

# ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

Première

- Premier trimestre -

Extrait de cours  
Enseignement Scientifique

Extrait de cours  
Enseignement Scientifique

# PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

## Classe de Première

Manuel rédigé par Mr Éric JACOBI

### ORGANISATION DU PREMIER TRIMESTRE

Séquences	Leçons	Devoirs
1	<b>Thème 1 : Une longue histoire de la matière</b> <b>Sous-thème 1 : Un niveau d'organisation : les éléments chimiques</b> <b>Chapitre 1 : comprendre l'univers</b>	
2	<b>Chapitre 6 : La radioactivité</b>	<b>Devoir n° 1</b>
3	<b>Sous-thème 2 : Des édifices ordonnés, les cristaux</b> <b>Chapitre 1 : Les cristaux</b>	
4	<b>Chapitre 4 : Le sel marin ou sel gemme</b>	
5	<b>Sous-thème 3 : Une structure complexe : la cellule vivante</b> <b>Chapitre 1 : L'invention du microscope</b>	<b>Devoir n° 2</b>
6	<b>Chapitre 3 : La membrane plasmique</b>	
7	<b>Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie</b> <b>Chapitre 1 : le rayonnement solaire</b>	
8	<b>VI) La loi de Wien</b>	<b>Devoir n° 3</b>
9	<b>Chapitre 2 : les facteurs de variation du climat</b>	
10	<b>Chapitre 3 : Les différents climats de la Terre</b>	<b>Devoir n° 4</b>

En fin de fascicule :

- Les corrigés des exercices non à soumettre
- puis les énoncés des devoirs à soumettre

Extrait de cours  
Enseignement Scientifique

Vous trouverez ci-dessous les attendus du programme d'enseignement scientifique de la classe de première. Ces attendus permettent à l'élève de vérifier s'il a bien acquis les connaissances exigées. En pratique, seules ces connaissances sont exigibles, même si le cours que nous proposons dépasse parfois un peu ces ambitions, dans l'intérêt de la matière et dans l'intérêt de la compréhension des notions par l'élève.

Le volume d'enseignement prévu pour l'enseignement scientifique en 1<sup>ère</sup> est de 2 h par semaine.

## Programme d'enseignement scientifique de première générale

L'immense diversité de la matière dans l'Univers se décrit à partir d'un petit nombre de particules élémentaires qui se sont organisées de façon hiérarchisée, en unités de plus en plus complexes, depuis le *Big Bang* jusqu'au développement de la vie.

Histoire, enjeux et débats

De Fraunhofer à Bethe : les éléments dans les étoiles.

Hooke, Schleiden et Schwann : de la découverte de la cellule à la théorie cellulaire.

Becquerel, Marie Curie : la découverte de la radioactivité, du radium.

Industrie des métaux et du verre.

### 1.1 - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques

Comment, à partir du seul élément hydrogène, la diversité des éléments chimiques est-elle apparue ? Aborder cette question nécessite de s'intéresser aux noyaux atomiques et à leurs transformations. Cela fournit l'occasion d'introduire un modèle mathématique d'évolution discrète.

#### Savoirs

Les noyaux des atomes de la centaine d'éléments chimiques stables résultent de réactions nucléaires qui se produisent au sein des étoiles à partir de l'hydrogène initial. La matière connue de l'Univers est formée principalement d'hydrogène et d'hélium alors que la Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium, de magnésium et les êtres vivants de carbone, hydrogène, oxygène et azote.

Certains noyaux sont instables et se désintègrent (radioactivité).

L'instant de désintégration d'un noyau radioactif individuel est aléatoire.

La demi-vie d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit désintégrée.

Cette demi-vie est caractéristique du noyau radioactif.

### 1.2 - Des édifices ordonnés : les cristaux

L'organisation moléculaire étant déjà connue, ce thème aborde une autre forme d'organisation de la matière : l'état cristallin (qui revêt une importance majeure, tant pour la connaissance de la nature - minéraux et roches, squelettes, etc. - que pour ses applications techniques). La compréhension de cette organisation au travers des exemples choisis mobilise des connaissances sur la géométrie du cube. Elle fournit l'occasion de développer des compétences de représentation dans l'espace et de calculs de volumes.

## Savoirs

Le chlorure de sodium solide (présent dans les roches, ou issu de l'évaporation de l'eau de mer) est constitué d'un empilement régulier d'ions : c'est l'état cristallin.

Plus généralement, une structure cristalline est définie par une maille élémentaire répétée périodiquement.

Un type cristallin est défini par la forme géométrique de la maille, la nature et la position dans cette maille des entités qui le constituent.

Les cristaux les plus simples peuvent être décrits par une maille cubique que la géométrie du cube permet de caractériser. La position des entités dans cette maille distingue les réseaux cubiques simples et cubiques à faces centrées.

La structure microscopique du cristal conditionne certaines de ses propriétés macroscopiques, dont sa masse volumique.

Un composé de formule chimique donnée peut cristalliser sous différents types de structures qui ont des propriétés macroscopiques différentes.

Ainsi les minéraux se caractérisent par leur composition chimique et leur organisation cristalline.

Une roche est formée de l'association de cristaux d'un même minéral ou de plusieurs minéraux.

Des structures cristallines existent aussi dans les organismes biologiques (coquille, squelette, calcul rénal, etc.).

Dans le cas des solides amorphes, l'empilement d'entités se fait sans ordre géométrique. C'est le cas du verre. Certaines roches volcaniques contiennent du verre, issu de la solidification très rapide d'une lave.

### 1.3 - Une structure complexe : la cellule vivante

Dans le monde, la matière s'organise en structure d'ordre supérieur à l'échelle moléculaire.

Un exemple est ici proposé : la structure cellulaire.

## Savoirs

La découverte de l'unité cellulaire est liée à l'invention du microscope.

L'observation de structures semblables dans de très nombreux organismes a conduit à énoncer le concept général de cellule et à construire la théorie cellulaire.

Plus récemment, l'invention du microscope électronique a permis l'exploration de l'intérieur de la cellule et la compréhension du lien entre échelle moléculaire et cellulaire.

La cellule est un espace séparé de l'extérieur par une membrane plasmique. Cette membrane est constituée d'une bicouche lipidique et de protéines. La structure membranaire est stabilisée par le caractère hydrophile ou lipophile de certaines parties des molécules constitutives.

La Terre reçoit l'essentiel de son énergie du Soleil. Cette énergie conditionne la température de surface de la Terre et détermine climats et saisons. Elle permet la photosynthèse des végétaux et se transmet par la nutrition à d'autres êtres vivants.

Histoire, enjeux, débats

Repères historiques sur l'étude du rayonnement thermique (Stefan, Boltzmann, Planck, Einstein).

Le discours sur l'énergie dans la société : analyse critique du vocabulaire d'usage courant (énergie fossile, énergie renouvelable, etc.).

L'albédo terrestre : un paramètre climatique majeur.

Distinction météorologie/climatologie.

## 2.1 - Le rayonnement solaire

Le soleil transmet à la Terre de l'énergie par rayonnement.

### Savoirs

L'énergie dégagée par les réactions de fusion de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles les maintient à une température très élevée.

Du fait de l'équivalence masse-énergie (relation d'Einstein), ces réactions s'accompagnent d'une diminution de la masse solaire au cours du temps.

Comme tous les corps matériels, les étoiles et le Soleil émettent des ondes électromagnétiques et donc perdent de l'énergie par rayonnement.

Le spectre du rayonnement émis par la surface (modélisé par un spectre de corps noir) dépend seulement de la température de surface de l'étoile.

La longueur d'onde d'émission maximale est inversement proportionnelle à la température absolue de la surface de l'étoile (loi de Wien).

La puissance radiative reçue du Soleil par une surface plane est proportionnelle à l'aire de la surface et dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.

De ce fait, la puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend :

- de l'heure (variation diurne) ;
- du moment de l'année (variation saisonnière) ;
- de la latitude (zonation climatique).

## 2.2 - Le bilan radiatif terrestre

La Terre reçoit le rayonnement solaire et émet elle-même un rayonnement. Le bilan conditionne le milieu de vie. La compréhension de cet équilibre en classe de première permettra d'aborder sa perturbation par l'humanité en terminale.

### Savoirs

La proportion de la puissance totale, émise par le Soleil et atteignant la Terre, est déterminée par son rayon et sa distance au Soleil.

Une fraction de cette puissance, quantifiée par l'albédo terrestre moyen, est diffusée par la Terre vers l'espace, le reste est absorbé par l'atmosphère, les continents et les océans.

Le sol émet un rayonnement électromagnétique dans le domaine infra-rouge (longueur d'onde voisine de  $10 \mu\text{m}$ ) dont la puissance par unité de surface augmente avec la température.

Une partie de cette puissance est absorbée par l'atmosphère, qui elle-même émet un rayonnement infrarouge vers le sol et vers l'espace (effet de serre).

La puissance reçue par le sol en un lieu donné est égale à la somme de la puissance reçue du Soleil et de celle reçue de l'atmosphère. Ces deux dernières sont du même ordre de grandeur.

Un équilibre, qualifié de dynamique, est atteint lorsque le sol reçoit au total une puissance moyenne égale à celle qu'il émet. La température moyenne du sol est alors constante.

### 2.3 - Une conversion biologique de l'énergie solaire : la photosynthèse

L'utilisation par la photosynthèse d'une infime partie de l'énergie solaire reçue par la planète fournit l'énergie nécessaire à l'ensemble des êtres vivants (à l'exception de certains milieux très spécifiques non évoqués dans ce programme).

#### Savoirs

Une partie du rayonnement solaire absorbé par les organismes chlorophylliens permet la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone (photosynthèse).

À l'échelle de la planète, les organismes chlorophylliens utilisent pour la photosynthèse environ 0,1% de la puissance solaire totale disponible. À l'échelle de la feuille (pour les plantes), la photosynthèse utilise une très faible fraction de la puissance radiative reçue, le reste est soit diffusé, soit transmis, soit absorbé (échauffement et évapo-transpiration).

La photosynthèse permet l'entrée dans la biosphère de matière minérale stockant de l'énergie sous forme chimique.

Ces molécules peuvent être transformées par respiration ou fermentation pour libérer l'énergie nécessaire au fonctionnement des êtres vivants.

À l'échelle des temps géologiques, une partie de la matière organique s'accumule dans les sédiments puis se transforme en donnant des combustibles fossiles : gaz, charbon, pétrole.

# SÉQUENCE 1

## THEME 1 : UNE LONGUE HISTOIRE DE LA MATIERE

### SOUS-THEME 1 : UN NIVEAU D'ORGANISATION : LES ELEMENTS CHIMIQUES

#### Chapitre 1 : Comprendre l'univers

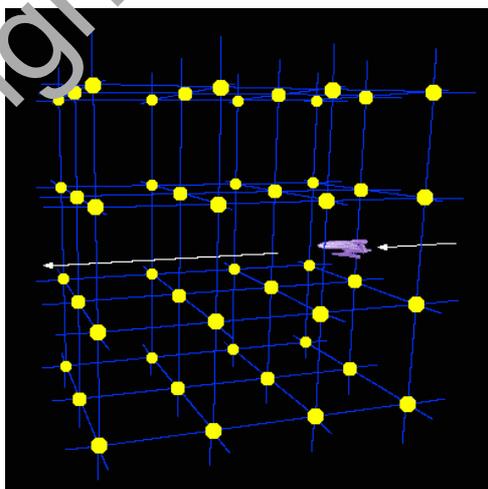
##### I. Le Big Bang et l'expansion de l'univers

L'univers dans lequel nous vivons est en expansion. Nous le savons parce que nous observons les galaxies et les groupes de galaxies s'éloigner progressivement de nous dans l'univers. Cette expansion a commencé dès la formation de l'univers, il y a quelque 14 milliards d'années, lors d'une phase chaude et dense appelé Big Bang.

Voici six questions couramment posées à propos de notre univers en expansion :

##### A. Où est le centre de l'Univers ?

L'univers n'a pas de centre, parce qu'il n'a pas de bord. Dans un univers fini, l'espace est courbé de telle manière que si vous pouviez voyager des milliards d'années-lumière en ligne droite, vous finiriez par revenir à votre point de départ. Il est également possible que notre univers soit infini. Dans les deux cas, les groupes de galaxies emplissent totalement l'univers et s'éloignent les uns des autres en tout point, suivant en cela l'expansion de l'univers.

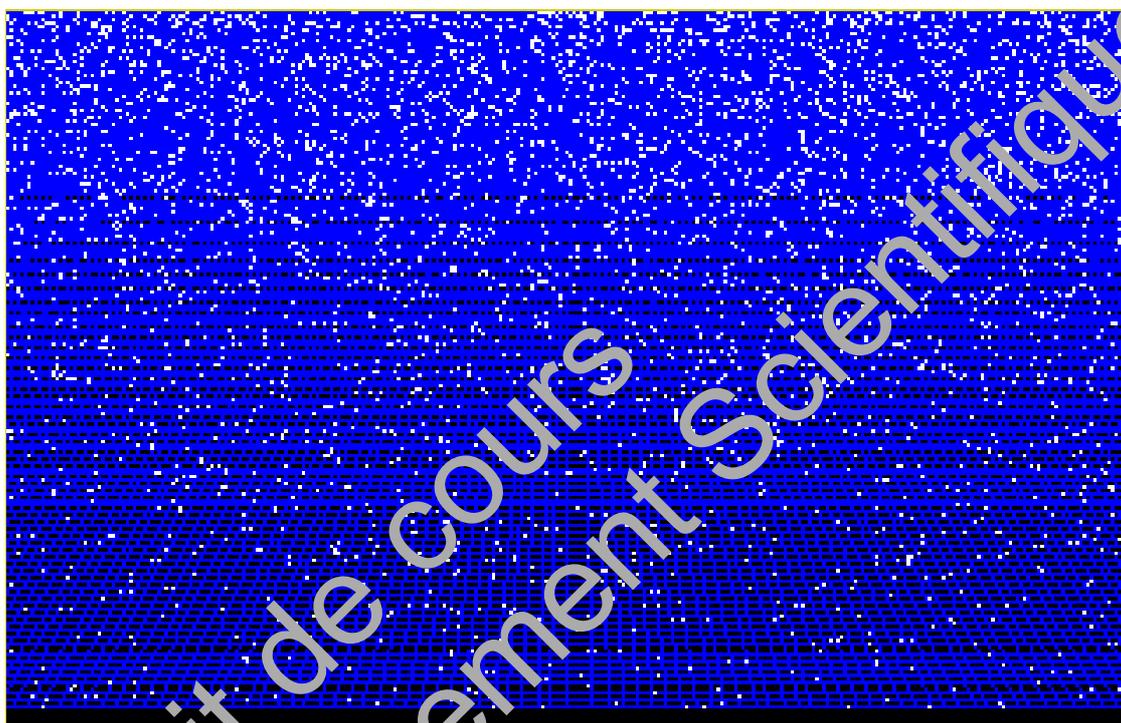


## B. Où le Big Bang a-t'il eu lieu dans l'Univers ?

On dit souvent que le Big Bang était une explosion dans un espace vide, et que cette explosion s'est développée dans cet espace vide. Cela est faux.

Le Big Bang a créé l'espace et le temps. Au début de l'univers, l'espace était complètement rempli par la matière. La matière était à l'origine très chaude et très dense, elle s'est ensuite expansée et refroidie pour finir par donner les étoiles et les galaxies que nous voyons aujourd'hui dans l'univers.

Bien que l'espace puisse avoir été concentré en un point unique au moment du Big Bang, il est également possible qu'il ait été infini dès son origine. Dans les deux scénarios, l'espace était complètement rempli par la matière à son commencement.



Il n'y a pas de centre à cette expansion, l'espace 'gonfle' simplement en tout point. Un observateur dans n'importe quelle galaxie voit la plupart des autres galaxies de l'univers s'éloigner de lui.

La seule réponse à la question "Où a eu lieu le Big Bang" est donc qu'il s'est produit en tout point de l'univers.

## C. La Terre est-elle aussi en expansion dans l'univers ?

La Terre n'est pas en expansion, pas plus que le système solaire, pas plus que la Voie Lactée. Ces objets se sont formés sous l'influence de la gravitation et ont cessé de s'étendre. La gravitation retient aussi les galaxies entre elles, dans des groupes et des amas. Ce sont principalement les groupes et les amas de galaxies qui s'éloignent les uns des autres dans l'univers.

#### D. Qu'y a-t'il en dehors de l'univers ?

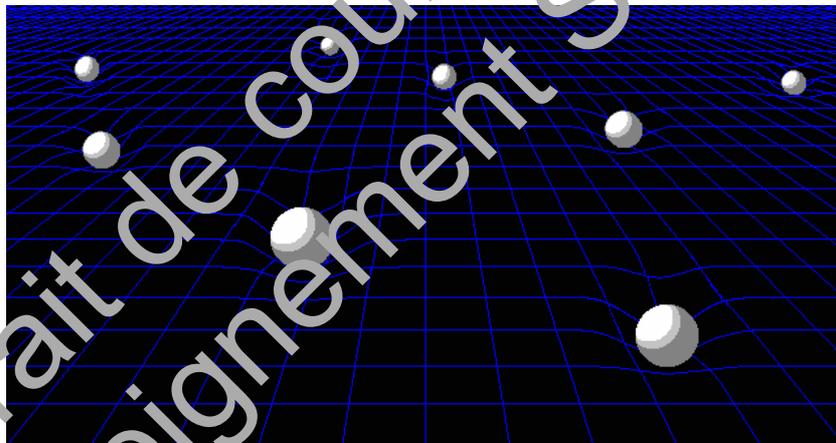
L'espace a été créé par le Big Bang. Notre univers n'a ni bord ni frontière - il n'y a pas de 'dehors' à notre univers (voir question A). Il est possible que notre univers ne soit qu'un parmi une infinité d'univers, mais ces univers n'ont pas nécessairement besoin d'un 'espace' pour exister.

#### E. Qu'y avait-il avant le Big Bang ?

Le temps a été créé par le Big Bang - nous ne savons pas s'il existait avant le Big Bang. Il est toutefois très difficile de répondre à une telle question. Certaines théories suggèrent que notre univers appartient à une infinité d'univers (appelés un 'multivers') en création perpétuelle. Ceci est possible, mais extrêmement difficile à prouver.

#### F. Si l'univers a 14 milliards d'années, comment des galaxies peuvent-elles se trouver à plus de 14 milliards d'années-lumière ?

Il est probable que notre univers soit infini, et rempli de matière partout depuis le Big Bang (voir question B). Il y a aussi des preuves sérieuses qu'aux premiers temps de l'univers, celui-ci ait connu une expansion dont la vitesse était bien supérieure à celle de la lumière. Il est possible de créer une telle expansion, dans laquelle les particules ne se déplacent pas à grande vitesse, mais où l'espace entre les particules augmente considérablement.



On peut imaginer les galaxies comme des boules posées sur une feuille de caoutchouc qui représente l'espace. Si nous étirons la feuille, les boules s'éloignent les unes des autres. Deux boules proches ne s'éloigneront que lentement. Des boules très éloignées sembleront se fuir à grande vitesse. Il n'y a pas de limite à la vitesse d'expansion de l'espace.

L'espace est la géométrie de notre univers. Des changements de taille ou de forme de l'espace peuvent se produire à cause de déplacements de matière ou d'énergie dans l'univers, ou bien à cause de changements du contenu de l'univers en termes de matière et d'énergie.

## II. Description de l'Univers

### A. La mesure des objets de l'Univers

#### Définition :

Dans le système international d'unité, **une longueur se note  $l$  ou  $L$  et s'exprime en mètres (symbole :  $m$ )**.

#### Définitions du mètre



Le mètre étalon du 36, rue de Vaugirard à Paris

**1791** : l'Académie des sciences définit le mètre comme étant la dix-millionième partie d'un quart de méridien terrestre, ou d'un quart de grand cercle passant par les pôles.  
**1799** : création, à partir de sa définition, d'un mètre-étalon (en platine) qui devint la référence.  
**1889** : le Bureau international des poids et mesures (BIPM) redéfinit le mètre comme étant la distance entre deux points sur une barre d'un alliage de platine et d'iridium.  
**1960** : la 11<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures (CGPM) redéfinit le mètre comme 1 650 763,73 longueurs d'onde d'une radiation orangée émise par l'isotope 86 du krypton.  
**1983** : le mètre correspond à la distance parcourue par la lumière dans le vide en  $\frac{1}{299\,792\,458}$  seconde (définition actuelle).

#### Remarque

Pour évaluer une longueur, on utilise parfois les multiples et les sous-multiples du mètre, dont les plus courants sont rassemblés dans le tableau ci-après :

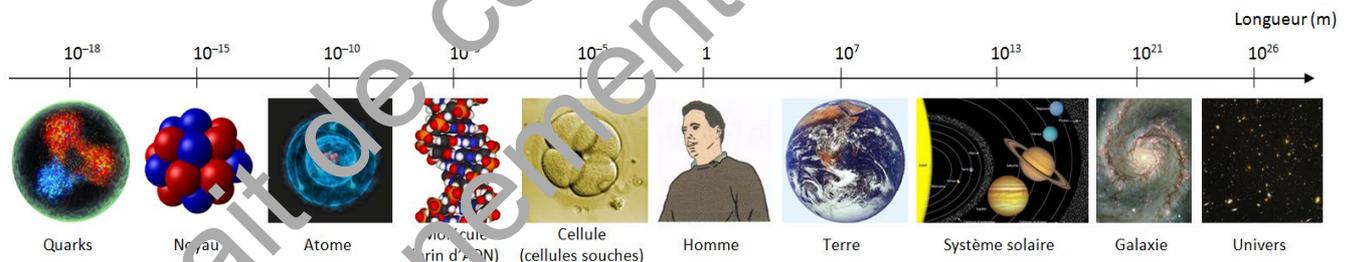
Une unité est souvent utilisée pour les mesures de très grandes distances dans l'Univers : **l'unité astronomique** (symbole : ua). Elle correspond à la distance moyenne entre la Terre et le Soleil.

$$1 \text{ ua} \approx 150\,000\,000 \text{ km} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m} \quad (1 \text{ ua} = 149\,597\,870,691 \text{ km})$$

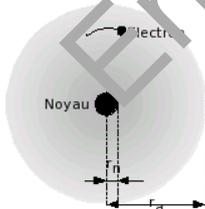
L'écriture du résultat d'une mesure est toujours composée d'une valeur numérique suivie de son unité.

$10^N$	Nom préfixé	Symbole	Nombre en français	Nombre en mètres
$10^{24}$	yottamètre	Ym	Quadrillion	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{21}$	zettamètre	Zm	Trilliard	1 000 000 000 000 000 000 000
$10^{18}$	examètre	Em	Trillion	1 000 000 000 000 000 000
$10^{15}$	pétamètre	Pm	Billiard	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	téramètre	Tm	Billion	1 000 000 000 000
$10^9$	gigamètre	Gm	Milliard	1 000 000 000
$10^6$	mégamètre	Mm	Million	1 000 000
$10^3$	kilomètre	km	Mille	1 000
$10^2$	hectomètre	hm	Cent	100
$10^1$	décamètre	dam	Dix	10
$10^0$	mètre	m	Un	1
$10^{-1}$	décimètre	dm	Dixième	0,1
$10^{-2}$	centimètre	cm	Centième	0,01
$10^{-3}$	millimètre	mm	Millième	0,001
$10^{-6}$	micromètre	$\mu\text{m}$	Millionième	0,000 001
$10^{-9}$	nanomètre	nm	Milliardième	0,000 000 001
$10^{-12}$	picomètre	pm	Billionième	0,000 000 000 001
$10^{-15}$	femtomètre	fm	Billiardième	0,000 000 000 000 001
$10^{-18}$	attomètre	am	Trillionième	0,000 000 000 000 000 001
$10^{-21}$	zeptomètre	zm	Trilliardième	0,000 000 000 000 000 000 001
$10^{-24}$	yoctomètre	ym	Quadrillionième	0,000 000 000 000 000 000 000 001

## B. La description physique de l'Univers



### 1 L'infiniment petit



Atome d'hydrogène

$$\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}} = \frac{r_a}{r_n} = \frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5 = 100\ 000$$

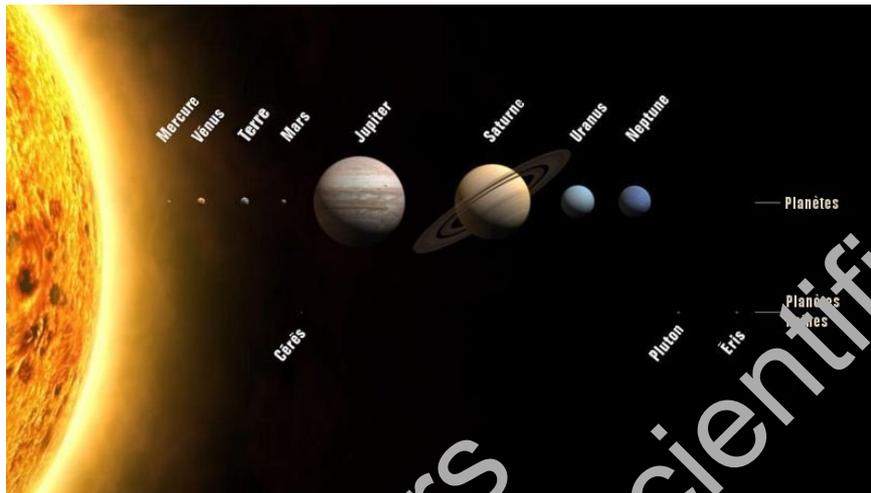
Le diamètre de l'atome est 100 000 fois plus grand que celui du noyau.

**À RETENIR :**

L'atome a une **structure lacunaire** : les électrons se déplacent dans un espace constitué de **vide**.

**2. L'infiniment grand**

**Le système solaire :** il est constitué d'une étoile (le Soleil, boule de gaz très chauds) autour de laquelle tournent **8 planètes** et d'autres corps plus petits :



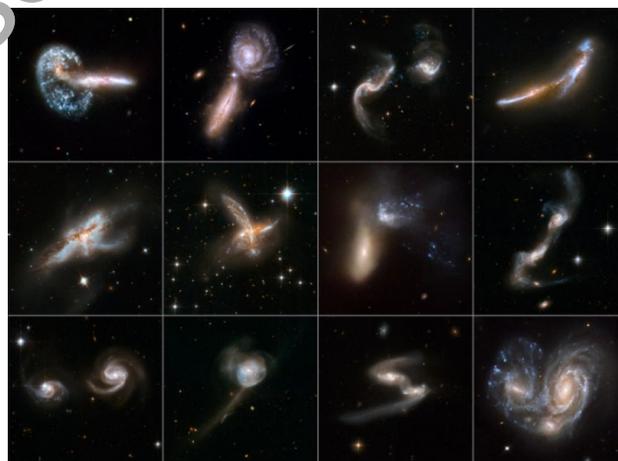
Remarques :

Au cours de son mouvement de révolution autour du Soleil, le centre de chaque planète décrit une trajectoire appelée **orbite** : il s'agit d'une ellipse assez proche d'un cercle, dont l'un des centres est le Soleil.

L'orbite de la Terre est contenue dans un plan, passant par le centre du Soleil, nommé **plan de l'écliptique**.

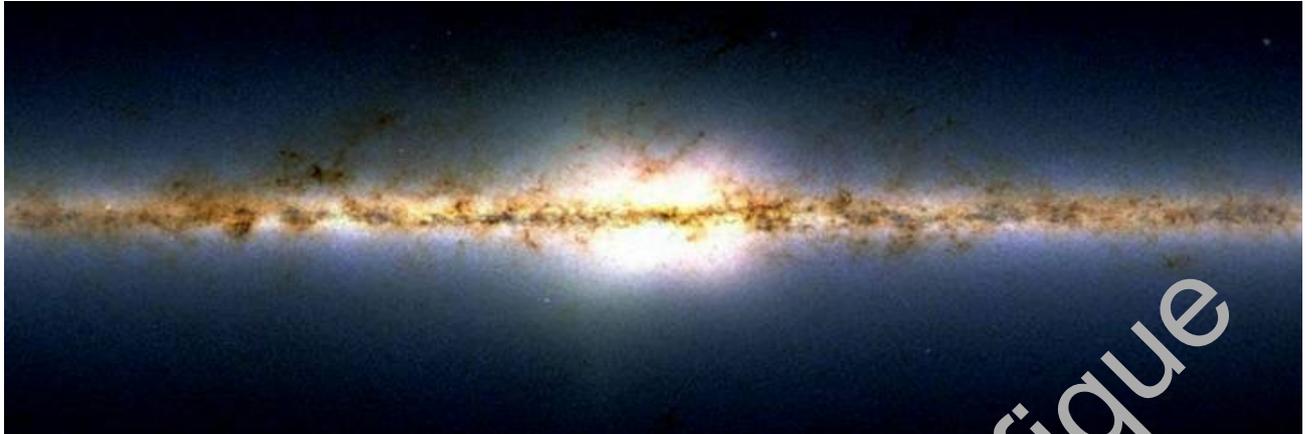
Les orbites des autres planètes sont situées dans des plans très voisins du plan de l'écliptique.

**Les galaxies :** les étoiles ne sont pas dispersées dans l'Univers mais rassemblées en des amas de formes variées qu'on appelle galaxie.



Remarques :

Notre étoile (le Soleil) appartient à une galaxie que l'on appelle « **Voie lactée** » ou **Galaxie** (avec un « G » majuscule).



**La voie lactée**

Notre galaxie comporte plusieurs centaines de milliards d'étoiles et a la forme d'une spirale, assez plate avec un bulbe au centre. Elle possède probablement en son centre un trou noir. Son diamètre est d'environ  $10^5$  a.l.



La structure aplatie de la Voie lactée se traduit dans le ciel nocturne par une bande irrégulière blanchâtre : nous l'observons de l'intérieur.

L'Univers compte **plusieurs centaines de milliards de galaxies**, de tailles et de formes très diverses, elles-mêmes regroupées en amas.

**Les exoplanètes (ou planètes extrasolaires) :** l'Univers contient des centaines de milliards d'étoiles et autour de certaines gravitent des planètes. Ces planètes qui gravitent autour d'une étoile autre que le Soleil sont appelées des exoplanètes (du grec *exo* qui signifie « hors de »). Lorsqu'une étoile possède plusieurs exoplanètes, l'ensemble constitue un **système planétaire extrasolaire**.

**À RETENIR**

**Au niveau de l'atome et jusqu'à l'échelle cosmique, le remplissage de l'espace par la matière est discontinu et lacunaire : l'espace est essentiellement occupé par du vide.**

### 3. L'année-lumière

Les distances en astronomie sont très grandes, c'est pourquoi il est parfois commode d'utiliser des unités adaptées : l'année-lumière est très souvent utilisée comme unité de mesure des distances astronomiques.

#### Définition :

**L'année-lumière** est une unité de longueur correspondant à la distance parcourue par la lumière, dans le vide, en une année (sidérale). Elle se note **a.l.** et s'exprime en m (symbole : **m**).

$$1 \text{ a.l.} = 9,44 \times 10^{15} \text{ m} \approx 10^{16} \text{ m}$$

(valeur exacte : 9 435 053 029 704 605 m)

Rappel : la vitesse de propagation de la lumière (aussi appelée « célérité ») dans le vide (et dans l'air) est de l'ordre de  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

Exercice : l'étoile polaire se situe à  $d = 4,2 \times 10^6$  milliards de kilomètres de la Terre. Exprimez sa distance en années de lumière.

Réponse :

$$1 \text{ milliard de km} \Leftrightarrow 10^{12} \text{ m}$$

$$4,2 \times 10^6 \text{ milliards de km} \Leftrightarrow 4,2 \times 10^6 \times 10^{12} = 4,2 \times 10^{18} \text{ m}$$

$$1 \text{ al} = 9,44 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$X = 4,2 \times 10^{18} \text{ m}$$

$$\Rightarrow d = 444,91 \text{ al} = 4,4 \times 10^2 \text{ a.l.}$$

#### « Voir loin, c'est voir dans le passé »

La vitesse de propagation de la lumière n'étant pas infinie, celle qui nous parvient d'objets éloignés de l'Univers nous parvient avec un retard dû à la durée nécessaire pour qu'elle parcoure la distance qui nous sépare de ces objets : la lumière provenant d'un objet lointain nous apporte des informations (couleur, forme,...) tel qu'il était au moment de l'émission de la lumière par cet objet (ce que nous voyons s'est déjà déroulé).

#### À RETENIR.

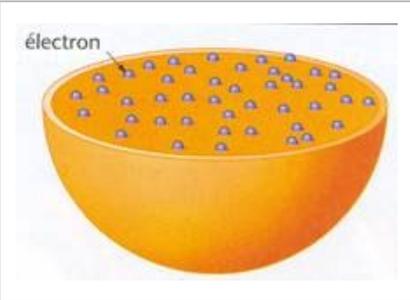
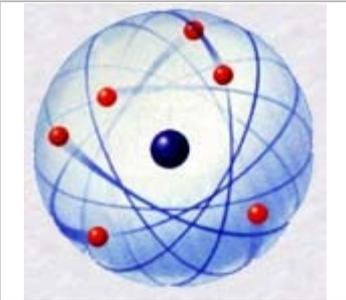
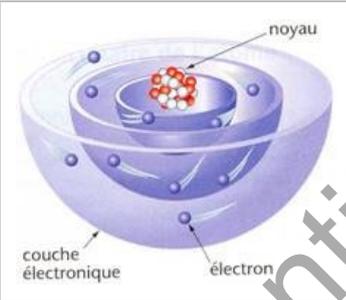
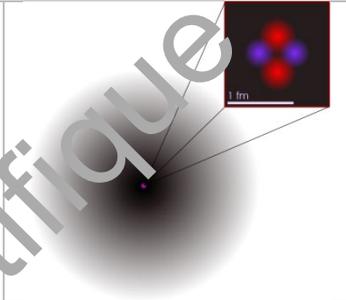
Plus un objet est éloigné de nous, plus la durée du trajet parcouru par la lumière est longue, et plus nous l'observons dans le passé.

## Chapitre 2 : Le modèle de l'atome

### A. Historique

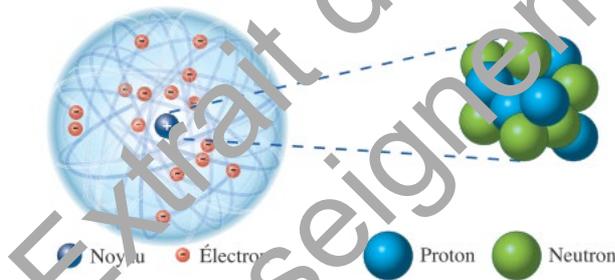
#### Définition :

Un modèle est une représentation théorique d'une réalité restreinte de la nature qui n'est pas accessible par les sens. Il a pour utilité de décrire, d'interpréter et de prévoir des événements dans le cadre de cette réalité et ne s'applique qu'à un nombre limité de phénomènes.

			
<p>Le pudding de Thompson (J.J. Thompson, 1905)</p>	<p>Modèle de Rutherford (Ernest Rutherford, 1911)</p>	<p>L'atome de Bohr (Niels Bohr, 1913)</p>	<p>Modèle de Schrödinger (Erwin Schrödinger, 1926)</p>

### B. Constitution de l'atome

Un atome est constitué de particules chargées qui se répartissent dans 2 parties :



**Un noyau :** Il est constitué de protons (de charge électrique positive), et de neutrons (de charge électrique nulle). Ces particules, qui constituent le noyau, sont également appelées *nucléons*.

**Un cortège électronique :** Il est constitué d'électrons (de charge électrique négative) qui gravitent autour du noyau.

#### À RETENIR :

- La charge électrique d'un proton est appelée charge élémentaire, on la note  $e$  ;
- L'électron porte une charge électrique négative, opposée à celle du proton ;
- Un atome possède autant de protons que d'électrons : il est électriquement neutre.

 proton

 neutron

 électron

Particule	Symbole	Charge électrique (C)	Masse (kg)
Proton	p	$e = 1,602 \times 10^{-19}$	$m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$
Neutron	n	0	$m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$
Electron	$e^-$	$- 1,602 \times 10^{-19}$	$m_e = 9,1094 \times 10^{-31}$

### C. Représentation symbolique du noyau

Un noyau est constitué de **Z protons** et de **N neutrons**. On le symbolise par :



$A = Z + N =$  nombre de masse d'un noyau, c'est le **nombre de nucléons** (protons + neutrons) qu'il contient.

$Z =$  **numéro atomique** d'un noyau, c'est le nombre de protons qu'il contient.

⇒ Un atome étant électriquement neutre, il possède **Z électrons**.

Remarque : X est une lettre majuscule parfois suivie d'une minuscule.

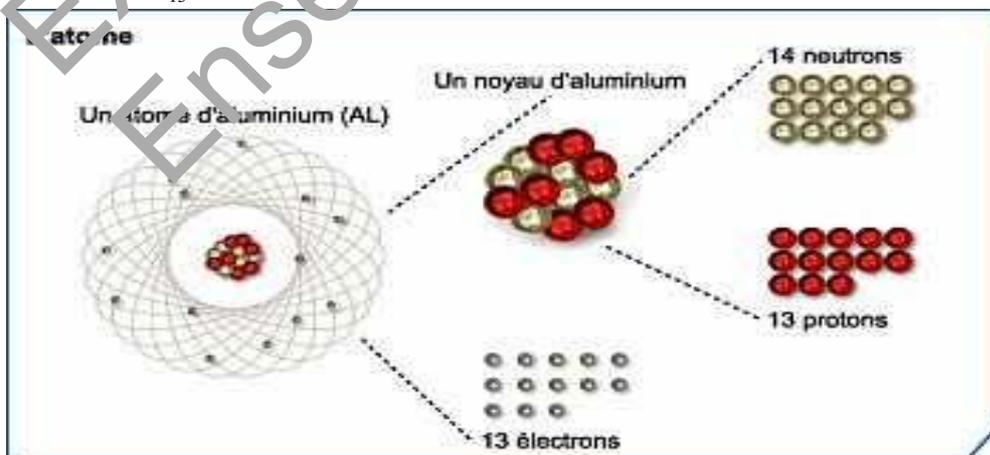
#### A RETENIR :

- La charge totale du noyau vaut  $+ Z \times e$ .
- La paire (Z, A) caractérise un atome.

#### Définitions :

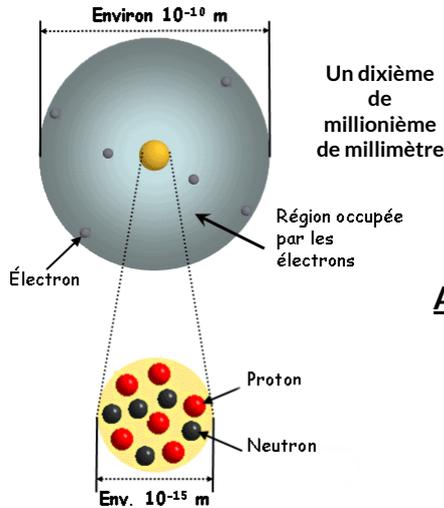
- L'ensemble des atomes définis par la paire (Z ; A) forment un **nucléide** ;
- L'ensemble des nucléides ayant le même numéro atomique (Z) correspond à un **élément**.

Exemples :  ${}_{13}^{27}\text{Al}$



## D. Les caractéristiques de l'atome

### 1. Les dimensions de l'atome



$$\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}} = \frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5 = 100\,000$$

⇒ Le diamètre de l'atome est 100 000 fois plus grand que celui du noyau.

#### A RETENIR :

- L'atome est essentiellement constitué de vide ; on dit qu'il a une **structure lacunaire** ;
- Le noyau est de taille négligeable devant celle de l'atome.

#### a) Masse de l'atome

La masse d'un atome est égale à la somme des masses des particules qui le composent :

$$m_{\text{atome}} = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n + Z \times m_e$$

Masse des protons    Masse des neutrons    Masse des électrons

Exemple : l'atome de fluor ( $^{19}\text{F}$ )

Masse de l'atome	Masse du noyau	$\frac{\text{masse du noyau}}{\text{masse de l'atome}}$
$m_{\text{F}} = 9 \times m_p + (19 - 9) \times m_n + 9 \times m_e$	$m_{\text{noyau}} = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n$	$\% = \frac{Z \times m_p + (A - Z) \times m_n}{Z \times m_p + (A - Z) \times m_n + Z \times m_e} \times 100$
$\Rightarrow m_{\text{F}} = 9 \times 1,67 \cdot 10^{-27} + 10 \times 1,67 \cdot 10^{-27} + 9 \times 9,11 \cdot 10^{-31}$	$\Rightarrow m_{\text{noyau}} = 9 \times 1,67 \cdot 10^{-27} + 10 \times 1,67 \cdot 10^{-27}$	$\frac{9 \times 1,67 \cdot 10^{-27} + 10 \times 1,67 \cdot 10^{-27}}{9 \times 1,67 \cdot 10^{-27} + 10 \times 1,67 \cdot 10^{-27} + 9 \times 9,11 \cdot 10^{-31}} \times 100$
$m_{\text{F}} = 3,18 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$	$m_{\text{noyau}} = 3,18 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$	<b>99,95 %</b>

On constate, par le calcul, que la masse d'un atome est concentrée dans son noyau. La masse du cortège électronique est négligeable :

$$m_{\text{atome}} \cong m_{\text{noyau}} = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n$$

⇒ Le noyau contient plus de 99,9 % de la masse de l'atome.

## b) Le nuage électronique

Les  $Z$  électrons qui composent le nuage électronique d'un atome de numéro atomique  $Z$  sont en mouvement incessant et rapide. Ils restent néanmoins au voisinage du noyau car ils sont soumis à son attraction : le noyau qui porte la charge électrique  $+ Z \times e$  attire les électrons de charge  $- e$ .

Ces électrons sont rangés en couches autour du noyau : les couches K, L et M, numérotées 1, 2, 3, ils occupent d'abord la couche du cœur (K comme « Kern » qui signifie « noyau » en allemand), puis la couche L et enfin la couche M.

Nom de la couche	Numéro de la couche (n)	Nombre maximum d'électrons dans la couche ( $2n^2$ )
K	1	2
L	2	8
M	3	18

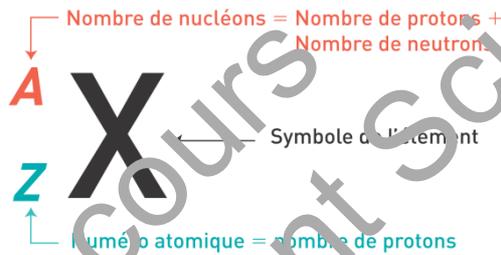
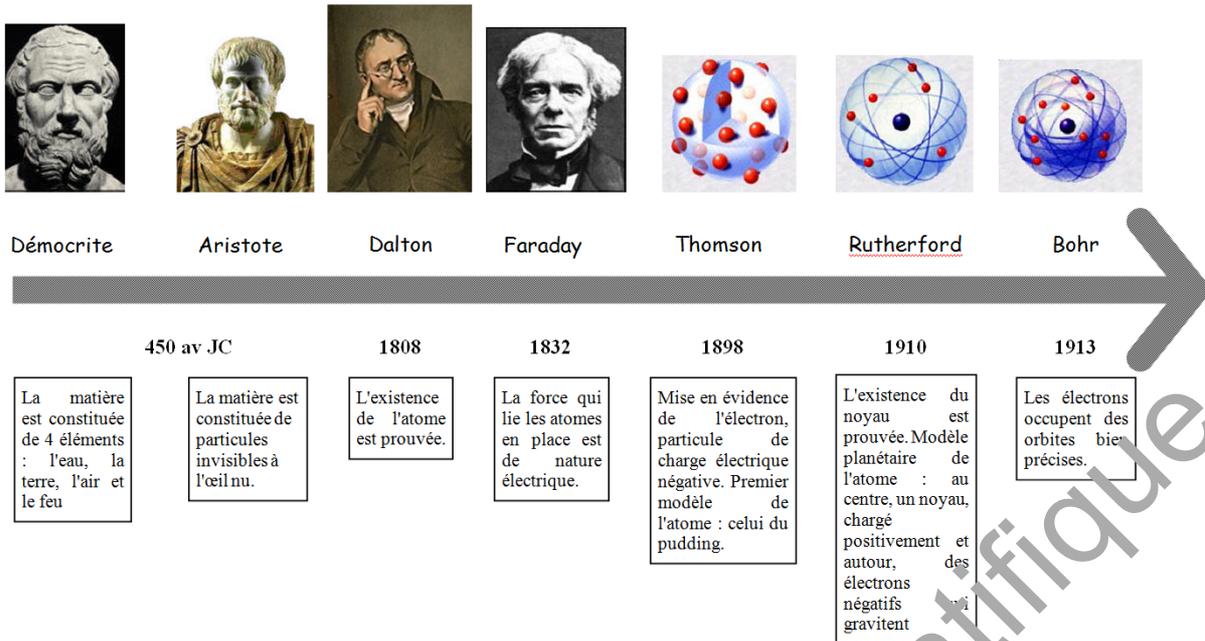
### À RETENIR :

- Chaque couche contient au maximum  $2n^2$  électrons ;
- La dernière couche remplie, la couche externe, va définir les propriétés chimiques de l'élément : on l'appelle la « couche de valence ».
- La répartition des électrons dans les différentes couches s'appelle la structure électronique de l'atome.

### Exemples :

Symbole	N° atomique (Z)	Nom	Nombre de protons	Nombre d'électrons	Structure électronique
${}^7_3\text{Li}$	3	Lithium	3	3	(K) <sup>2</sup> (L) <sup>1</sup>
${}^{23}_{11}\text{Na}$	11	Sodium	11	11	(K) <sup>2</sup> (L) <sup>8</sup> (M) <sup>1</sup>
${}^{40}_{18}\text{Ar}$	18	Argon	18	18	(K) <sup>2</sup> (L) <sup>8</sup> (M) <sup>8</sup>

## 2. La représentation de l'atome



<b>A T O M E</b>  charge : 0 C masse $\cong$ masse du noyau	<b>NOYAU</b> contient A nucléons (A = N + Z) charge totale = + Z x e	PROTONS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nombre de protons : Z</li> <li>• charge du proton : <math>q_p = + e</math> <math>\Rightarrow q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}</math></li> <li>• masse du proton : <math>m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}</math></li> </ul>
	NEUTRONS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nombre de neutrons = N = A - Z</li> <li>• charge du neutron : <math>q_n = 0 \text{ C}</math></li> <li>• masse du neutron <math>m_n \cong m_p</math></li> </ul>	
	<b>ELECTRONS</b>  charge totale = - Z x e  (la masse totale des électrons est négligeable devant celle du noyau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nombre d'électrons : Z</li> <li>• charge de l'électron : <math>q_e = - e</math> <math>\Rightarrow q_e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}</math></li> <li>• masse de l'électron : <math>m_e \ll m_p</math> <math>m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}</math></li> </ul>	

Avec :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  (charge élémentaire)

${}^1_1\text{H}$ Hydrogène							${}^4_2\text{He}$ Hélium	
${}^7_3\text{Li}$ Lithium	${}^9_4\text{Be}$ Béryllium	.....	${}^{11}_5\text{B}$ Bore	${}^{12}_6\text{C}$ Carbone	${}^{14}_7\text{N}$ Azote	${}^{16}_8\text{O}$ Oxygène	${}^{19}_9\text{F}$ Fluor	${}^{20}_{10}\text{Ne}$ Néon
${}^{23}_{11}\text{Na}$ Sodium	${}^{24}_{12}\text{Mg}$ Magnésium	...	${}^{27}_{13}\text{Al}$ Aluminium	${}^{28}_{14}\text{Si}$ Silicium	${}^{31}_{15}\text{P}$ Phosphore	${}^{32}_{16}\text{S}$ Soufre	${}^{35}_{17}\text{Cl}$ Chlore	${}^{40}_{18}\text{Ar}$ Argon

Extrait de cours  
Enseignement Scientifique

## Chapitre 3 : L'élément chimique

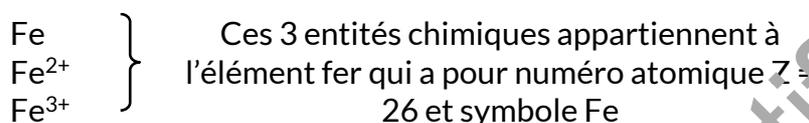
### I. Définition

On donne le nom **d'élément chimique** à l'ensemble des entités, qu'il s'agisse d'atomes ou d'ions monoatomiques, caractérisées par le même nombre de protons  $Z$ , présents dans leur noyau.

#### **ARETENR :**

Ainsi, toutes les entités chimiques (atome ou ion monoatomique) possédant le même numéro atomique  $Z$  appartiennent au même **élément chimique**.

Exemple :



### II. Les isotopes

A l'état naturel, les atomes d'un élément ne possèdent pas forcément la même composition de leur noyau. Comme un élément est défini par son numéro atomique  $Z$ , ils possèdent tous  $Z$  protons mais ils peuvent contenir un nombre de neutrons  $N$  différent.

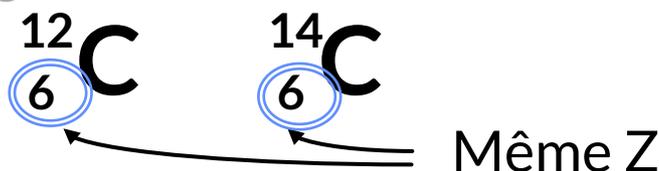
#### **Définition :**

On appelle **isotopes** (ou **noyaux isotopes**) des éléments chimiques (atomes ou ions monoatomiques) ayant le même numéro atomique  $Z$ , mais des nombres de neutrons  $N$  différents.

#### **ARETENIR :**

- Les isotopes ont le même nombre de protons  $Z$  ;
- Les isotopes ont des nombres de nucléons  $A$  différents.

Exemple :



Remarques :

- 1 élément chimique donné peut avoir plusieurs isotopes ;
- La plupart des éléments chimiques ont plusieurs isotopes naturels : certains sont stables, d'autres sont instables ou radioactifs.

### III. Les ions monoatomiques

#### 1. Définition

**Définition :**

Un **ion monoatomique** est formé par un atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons.

**Exemple :**

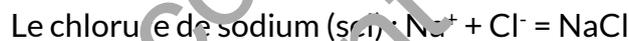
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$
Atome de calcium qui a perdu 2 électrons	Atome de chlore qui a gagné 1 électron

**À RETENIR :**

- Un atome X se transforme en ion  $\text{X}^{p+}$  s'il perd  $p$  électrons et devient un **cation** ;
- Un atome X se transforme en ion  $\text{X}^{n-}$  s'il gagne  $n$  électrons et devient un **anion**.

**Les composés ioniques**

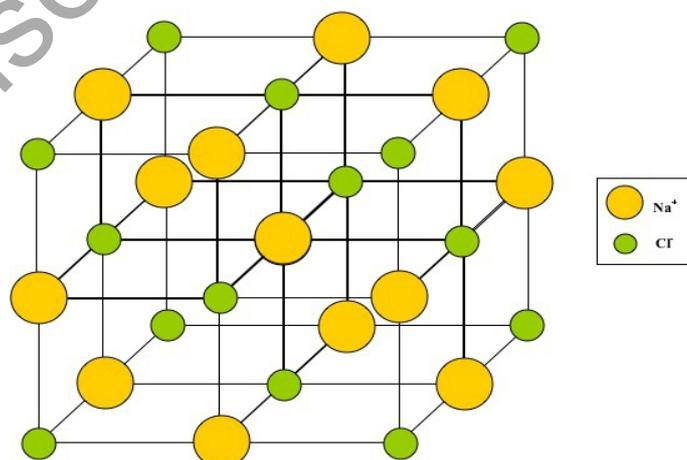
Les composés ioniques solides sont des arrangements tridimensionnels (= en 3D) alternant des ions positifs et négatifs :



⇒ Les composés ioniques sont électriquement neutres : ils comportent autant de charges positives que de charges négatives.

Remarque par convention, dans la formule d'un composé ionique, l'ion positif est toujours mis en premier (ex : cristal ionique de  $\text{NaCl}$ ).

Le chlorure de sodium.



## 2. Mise en évidence des ions monoatomiques

Pour mettre en évidence des ions monoatomiques, on peut réaliser des tests simples :

- Test d'identification avec une solution ;
- Test à la flamme ;
- ...

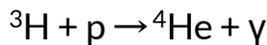
Extrait de cours  
Enseignement Scientifique

## Chapitre 4 : La création des atomes dans les étoiles

### I. La nucléosynthèse

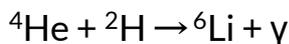
D'où proviennent les atomes, comment sont-ils synthétisés dans l'univers et à quel moment, ces questions ont une réponse commune, la nucléosynthèse.

On appelle nucléosynthèse la formation de noyaux plus lourds à partir de noyaux plus légers, par exemple :

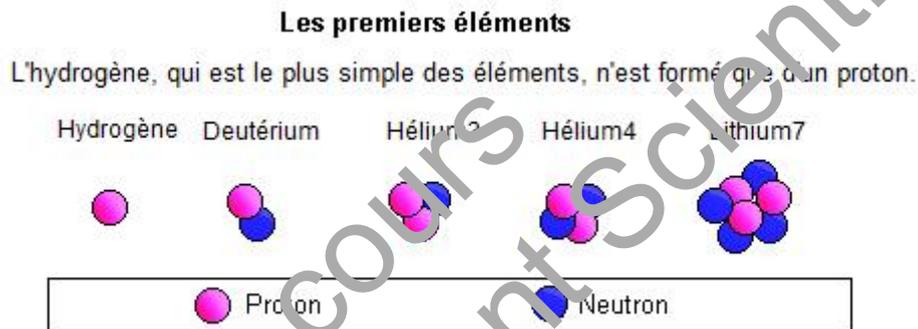


(Il faut lire : 1 tritium plus 1 proton donne 1 hélium + 1 photon gamma)

Ou encore :



(Il faut lire : 1 hélium plus 1 deutérium donne 1 lithium + 1 photon gamma)



Le deutérium est un isotope de l'hydrogène (1 proton et 1 neutron), le tritium est un autre isotope de l'hydrogène (1 proton et 2 neutrons).

La nucléosynthèse peut être subdivisée en quatre types :

- la nucléosynthèse primordiale qui a eu lieu durant les premières minutes du Big Bang.
- la nucléosynthèse stellaire qui se déroule durant la vie de l'étoile.
- la nucléosynthèse stellaire explosive qui se déroule lors de l'explosion des étoiles massives (supernova).
- la nucléosynthèse interstellaire ou spallation cosmique responsable de la synthèse des éléments légers par les rayons cosmiques.

### II. La nucléosynthèse primordiale

L'univers connu est actuellement décrit comme en expansion suite à un cataclysme initial appelé Big Bang. On estime à environ 13.7 milliards d'années l'âge de notre univers. Une très grosse majorité de la matière de l'univers actuel (plus de 98%) s'est formée au cours des premiers instants du Big Bang.

Voici une petite chronologie des premiers événements de l'univers :

Note : Le **kelvin** (symbole **K**, du nom de William Thomson dit Lord Kelvin), est l'unité de base SI (Système International) de température.

À la différence du degré Celsius, le kelvin est une mesure absolue de la température. La température de 0 K est égale à  $-273,15\text{ °C}$  et correspond au zéro absolu.

Le kelvin, n'étant pas une mesure relative, n'est jamais précédé du mot « degré » ni du symbole « ° », contrairement aux degrés Celsius ou Fahrenheit.

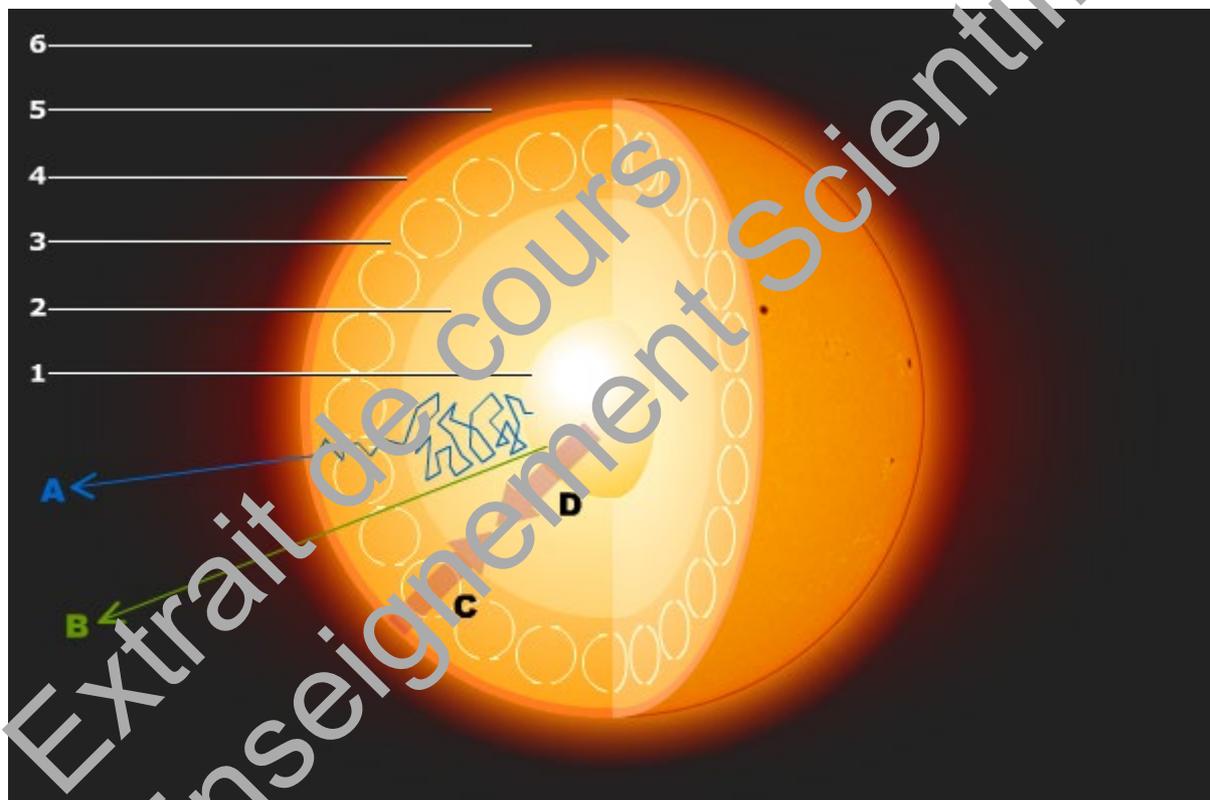
Temps	Température	Évènement
$10^{-43}\text{ s}$	$10^{32}\text{ K}$	Temps de Planck.  Séparation de la gravitation et de la force électro nucléaire.
$10^{-35}\text{ s}$	$10^{28}\text{ K}$	Séparation de l'interaction forte et de l'interaction électro faible.  Inflation, expansion exponentielle.
$10^{-33}\text{ s}$	$10^{25}\text{ K}$	Début de la formation des particules élémentaires (quarks, antiquarks, électrons...)  Plasma de quarks et de gluons.
$10^{-12}\text{ s}$	$10^{15}\text{ K}$	Séparation de l'interaction faible et de la force électromagnétique, les quatre forces actuelles sont séparées.
$10^{-6}\text{ s}$	$10^{12}\text{ K}$	Formation des protons et des neutrons.
1 s	$10^{10}\text{ K}$	Nucléosynthèse primordiale (deutérium, hélium, lithium).
200 s	$10^9\text{ K}$	
380 000 ans	$3000\text{ K}$	Recombinaison des électrons.  Emission du fond diffus cosmique.
$10^6\text{ ans}$		Premières étoiles.
$10^6\text{ ans}$		Premières galaxies.

La nucléosynthèse primordiale intervient dans la troisième phase du Big Bang suivant ce que l'on appelle l'ère primordiale (ou ère de Planck) et la phase d'inflation. Elle est à

l'origine de la formation des éléments simples : deutérium, hélium et des traces de lithium. Aucun élément plus lourd n'est formé. Actuellement plus de 74 % de l'univers (en masse) est composé d'hydrogène et environ 24% d'hélium. Bien que l'hélium soit également produit dans la nucléosynthèse stellaire, la très grosse partie de cet hélium résulte de cette nucléosynthèse primordiale, seuls quelques pourcents proviendraient de la formation dans les étoiles.

### III. La nucléosynthèse stellaire

Les étoiles naissent au sein de régions où la densité des gaz interstellaires est plus grande. Ces gaz se contractent alors sous l'effet de la gravité. Cette contraction entraîne un réchauffement qui finit par amorcer des réactions de fusion nucléaire au centre du nuage interstellaire. L'étoile est née. Une étoile est une boule de gaz en équilibre entre la gravité qui tend à la contracter sur elle-même et la pression exercée par les réactions très exothermiques qui s'y déroulent en son cœur. Consultez la figure 1 ci-dessous pour comprendre la structure d'une étoile, le soleil.



Légende :

1. Cœur de l'étoile, siège de la nucléosynthèse (du centre à 0,25 rayon solaire).
2. Zone radiative (entre 0,25 et 0,7 rayon solaire).
3. Zone convective (de 0,7 rayon solaire jusqu'à la surface visible).
4. La photosphère (environ 400 km d'épaisseur)
5. La chromosphère (environ 2000 km)
6. La couronne solaire visible lors des éclipses totales

- A. Parcours d'un photon depuis le noyau vers l'espace, très ralenti dans la zone radiative en raison de la densité de la matière.
- B. Parcours d'un neutrino qui, interagissant très peu avec la matière, peut traverser l'étoile en ligne droite.
- C. Compression due à la gravité.
- D. Dilatation due à l'énergie produite au cœur de l'étoile.

Le cœur d'une étoile moyenne comme notre soleil est une zone très dense (de l'ordre de  $150\,000\text{ kg/m}^3$ ) et très chaude ( $15 \times 10^6\text{ K}$ ). Ces conditions permettent des réactions de fusion nucléaire qui transforment de l'hydrogène en hélium. En effet, les protons ayant la même charge électrique, se repoussent mutuellement. La densité du noyau de l'étoile leur permet d'acquérir suffisamment d'énergie cinétique pour qu'ils puissent fusionner.

Quatre atomes d'hydrogène fusionnent pour donner un atome d'hélium (contenant deux protons et deux neutrons) libérant au passage une grande quantité d'énergie.

La masse au repos de l'hélium produit est inférieure à la somme des masses au repos des deux protons et deux neutrons qui le constituent. C'est cette différence de masse qui est à l'origine de l'énorme quantité d'énergie de l'étoile, énergie qui peut être calculée à l'aide de la fameuse équation d'Einstein :  $E = mc^2$  où E représente l'énergie, m, la masse et c la célérité de la lumière.

Le soleil consomme environ 620 millions de tonnes d'hydrogène par seconde. Lorsque ce combustible va diminuer suffisamment pour ne plus entretenir les réactions de fusion, le cœur de l'étoile va se contracter. Cette contraction va entraîner une augmentation de sa densité et de sa température, qui va entraîner à son tour la dilatation de l'enveloppe de l'étoile. L'enveloppe étant moins dense, elle se refroidit, ce qui pour une étoile revient à émettre de la lumière dans le rouge : le résultat est ce que l'on appelle une géante rouge. Le cœur est plus chaud et dense ( $10^8\text{ kg/cm}^3$  et  $2 \times 10^8\text{ K}$ ), ces nouvelles conditions permettent d'amorcer de nouvelles réactions de fusion de l'hélium jusqu'alors impossible à cause de la répulsion des noyaux d'hélium. La fusion de l'hélium génère du carbone et de l'oxygène.

Le même processus recommence lorsque l'hélium commence également à manquer. Le nombre de réactions de fusion diminue et le cœur de l'étoile se contracte à nouveau, offrant de nouvelles conditions plus propices à des réactions de fusion avec des noyaux plus lourds. Ces réactions continuent jusqu'à la synthèse de fer ( $Z = 26$ ), son noyau étant le plus stable (la fusion du fer est endothermique, c'est à dire qu'elle consomme plus d'énergie qu'elle n'en produit).

La structure du noyau de l'étoile est alors composée de couches successives des divers éléments produits durant cette nucléosynthèse.

#### IV. La nucléosynthèse explosive

Lorsque l'étoile a brûlé tout son combustible, les réactions de fusion ralentissent, la gravitation l'emporte alors et l'étoile s'effondre sur elle-même en implosant. La densité du cœur atteint 100 millions de tonnes par  $\text{cm}^3$ , soit la densité des noyaux atomiques. Ne

pouvant se comprimer d'avantage, la matière qui arrive de l'enveloppe rebondit en une explosion gigantesque, c'est la supernova.

L'onde de choc et la chaleur produite permettent alors de générer par nucléosynthèse tous les autres noyaux atomiques au-delà du fer et jusqu'à l'uranium, essentiellement par de la capture de neutrons. Les noyaux dont le nombre de protons sont supérieurs à l'uranium ( $Z = 92$ ) se désintègrent spontanément par des réactions de fission nucléaire.



La photographie ci-contre montre la nébuleuse du Crabe située à 6000 années-lumière dans la constellation du taureau. C'est ce qui reste de l'explosion d'une supernova observée sur terre en l'an 1054.

### V) La nucléosynthèse interstellaire ou spallation cosmique

Les différents types de nucléosynthèses décrits jusqu'ici ne permettent pas d'expliquer la présence d'atomes de lithium ( $Z = 3$ ), de béryllium ( $Z = 4$ ) et de bore ( $Z = 5$ ) dans les proportions observées dans l'univers. En effet les conditions qui règnent au cœur de l'étoile désintègrent facilement ces éléments en raison de leur faible stabilité.

Des particules (comme des neutrons ou des protons) ou des ondes électromagnétiques de grande énergie (des rayons cosmiques) qui frappent un noyau atomique provoquent la désintégration en noyaux plus petits. C'est ce processus appelé spallation qui depuis des milliards d'années est à l'origine des atomes de lithium, de béryllium et de bore dans le vide interstellaire, et ce malgré la faible probabilité de rencontres possibles.

## Pour aller plus loin

### VI. L'homme a-t-il fabriqué de nouveaux éléments ?

C'est le rêve de tout alchimiste. Ainsi les captures de neutrons sur de l'uranium, une idée d'Enrico Fermi, permirent de créer de nombreux « transuraniens ». Le neptunium 93 protons, découvert en 1940 par Mac Millan, fut le premier de la série. L'année suivante, Glenn Seaborg découvrait le plutonium, bien que celui-ci fût retrouvé ensuite sur Terre, dans la mine d'uranium d'Oklo, au Gabon, où avait débuté, il y a 2 milliards d'années, une réaction de fission nucléaire naturelle.

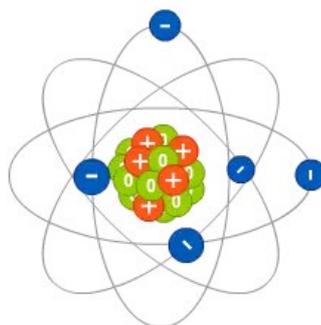
Les physiciens du XX<sup>e</sup> siècle ont aussi trouvé de nouveaux éléments sans le vouloir. Les travaux effectués sur les bombes atomiques dans les années quarante ont permis de réaliser des expériences que la nature ne permet pas, faute de pouvoir rassembler assez d'une matière spécifique. L'einsteinium 99 protons et le fermium 100 protons furent découverts dans les cendres de l'essai nucléaire américain Mike en 1952. Entre 1945 et 1961, neuf nouveaux éléments furent ainsi ajoutés à la liste.

Mais plus le nombre de protons d'un élément augmente, moins celui-ci est stable. Il faut donc laisser aux noyaux cibles le temps d'être frappés par un nombre considérable de noyaux afin d'atteindre la bonne configuration. Régulièrement, les Allemands de GSI, les Américains du Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL ou les Russes de Dubna annoncent la fabrication d'un nouvel élément, aussitôt mis en doute par leurs concurrents, à moins que ceux-ci n'en réclament l'antériorité. Or, pour prouver l'existence d'un nouvel élément, il faut attendre la confirmation d'un autre laboratoire. Ce n'est pas toujours le cas. En 1999, le LBNL croyait avoir synthétisé l'élément 118 et son produit de désintégration, l'élément 116. Il s'est rétracté deux ans plus tard.

*Dernière annonce en date : l'Institut de recherche nucléaire de Dubna a annoncé, en 2004, avoir produit 4 noyaux de l'élément 115. Ces quatre noyaux se seraient décomposés en 90 millisecondes en élément 113. Ces nouveaux venus numérotés 113, 115, 117 et 118, selon leur nombre atomique – c'est-à-dire le nombre de protons présents dans leur noyau –, sont en revanche bien trop lourds et surtout instables, pour exister dans la nature. C'est pourquoi les chercheurs des quatre coins du monde ont dû ruser et s'armer de patience pour réussir à les faire apparaître, même très furtivement, dans leur laboratoire, grâce à des accélérateurs de particules. Néanmoins, les efforts de deux équipes ont fini par payer, couronnés de succès par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) qui vient de reconnaître officiellement leurs découvertes. La première équipe russo-américaine, issue d'une collaboration entre l'Institut unifié de recherche nucléaire de Douvna en Russie et du Laboratoire national Lawrence Livermore en Californie, s'est vu décerner la paternité des éléments 115, 117 et 118. Tandis qu'une équipe japonaise conduite par le professeur Kosuke Morita, de l'institut de recherche scientifique Riken, a emporté celle de l'élément 113. En attendant, le Japonais et son équipe sont déjà lancés à l'assaut des éléments 119 et 120, dans l'espoir d'atteindre, peut-être, ce que les chimistes appellent « l'île de la stabilité » prédite par la théorie, à savoir des combinaisons de protons et de neutrons donnant des atomes lourds mais stables. Alors que, jusqu'ici, tous les atomes plus lourds que l'uranium (élément 92) que les hommes ont réussi à faire apparaître se sont presque aussitôt désintégrés*

## VII. Y a-t-il une limite à la masse des éléments ?

En théorie, le plus gros noyau serait une étoile à neutrons, puisqu'on peut considérer ces étoiles hyperdenses de 10 kilomètres de rayon, restes calcinés d'étoiles très massives, comme un seul gigantesque noyau composé pour majorité de neutrons. Si l'on considère que ces étoiles mortes sont approximativement composées de 1 % de protons, elles formeraient un noyau de masse atomique avoisinant 1061 et de numéro 1059 !



Extrait de cours  
Enseignement Scientifique

## Chapitre 5 : Et après la création de l'univers

L'univers existe depuis 15 milliards d'années. Un centième de seconde après le big-bang, apparaissent les particules atomiques, protons, neutrons, et électrons. Les noyaux de deutérium (assemblage de 1 proton, 1 neutron et 1 électron) se sont formés au bout de 1 seconde. Les noyaux d'hélium (2 protons, 2 neutrons) au bout de un quart d'heure. Puis la création va ralentir son rythme...

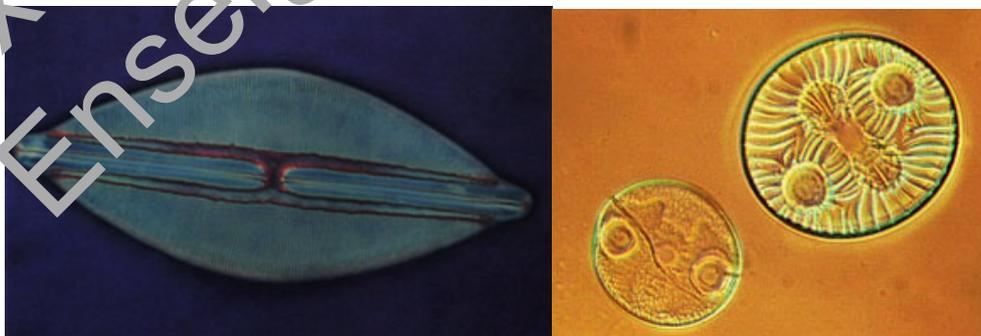
Les atomes les plus légers se sont formés 300.000 ans plus tard : atomes d'hydrogène (1 proton et 1 électron) et atomes d'hélium (2 proton, 2 neutrons, 2 électrons). Les nuages froids d'hydrogène et d'hélium se forment au bout de 1 million d'années.

Sous l'action de la gravitation, ces nuages se condensent et donnent naissance aux premières galaxies dans lesquelles naissent les premières proto-étoiles. Nous sommes alors 100 millions d'années après le Big-Bang.

Les étoiles et les planètes telles que nous les connaissons se sont formées au bout de 5 milliards d'années. Quant à la planète Terre, elle existe depuis 4,6 milliards d'années, soit plus de 10 milliards d'années après le Big-Bang.

### I. Création de la vie sur Terre

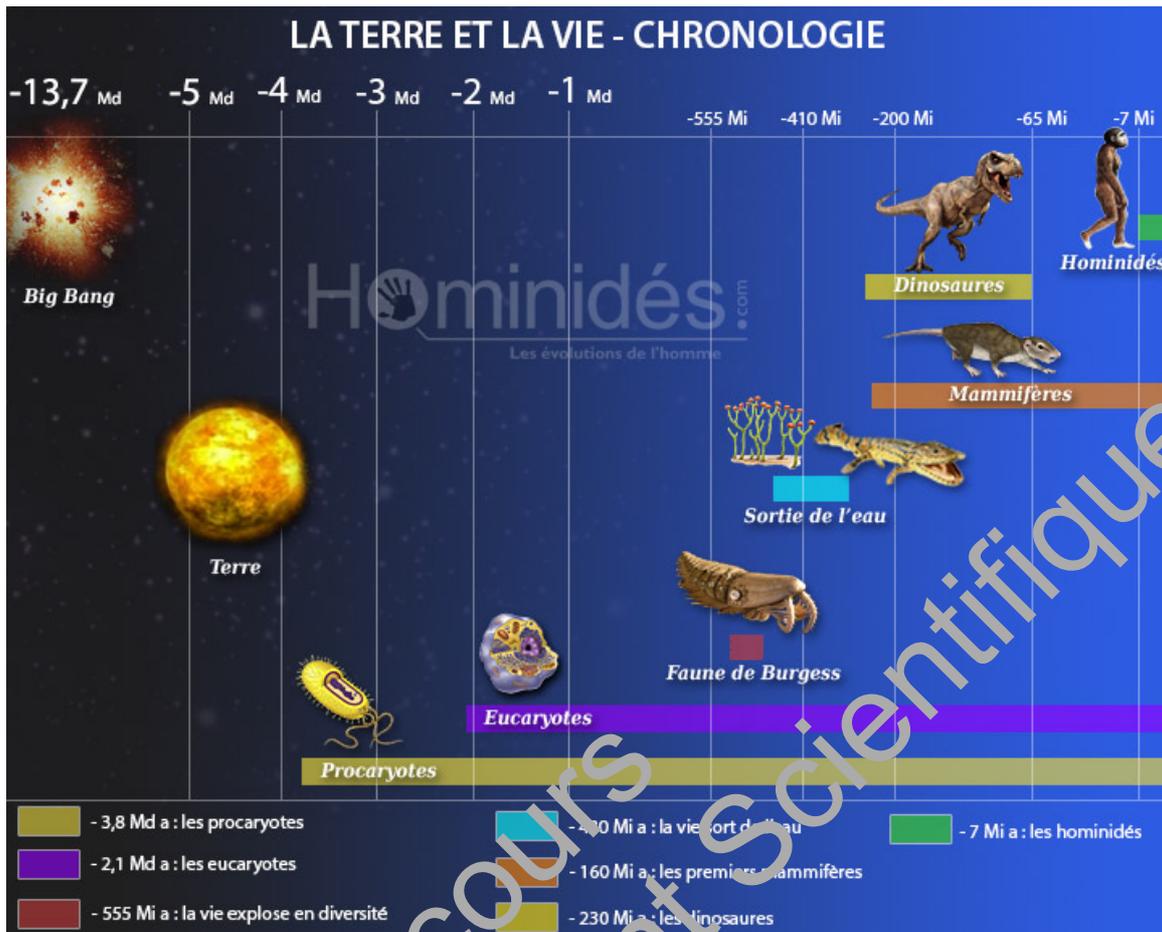
Au début la Terre n'était qu'une boule de lave en fusion, avec une atmosphère de vapeur d'eau et de gaz toxiques. En se refroidissant, la surface s'est solidifiée en une croûte terrestre. Progressivement, la vapeur d'eau s'est condensée pour former des océans dans lesquels des bactéries ont commencé à apparaître et à se développer. Ces bactéries étaient faites d'une seule cellule, mais qui possédait déjà l'attribut essentiel de la vie : une chaîne d'ADN. Un milliard d'années plus tard, ces cellules se sont dotées d'un noyau. Cette organisation interne plus complexe allait ouvrir la voie à une coopération entre des cellules. Des groupes de bactéries vivant en symbiose sont allées jusqu'à former des assemblages permanents au sein desquels chaque cellule a commencé à se spécialiser. Ainsi, les organismes vivants complexes ne doivent pas leur existence à la compétition mais à son contraire, la coopération.



Les premiers organismes multicellulaires sont apparus sur Terre il y a 1,3 milliard d'années, soit 3 milliards d'années après la création de la planète, et 14 milliards d'années après le commencement de l'univers.

C'est alors que le rythme de la Création va à nouveau accélérer de manière fulgurante...

Désormais, nous ne parlerons plus en milliards d'années, mais en millions.



Les premiers "animaux", des mollusques sans coquille, des diatomées ou des coraux, apparaissent donc 500 millions d'années après les premiers organismes multicellulaires.

100 millions d'années plus tard, les coquillages se développent, tandis que des algues s'adaptent à la vie hors de l'eau pour créer les premières plantes. Encore 200 millions d'années et les premières créatures terrestres voient le jour, des insectes, des amphibiens, ou des reptiles. Pendant que les forêts d'arbres carbonifères prospèrent sous un climat tropical, des reptiles mutants se transforment en dinosaures. C'était y a 300 millions d'années. Pendant 240 millions d'années, ils régneront en maîtres sur la planète, dévastant les forêts, et empêchant des formes de vie plus évoluées de se développer, comme nos premiers mammifères qui servaient de repas aux dinosaures.



L'ère des mammifères a pu commencer grâce à l'extinction des dinosaures, probablement en partie à cause de la chute d'un astéroïde. La masse de poussières générées par le choc aurait voilé l'atmosphère, abaissé la température terrestre de manière fatale aux dinosaures. Mais certains d'entre eux ont pu évoluer pour engendrer... les oiseaux.

L'expansion des mammifères s'est produite il y a seulement 50 millions d'années. Cela représente seulement les derniers 0,3% des 15 milliards d'années d'existence de l'univers.

Autre conséquence du refroidissement climatique, les forêts carbonifères ont cédé la place aux arbres que nous connaissons aujourd'hui. C'est le moment où les séquoias géants ont vu le jour.

## II. L'apparition de l'Homme

Les plus lointains ancêtres de l'homme (les australopithèques) sont apparus il y a 4 millions d'années. Des ancêtres plus proches (Lucy, homo habilis, puis homo erectus) ont commencé à utiliser les outils. Il y a 750.000 ans, ils ont maîtrisé le feu.

Deormais, nous changeons encore d'échelle de temps pour parler en milliers d'années, puis en années...

L'homme actuel (l'homo sapiens-sapiens), est apparu il y a 200.000 ans.

Cela représente 0,0013% de la durée d'existence de l'univers.

Sur ces 200.000 ans, 194.000 ans correspondent à ce que l'on appelle la "préhistoire". Les hommes de cette époque vivaient en groupes nomades, se nourrissant grâce à la cueillette, la chasse et la pêche. Ils ont conscience de la mort, ils utilisent un langage, ils sculptent des objets et créent des représentations artistiques qu'ils peignent sur des rochers.

Les dernières 10.000 années de cette période ont été marquées par une évolution majeure au Proche-Orient, ainsi qu'en Inde et en Chine : l'invention de l'agriculture, dont la conséquence a été la sédentarisation. Et donc la création de villages. Puis de villes. C'est là que s'achève la préhistoire et que commence l'histoire. A partir de cet instant, le destin de l'homme ne sera plus déterminé principalement par l'évolution biologique, mais par les idées et la culture.

Tout ce qui va suivre s'est passé pendant les 6000 dernières années, soit 0,000045% de l'existence de l'univers.

### III. Le temps de la Civilisation

Les premières villes, mais aussi l'écriture, l'agriculture intensive grâce à l'irrigation, les administrations, l'argent, le commerce, tout cela a été créé il y a 5300 ans par les Sumériens, qui vivaient dans la vallée de Sumer, le sud de l'actuel Irak.

Mais alors que les chasseurs-cueilleurs vivaient en équilibre avec leur environnement, les méthodes agricoles des Sumériens ont épuisé l'eau et entraîné une augmentation de la salinité des sols. Et la fertile vallée de Sumer est devenue un désert, obligeant les Sumériens à s'établir plus au Nord. C'est là qu'ils ont édifié la ville de Babylone, appelée depuis Bagdad. Une région verdoyante qui sera à son tour transformée en désert.

Un siècle après les Sumériens, une autre grande civilisation s'est développée en Egypte. La civilisation égyptienne est fascinante par la richesse et la complexité de sa culture, par son architecture, ses connaissances astronomiques, médicales ou techniques, et aussi, par son extraordinaire longévité.

La civilisation égyptienne a existé pendant plus de 2600 ans. En comparaison, l'empire romain ne s'est maintenu que pendant 700 ans.

Quant à notre civilisation industrielle, elle n'existe que depuis un peu plus de 200 ans.

Cela représente 0,0000013% de la durée d'existence de l'univers, et 0,0000044% de la durée d'existence de la Terre.

Si la durée d'existence de l'univers était représentée par la hauteur de la tour Eiffel, la civilisation humaine aurait 0,14 millimètres d'épaisseur, soit moins que la couche de peinture au sommet de la tour.

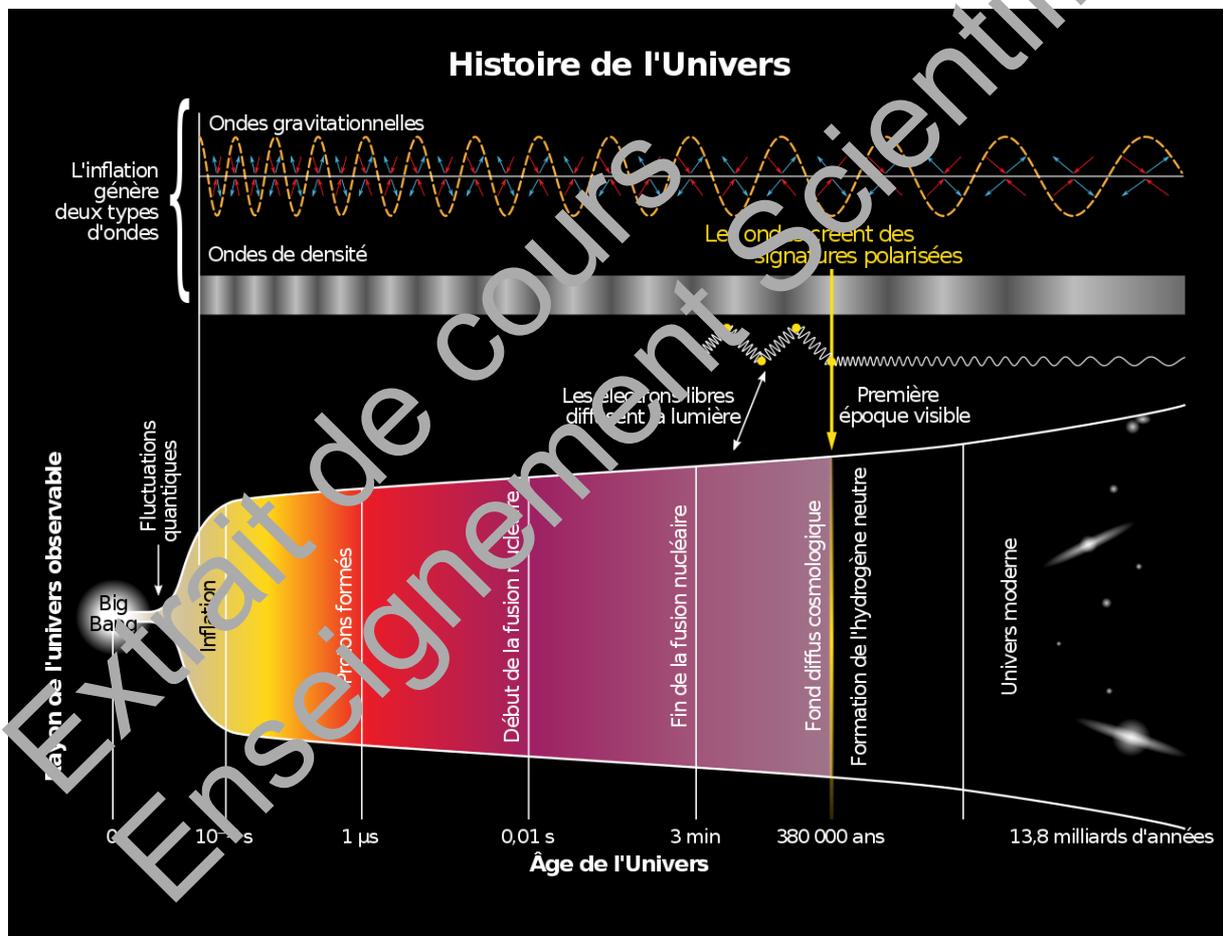
### IV. Chronologie de l'évolution

- 15.000.000.000 ans : Big-Bang
- 15.000.000.000 ans + 1/100<sup>ème</sup> de seconde : protons, neutrons, électrons
- 15.000.000.000 ans + 1 seconde : noyaux de deutérium (hydrogène lourd)
- 15.000.000.000 ans + 1/4 d'heure : noyaux d'hélium
- 14.999.700.000 ans : atomes d'hélium, atomes d'hydrogène
- 14.999.000.000 ans : nuages froids de gaz cosmique

- 14.900.000.000 ans : galaxies
- 10.000.000.000 ans : formation des étoiles et des planètes
- 4.600.000.000 ans : la Terre se forme ; boule de lave en fusion, puis refroidissement
- 4.100.000.000 : 1ère chaîne de nucléotides
- 4.000.000.000 : roches les plus anciennes. Condensation de vapeur
- 3.800.000.000 : océans peu profonds, composés à base de carbone
- 3.500.000.000 : premières cellules bactériennes, ADN
- 2.800.000.000 : plaques tectoniques, dérive des continents. Photosynthèse de l'oxygène
- 2.500.000.000 : développement complet des bactéries
- 2,200.000.000 : cellules à noyau
- 2.000.000.000 : augmentation du taux d'oxygène dans l'atmosphère
- 1.800.000.000 : des cellules commencent à utiliser l'oxygène comme source d'énergie
- 1.300.000.000 : les bactéries fusionnent pour former des organismes composites (Protozoïque)
- 1.500.000.000 : le taux d'oxygène dans l'atmosphère atteint son niveau actuel : 21%
- 1.000.000.000 : reproduction sexuelle
- 800.000.000 : mitochondries, chloroplastes
- 700.000.000 : premiers animaux (mollusques sans coquilles)
- 600.000.000 : coquilles et squelette
- 500.000.000 : premières plantes (Paléozoïque)
- 400.000.000 : premiers animaux terrestres (insectes, amphibiens...)
- 300.000.000 : dinosaures
- 200.000.000 : reptiles volants, premiers mammifères (Mésozoïque)
- 150.000.000 : séparation des plaques du continent unique (Pangée) ; début de la dérive des continents
- 100.000.000 : plantes à fleurs, premiers primates (Jurassique)
- 70.000.000 : la Terre est couverte de vastes forêts, et encore peuplée d'animaux monstrueux
- 65.000.000 : extinction des dinosaures (Crétacé)
- 60.000.000 : explosion de la biodiversité (Cambrien)
- 50.000.000 : expansion générale des mammifères (Cénozoïque)

- 4.000.000 : australopithèques (Australopithecus afarensis)
- 3.200.000 : Lucy
- 3.000.000 : des hommes-singes commencent à utiliser des outils
- 2.500.000 : diversification en plusieurs espèces d'Australopithecus
- 2.000.000 : apparition des 1ers hominidés - Homo habilis
- 1.600.000 : Homo ergaster
- 1.400.000 : disparition des Australopithèques
- 1.000.000 : installation d'Homo erectus en Asie et en Europe
- 750.000 : maîtrise du feu
- 250.000 : formes archaïques de l'Homo Sapiens - disparition de l'Homo erectus
- 200.000 : apparition de l'homo sapiens moderne
- 125.000 : Homme de Néanderthal - homo néanderthalensis
- 100.000 : Homo sapiens moderne en Afrique et en Asie
- 40.000 : Homo sapiens moderne en Europe (Homme de Cro-Magnon)
- 35.000 : premières "écritures" paléolithiques - disparition des néanderthaliens
- 10.000 : sédentarisation et apparition de l'agriculture
- 5600 : naissance de l'architecture à Malte
- 5300 : écriture sumérienne
- 5200 : premières dynasties égyptiennes
- 5000 : hindouïsme
- 4800 : pyramide de Kheops
- 4600 : déluge, d'après Gilgamesh
- 3800 : judaïsme
- 3400 : Toutânkhâmon
- 2800 : Grèce antique
- 2753 : fondation de Rome
- 2700 à -2500 : déclin de l'Egypte
- 2660 : naissance du prophète Zoroastre - naissance du Japon
- 2605 : avènement de Nabuchodonosor
- 2500 : bouddhisme
- 2350 : naissance d'Alexandre le Grand

- 2217 : Hanibal
  - 2247 : naissance de l'Empire chinois - début du règne du 1er empereur chinois
  - 2100 : naissance de Jules César
  - 2000 : naissance de Jésus
  - 535 : presse de Gutemberg
  - 480 : début de la science
  - 195 : révolution industrielle
  - 55 : maîtrise de l'énergie nucléaire
  - 25 : invention du microprocesseur
- (Décompte par rapport à l'an 2000)



## Énoncé des exercices non à soumettre en séquence 1

### Exercice 1

Retrouver le terme ou l'expression correspondant à chaque définition.

1. Lors de réactions nucléaires, ils se scindent ou fusionnent.
2. Elles sont le siège de réactions nucléaires et les éléments chimiques en sont issus.
3. Son explosion est créatrice de matière.
4. Ils ne sont pas stables et se désintègrent.

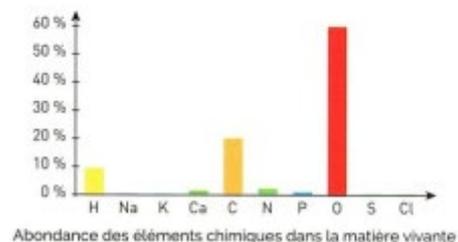
### Exercice 2

Indiquer la bonne réponse.

1. Les deux éléments chimiques majoritaires dans l'Univers sont :
  - a) le carbone et l'hydrogène.
  - b) l'hydrogène et l'hélium.
  - c) l'oxygène et l'hydrogène.
2. Cet objet est majoritairement composé d'hydrogène :
  - a) La Terre.
  - b) Le Soleil.
  - c) L'être humain.
3. Les éléments chimiques primordiaux sont :
  - a) tous les noyaux d'atomes radioactifs.
  - b) les noyaux d'atomes de fer.
  - c) les noyaux d'atomes d'hydrogène.
4. La croûte terrestre est surtout constituée de :
  - a) potassium.
  - b) oxygène.
  - c) carbone.

### Exercice 3

On considère les deux graphiques suivants :



1. Nommer l'élément le plus abondant sur Terre.
2. Lister Les quatre éléments Les plus abondants dans la matière du vivant.

### Exercice 4

#### Distinguer des transformations nucléaires

HISTOIRE DES SCIENCES

Identifier dans le texte une réaction de fusion, une réaction de fission et une désintégration radioactive.



Lise Meitner (1878-1968) était une physicienne autrichienne dont les travaux portèrent sur l'interprétation théorique de la transformation de l'uranium en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron. Elle montra notamment pourquoi l'uranium est l'élément le plus lourd existant à l'état naturel, en expliquant qu'avec l'augmentation du nombre de protons, la répulsion coulombienne l'emporte sur les forces nucléaires. En 1982, des chercheurs allemands synthétisèrent l'élément de numéro atomique 109, en bombardant un cible de bismuth 209 avec des noyaux de fer 58. Ils le nommèrent « meitnerium », en hommage à la scientifique. Comme elle l'avait prédit, cet élément est instable et tous ses isotopes se transforment spontanément en émettant des particules.

### Exercice 5

#### Décrypter la nucléosynthèse des éléments chimiques

Selon le modèle du Big Bang, quelques secondes après l'explosion originelle, les seuls éléments chimiques présents étaient l'hydrogène [90 %], l'hélium et le lithium, ce dernier en quantité très faible. Les physiciens ont cherché à comprendre d'où provenaient les

autres éléments plus lourds existant dans l'Univers : leur synthèse se fait par des transformations nucléaires.

1. Déterminer la composition des noyaux des atomes d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  et de lithium  ${}^7_3\text{Li}$ .
2. Comment nomme-t-on les noyaux d'hélium 3 et d'hélium 4 ? Qu'est-ce qui les différencie ?
3. Pourquoi la synthèse des éléments plus lourds ne peut-elle pas se faire par des transformations chimiques ?

Extrait de cours  
Enseignement Scientifique