trop chercher à échapper à cette concentration. Mais il faut un récipient pour en retenir une quantité importante car la force qui les maintient toutes ensemble est tout juste suffisante pour leur permettre de constituer des petites gouttes. C'est «**l'état liquide**».

3. Lorsque la température baisse encore, l'agitation des molécules diminue et les forces d'attraction parviennent à maintenir chacune d'elles à une place fixe: c'est l'état solide. Mais, toujours nerveuses, elles s'agitent sur place, en proie à une sorte de vibration, sans toutefois pouvoir quitter l'emplacement qui leur a été assigné. C'est «**l'état solide**», c'est même souvent un «**état cristallin**» !

Il faut vraiment que la température s'approche très près de 273,2° au-dessous de zéro pour que leur agitation cesse enfin et qu'elles tombent en léthargie.



L'ordre règne dans l'état cristallin

¹ Les physiciens parlent des trois états de la matière.

L'état cristallin

Lorsque les atomes (ou les molécules) se réunissent pour constituer un solide, ils ne s'immobilisent pas n'importe où mais bien à des emplacements très précis qui déterminent une configuration générale géométrique qui se répète, toujours identique à elle-même, dans les trois directions de l'espace. Cet état ordonné de la matière solide s'appelle **l'état cristallin**.

Pratiquement, toutes les substances minérales solides sont à l'état cristallin. Seuls les verres et les plastiques font exception, ne présentant pas une structure atomique ordonnée. On parle alors **d'état amorphe**.

Si nous prenons l'exemple du couple NaCl, nous constatons que Mme Chlore et M. Sodium sont immobilisés alternativement le long des arêtes imaginaires d'un cube. Cette disposition se reflète sur la forme des cristaux de NaCl (ou sel de cuisine). Vous pouvez vous en rendre compte en examinant à la loupe le dépôt de sel résultant de l'évaporation lente d'une solution d'eau salée : ce sont de petits cubes !

Ce qu'il y a de plus remarquable dans l'état cristallin, c'est que la notion de mariage change de sens. Une super communauté réunissant des myriades d'unions matrimoniales identiques prend forme et tous les atomes présents constituent alors une immense communauté faite de milliards de milliards d'atomes, mais dans une proportion d'atomes qui est toujours la même que dans la molécule originelle. Ainsi dans un cube de sel de cuisine d'un cm d'arête, on dénombre 22'500 milliards de milliards d'atomes de Chlore ainsi qu'un nombre identique d'atomes de Sodium.



Halite (NaCl)

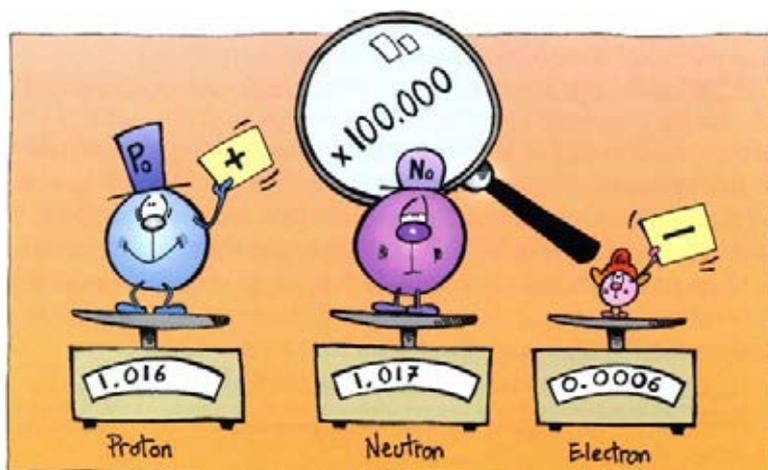


L'anatomie des atomes

Les divers organes des atomes

Les physiciens qui ont étudié l'anatomie des atomes, ont découvert qu'ils étaient constitués essentiellement d'électrons, petites particules extrêmement légères, - elles pèsent environ 0.00054 grons - porteuses chacune d'une charge électrique négative. Extrêmement agités, les **électrons** parcourent, dans une ronde vertigineuse, des orbites très diverses autour d'un noyau central extrêmement petit qui constitue le coeur de l'atome. Le volume grossièrement sphérique défini par les orbites extérieures des électrons constitue le volume de l'atome, déterminant du même coup sa taille.

Le coeur de l'atome est constitué de deux sortes de particules, les **neutrons** et les **protons**, qui sont agglutinés en son centre, maintenus ensemble par des forces très puissantes, formant un noyau dont le rayon est environ 100.000 fois plus petit que celui de l'atome lui-même !



Les principaux organes de atomes : le proton montre des caractères masculins, le neutron est un célibataire endurci et le petit électron se comporte comme une dame.

Les constituant fondamentaux de l'atome sont donc :

- Le proton, particule comportant une charge électrique positive. Il pèse environ 1 gron. Il en faut 602'200 milliards de milliards pour faire un gramme! Cela correspond approximativement au poids d'un des frères Hydrogène.
- Le neutron, particule de poids pratiquement identique à celui du proton, mais sans charge électrique.
- L'électron, particule environ 1840 fois plus légère qu'un neutron ou qu'un proton, comportant une charge électrique négative. Au repos, un atome possède autant d'électrons que de protons.

Caractéristiques des constituants des atomes						
		masse	charge	état	rémission	produits de désintégration
Noyau central	Proton	1.016	+1	stable		
	Neutron	1.017	0	instable ¹	18 min.	proton+électron ²
Enveloppe	Electron	0.0006	-1	stable		

¹ lorsqu'il est isolé, hors d'un noyau.

² en réalité il y a aussi émission d'un **neutrino**, particule quasiment indétectable qui intéresse beaucoup les astrophysiciens, mais qui appartient au Monde étrange des particules.

Chaque famille d'atome est caractérisée par le nombre de protons et de neutrons qui forment son noyau. Toutefois, si le nombre de protons est impérativement fixe, celui des neutrons varie légèrement entre les différents isotopes d'une même famille. C'est grâce à la grande photo de famille qu'on peut connaître le nombre de protons, de neutrons et d'électrons qui caractérise chaque famille d'atomes. Les règles sont les suivantes :

- Le nombre de protons est égal au numéro d'ordre de la famille;
- Le poids atomique est égal à la somme des protons et des neutrons;

en conséquence :

- Le nombre de neutrons est égal au poids atomique moins le numéro d'ordre (ou numéro atomique);
- Le nombre d'électrons est égal¹ au nombre de protons (ou numéro d'ordre de la famille).

Ainsi, en pratiquant l'autopsie de M. Potassium, on trouve 19 protons et 20 neutrons agglutinés dans le noyau et 19 électrons constituant son enveloppe externe. Ces résultats sont consignés dans son passeport !

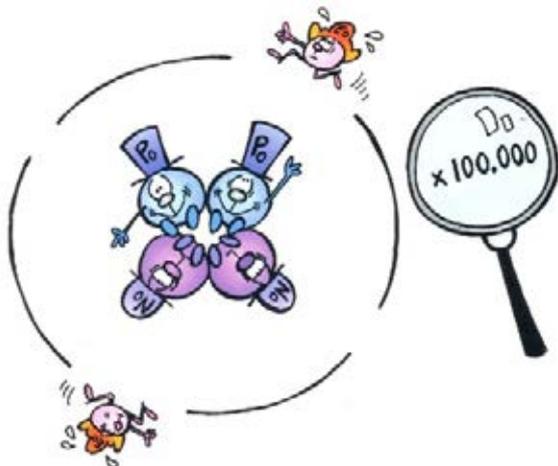


L'autopsie de Monsieur Potassium qui pèse 39 grons, révèle l'existence de 19 protons, 20 neutrons et 19 électrons.

¹ Attention ! Il s'agit du nombre d'électrons lorsque l'atome est au repos, non excité et avec tous ses bras dans sa poche, ce qui est rarement le cas. En fait, pour chaque bras actif, les messieurs perdent un électron. C'est le contraire chez les dames : pour chaque bras en activité elles gagnent un électron !

Les électrons déterminent le comportement social des atomes

Dans leur ronde vertigineuse, les électrons parcourent des orbites très diverses autour du noyau central. La force centrifuge qui tend à les éloigner du noyau est en équilibre avec la force d'attraction des protons qui les retiennent ainsi dans leur zone d'influence.



Structure de l'atome d'Hélium :

le noyau (gros 100'000 fois) est constitué de deux protons et deux neutrons. Deux électrons gravitent à grande vitesse sur des orbites éloignées du noyau.

Les emplacements de ces orbites ne sont pas quelconques mais dépendent de règles assez compliquées. Au fur et à mesure que le nombre d'électrons augmente, les derniers arrivés occupent des orbites de plus en plus éloignées du noyau. La limite extérieure de la zone d'activité des électrons peut être assimilée grossièrement à une sphère qui constitue, dans notre mode imaginaire, la taille des atomes.

On peut grouper les orbites par niveaux d'énergie successifs. On découvre alors que les atomes appliquent le nombre sacré huit¹ aux électrons qui sont répartis sur le niveau le plus extérieur: les atomes ne se sentent bien dans leur peau que lorsqu'il y a huit électrons sur l'orbite la plus extérieure. Ainsi, Monsieur Sodium, qui ne compte qu'un seul électron sur sa couche extérieure, cherche à expulser celui-ci.

Cette expulsion a pour conséquence de lui faire apparaître un bras et de le faire maigrir un peu! Son collègue Silicium se promène avec quatre bras, parce qu'il a dû expulser quatre électrons pour respecter le nombre sacré huit. Madame Chlore, qui possède normalement sept électrons sur sa couche externe, préfère capturer un électron supplémentaire pour satisfaire la règle de huit. Du même coup un bras lui apparaît. Les sœurs Oxygène, qui doivent capturer deux électrons pour compléter leur couche externe qui n'en comporte que six, se retrouvent du même coup avec deux bras.



Monsieur Sodium expulse un électron en sortant un bras de sa poche. C'est un **cation**.

Les atomes qui captent des électrons sont des dames. Les chimistes les appellent **anions**. Pour chaque électron capturé, elles gagnent un bras et prennent de l'embonpoint



¹ Messieurs Hydrogène et Hélium sont des cas particuliers : ils vénèr

Mesdames Chlore et Oxygène prennent un peu d'embonpoint¹ au passage ! Les atomes qui ont capturé des électrons supplémentaires possèdent un excès de charges négatives égal à leur nombre de bras. Les chimistes les appellent anions. Dans le Monde des Atomes ce sont les dames.

Ceux qui ont expulsé des électrons ont gagné un excès de charges positives égal à leur nombre de bras. Les chimistes les appellent cations. Dans le Monde des atomes, ce sont les messieurs.

On constate donc que ce sont les électrons qui déterminent l'apparence physique et le comportement social des atomes taille, nombre de bras, sexe, affinité plus ou moins grande pour le mariage.

Les électrons sont des "grains" d'électricité

Dans un fil électrique, les frères Cuivre sont tous maintenus par les Terriens dans l'état de célibat. Ils sont obligés de se tenir par la main, mais les électrons qu'ils ont dû expulser circulent librement entre eux. Les Terriens ont mis au point diverses pompes à électrons - pile, batterie, dynamo, alternateur - qui font circuler ces électrons libres : c'est l'électricité.

Le courant électrique n'est donc rien d'autre que le déplacement forcé d'électrons dans un conducteur métallique. S'ils se déplacent toujours dans la même direction, c'est un courant continu: s'ils ne font qu'aller et venir sous la pulsion d'un alternateur c'est le courant alternatif ! L'électron peut donc être considéré comme un "grain" unitaire d'électricité

Le noyau quant à lui, constitué des protons et des neutrons, est responsable du poids de l'atome. Il est en outre à l'origine de deux maladies génétiques qui affectent certaines familles d'atomes: la **décroissance radioactive** et la **fission nucléaire**. Nous les décrivons au chapitre suivant.



Les générateurs électriques sont des «pompes à électrons». Ils font circuler dans les conducteurs électriques des électrons libres d'atomes métalliques.

¹ La capture d'électrons fait grossir l'atome, la cession d'électrons le fait maigrir

Le nombre huit, les dames, les messieurs et les autres

Les atomes éprouvent une grande plénitude lorsque leur enveloppe extérieure comporte huit électrons. Un certain atavisme les pousse donc à vouloir réaliser ce remplissage extérieur sacralisé par le **nombre 8**.

Il y a donc une relation étroite entre la nécessité d'expulser ou de capturer des électrons pour réaliser ce fantasme et satisfaites les tendances affectives des atomes. On peut résumer cette relation par les règles suivantes :

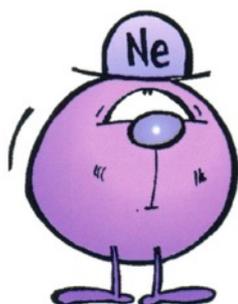
1. Les atomes qui expulsent des électrons sont des messieurs. Ils acquièrent autant de bras qu'ils ont expulsé d'électrons (les chimistes les appellent des cations).
2. Les atomes qui captent des électrons sont des dames. Elles possèdent autant de bras qu'elles ont capté d'électrons (les chimistes les appellent des anions).
3. Les atomes qui n'ont besoin ni de capturer ni d'expulser d'électrons pour satisfaire à la règle de huit sont les célibataires endurcis. Ce sont les gaz rares. Ils n'ont pas de bras.
4. Certains atomes, qui hésitent entre capturer ou expulser des électrons sont tantôt dames, tantôt messieurs, suivant la solution qu'ils ont adoptée pour satisfaire au nombre huit. Ce sont les androgynes.



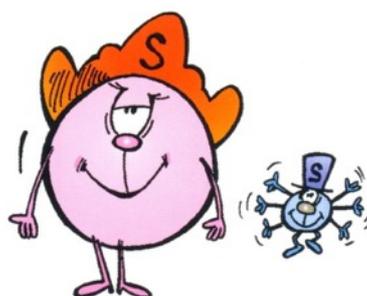
Monsieur Aluminium est un cation



Madame Oxygène est un anion.



Ni cation, ni anion, le frère Néon reste hors du monde



Parfois anion, parfois cation, Madame (ou Monsieur) Soufre est un androgyne.

La famille Soufre est dans ce dernier cas. Chaque individu au repos possède 6 électrons sur sa couche externe. Les membres de cette famille hésitent devant l'alternative suivante :

- soit ils capturent 2 électrons supplémentaires pour atteindre le nombre huit, ce qui les transforme en grosses dames à 2 bras;
- soit ils abandonnent 6 électrons, ce qui les transforme en petits messieurs à 6 bras.

Protons et neutrons

La masse des électrons ne dépasse jamais 0,05 % de la masse totale d'un atome. Cela signifie pratiquement que la quasi-totalité de la masse est renfermée dans les protons et les neutrons, eux-mêmes concentrés dans le noyau central de chaque individu. Ce noyau est environ 100.000 fois plus petit que l'atome lui-même.

C'est le nombre de protons qui caractérise une famille d'atomes. Ainsi les membres de la famille Carbone ont toujours 6 protons; ceux de la famille Cuivre 29 protons et ceux de la famille Uranium 92 protons. Ce nombre correspond au numéro de matricule ou numéro atomique.

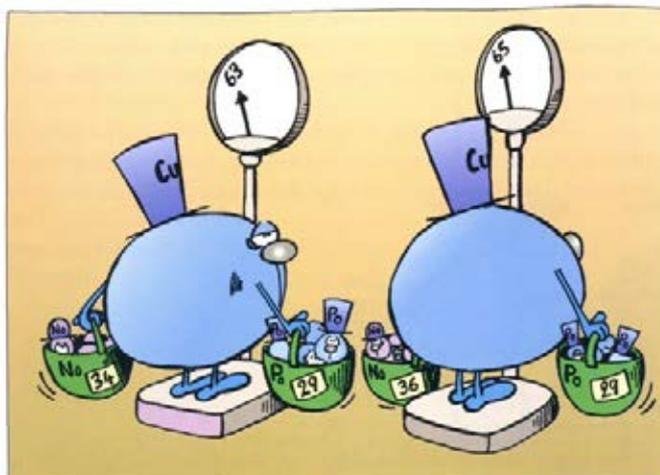
Les neutrons accompagnent toujours les protons. Seul le petit Hydrogène n'en possède pas. Toutes les autres familles renferment des neutrons en nombre à peu près égal ou légèrement supérieur à celui des protons, pour les familles les plus légères. Les atomes plus lourds renferment plus de neutrons que de protons dans une proportion qui peut aller jusqu'à une fois et demie le nombre des protons.

Dans certaines circonstances, un neutron¹ peut se transformer en proton après avoir éjecté un électron. Il ne s'agit pas d'un des électrons qui gravitent autour du noyau, mais bien d'un électron² qui appartenait à la structure même du neutron. Nous verrons plus loin la signification de ce genre de comportement.

Les isotopes

Dans certaines familles, le nombre de neutrons peut varier d'un individu à l'autre. Par exemple les membres de la famille Cuivre ont tous 29 protons, mais certains d'entre eux possèdent 34 neutrons et d'autres 36. Sur le plan chimique leurs propriétés sont absolument identiques. Ce qui diffère, c'est leur poids atomique. Certains atomes de Cuivre pèsent 63 grons, d'autres 65. Ce sont deux isotopes de la famille Cuivre. On les appelle ^{63}Cu et ^{65}Cu . Les isotopes les plus connus dans le public sont le carbone 14 (^{14}C) qui est utilisé pour dater certains objets préhistoriques, le cobalt 60 (^{60}Co) utilisé en médecine et l'uranium 235 (^{235}U) utilisé dans les centrales nucléaires conventionnelles. Nous y reviendrons plus loin.

Le cuivre qu'on trouve dans la nature est constitué de 69% de l'isotope ^{63}Cu et 31% de l'isotope ^{65}Cu . Le poids atomique du cuivre qui figure dans la grande photo est une moyenne pondérée des poids de ^{63}Cu et ^{65}Cu .



Certains membres de la famille Cuivre ne font pas le poids : ils manquent de neutrons.

¹ Il s'agit d'un neutron hors du noyau

² il y a aussi émission d'un neutrino, particule quasiment indétectable qui intéresse beaucoup les astrophysiciens.

C'est la raison pour laquelle le poids atomique figuré sur le passeport des membres de la famille Cuivre n'est pas un nombre entier. C'est un nombre fractionnaire: 63,54¹

Dans de nombreuses familles d'atomes on rencontre des isotopes. Mais pour la plupart d'entre elles, il y a un isotope fortement dominant, les autres étant plus rares, voire extrêmement rares.

Plus loin encore à l'intérieur du noyau

Si les anatomistes du Monde étrange des Atomes se contentent de décrire les électrons, les protons et les neutrons dans leur globalité, certains Terriens, animés d'une curiosité insatiable, cherchent à connaître la constitution intime de toutes ces particules. Avec des moyens très puissants, ils dissèquent les noyaux des atomes pour en connaître l'architecture. Un des laboratoires où s'effectuent ces expériences est le CERN - abréviation de Conseil Européen de Recherche Nucléaire - près de Genève.

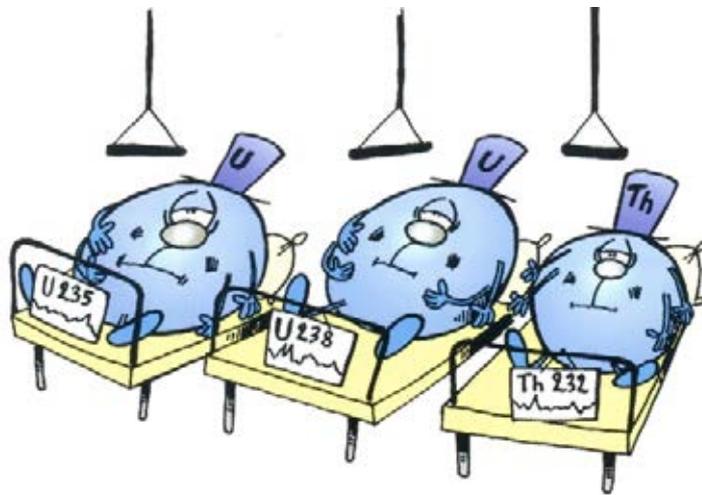
Mais ceci est une autre histoire qui pourrait voir le jour si, mieux inspirés encore que Gulliver, nous pouvions nous introduire dans Le Monde étrange des Particules !

¹ Poids moyen pondéré de ⁶³Cu : $62.9298 \times 69.09 \% = 43.4782$
Poids moyen pondéré de ⁶⁵Cu : $64.9278 \times 30.91 \% = 20.0691$
Poids atomique moyen du mélange naturel ⁶³Cu/⁶⁵Cu = 63.5473

La décroissance radioactive, une maladie génétique des atomes

Certaines familles d'atomes sont atteintes d'une maladie génétique qui affecte leur noyau (neutrons et protons) et que les physiciens appellent "décroissance radioactive".

Elle atteint particulièrement les familles Uranium, Thorium, ainsi que quelques autres familles de moindre importance. Certains isotopes rares de familles bien connues, sont aussi affectés par cette maladie. On les signalera plus loin, en raison de l'intérêt que suscite leur cas dans le monde des Terriens. Cette maladie évolue plus ou moins rapidement suivant les familles. Elle a été foudroyante pour les familles Technétium et Prométhéum qui ont été entièrement décimées et ont complètement disparu aujourd'hui de notre environnement. L'évolution est très lente, au contraire, pour les familles Uranium et Thorium.



La maladie affecte particulièrement les familles Uranium et Thorium

Le triste cas de la famille Uranium

Le cas de la famille Uranium est très typique, aussi allons nous l'étudier en détail : les membres de cette famille possèdent tous 92 protons. La plupart d'entre eux (99,3 %) possèdent 146 neutrons: c'est ^{238}U . Les autres (0.7 %) n'en possèdent que 143: c'est ^{235}U . Les deux isotopes sont atteints par la décroissance radioactive, mais la vitesse d'évolution de la maladie est différente pour chacun d'entre eux.

Vitesse d'évolution de la maladie

Il n'est pas possible de prévoir l'évolution de la maladie pour un atome particulier. Par contre, on peut suivre statistiquement le comportement d'une communauté d'atomes, la décroissance radioactive se produisant d'une manière aléatoire au sein de cette communauté. Au Pays étrange des Atomes, on appelle période de rémission le temps nécessaire à la disparition de la moitié des indi-

vidus d'une communauté (les physiciens parlent de demi-vie). On peut donc diagnostiquer que la maladie est responsable de la disparition :

- de la moitié de la communauté de ^{238}U chaque 4,5 milliards d'années,
- de la moitié de la communauté de ^{235}U chaque 710 millions d'années¹

L'évolution de l'épidémie est déjà en elle-même très curieuse: à chaque instant les membres de la communauté savent que la moitié d'entre eux vont être atteints au cours d'une période qui est de 4,5 milliards d'années pour les frères ^{238}U et de 710 millions d'années pour les frères ^{235}U .

Les symptômes

Prenons le cas de ^{238}U : tout commence par une subite convulsion interne suivie par des vomissements de divers produits issus du noyau. Dans ces produits, qui sont les constituants de la radioactivité, on peut trouver :

- **les particules "alpha"**[α], constituées chacune de deux protons et de deux neutrons²;
- **les particules "béta"**[β], qui sont des électrons (formés dans le noyau par la transformation d'un neutron en proton);
- **les rayons "gamma"**[γ], qui sont des rayons X très puissants.

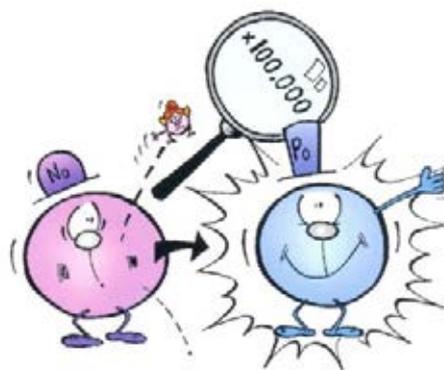
Ces émissions³ s'accompagnent de la transmutation du pauvre ^{238}U en un individu marginal d'une autre famille (un isotope rare et instable de cette famille) puis, de rechute en rechute, après avoir transité, entre deux crises, par diverses autres familles, il finit par se transmuter définitivement en un isotope stable de la famille Plomb: ^{206}Pb .



Une particule α est constituée de deux protons et de deux neutrons. C'est un noyau d'atome d'Hélium.



Une particule β est un électron...



...produit par la transmutation d'un neutron en proton. Il y a aussi émission d'un neutrino, particule encore très mystérieuse.

¹ On remarque que ^{235}U disparaît beaucoup plus vite que son parent ^{238}U . Aujourd'hui il n'y a que 0.7 % de ^{235}U dans l'Uranium naturel. Mais cette proportion était de 14 % lors de la formation du système solaire, il y a 4.6 milliards d'années.

² Il est intéressant de noter qu'une particule α est, en faits, un noyau d'un atome d'Hélium, He_4 .

³ L'émission de ces diverses particules et du rayonnement γ constitue la radioactivité. Les cellules vivantes sont très vulnérables à ces rayons qui peuvent leur occasionner diverses dégénérescences, en particulier le cancer.

Les rayons γ sont des ondes électromagnétiques de très courte longueur d'onde. Ce sont des rayons X extrêmement pénétrants.



Mécanisme de la maladie

L'expulsion d'une particule α (2 protons et 2 neutrons) fait perdre 4 unités de poids à l'atome malade et le fait rétrograder de deux numéros atomiques dans le Grand Fichier¹.

La perte d'une particule β (un électron produit par la transformation d'un neutron en un proton) ne cause aucune perte sensible de poids mais un des neutrons se transforme en un proton: l'atome malade change de matricule et progresse d'une place dans le Grand Fichier.

Cette perte de particules α et β s'accompagne d'une forte fièvre qui provoque le dégagement de chaleur et de rayons X très énergétiques: on les appelle les rayons γ .

Le premier symptôme qui atteint le pauvre ^{238}U est justement la perte d'une particule α . Il s'amaigrit de 4 unités et ne pèse plus que 234 grons. Comme il y a 2 protons dans la particule α , il rétrograde de 2 numéros dans le registre des matricules (ou numéro atomique). Il se transforme ainsi en un membre de la famille Thorium (matricule 90). Mais il ne s'agit pas d'un membre habituel de la famille Thorium, mais d'un isotope rare et instable, l'isotope ^{234}Th .

Très vite, ce pauvre ^{234}Th va perdre successivement 2 particules β , ce qui va le transmuter en Protactinium 234 (^{234}Pa) pour quelques heures, puis en ^{234}U (isotope extrêmement rare de la famille Uranium). Il transitera encore par une dizaine de familles d'atomes avant que la maladie ait terminé son évolution. Vous trouverez ci-contre le détail de cette évolution sur la feuille de maladie de ^{238}U .

C'est Marie Curie (née Sklodowska) qui avec son Mari Pierre Curie, a étudié les "radiations uraniques" émises par l'uranium. En étudiant ensuite les minerais d'Uranium elle a découvert le Polonium, puis le Radium, éléments dont le rayonnement était beaucoup plus intense que celui de l'Uranium. Ce sont eux qui ont inventé le terme "**radioactivité**" que nous décrivons ici sous le nom de décroissance radioactive.

C'est à ce titre que nous avons imaginé la "feuille maladie" qui va suivre !



Une forte fièvre et l'expulsion d'une particule α constituent les premiers symptômes de la maladie.

¹ ou tableau périodique

Feuille de maladie

Dr. Marie Sklodowska

Nom du patient : Uranium 238

symptômes : lourdeurs, fièvre, nausées

Symbole : ^{238}U diagnostic : décroissance radioactive
congénitale à longue période
d'incubation (4.5 milliards

Nb. protons : 92

Nb. neutrons : 146

Etat	N° atomique	Symbole	Poids	Rémission	Emission	Symptôme
Uranium 238	92	^{238}U	238		α	perd un noyau d'hélium
Thorium 234	90	^{234}Th	234	24 jours	β	expulse un électron
Protactinium 234	91	^{234}Pa	234	6 h.45	β	expulse un électron
Uranium 234	92	^{234}U	234	250'000 ans	α	perd un noyau d'hélium
Thorium 230	90	^{230}Th	230	80'000 ans	α	perd un noyau d'hélium
Radium 226	88	^{226}Ra	226	1'600 ans	α	perd un noyau d'hélium
Radon 222	86	^{222}Rn	222	4 jours	α	perd un noyau d'hélium
Polonium 218	84	^{218}Po	218	3 min.	α	perd un noyau d'hélium
Plomb 214	82	^{214}Pb	214	27 min.	β	expulse un électron
Bismuth 214	83	^{214}Bi	214	20 min.	β	expulse un électron
Polonium 214	84	^{214}Po	214	1 sec.	α	perd un noyau d'hélium
Plomb 210	82	^{210}Pb	210	21 ans	β	expulse un électron
Bismuth 210	83	^{210}Bi	210	5 jours	β	expulse un électron
Polonium 210	84	^{210}Po	210	138 jours	α	perd un noyau d'hélium
Plomb 206	82	^{206}Pb	206	totalement insensible à la maladie		

La phase finale aboutit à un atome de la famille Plomb: ^{206}Pb . Cet isotope est immunisé contre la maladie: il est stable et n'évoluera plus au cours du temps. En résumé: la maladie provoque chez Monsieur ^{238}U la perte successive de 8 particules α et 6 particules β , avec des périodes de rémission intermédiaires, pendant lesquelles il emprunte provisoirement l'identité d'autres éléments, avant d'aboutir à un état stable de Plomb 206 (^{206}Pb).

Les Terriens ont vainement essayé d'enrayer la maladie. Mais toutes les études qui ont été faites arrivent à la conclusion qu'il n'est possible ni de ralentir, ni d'accélérer cette évolution. D'une manière inéluctable, les deux isotopes naturels de la famille Uranium se transforment en divers isotopes de la famille Plomb selon le processus suivant :

^{238}U évolue vers le ^{206}Pb avec une période de rémission de 4,5 milliards d'années,
 ^{235}U évolue vers le ^{207}Pb avec une période de rémission de 710 millions d'années.

Une autre famille importante est atteinte par ce même genre de maladie: la famille Thorium.

^{232}Th évolue vers le ^{208}Pb avec une période de rémission de 14 milliards d'années.



Après une longue maladie, les membres des familles Uranium et Thorium ont été transmutés et adoptés par la famille Plomb.

D'autres familles aussi sont sujettes à la maladie

D'autres familles aujourd'hui disparues ont été victimes de cette maladie. Prenons les cas des familles Technétium et Prométhéum que nous avons déjà signalées précédemment. Elles existaient au moment de la formation du système solaire. Mais en ce qui les concerne, la maladie a été foudroyante, la période de rémission étant d'un million et demi d'années pour l'un, deux ans et demi pour l'autre.

- ^{98}Tc évolue vers ^{98}Ru avec une période de rémission de 1,5 million d'années.
- ^{147}Pm évolue vers ^{147}Sm avec une période de rémission de 2,5 ans.

Il y a le cas intéressant aussi de la famille Radium. Cette famille aurait dû disparaître depuis longtemps car son cas aussi est foudroyant :

- ^{226}Ra évolue vers le ^{206}Pb avec une période de rémission de 1'600 ans.

Mais on rencontre tout de même des représentants de cette famille, car elle constitue un stade intermédiaire de la maladie d' ^{238}U . L'apparition par transmutation de ^{238}U en membres de la famille Radium leur assure une présence éphémère dans le monde des Atomes : ceux qui disparaissent sont remplacés par ceux qui apparaissent !

D'autres cas existent encore, mais ce n'est pas utile de les décrire tous ici.

Deux familles prématurément disparues pour cause de décroissance radioactive foudroyante.



Les géologues s'intéressent de près à ce type de maladie

Les géologues terriens ont remarqué depuis longtemps que la température des roches augmentait lorsqu'on s'enfonçait dans les profondeurs de la Terre. Cette augmentation de température est en moyenne de 3 degrés tous les 100 mètres. Elle est plus rapide dans les régions volcaniques, et plus lente au sein des roches très anciennes. Cette augmentation de température est provoquée par l'arrivée à la surface du globe d'un flux de chaleur venant de la profondeur. Les études ont montré que la moitié de la chaleur qui arrive en surface est due à la fièvre qui accompagne la décroissance radioactive de Messieurs Uranium et Thorium, personnages omniprésents en faible



La fièvre intense provoquée par la maladie dégage de la chaleur: la radioactivité émise par un bloc de granite de 100 kg permet de préparer un litre de thé bouillant...

... à condition d'attendre 200'000 ans !

quantité dans les roches de composition granitique.

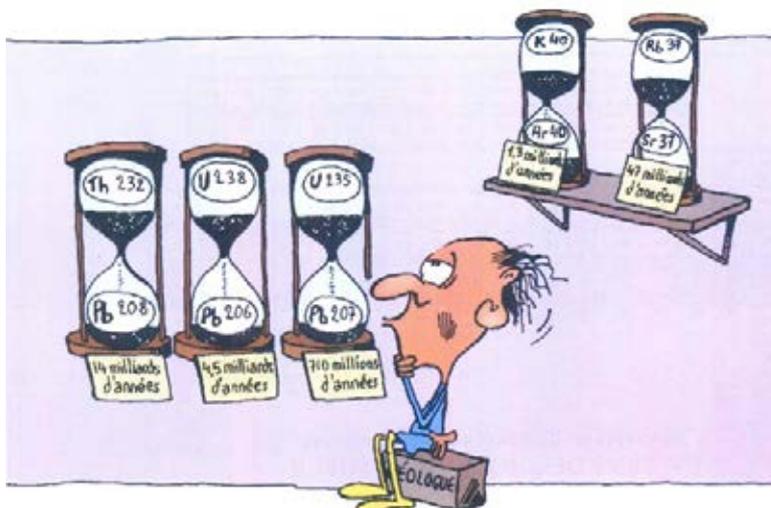
Ainsi, un cube de granite de 30 cm d'arête dégage suffisamment de chaleur pour produire 1 litre de thé bouillant... ...à condition, il est vrai, d'attendre 200'000 ans !

Cela paraît très long, mais les géologues ont l'habitude de compter en milliards d'années et en centaines de kilomètres cube ! Sous cette optique, si on envisage la chaleur dégagée par un kilomètre cube de granite, cela fait tout de même l'équivalent de 600 litres d'eau bouillante par jour ! Ce flux de chaleur est responsable des phénomènes volcaniques qui génèrent les roches éruptives: il entraîne la lente dérive des continents, provoque la formation des chaînes de montagnes et il est la cause indirecte des processus de métamorphisme.

La vitesse d'évolution de la maladie peut servir d'horloge

Les géologues ont imaginé d'utiliser la vitesse d'évolution de la maladie pour mesurer l'âge des minéraux et des roches. Ils ont fait le raisonnement suivant : ^{238}U , ^{235}U et ^{232}Th enfermés dans un minéral au moment de sa formation, se transforment respectivement en ^{206}Pb , ^{207}Pb et ^{208}Pb selon des lois bien connues. C'est comme si on avait inclus dans le minéral trois sabliers dont les bulbes supérieurs sont remplis d' ^{238}U pour l'un, d' ^{235}U pour le deuxième et de ^{232}Th pour le dernier. Lentement, mais avec des vitesses différentes, ces atomes s'écoulent vers le bas de chacun des sabliers où ils s'accumulent sous forme de ^{206}Pb pour le premier, de ^{207}Pb pour le deuxième et de ^{208}Pb pour le dernier.

On connaît les lois d'écoulement pour chaque sablier, c'est à dire la vitesse de transformation des atomes.



La vitesse immuable de l'évolution de la maladie peut servir d'horloge.

Il est donc possible de trouver l'âge de formation du minéral pour peu qu'on sache mesurer les quantités relatives de ces divers isotopes dans le minéral. La chimie ne peut distinguer entre eux les divers isotopes d'un même élément. Aussi doit-on recourir à un procédé physique: la **spectrométrie de masse**.



Le spectrographe de masse permet de séparer les uns des autres les isotopes d'une même famille.

A l'intérieur du spectromètre de masse, les atomes sont accélérés puis déviés de leur trajectoire par un aimant puissant. L'angle de déviation dépend de la masse de chaque isotope. Un système de comptage permet d'établir les quantités relatives de chacun d'entre eux

Malheureusement l'Uranium et le Thorium ne sont pas des éléments toujours présents dans les minéraux et les roches en quantité suffisante. Aussi les géologues se sont-ils intéressés à certains membres marginaux de familles connues (certains de leurs isotopes peu abondants), comme Messieurs Potassium 40, (^{40}K), Rubidium 87 (^{87}Rb) ou Carbone 14, (^{14}C), qui

sont sujets à la même dégénérescence selon les schémas suivants :

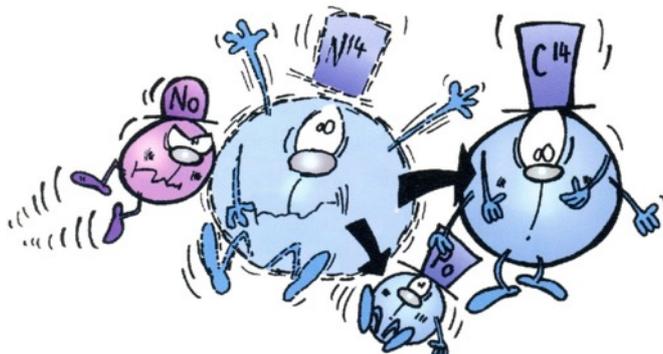
- ^{40}K évolue vers ^{40}Ca ou ^{40}Ar (Argon) avec une rémission de 1,3 milliard d'années,
- ^{87}Rb évolue vers ^{87}Sr (Strontium) avec une rémission de 47 milliards d'années,
- ^{14}C évolue vers ^{14}N (Azote) avec une rémission de 5'600 années.

Ces éléments existent dans la plupart des roches. Des méthodes de mesure d'âge analogues à celles décrites plus haut ont été mises au point pour ces divers isotopes.

Le cas du père Carbone 14

Tout le monde a entendu parler du père Carbone 14 (^{14}C). A vrai dire, c'est un requérant d'asile dans la famille Carbone. Au lieu d'être constitué de 6 protons et de 6 neutrons comme tous les membres de la famille ^{12}C , il comporte 2 neutrons supplémentaires qui portent son poids à 14 grons au lieu des 12 habituels. Il apparaît dans la haute atmosphère, région où les rayons cosmiques¹ sont abondants. Ceux-ci sont générateurs de neutrons et, de temps à autre, un de ceux-ci vient frapper le noyau d'un des frères Azote, expulse un proton et prend sa place. Du coup le pauvre Azote se transmute, sans changer de poids, en un atome de Carbone (l'isotope ^{14}C). Mais c'est un pauvre ^{14}C malade, atteint par la décroissance radioactive avec une période de rémission (demi-vie) de 5'600 ans. Dans la haute atmosphère où il a été créé, il épouse immédiatement deux sœurs Oxygène pour former la molécule CO_2 .

Démographiquement, dans l'atmosphère, le nombre des frères ^{14}C qui disparaissent, emportés par la maladie, est compensé par les nouveaux venus issus de la transmutation des frères Azote. La proportion de ^{14}C dans l'atmosphère demeure donc constante.



Le Carbone 14 provient de la transmutation d'un atome d'Azote qui a absorbé par mégarde un neutron errant provenant de l'espace intersidéral.

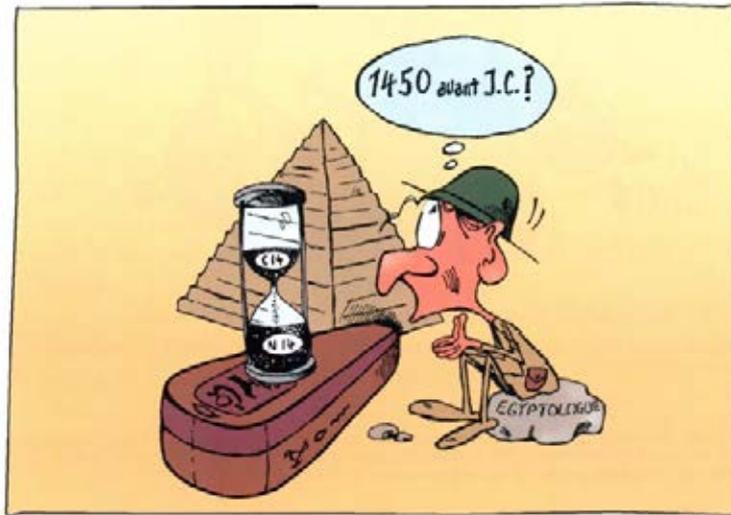


Les végétaux absorbent du CO_2 durant toute leur vie, et la même proportion de $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ qui existe dans l'atmosphère se retrouve aussi dans le bois. Mais après l'abattage d'un arbre, l'échange de CO_2 avec l'air ambiant est interrompu. Le système se referme et, à l'intérieur du bois mort, les frères ^{14}C disparaissent petit à petit sans être remplacés par d'autres. Ainsi, un morceau de bois provenant de la tombe d'un Pharaon renferme beaucoup moins de ^{14}C qu'un bois fraîchement abattu.

Il épouse deux sœurs Oxygène et prend le patronyme de gaz carbonique. Ce trio peut être alors absorbé par les plantes.

¹ Ce sont des débris de noyaux d'atomes, principalement des protons, qui nous arrivent de l'espace intersidéral. 700.000 de ces projectiles traversent le corps humain chaque seconde. L'interaction de ces protons avec les atomes de l'atmosphère produit 2 à 3 neutrons par seconde et par cm^2 .

Comme la demi-vie de l'isotope 14 du carbone est de 5'600 ans, ce type d'horloge est particulièrement bien adapté pour les archéologues et leur permet de mesurer des âges compris entre quelques siècles et 20'000 ans environ.



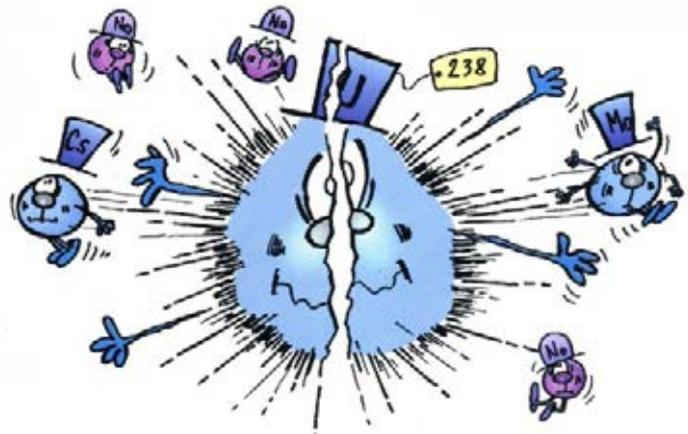
Le Carbone 14 rend de grands services aux archéologues.

Une autre maladie génétique : la fission spontanée des atomes

La fission spontanée des atomes

Les familles Uranium et Thorium souffrent aussi d'une autre maladie génétique, heureusement beaucoup plus rare que la décroissance radioactive: la fission spontanée des atomes. Cette maladie se manifeste par la rupture brutale du noyau de l'atome atteint, accompagnée d'une fièvre colossale. Les deux fragments produits sont projetés avec une extrême violence, loin l'un de l'autre, constituant comme stade final deux atomes plus petits.

Heureusement pour ceux qui sont sujets à cette affection, la période de rémission est très longue, largement supérieure à des millions de milliards d'années. Cela signifie pour eux, que la probabilité de disparaître par décroissance radioactive, la maladie la plus courante, est au moins un million de fois plus grande que celle d'être atteints par la fission spontanée.



L'Uranium 238 peut aussi être victime de la fission spontanée, une maladie heureusement beaucoup plus rare que la décroissance radioactive.

La fission induite des atomes (ou FIDA)



Le virus est un neutron.

On ne parlerait même pas de cette fission, si les Terriens ne s'étaient aperçus que cette maladie provoquait une grosse fièvre, dégageait une quantité colossale d'énergie et, surtout, qu'ils pouvaient à leur gré accélérer son évolution d'une manière vertigineuse. C'est ainsi que les Terriens ont réussi à inoculer cette terrible maladie à quelques familles d'atomes, principalement aux divers membres de la famille Uranium.

Le virus est un neutron. L'isotope ^{235}U peut absorber un tel neutron si celui-ci ne se déplace pas trop vite (on parle de neutron lent ou de neutron thermique).

Mécanisme de la maladie



Alourdie d'un neutron, la victime devient très instable...

Après qu'on lui ait inoculé un neutron, le pauvre ^{235}U s'alourdit d'un gron, se transformant en ^{236}U , un gros lourdaud de la famille Uranium qui n'arrive plus à maintenir toutes ensemble les particules de son noyau. Comme une goutte d'eau qui devient trop grosse et se divise en deux gouttelettes plus petites, le pauvre ^{236}U éclate et se fragmente en deux atomes plus petits, expulsant en même temps deux ou trois neutrons rapides.



...puis se partage en deux atomes plus petits, libérant du même coup quelques neutrons. Cet accès brutal dégage beaucoup d'énergie

Un amaigrissement incompréhensible

Si l'on pèse les deux atomes nouveaux plus les deux ou trois neutrons produits, on a la surprise de constater qu'on n'arrive pas tout à fait aux 236 grons que pesait notre patient ^{236}U , juste avant sa crise. Il y a donc eu disparition d'un petit peu de matière au cours de cette fission. Et nous savons, grâce à Einstein, que cette matière s'est transformée en énergie selon la relation fameuse:

$$E = m \times c^2$$

Ce qui signifie en clair : l'Énergie [E] est égale à la masse disparue [m] multipliée par le carré de la vitesse de la lumière [c²]

Cette maladie produit environ 200 millions de fois plus d'énergie par atome éclaté que celle que peut produire une molécule dans la réaction chimique la plus violente! Voilà donc un procédé bien séduisant pour se procurer de grandes quantités d'énergie !



La maladie s'accompagne d'une légère disparition de masse.

Mais que deviennent les neutrons ?

En inoculant un neutron dans le noyau du pauvre ^{235}U , on a provoqué sa fission, libéré de l'énergie et il reste en surplus 2 ou 3 neutrons errants¹. Que vont-ils devenir? Ils sont expulsés dans la matière à grande vitesse. Comme ils sont neutres, ils ne sont pas influencés pas les orbites électroniques des atomes qu'ils pourraient rencontrer et, pour provoquer une nouvelle fission, ils doivent impérativement frapper de plein fouet un noyau d' ^{235}U . Mais la cible est très petite et la probabilité de rencontrer un noyau d'Uranium pour le briser en deux demeure extrêmement faible. Par ailleurs, les neutrons sont eux-mêmes atteints de décroissance radioactive foudroyante qui les transforme très rapidement en un proton plus un électron².

On peut tout de même influencer la chance !

Les Terriens sont astucieux et savent modifier cette probabilité de fission de ^{235}U par un neutron en combinant deux actions :

1. En augmentant la concentration des atomes d' ^{235}U .

Dans l'uranium naturel extrait des mines, il n'y a que 0.7% d' ^{235}U contre 99.3 % d' ^{238}U . On procède alors à l'enrichissement en ^{235}U dans de coûteuses usines, ce qui augmente le nombre de cibles par unité de volume. Pour les usages courants, on l'enrichit généralement aux alentours de 3%. On peut augmenter cet enrichissement autant qu'on le désire. Mais on ne le fait effectivement qu'à la demande des militaires, qui en ont besoin pour des usages bien particuliers.

¹ appelés neutrons prompts par les physiciens

² il faut encore mentionner l'émission d'un neutrino, cette particule quasi indétectable qui emporte une partie de l'énergie dégagée.

2. En ralentissant les neutrons

Les neutrons produits dans une réaction de fission sont trop rapides pour espérer pouvoir accrocher au passage un autre ^{235}U . Aussi va-t-on, à l'aide d'un modérateur, les ralentir pour les rendre plus "virulents". On place sur leur passage des atomes légers, Messieurs Hydrogène, Béryllium ou Carbone, par exemple. Les chocs successifs avec ces atomes légers vont augmenter la vitesse de ces derniers et ralentir les neutrons.

En combinant ces deux conditions, on augmente l'efficacité des neutrons errants. Il devient alors possible de réaliser et d'entretenir une réaction en chaîne et, si on sait la contrôler, on peut du même coup construire une centrale nucléaire!

Comment fonctionne une centrale nucléaire

Les centrales nucléaires peuvent différer les unes des autres par les caractéristiques du combustible, par la nature du milieu ralentisseur de neutrons, et par le système d'échangeur de chaleur entre le réacteur et la turbine. Mais le principe du fonctionnement est toujours à peu près le même.

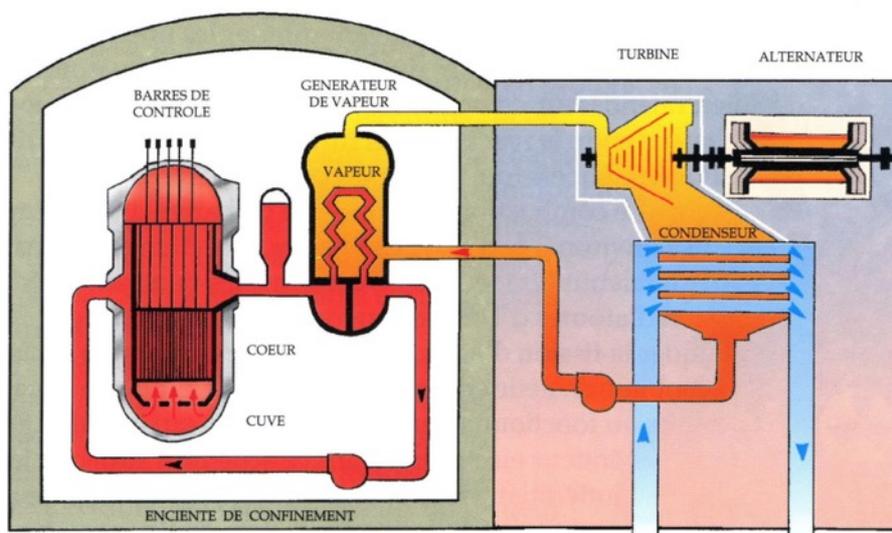


Schéma simplifié d'une centrale nucléaire.

Le combustible est constitué de barres d'uranium enrichi à environ 3 % d' ^{235}U . Ces barres sont plongées dans de l'eau qui ralentit (grâce à M. Hydrogène) les neutrons émis par la fission d'atomes d' ^{235}U , leur permettant à leur tour de provoquer la fission d'autres atomes. Ces réactions de fission dégagent une chaleur énorme qui permet de produire la vapeur nécessaire au fonctionnement d'une turbine, qui entraîne à son tour un générateur électrique. Dans ce schéma, l'eau joue le rôle double de modérateur de neutrons et de liquide caloporteur qui permet le transfert de l'énergie vers la turbine.

Pour arrêter la réaction, on laisse tomber dans le réacteur des barres de bore ou de cadmium qui ont la propriété d'absorber les neutrons et, par conséquent, d'interrompre la réaction.

Mais où sont donc les déchets nucléaires ?

Si nous reprenons le cours de la maladie du pauvre ^{235}U , nous avons vu qu'après avoir absorbé un neutron et s'être transformé en ^{236}U , il se scindait en deux autres atomes plus légers. Quels sont donc ces atomes ? Les expériences montrent que chaque atome de ^{236}U peut se scinder de manière différente en donnant des paires de fragments de fission dont les poids atomiques sont compris généralement entre 72 et 166. Ces résidus sont composés d'une bonne trentaine d'éléments bien connus des services de l'Etat-civil du monde des atomes, mais qui ont tous la désagréable propriété de comporter une trop forte proportion de neutrons par rapport au nombre habituel que comporte leur famille. Ce sont donc des isotopes lourds de familles d'atomes bien connus. Ils n'existent généralement pas dans la nature et sont des isotopes issus de la fission induite des atomes (FIDA). Ils sont tous instables et atteints de décroissance radioactive¹.

Ce sont eux qui constituent les déchets nucléaires indésirables ! Les neutrons excédentaires vont, plus ou moins rapidement, se transformer en protons en expulsant des particules β (des électrons) et en dégageant un fort rayonnement γ et de la chaleur.

Certains produits de fission atteindront leur état stable en quelques minutes, quelques heures ou quelques jours. Ils sont hautement radioactifs mais l'évolution de leur maladie est très rapide. D'autres mettront des années ou des millénaires pour voir enfin leur activité diminuer de manière sensible. Ils sont peu radioactifs, mais ils le demeureront encore longtemps !

Par ailleurs cette décroissance radioactive dont, je vous le rappelle, on ne peut pas modifier la vitesse d'évolution, dégage beaucoup de chaleur qu'il faut évacuer de la centrale pendant longtemps encore après l'arrêt de la réaction de fission. C'est la raison pour laquelle on stocke le combustible usagé plusieurs mois, voire même plusieurs années dans une piscine avant de le retraiter.



Les déchets nucléaires sont non seulement radioactifs, mais ils dégagent aussi passablement de chaleur.

Et si la réaction s'emballait ?

Les neutrons se déplacent à grande vitesse et, par le fait qu'ils n'ont aucune charge électrique, ils passent à travers les nuages électroniques des atomes sans les perturber. Il faut vraiment qu'ils heurtent le noyau d'un atome d'Uranium pour s'y incorporer. Or les noyaux étant des millions de

¹ Certains produits de fission sont aussi producteurs de neutrons différés (ou retardés), tel $^{87}\text{Kr} \rightarrow ^{86}\text{Kr} + n^0$. Ces neutrons, bien que peu nombreux, jouent un rôle très important dans le contrôle de la réaction en chaîne.

fois plus petits que les atomes eux-mêmes, les neutrons peuvent traverser une certaine masse d'Uranium sans rencontrer un noyau et fuir hors de la matière. Pour augmenter la probabilité de collision, il faut augmenter la concentration de l'uranium naturel en ^{235}U ou ralentir les neutrons, ou encore combiner ces deux actions.

Ainsi donc, si on réussit à rassembler une masse suffisamment importante de ^{235}U débarrassé de son cousin ^{238}U (enrichissement à 100 %), on peut provoquer une réaction en chaîne. Cela signifie que, dès qu'il y a fission spontanée d'un seul atome, les neutrons produits vont à leur tour provoquer la fission d'autres atomes voisins, qui libèrent à leur tour de nouveaux neutrons qui vont provoquer d'autres fissions. Le nombre des événements de fission se multiplie alors avec une vitesse prodigieuse, dégageant une énergie colossale dans un laps de temps très court : c'est une explosion nucléaire ! Heureusement pour nous, ces conditions ne sont jamais remplies dans les centrales nucléaires et toute explosion nucléaire y est impossible !

La masse nécessaire pour qu'il y ait réaction en chaîne s'appelle la masse critique. Cette masse est de l'ordre d'une vingtaine de kg pour l' ^{235}U . Nous avons donc en main tous les éléments pour construire une bombe atomique :

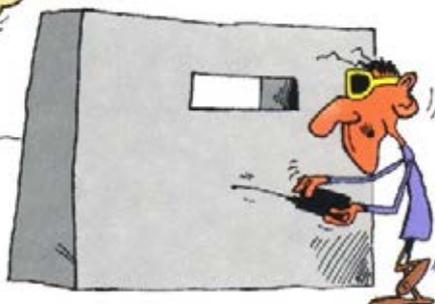
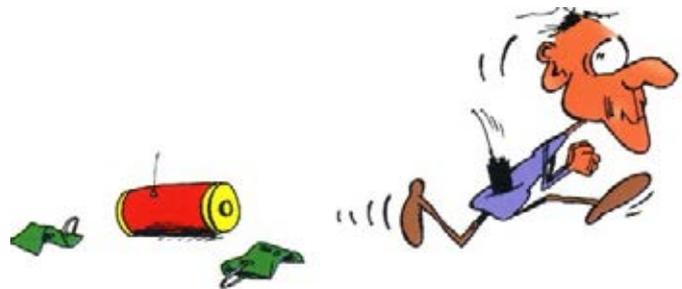
Recette pour construire une bombe atomique

1. Procurez-vous de l' ^{235}U en quantité légèrement supérieure à la masse critique, tout en prenant la précaution de maintenir cet uranium en deux paquets séparés.



2. Disposez les deux moitiés de la masse d' ^{235}U aux deux extrémités intérieures d'un solide tube court et prévoyez un système télécommandé qui rapproche brutalement les deux moitiés d' ^{235}U l'une contre l'autre, au moyen d'une charge explosive, par exemple.

3. Eloignez-vous à une distance raisonnable.



4. Actionnez !

Fort heureusement ce n'est pas si facile

Cette recette est toute théorique et je vous déconseille de l'essayer car, en pratique, les choses sont (heureusement) beaucoup plus complexes. Tout d'abord le point [1] de la recette est difficile à réaliser car la production de matière fissile en quantité suffisante implique une technologie sophistiquée, des usines immenses, et une énorme quantité d'énergie. Personne ne peut donc produire discrètement de l' ^{235}U fortement enrichi. Le point [3] est également très difficile à réaliser car, si on ne rapproche pas suffisamment rapidement les deux demi-portions d' ^{235}U , la réaction en chaîne ne peut pas se produire. En effet, la fission commence déjà au cours du rapprochement des deux moitiés d' ^{235}U , et la chaleur dégagée est si grande qu'elle fond puis volatilise le combustible avant même que la masse critique ait pu être réunie.

En guise de conclusion

Au cours de leurs expériences sur la fission induite des atomes, les Terriens ont réussi à créer des familles qui n'existaient pas auparavant. La plus connue est celle du Plutonium (^{242}Pu) qui porte le numéro 94 et qui peut également être utilisée à la fabrication des bombes atomiques. On trouve encore une dizaine d'autres familles dont vous pouvez trouver les noms sur la grande photo de famille (le tableau périodique), au-delà de l'emplacement de l'Uranium. Mais tous sont atteints par cette maladie qu'est la décroissance radioactive, avec des périodes de rémission plutôt courtes, ce qui ne leur laisse pas une grande espérance de vie.

Toutes les manipulations dont nous avons parlé plus haut ont provoqué l'apparition, pas toujours désirable, d'un grand nombre d'isotopes instables de familles d'atomes bien connues. Nous les avons déjà signalés à propos des déchets nucléaires.

Bien que ces isotopes soient devenus encombrants et qu'il faille aujourd'hui trouver des solutions pour leur stockage, il faut tout de même signaler que certains d'entre eux rendent de grands services à l'homme dans diverses applications. Ainsi les rayons γ émis par ces isotopes sont en réalité des rayons X extrêmement pénétrants. Ils permettent de radiographier des pièces métalliques et vérifier qu'elles ne renferment pas de défauts. Ce sont eux aussi qui sont utilisés pour l'irradiation de tumeurs cancéreuses. Dans un autre domaine médical encore, on peut vérifier l'assimilation de l'iode par un malade en lui injectant une petite quantité d'iode radioactif et en suivant, avec un détecteur, le cheminement de cet élément à l'intérieur de son organisme.

Ainsi, l'exploration du Monde étrange des atomes par les humains a permis le développement de la chimie, science sans laquelle aujourd'hui nous ne pourrions plus vivre tant ses applications sont devenues omniprésentes dans tout notre environnement. De même, la physique nucléaire, et l'astrophysique nous font comprendre toujours mieux les lois profondes qui régissent le monde des atomes et dont, finalement, dépend tout notre Univers.

Petit glossaire

<i>Agitation sociale</i>	<i>Etat d'agitation des atomes qui dépend de la température.</i>
<i>Alpha [α]</i>	<i>Nom d'une particule positive pesant 4 grons, éjectée par certains atomes radioactifs et constituée de 2 protons et 2 neutrons: c'est en réalité le noyau d'un atome d'hélium.</i>
<i>Amaigrissement</i>	<i>Perte de poids résultant de la disparition de matière lors des réactions de fission. L'énergie produite est colossale.</i>
<i>Androgyne</i>	<i>Nom attribué à certains atomes qui, selon les circonstances, peuvent être soit des dames, soit des messieurs (anions ou cations).</i>
<i>Angstrœm</i>	<i>Unité de longueur égale à un dix-millionième de millimètre.</i>
<i>Avogadro</i>	<i>(Amedeo), célèbre chimiste italien (1776-1856) qui eut l'idée de comparer entre eux des nombres identiques d'atomes ou de molécules.</i>
<i>Avogadro (nombre d')</i>	<i>C'est le nombre d'atomes renfermés dans un gramme d'hydrogène. Ce nombre est égal à 602'588 milliards de milliards (soit 6.02×10^{23}).</i>
<i>Anion</i>	<i>C'est un ion négatif, c'est-à-dire un atome qui a acquis un ou plusieurs électrons. Dans le Monde étrange, c'est une Dame.</i>
<i>Bêta [β]</i>	<i>Nom d'une particule négative éjectée par un atome radioactif; c'est un électron issu du coeur d'un neutron qui se transforme en proton. Son poids est environ 0.0005 grons.</i>
<i>Bras</i>	<i>Appendice permettant a un atome de se lier avec d'autres. Le nombre de bras est une caractéristique chaque famille et de la classe sociale à laquelle elle appartient. Dans le langage des chimistes, les bras sont analogues à la valence ionique de l'atome.</i>
<i>Bigamie</i>	<i>Etat matrimonial qui unit un monsieur à deux dames.</i>
<i>Cation</i>	<i>C'est un ion positif, c'est à dire un atome qui a perdu un ou plusieurs électrons. Dans le Monde étrange, c'est un Monsieur.</i>
<i>Chimie</i>	<i>C'est l'étude par les Terriens des us et coutumes des habitants du Pays des Atomes.</i>
<i>Célibataire</i>	<i>Etat civil des atomes qui ne possèdent pas de bras : ce sont les gaz rares.</i>
<i>Chimie appliquée</i>	<i>Mise sous tutelle du Monde des atomes par les Terriens qui rendent les mariages et les divorces obligatoires selon leur bon plaisir et leur confort.</i>
<i>Clan</i>	<i>Rassemblement immense d'atomes ou de molécules identiques.</i>
<i>Classe sociale</i>	<i>Catégorie d'individus qui ont tous le même nombre de bras et montrent des comportements semblables. Dans la grande photo de famille (tableau périodique) chaque classe sociale occupe une des colonnes verticales.</i>
<i>Communauté</i>	<i>Etat matrimonial qui réunit plusieurs messieurs et plusieurs dames.</i>
<i>Cristallin</i>	<i>Qualifie un état solide dans lequel tous les atomes sont disposés selon des lois géométriques précises.</i>
<i>Cruciverbiste</i>	<i>Amateur de mots-croisés.</i>
<i>Dame</i>	<i>Atome de sexe féminin, connu aussi sous le nom d'anion.</i>
<i>Déchets radioactifs</i>	<i>Éléments instables issus de la fission de l'uranium. Ce sont tous des isotopes atteints par la décroissance radioactive et qui vont émettre des particules ionisantes dangereuses tout au long de leur maladie.</i>
<i>Décroissance</i>	<i>Diminution régulière d'une communauté d'atomes radioactifs qui s'effectue avec une vitesse propre à chaque famille concernée.</i>

<i>Demi-vie</i>	<i>Laps de temps nécessaire à la disparition de la moitié d'une communauté d'atomes atteints de décroissance radioactive. Dans le Monde étrange, on l'appelle rémission ou période de rémission.</i>
<i>Divorce</i>	<i>Rupture d'une molécule dont les divers partenaires s'allient généralement à d'autres atomes issus d'autres molécules, elles aussi en instance de divorce.</i>
<i>Einstein (Albert)</i>	<i>(1879-1955), physicien d'origine allemande, naturalisé suisse, puis américain, prix Nobel en 1921. Décrit les lois de la relativité qui relie la matière à l'énergie selon la formule $E = m \times c^2$.</i>
<i>Endothermique</i>	<i>Qui absorbe de la chaleur.</i>
<i>Electron</i>	<i>Particule élémentaire environ 2000 fois plus légère qu'un proton ou un neutron et porteuse d'une charge négative. C'est un "grain" d'électricité.</i>
<i>Etat</i>	<i>Aspect extérieur d'un clan d'atomes ou de molécules. Peut être solide, liquide ou gazeux.</i>
<i>Exothermique</i>	<i>Qui dégage de la chaleur.</i>
<i>FIDA</i>	<i>Abréviation de "Fission induite des atomes", maladie génétique contagieuse apparue récemment dans le Monde étrange des Atomes, et provoquée par les Terriens.</i>
<i>Fission</i>	<i>Événement au cours duquel un atome lourd se scinde en deux atomes plus petits.</i>
<i>Fission induite</i>	<i>Fission provoquée par les Terriens en inoculant des neutrons dans le noyau de certains atomes.</i>
<i>Fission spontanée</i>	<i>Maladie génétique extrêmement rare qui peut affecter naturellement certains atomes lourds (Uranium et Thorium).</i>
<i>Gamma (γ)</i>	<i>Nom d'un rayonnement X très énergétique émis par un atome atteint de décroissance radioactive.</i>
<i>Gaz rare</i>	<i>Atome ayant 8 électrons sur sa couche périphérique et qui, de ce fait, n'acquiert ni ne perd d'électron. Dans le Monde étrange des Atomes il ne possède pas de bras. C'est un célibataire endurci.</i>
<i>Gron</i>	<i>Unité de poids imaginaire en usage dans le Monde étrange des atomes. C'est le poids d'un atome d'hydrogène.</i>
<i>Ion</i>	<i>C'est un atome excité qui agite les bras. Il a perdu ou acquis un ou plusieurs électrons. Il est porteur d'un nombre égal de charges électriques. Connue aussi des cruciverbistes sous l'appellation de "porteur de charges".</i>
<i>Isotope</i>	<i>Membre d'une famille d'atomes "ne faisant pas le poids" et qui se distingue de ses congénères par un nombre différent de neutrons.</i>
<i>Masse critique</i>	<i>Masse minimum d'une matière fissile, juste nécessaire pour entraîner spontanément une réaction en chaîne (explosion nucléaire).</i>
<i>Matricule</i>	<i>Numéro attribué à chaque famille d'atomes; voir: "Numéro atomique".</i>
<i>Mariage</i>	<i>Forme d'union entre atomes.</i>
<i>Mendeleiev</i>	<i>(Dmitri Ivanovitch, 1834-1907), chimiste russe, auteur de la classification périodique des éléments.</i>
<i>Métal</i>	<i>Nom donné par les chimistes aux messieurs du Monde étrange.</i>
<i>Métalloïde</i>	<i>Nom donné par les chimistes aux dames et aux androgynes.</i>
<i>Minéral</i>	<i>Clan d'atomes ou de molécules à l'état cristallin (voir sous "cristallin").</i>
<i>Monsieur</i>	<i>Atome de sexe masculin, connu aussi sous le nom de cation.</i>
<i>Neutrino</i>	<i>Particule quasiment indétectable produit lors de la disparition d'un neutron.</i>
<i>Neutron</i>	<i>Particule élémentaire neutre pesant un gron. Isolé, le neutron est instable et se transforme rapidement en un proton après avoir expulsé un électron et un neutrino.</i>

<i>Noyau</i>	<i>Coeur de l'atome, constitué de protons et de neutrons.</i>
<i>Nucléaire</i>	<i>Qui concerne le noyau d'un atome.</i>
<i>Numéro atomique</i>	<i>Numéro de matricule attribué à chaque famille d'atomes et correspondant à la place qu'elle occupe dans la grande photo de famille (tableau périodique). Il correspond au nombre de protons contenus dans le noyau.</i>
<i>Particule</i>	<i>Nom général donné aux différents composants des atomes.</i>
<i>Photo de famille</i>	<i>C'est la grande photo sur laquelle toutes les familles d'atomes sont disposées d'une manière qui fait apparaître à périodes régulières les familles appartenant à la même classe sociale.</i>
<i>Physique nucléaire</i>	<i>Science qui s'occupe de l'anatomie des atomes, plus particulièrement de la composition et du comportement de leurs noyau.</i>
<i>Poids atomique</i>	<i>Poids, exprimé en grammes, de 602'488 milliards de milliards d'atomes. Dans notre monde étrange on exprime ce poids en grons.</i>
<i>Poids moléculaire</i>	<i>Poids, exprimé en grammes, de 602.488 milliards de milliards de molécules identiques. Dans notre Monde étrange, on l'exprime en grons.</i>
<i>Polyandrie</i>	<i>Etat matrimonial qui unit une dame à plusieurs messieurs.</i>
<i>Polygamie</i>	<i>Etat matrimonial qui unit un monsieur à plusieurs dames.</i>
<i>Proton</i>	<i>Particule portant une charge positive et pesant un gron.</i>
<i>Radioactivité</i>	<i>Etat instable excité, caractérisant les noyaux de certaines familles d'atomes qui, par expulsion successives de particules ionisantes (α, β, γ), se transmutent en d'autres atomes stables.</i>
<i>Réaction chimique</i>	<i>Double divorce avec échange de partenaires entre molécules différentes.</i>
<i>Rayon atomique</i>	<i>C'est le rayon d'un atome exprimé en Angstrœm [Å]. En réalité ce rayon peut varier suivant l'état d'excitation de l'atome. Dans le Monde étrange on a indiqué le rayon le plus fréquent.</i>
<i>Rémission</i>	<i>C'est le laps de temps qui reste à vivre à la moitié d'une communauté d'atomes atteints par la décroissance radioactive. Les physiciens parlent de demi-vie.</i>
<i>Symbole</i>	<i>Sigle de une ou deux lettres désignant une famille d'atomes.</i>
<i>Tableau périodique</i>	<i>Façon de disposer tous les éléments chimiques sur un tableau de manière à faire apparaître périodiquement les éléments qui ont un comportement semblable (cf. photo de famille).</i>
<i>Transmutation</i>	<i>Transformation d'un atome en un autre atome par modification du nombre de protons dans son noyau.</i>

Table des matières

3 Les premiers contacts

Voyage dans l'infiniment petit - Les noms des atomes - Symboles chimiques - Numéros d'ordre - Poids des atomes - Certains atomes ne font pas le poids - Taille des atomes - Nombre de bras - Les dames et les messieurs - Maigrir ou grossir: une question d'excitation - Les androgynes - Les célibataires endurcis - Répartition de la population - Les passeports.

13 La grande photo de famille

Les diverses classes sociales - La classe des unibras - La classe des deux-bras - La classe des trois-bras - La classe des quatre-bras - La classe des sans-bras - Les autres classes sociales.

21 Les mariages au Pays des Atomes

Les mariages obéissent à quelques règles simples - Les certificats de mariage - Les noms patronymiques des molécules - Certains atomes peuvent parfois rester célibataires - Une rencontre explosive - Les mariages ne durent pas toujours très longtemps.

27 L'organisation sociale des molécules

L'agitation sociale est permanente - L'instinct grégaire pousse les molécules à se réunir en clans - Les trois sortes de clans - L'état cristallin.

30 L'anatomie des atomes

Les divers organes des atomes - Les électrons déterminent le comportement social des atomes - Les électrons sont des "grains" d'électricité - Le nombre huit, les dames, les messieurs et les autres - Protons et neutrons - Les isotopes - Plus loin encore à l'intérieur du noyau.

37 La décroissance radioactive, une maladie génétique des atomes

Le triste cas de la famille Uranium - Vitesse d'évolution de la maladie - Les symptômes - Mécanisme de la maladie - D'autres familles sont aussi sujettes à la maladie - Les géologues s'intéressent de près à ce type de maladie - La vitesse d'évolution de la maladie peut servir d'horloge - Le cas du père Carbone 14.

46 Une autre maladie génétique : la fission spontanée des atomes

La fission spontanée des atomes - La fission induite des atomes (ou FIDA). Mécanisme de la maladie - Un amaigrissement incompréhensible - Mais que deviennent les neutrons ? - On peut tout de même influencer la chance! - Comment fonctionne une centrale nucléaire ? - Mais où sont donc les déchets nucléaires ? - Et si la réaction s'emballait ? - Recette pour construire une bombe atomique - Fort heureusement ce n'est pas si facile ! - En guise de conclusion.

53 Petit glossaire.