



LA CAPSULE DU DÉBUTANT



Les étoiles

- ✓ **La structure de la matière (partie 1)**



LES OBJECTIFS

- ★ Au terme de cette présentation, le participant pourra :
 - Raconter les grands jalons de l'histoire des idées qui ont mené à notre compréhension de la composition et de la structure de la matière.
 - Illustrer les modèles de l'atome, leurs faiblesses et leurs forces.
 - Expliquer schématiquement le *modèle standard* de la physique quantique.
 - Décrire les interactions fondamentales qui gouvernent le cosmos et exposer leur universalité.



DÉFINITION

- (**L'énergumène**) - Qu'est ce que la matière ?
- (**Le philosophe**) - Je n'en sais pas grand-chose [...] Les sages à qui l'on demande ce que c'est que l'âme, répondent qu'ils n'en savent rien. Si on leur demande ce que c'est que la matière, ils font la même réponse.

Dictionnaire philosophique (1764)

François-Marie Arouet dit **Voltaire**, 1694-1778





DÉFINITION

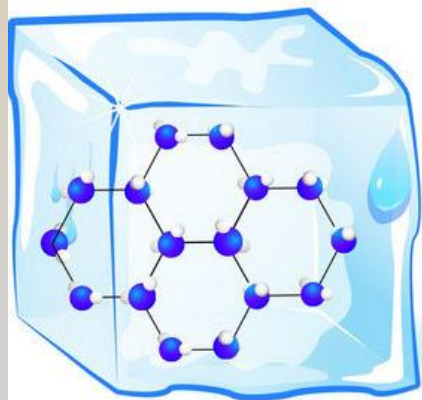
- ★ La ***matière*** est ce qui compose tout corps ayant une réalité tangible.
 - La ***réalité*** est l'ensemble des phénomènes existant effectivement.
 - Est ***tangible*** ce qui est concret, sensible.
- ★ La ***matière*** est une substance dont les caractéristiques fondamentales sont l'étendu et la masse, et donc qui occupe de l'espace.



DÉFINITION

Les états fondamentaux de la matière

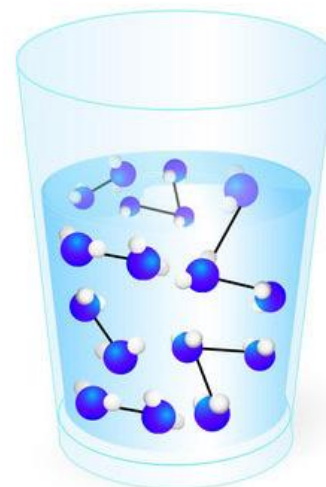
Solide



Gazeux



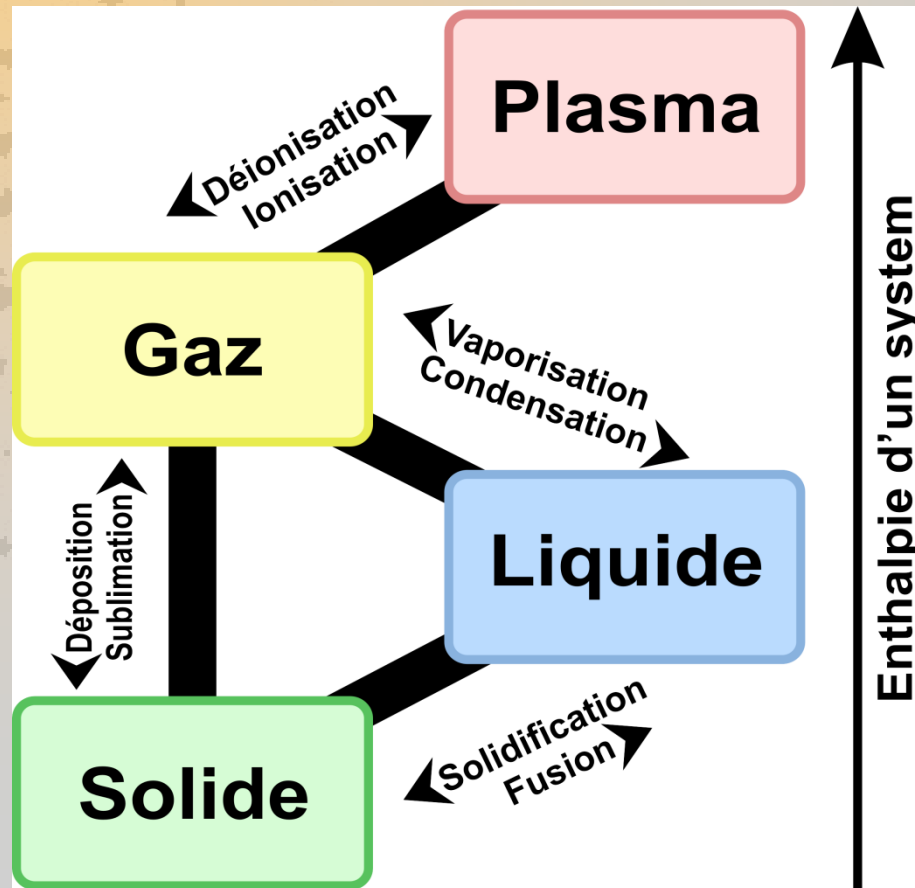
Liquide





DÉFINITION

★ Les états de la matière et les transitions





DÉFINITION



★ De quoi est faite la matière ?

➤ Y a-t-il une substance bois, ou fer, ou nuage ?





DÉFINITION

★ De quoi est faite la matière ?

➤ Y a-t-il une substance bois, ou fer, ou nuage ?

■ Pour *Aristote* (384-322 AEC)

Les éléments fondamentaux
de la matière sont :

- ✓ La terre
- ✓ L'eau
- ✓ L'air
- ✓ Le feu

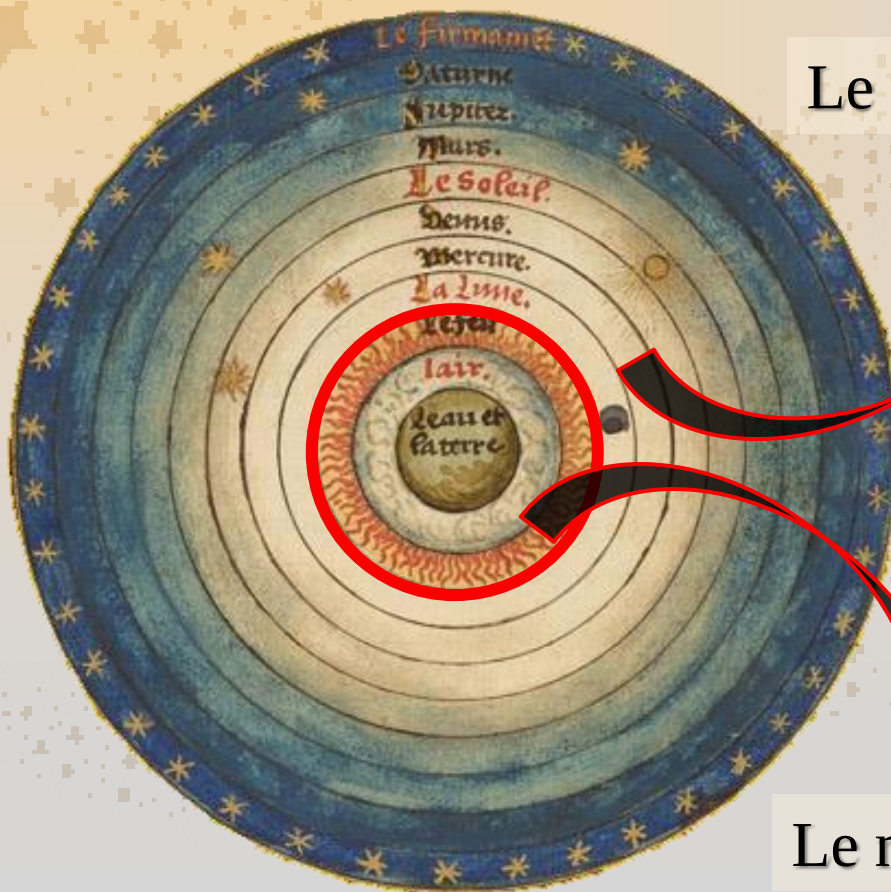


À ces éléments s'ajoute la Quinte Essence : l'éther



DÉFINITION

★ La cosmologie d'Aristote...et de Platon



Le monde supra-lunaire



Le monde infra-lunaire



DÉFINITION

★ De quoi est faite la matière ?

➤ Y a-t-il une substance bois, ou fer, ou nuage ?

■ Pour **Aristote** (384-322 AEC)

Les éléments fondamentaux
de la matière sont :

- ✓ La terre
- ✓ L'eau
- ✓ L'air
- ✓ Le feu

Le monde est continu
et la matière est
divisible à l'infini

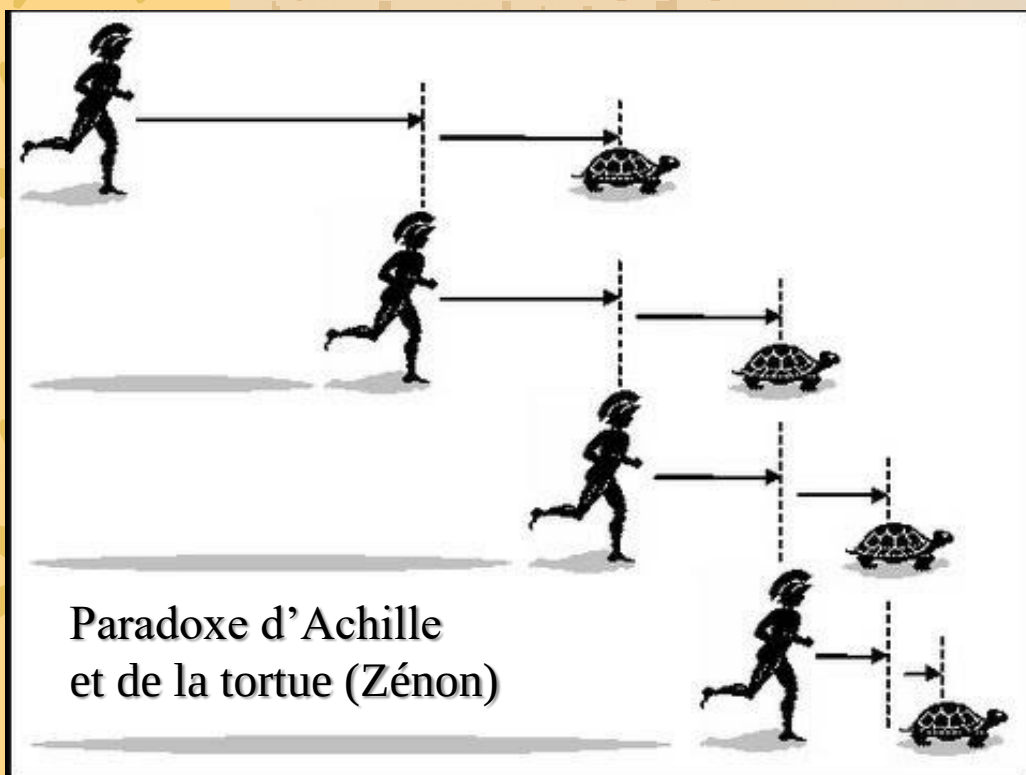


À ces éléments s'ajoute la Quinte Essence : l'éther



DÉFINITION

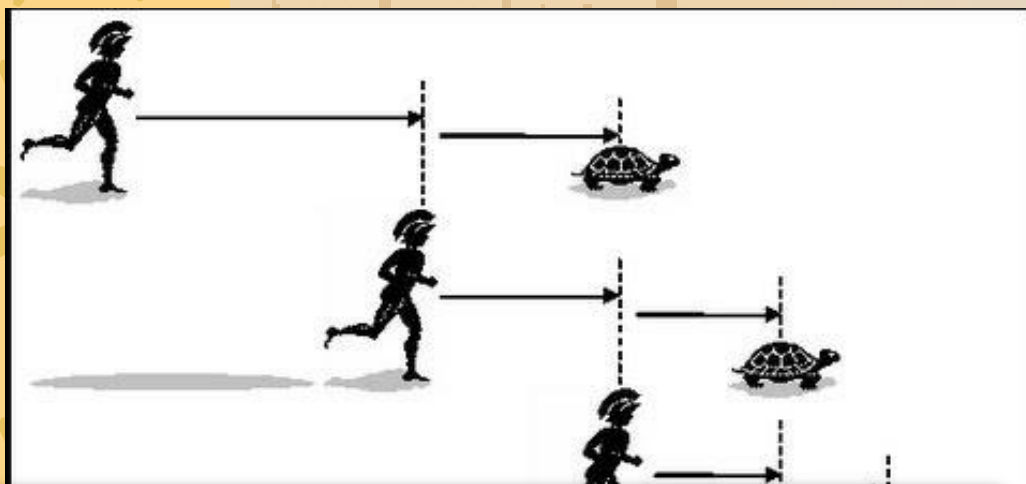
- ★ La cosmologie d'Aristote...et de Platon
 - Les données du monde sont *continues*.





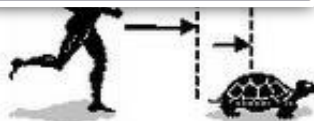
DÉFINITION

- ★ La cosmologie d'Aristote...et de Platon
 - Les données du monde sont *continues*.



Idéalisme philosophique

et de la tortue (Zénon)





DÉFINITION

★ De quoi est faite la matière ?

➤ Y a-t-il une substance bois, ou fer, ou nuage ?

■ Pour *Démocrite* (460-370 AEC)





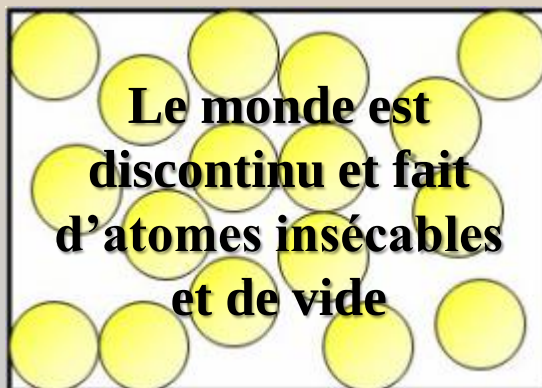
DÉFINITION

★ De quoi est faite la matière ?

➤ Y a-t-il une substance bois, ou fer, ou nuage ?

■ Pour *Démocrite* (460-370 AEC)

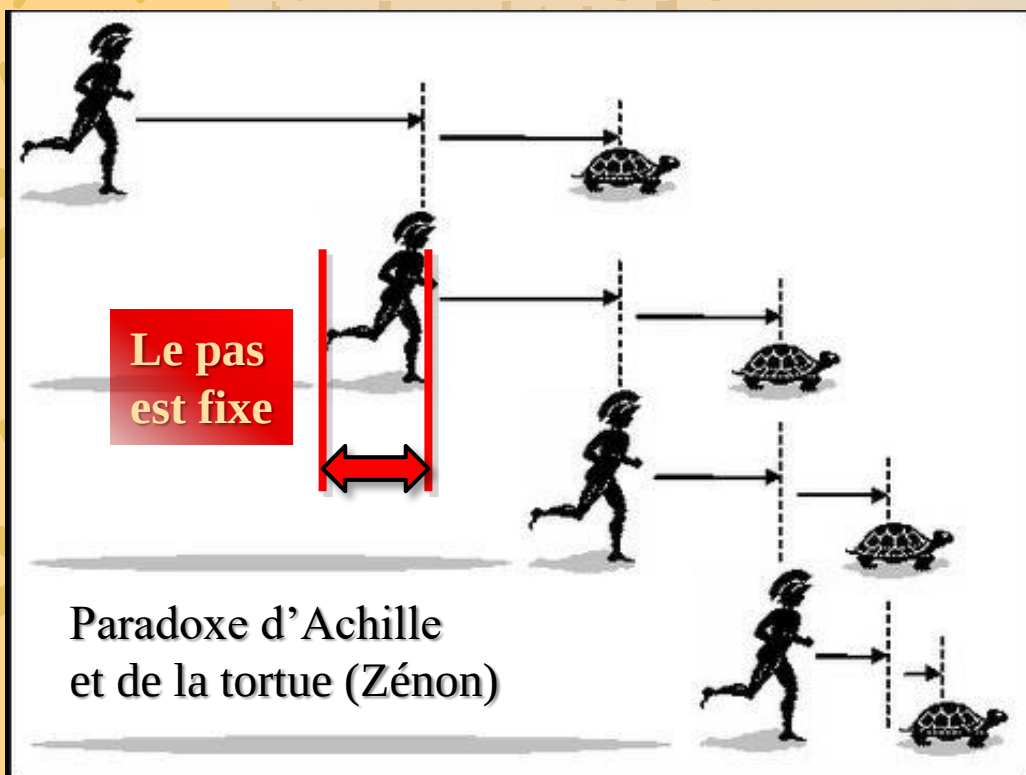
Les éléments fondamentaux de la matière sont les atomes.





DÉFINITION

- ★ Dans la cosmologie démocritéenne,
 - Les données du monde sont *discontinues*.

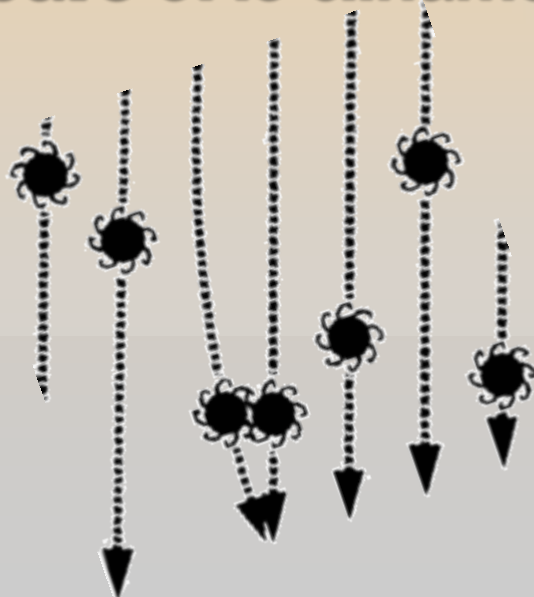




DÉFINITION

★ De quoi est faite la matière ?

- Les unions et désunions des atomes composent et décomposent tout ce qui existe.
- **Épicure** et le clinamen.



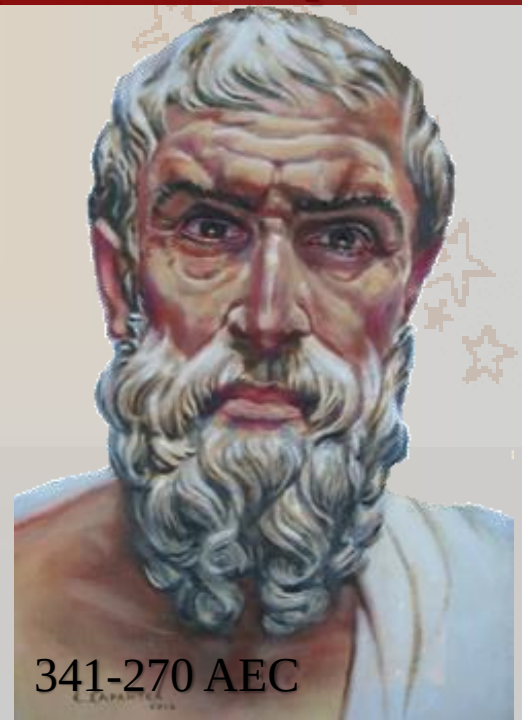
341-270 AEC

« Voici encore, en cette matière, ce que je veux te faire connaître. Les atomes descendent en ligne droite dans le vide, entraînés par leur pesanteur. Mais il leur arrive, on ne saurait dire où ni quand, de s'écarter un peu de la verticale, si peu qu'à peine on peut parler de déclinaison. Sans cet écart ils ne cesseraient de tomber à travers le vide immense, comme des gouttes de pluie ; il n'y aurait point lieu à rencontres, à chocs, et jamais la nature n'aurait rien pu créer. »

Lucrèce, *De rerum natura*, 2, 216

➤ **Épicure** et le clinamen.

Matérialisme philosophique



341-270 AEC

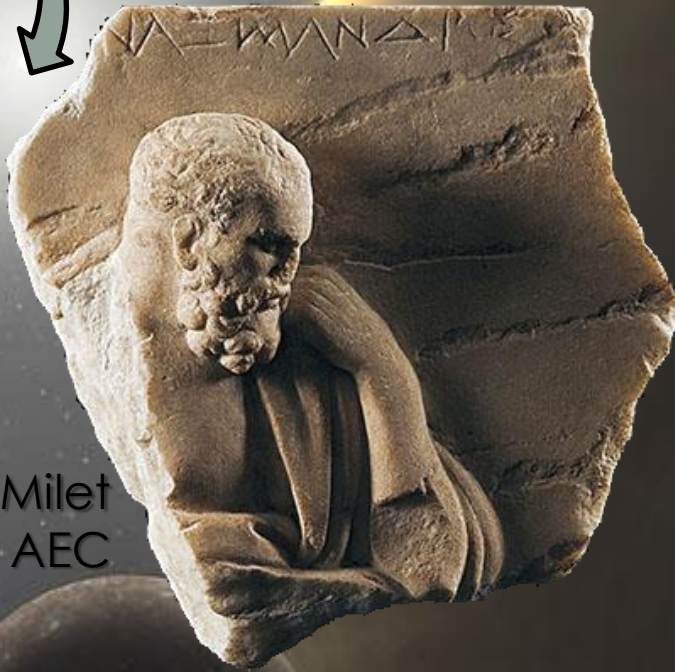
LA PLUS VIEILLE DES SCIENCES

Courant matérialiste grec

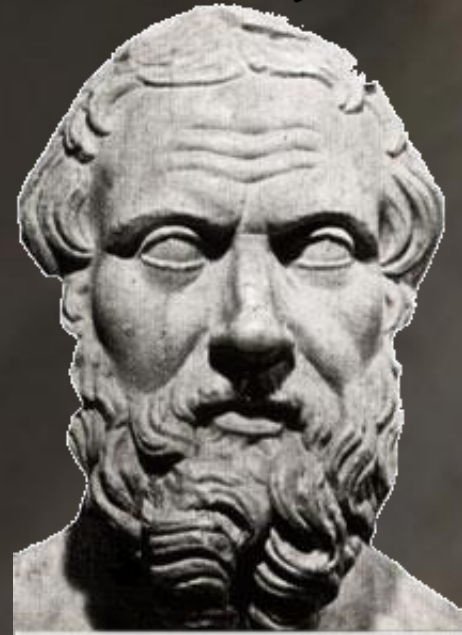


Thalès de Milet
VI^e siècle AEC

Anaximandre de Milet
VI^e siècle AEC



Leucippe
IV^e siècle AEC



Démocrite
IV^e siècle AEC

LA PLUS VIEILLE DES SCIENCES

Courant matérialiste grec

Leucippe était
une femme (?)

ατομος

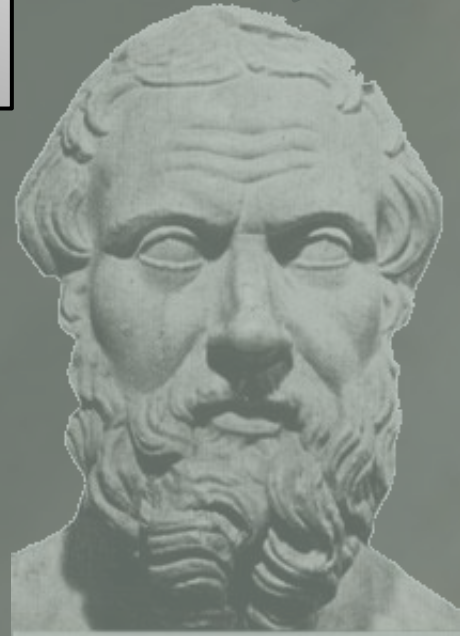
Leucippe
IV^e siècle AEC

Démocrite
IV^e siècle AEC



Thales
VI^e s

Anaximandre
VI^e s





LES AFFRES DE L'HISTOIRE

★ Les bons et les méchants :

➤ L'idéalisme triomphant



Idéa



Érialism

312 EC

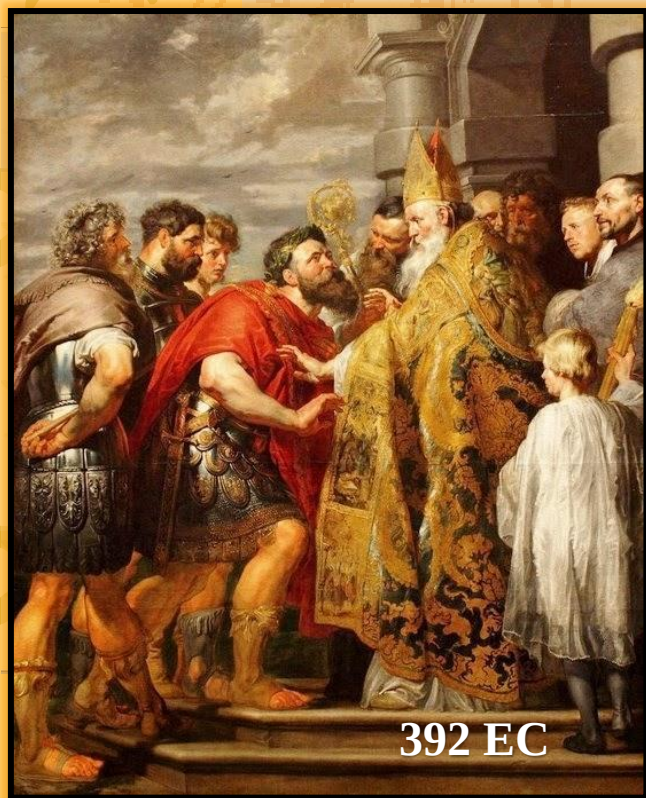
Nicée 325 EC



LES AFFRES DE L'HISTOIRE

★ Les bons et les méchants

➤ L'idéalisme tr



392 EC

de Platon
continues



Benjamin GRAS

La Persécution des Païens
dans l'Empire Romain
et l'Europe du Moyen Âge



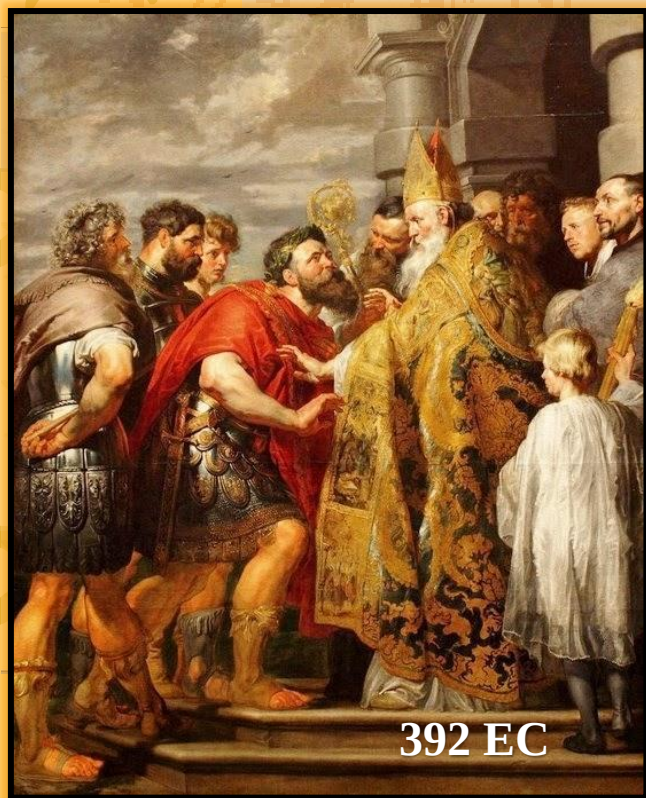
La Société des Écrivains



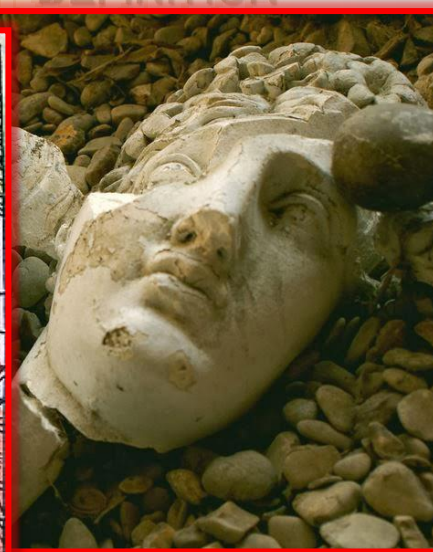
LES AFFRES DE L'HISTOIRE

★ Les bons et les méchants :

➤ L'idéalisme triomphant



392 EC



**Autodafés des
œuvres païennes**

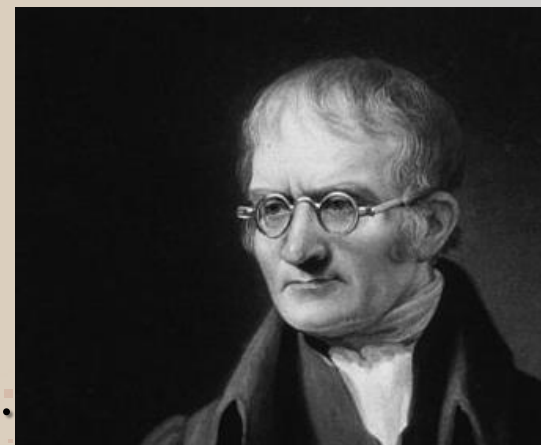


L'ATOME

★ La quête scientifique de l'atome

➤ John Dalton

- Théorie fondée sur la loi de la conservation des masses et la loi des proportions définies (1803).



- ✓ Toute matière est composée d'atomes indivisibles.
- ✓ Les composés sont l'association d'au moins deux types d'atomes différents.
- ✓ Une réaction chimique est un réarrangement d'atomes.

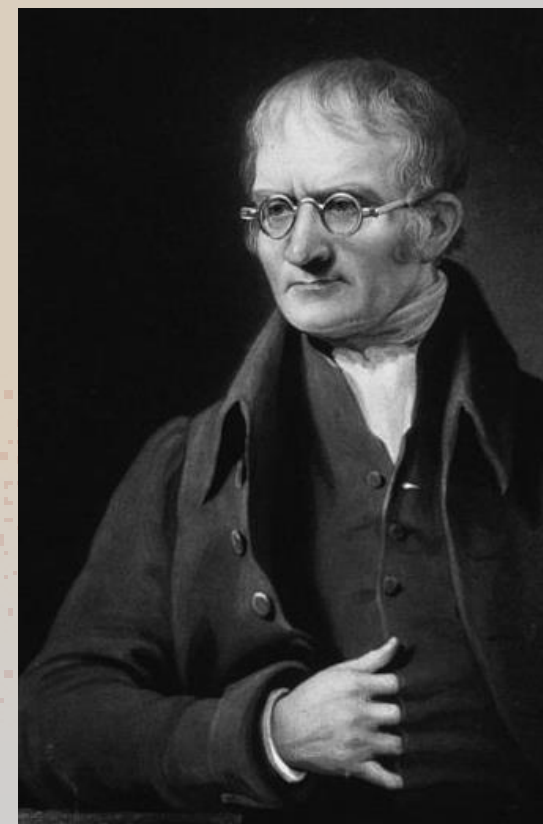
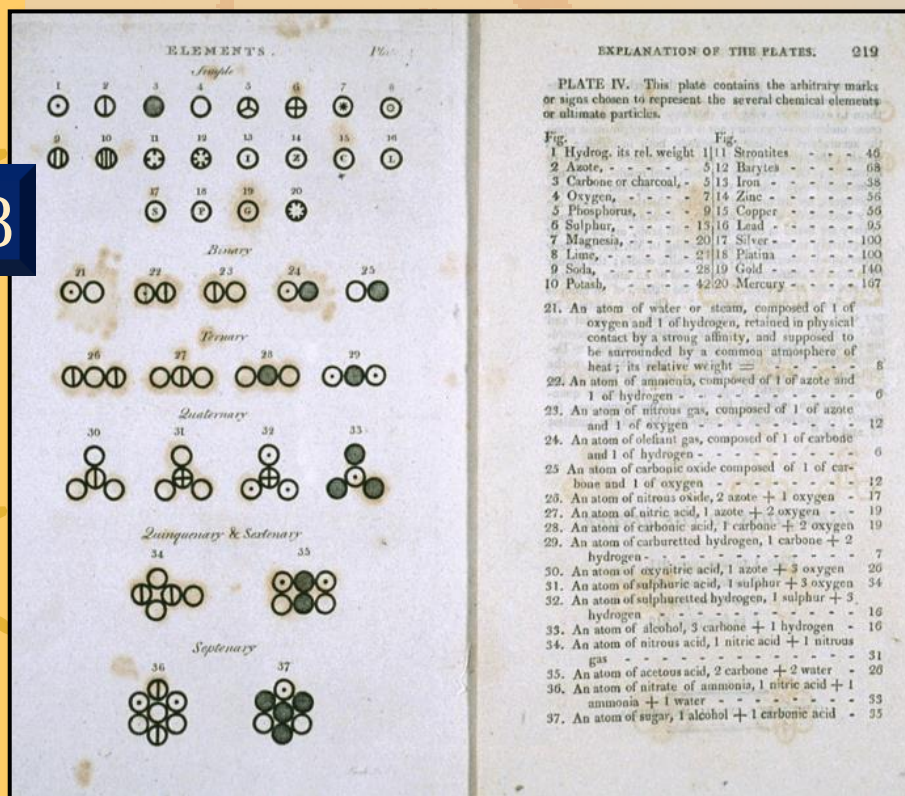


L'ATOME

★ La quête scientifique de l'atome

➤ John Dalton

1808



1766-1844



L'ATOME

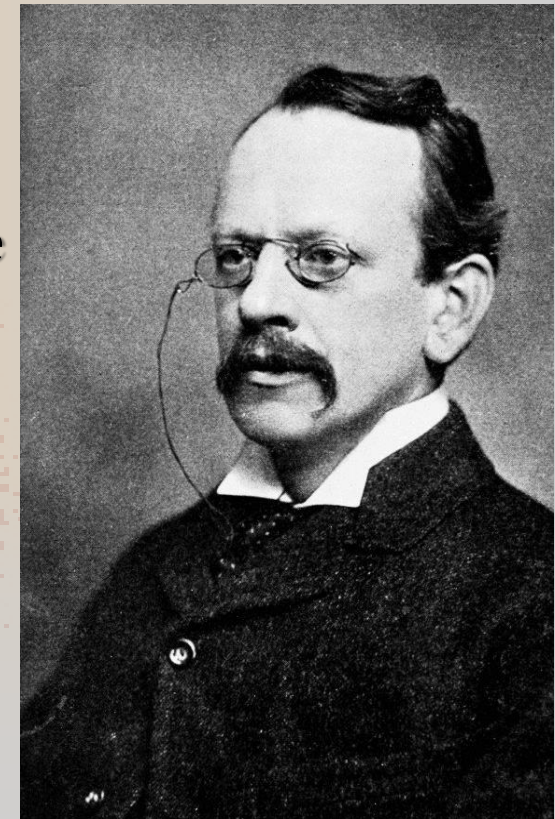
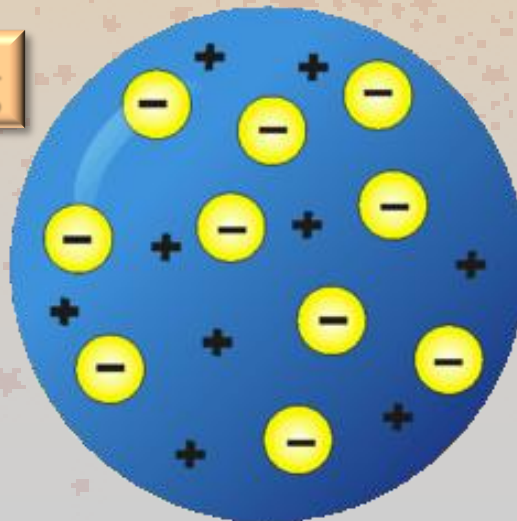
★ La quête scientifique de l'atome

➤ JJ Thompson

■ Découvre l'*électron* (1897)

- Lui attribue une charge négative
- Au sein d'un atome neutre

Modèle Plum-pudding



1856-1940

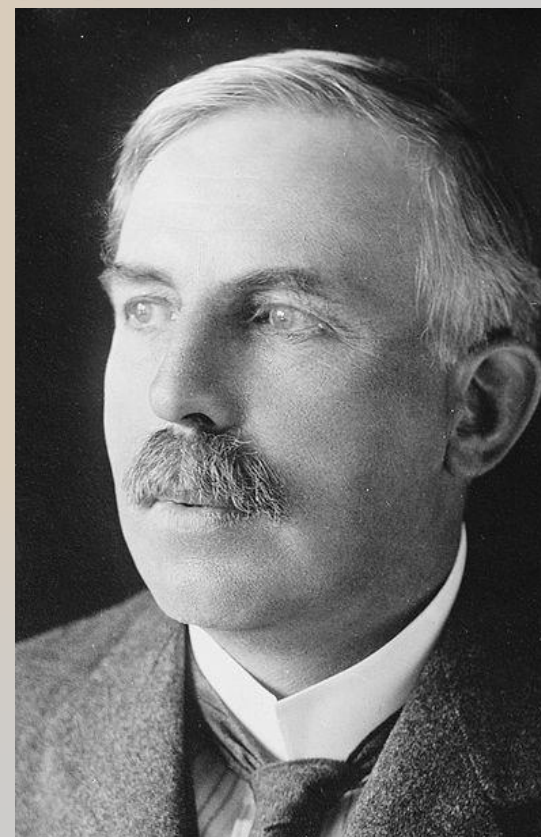
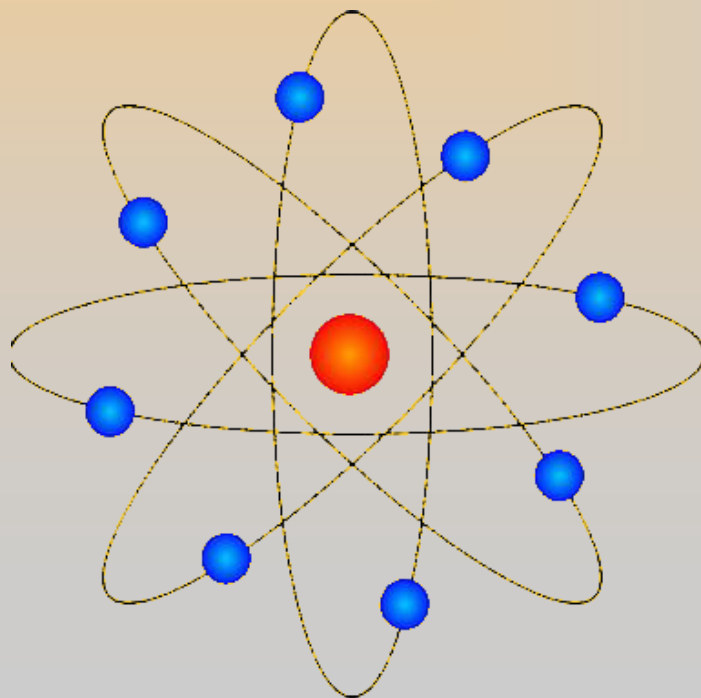


L'ATOME

★ La quête scientifique de l'atome

➤ Ernest Rutherford

■ Découvre le *noyau* (1897)



1856-1940



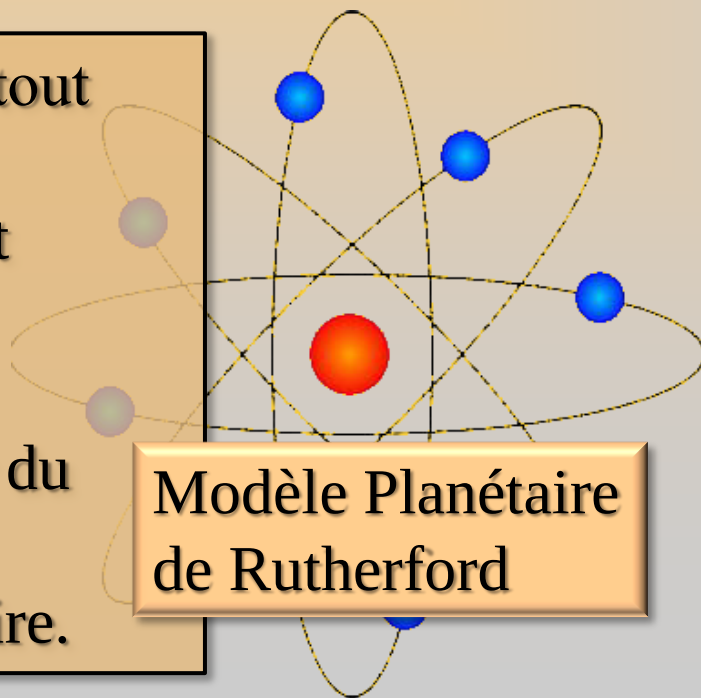
L'ATOME

★ La quête scientifique de l'atome

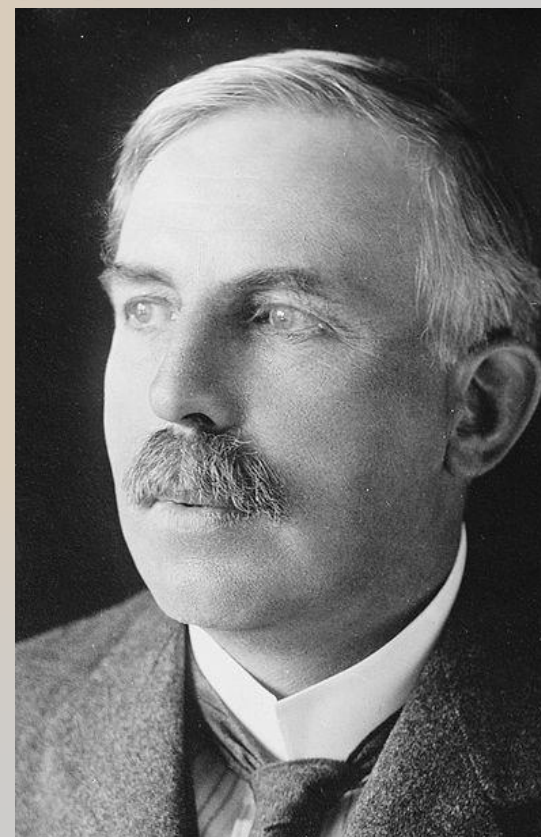
➤ Ernest Rutherford

■ Découvre le *noyau* (1897)

1. L'atome est surtout fait de vide.
2. Son noyau + est massif.
3. Les électrons – tournent autour du noyau selon un modèle planétaire.



Modèle Planétaire
de Rutherford



1856-1940



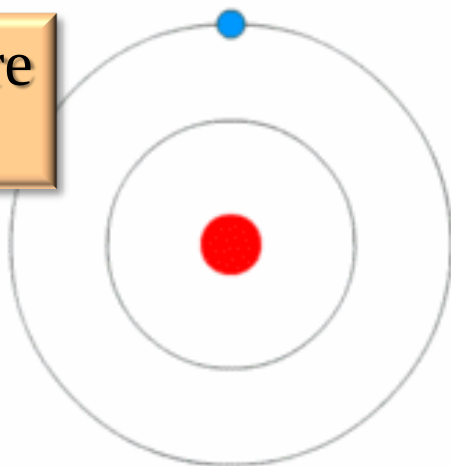
L'ATOME

★ La quête scientifique de l'atome

➤ Niels Bohr

- Les électrons tournent autour du noyau sur des *orbites définies* (1913)

Modèle planétaire
de Bohr



1885-1962



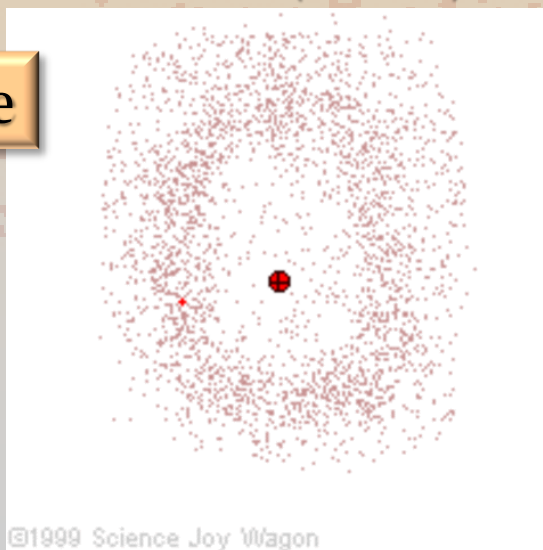
L'ATOME

★ La quête scientifique de l'atome

➤ Erwin Schrödinger

- À l'électron est associée une fonction d'ondes de probabilité (1926)

Modèle quantique



©1999 Science Joy Wagon

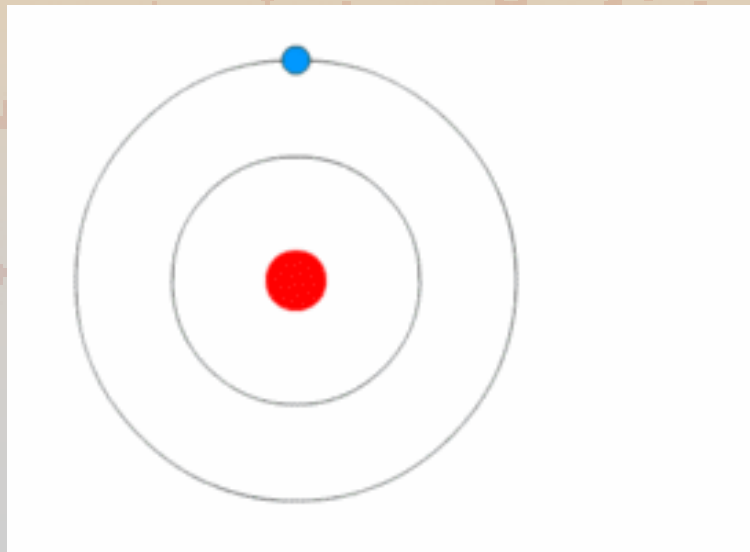


1885-1962



L'ATOME

★ Pour les besoins de cette présentation nous utiliserons le **modèle planétaire de Bohr** pour illustrer les propriétés de l'atome.



1885-1962



L'ATOME



★ Dans ce modèle :

- L'atome n'est plus insécable.
 - Bohr rompt avec l'atome de Démocrite.

Ατομος ➡ insécable



1885-1962



L'ATOME DE BOHR

★ L'atome comprend 3 particules
“*élémentaires*”

Indivisibles





L'ATOME DE BOHR

★ L'atome comprend 3 particules
“*élémentaires*”

➤ Proton

➤ Neutron

➤ Électron

} Forment le noyau. Ils sont
aussi appelés ***nucléons***

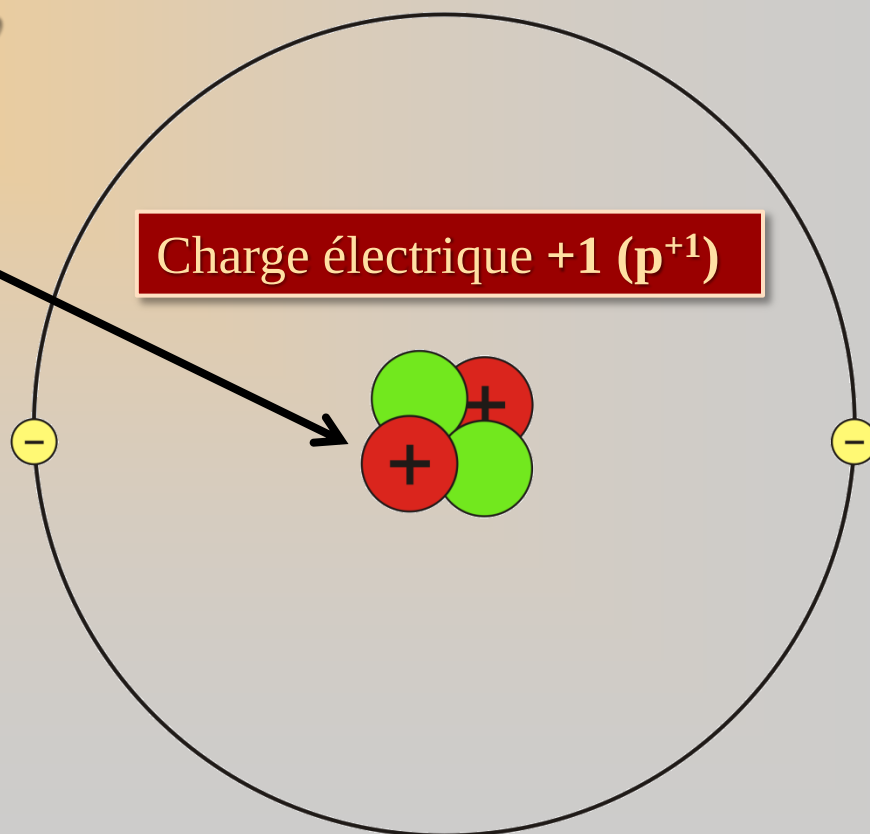
Orbite autour du noyau



L'ATOME DE BOHR

★ L'atome comprend 3 particules
“*élémentaires*”

- Proton
- Neutron
- Électron





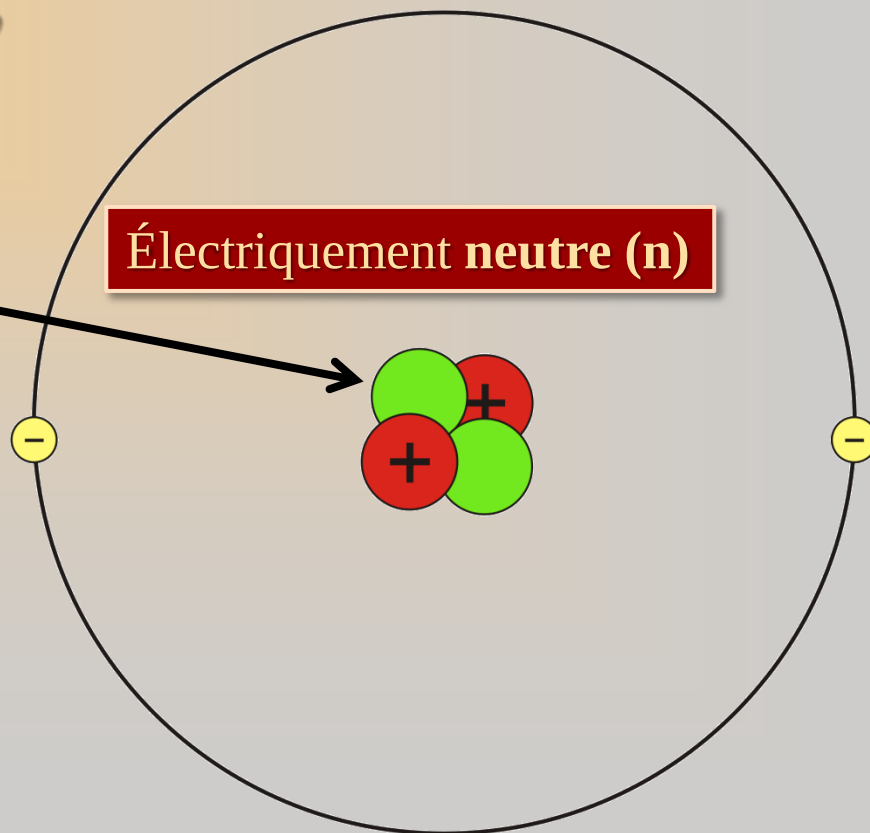
L'ATOME DE BOHR

★ L'atome comprend 3 particules
“*élémentaires*”

➤ Proton

➤ Neutron

➤ Électron





L'ATOME DE BOHR

★ L'atome comprend 3 particules
“*élémentaires*”

➤ Proton

➤ Neutron

➤ Électron

Charge électrique -1 (e^{-1})

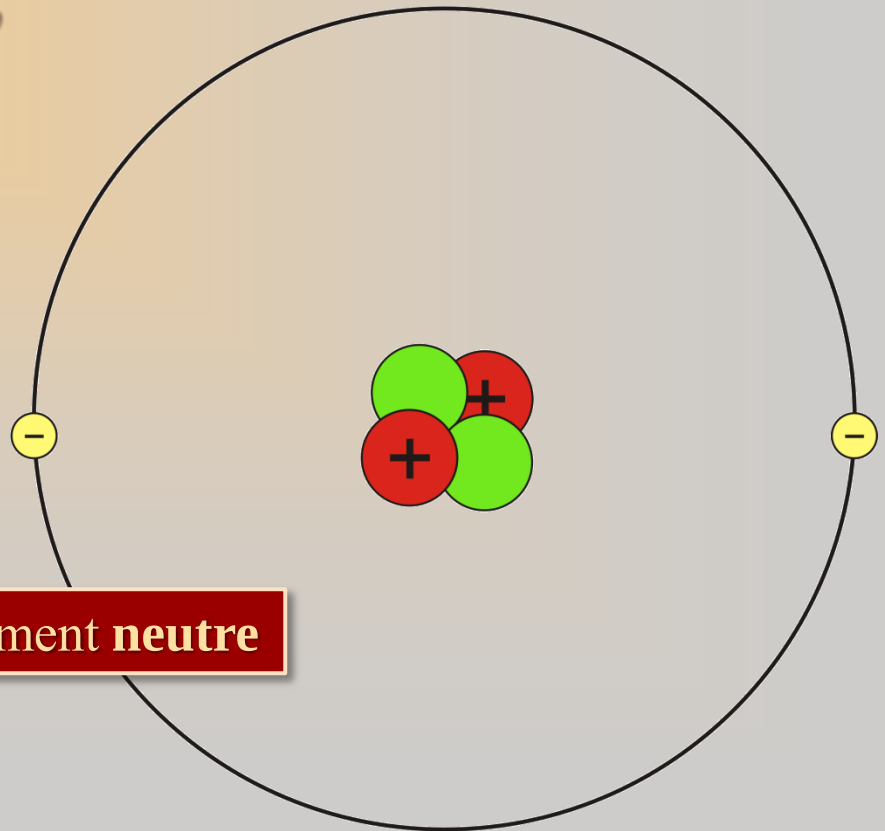




L'ATOME DE BOHR

★ L'atome comprend 3 particules
“*élémentaires*”

- Proton
- Neutron
- Électron

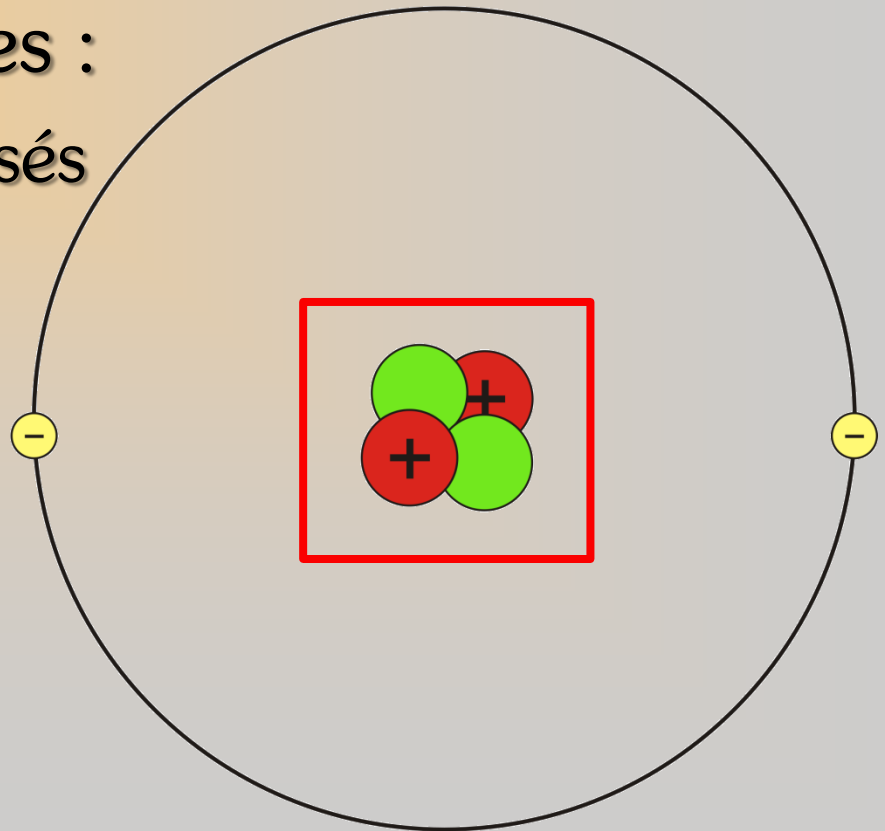


L'atome est électriquement **neutre**



L'ATOME DE BOHR

- ★ En fait, les protons et les neutrons ne sont pas élémentaires :
 - Ils sont composés de *Quarks*



Existence postulée en 1964
par Murray Gell-Mann ➡
Existence démontrée en
1969 par Richard Feynman

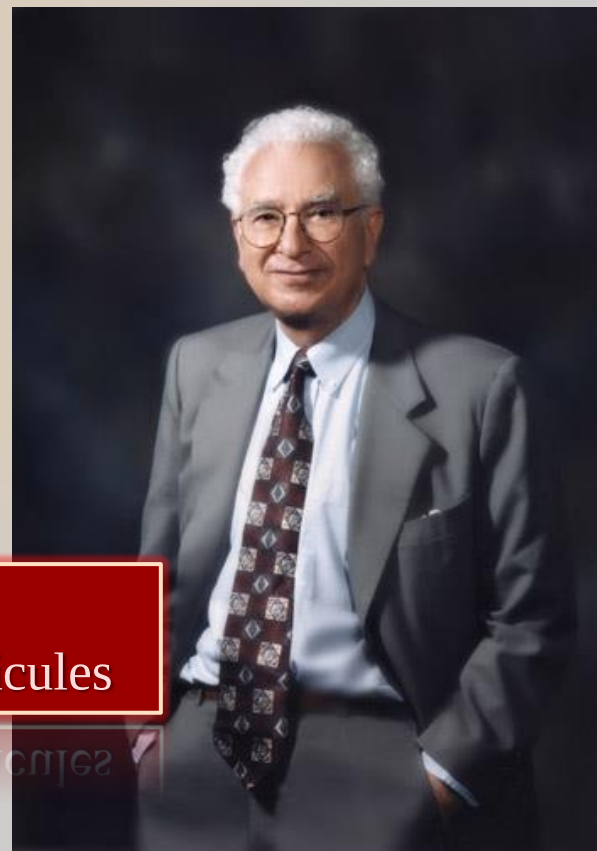


LE MODÈLE STANDARD

- ★ Classification des particules élémentaires découvertes depuis 1950 en utilisant des propriétés symétrie.

Murray Gell-Mann
1929-2019

Prix Nobel de physique 1969
Père du *Modèle standard* de la physique des particules





LE MODÈLE STANDARD

masse →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
LEPTONS	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e électron	μ muon	τ tau	Z^0 boson Z^0	
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	$W^\pm$ boson $W^\pm$	
					BOSONS DE JAUGE



LE MODÈLE STANDARD

masse →	$\approx 2.3 \text{ MeV/c}^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV/c}^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV/c}^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV/c}^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV/c}^2$	$\approx 95 \text{ MeV/c}^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV/c}^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c^2	105.7 MeV/c^2	1.777 GeV/c^2	91.2 GeV/c^2	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e	μ	τ	Z^0 boson Z^0	
				GeV/c^2	
				$W^\pm$ boson $W^\pm$	
LEP	neutrino électronique	neutrino muonique	neutrino tauique		
BOSONS DE JAUGE					

17 éléments fondamentaux
Dont 12 particules élémentaires



LE MODÈLE STANDARD

QUARKS	masse →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
	charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$
	spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$
		u	c	t
		up	charm	top
QUARKS		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
		$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$
		$1/2$	$1/2$	$1/2$
		d	s	b
		down	strange	bottom

Les quarks sont nommés par leur *saveur*



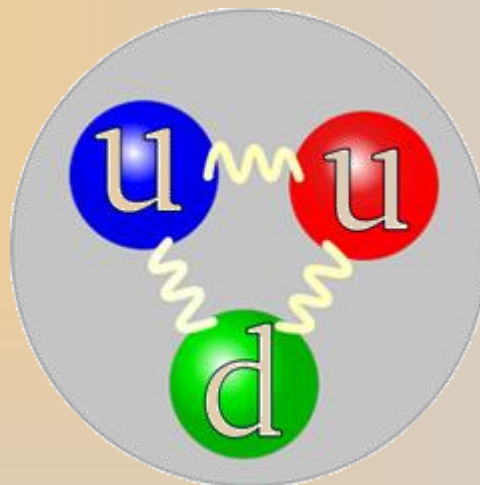
LE MODÈLE STANDARD

B
a
r
y
o
n
s

★ Le proton =

QUARKS	masse	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²
	charge	2/3	2/3	2/3
	spin	1/2	1/2	1/2
		u	c	t
		up	charm	top
QUARKS		≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²
		-1/3	-1/3	-1/3
		1/2	1/2	1/2
		d	s	b
		down	strange	bottom

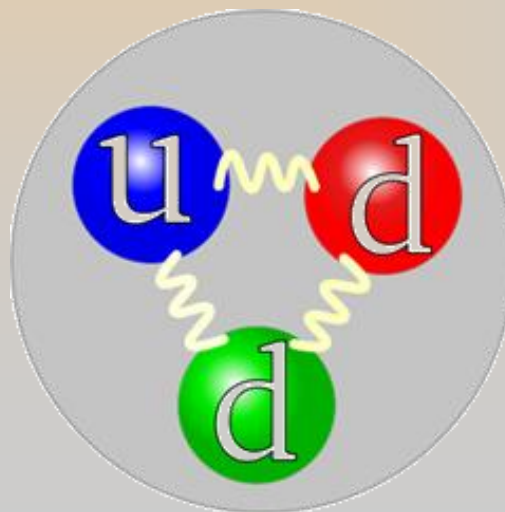
★ Le neutron =



2 quarks Up (+²/₃)
1 quark Down (-¹/₃)

$$2 \cdot \left(\frac{2}{3}\right) - \frac{1}{3} = 1$$

Charge +1



1 quark Up (+²/₃)
2 quarks Down (-¹/₃)

$$2 \cdot \left(-\frac{1}{3}\right) + \frac{2}{3} = 0$$

Charge 0



L'ATOME DE BOHR

★ Pour nos besoins, nous retiendrons que l'atome comprend 3 particules dites “*élémentaires*”

➤ Proton
➤ Neutron

} Forment le noyau. Ils sont aussi appelés *nucléons*

➤ Électron

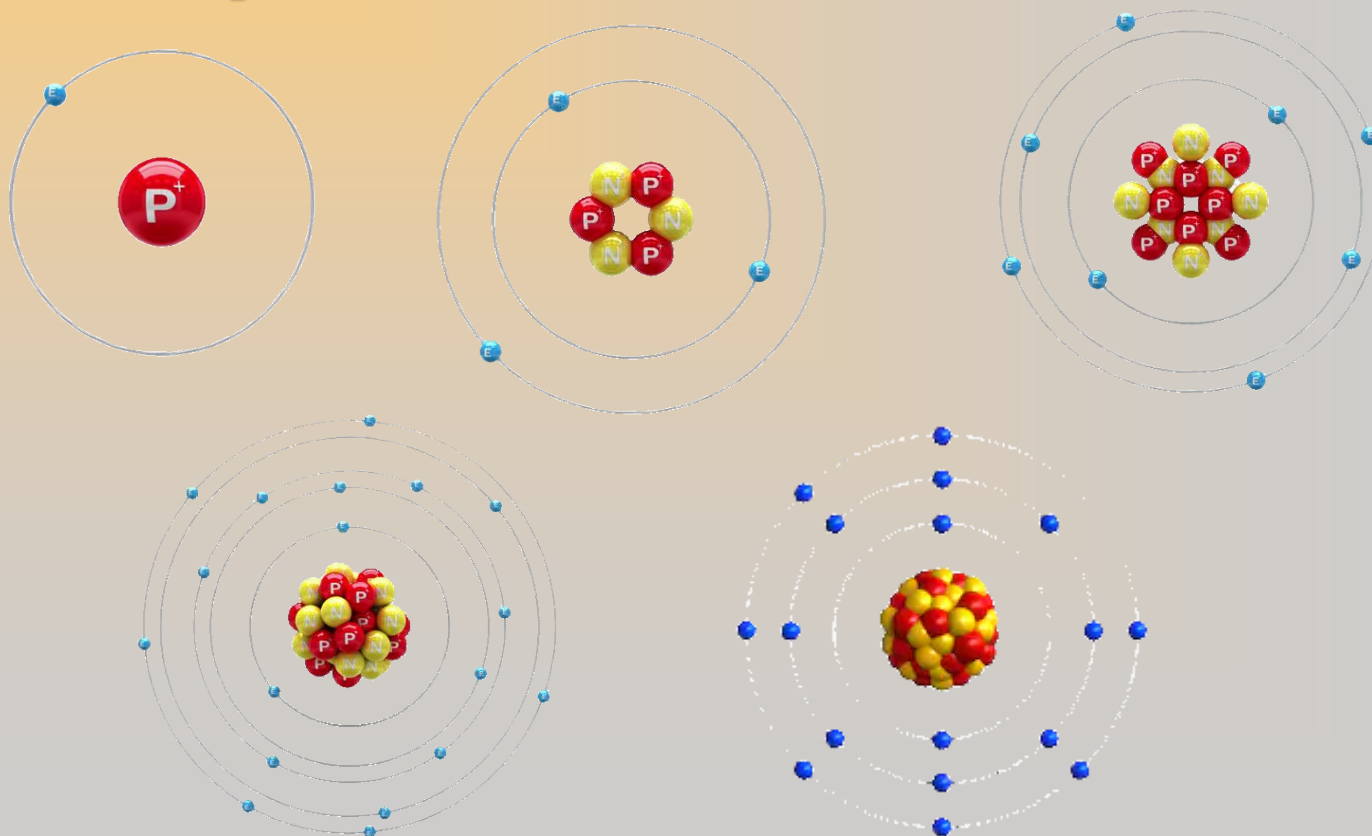
} Orbitent autour du noyau

★ Et nous prendrons en compte le **Photon** qui est la particule de lumière.



L'ATOME DE BOHR

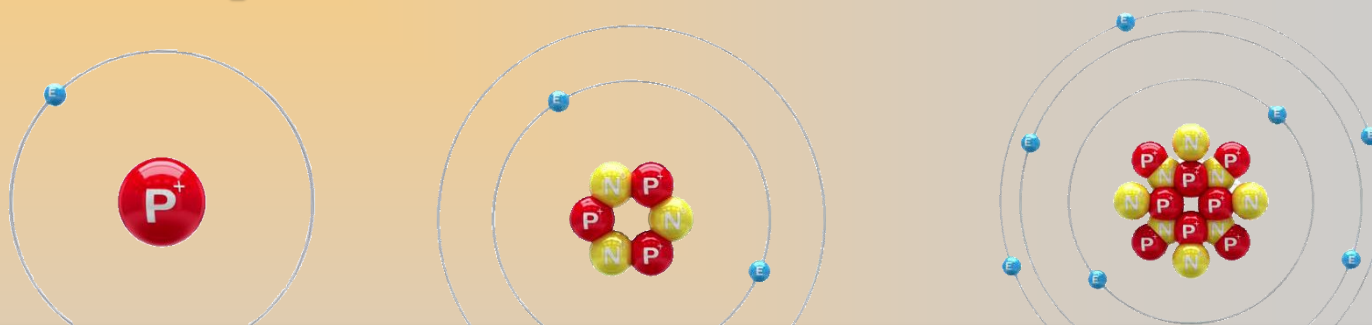
★ Quelques modèles d'atomes :





L'ATOME DE BOHR

★ Quelques modèles d'atomes :



Pourrais-t-on imaginer classer ces “*éléments chimiques*” ?
Par exemple, par le nombre croissant de **protons** que contient le noyau...

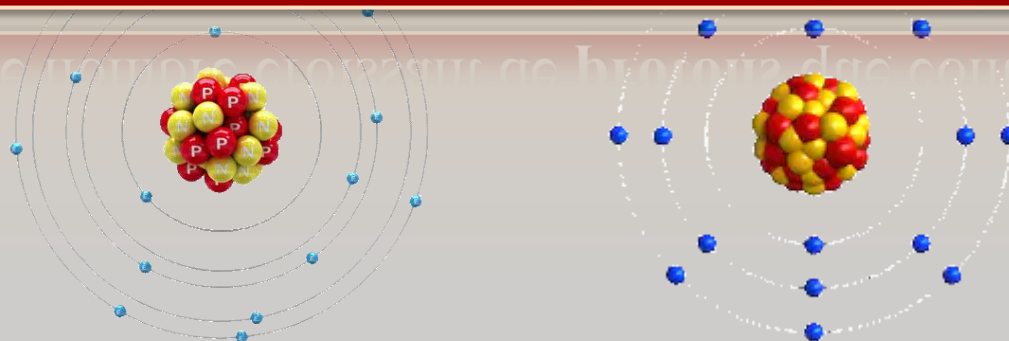
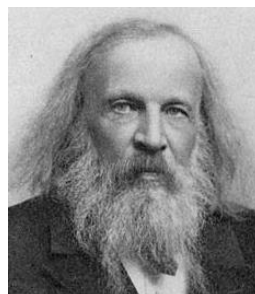




TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

Dmitri Mendeleïev
1834-1907



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.00794 1 H hydrogène																	4.002602 2 He hélium
6.941 3 Li lithium	9.012182 4 Be béryllium											10.811 5 B bore	12.0107 6 C carbone	14.0067 7 N azote	15.9994 8 O oxygène	18.998403 9 F fluor	20.1797 10 Ne néon
22.98976 11 Na sodium	24.3050 12 Mg magnésium											26.98153 13 Al aluminium	28.0855 14 Si silicium	30.97396 15 P phosphore	32.065 16 S soufre	35.453 17 Cl chlore	39.948 18 Ar argon
39.0983 19 K potassium	40.078 20 Ca calcium	44.95591 21 Sc scandium	47.867 22 Ti titane	50.9415 23 V vanadium	51.9962 24 Cr chrome	54.93804 25 Mn manganèse	55.845 26 Fe fer	58.93319 27 Co cobalt	58.6934 28 Ni nickel	63.546 29 Cu cuivre	65.38 30 Zn zinc	69.723 31 Ga gallium	72.64 32 Ge germanium	74.92160 33 As arsenic	78.96 34 Se sélénium	79.904 35 Br brome	83.798 36 Kr krypton
85.4678 37 Rb rubidium	87.62 38 Sr strontium	88.90585 39 Y yttrium	91.224 40 Zr zirconium	92.90638 41 Nb niobium	95.96 42 Mo molybdène	98 43 Tc technétium	101.07 44 Ru ruthénium	102.9055 45 Rh rhodium	106.42 46 Pd palladium	107.8682 47 Ag argent	112.411 48 Cd cadmium	114.818 49 In indium	118.710 50 Sn étain	121.760 51 Sb antimoine	127.60 52 Te tellure	126.9044 53 I iode	131.293 54 Xe xénon
132.9054 55 Cs césium	137.327 56 Ba barium	lanthanides 57-71	178.49 72 Hf hafnium	180.9478 73 Ta tantale	183.84 74 W tungstène	186.207 75 Re rénium	190.23 76 Os osmium	192.227 77 Ir iridium	195.084 78 Pt platine	196.9665 79 Au or	200.59 80 Hg mercure	204.3833 81 Tl thallium	207.2 82 Pb plomb	208.9804 83 Bi bismuth	210 84 Po polonium	210 85 At astate	220 86 Rn radon
223 87 Fr francium	226 88 Ra radium	actinides 89-103	261 104 Rf rutherfordium	262 105 Db dubnium	266 106 Sg seaborgium	264 107 Bh bohrium	277 108 Hs hassium	288 109 Mt meitnérium	271 110 Ds darmstadtium	272 111 Rg roentgenium	285 112 Cn copernicium	284 113 Uut ununtrium	289 114 Fl flérovium	288 115 Uup ununpentium	292 116 Lv livermorium	292 117 Uus ununseptium	294 118 Uuo ununoctium
			138.9054 57 La lanthane	140.116 58 Ce cérium	140.9076 59 Pr praséodyme	144.242 60 Nd néodyme	145 61 Pm prométhium	150.36 62 Sm samarium	151.964 63 Eu europium	157.25 64 Gd gadolinium	158.9253 65 Tb terbium	162.500 66 Dy dysprosium	164.9303 67 Ho holmium	167.259 68 Er erbium	168.9342 69 Tm thulium	173.054 70 Yb ytterbium	174.9668 71 Lu lutécium
			227 89 Ac actinium	232.0380 90 Th thorium	231.0358 91 Pa protactinium	238.0289 92 U uranium	237 93 Np néptunium	244 94 Pu plutonium	243 95 Am américium	247 96 Cm curium	247 97 Bk berkelium	251 98 Cf californium	252 99 Es einsteinium	257 100 Fm fermium	258 101 Md mendélévium	259 102 No nobélium	262 103 Lr lawrencium

métaux alcalins

alcalino-terreux

métaux pauvres

métaux de transition

métalloïdes

non-métaux

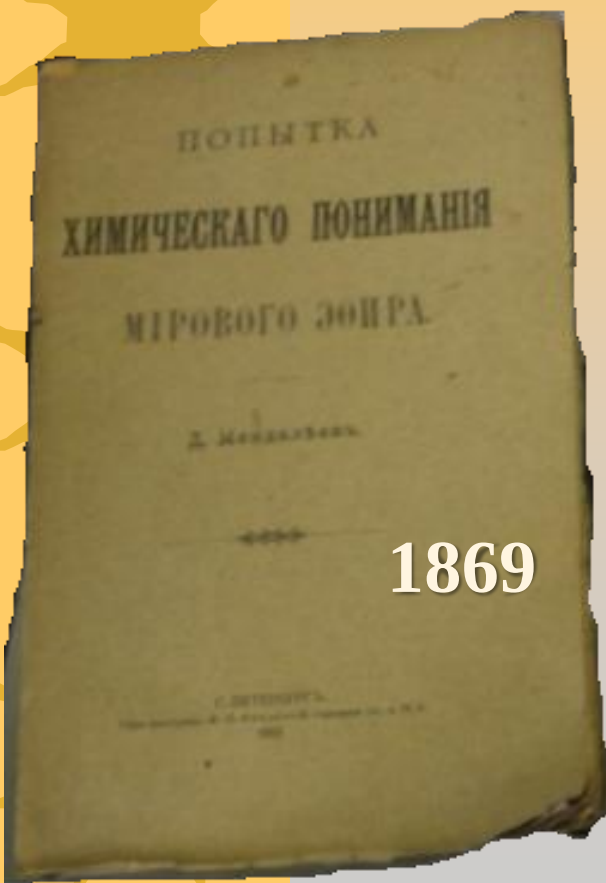
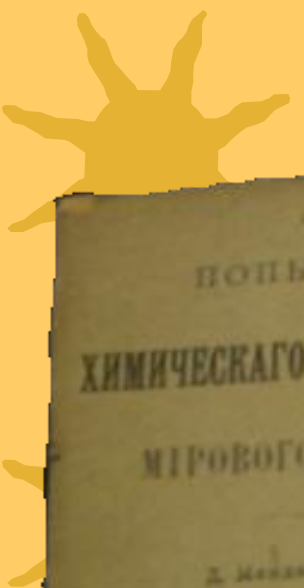
halogènes

gaz rares

Sources : IUPAC, Wikimedia Commons



TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

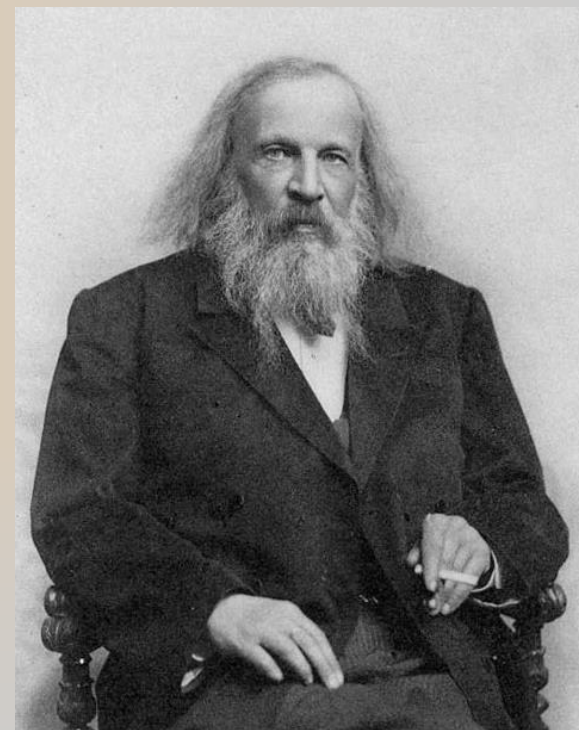


1869

Периодическая система элементов по группам и рядам.

ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	Na	Li	B	C	N	O	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Попытка химического понимания мирового зова 1902



Dmitri Mendeleïev
1834-1907

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

★ Le nombre de protons ➡ No atomique (Z)

➤ Hydrogène = 1

➤ Lithium = 3

➤ Béryllium = 4

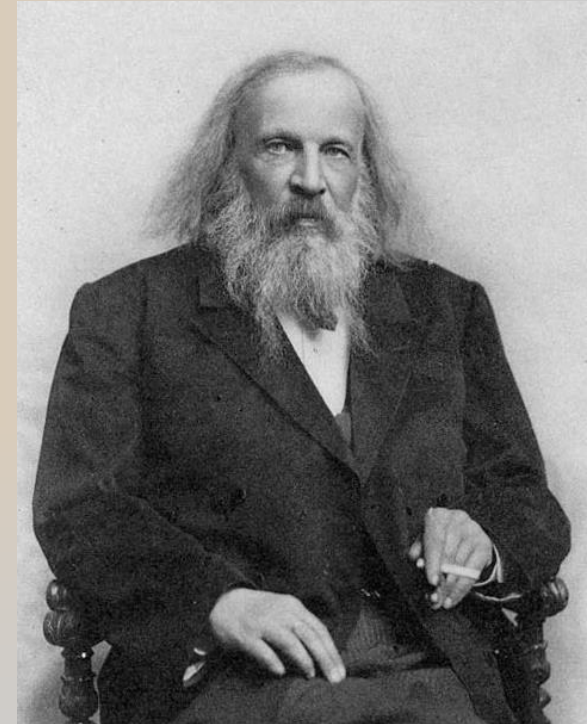
➤ Sodium = 11

➤ Magnésium = 12

★ On écrit : ${}_1\text{H}$, ${}_3\text{Li}$, ${}_{11}\text{Na}$...

- Où H, Li, Na sont les *symboles atomiques* des éléments chimiques.

1.00794 1 H hydrogène	
	2
6.941 3 Li lithium	9.012182 4 Be béryllium
22.98976 11 Na sodium	24.3050 12 Mg magnésium



Dmitri Mendeleïev
1834-1907



TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

★ La masse du proton $\cong$ à la masse du neutron.

➤ $m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$

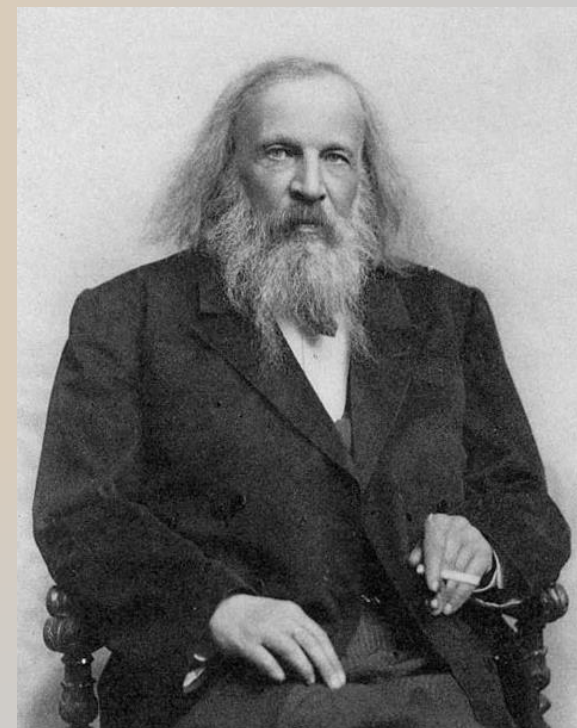
➤ $m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$

➤ m_p équivaut à 1 uma

★ La masse de l'électron

➤ $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

➤ Soit $\sim 1/2000 m_p$



Donc, la masse de l'atome ou *masse atomique* $\cong$ No de nucléons



TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES



★ Le nombre de nucléons ➡ *M atomique (A)*

1.00794 1 H hydrogène	
6.941 3 Li lithium	9.012182 4 Be béryllium
22.98976 11 Na sodium	24.3050 12 Mg magnésium

➤ Hydrogène = 1 p^{+1}

➤ Lithium = 3 p^{+1} et 3 n

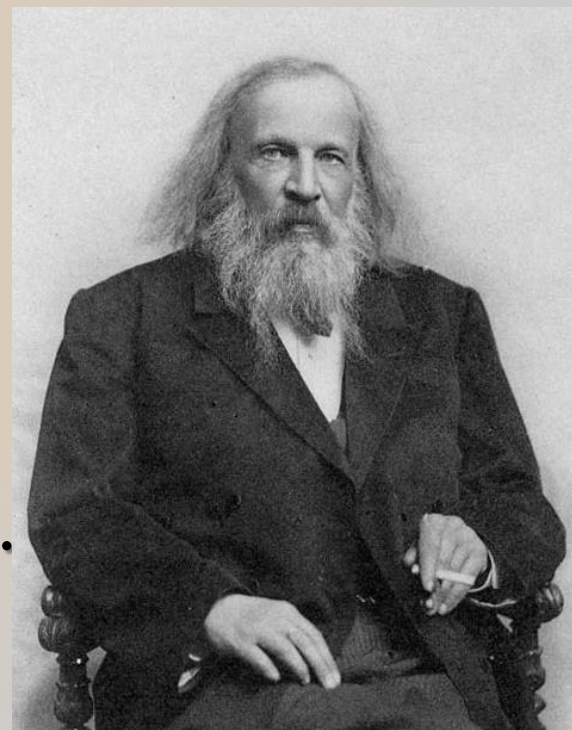
➤ Béryllium = 4 p^{+1} et 5 n

➤ Sodium = 11 p^{+1} et 11 n

➤ Magnésium = 12 p^{+1} et 12 n

★ On écrit : 1H , 6Li , $^{22}Na...$

- Où H, Li, Na sont les *symboles atomiques* des éléments chimiques.



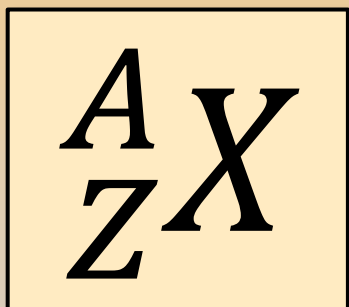
Dmitri Mendeleïev
1834-1907





TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

★ *Le nucléide* : Nomenclature de description
de la composition du noyau

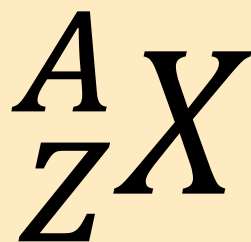


- X = Symbole de l'élément chimique
- Z = No de protons ➡ No atomique
- A = No de nucléons ➡ M atomique



TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

★ *Le nucléide :*



proton



neutron

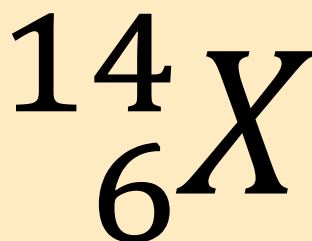
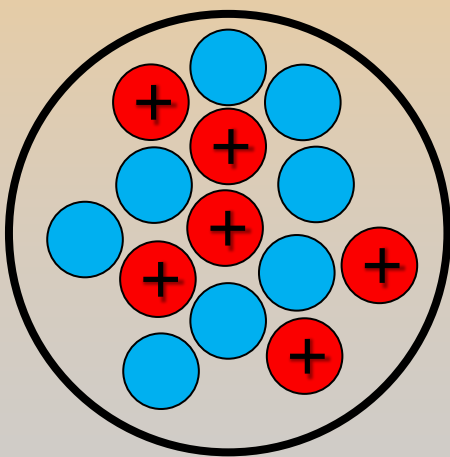




TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.00794 1 H hydrogène												10.811 5 B bore	12.0107 6 C carbone	14.0067 7 N azote	15.9994 8 O oxygène	18.998403 9 F fluor	4.002602 2 He hélium
6.941 3 Li lithium	9.012182 4 Be béryllium											26.98153 13 Al aluminium	28.0855 14 Si silicium	30.97396 15 P phosphore	32.065 16 S soufre	35.453 17 Cl chlore	20.1797 10 Ne néon
22.98976 11 Na sodium	24.3050 12 Mg magnésium																39.948 18 Ar argon
39.0983 19 K potassium	40.078 20 Ca calcium	44.95591 21 Sc scandium	47.867 22 Ti titane	50.9415 23 V vanadium	51.9962 24 Cr chrome	54.93804 25 Mn manganèse	55.845 26 Fe fer	58.93319 27 Co cobalt	58.6934 28 Ni nickel	63.546 29 Cu cuivre	65.38 30 Zn zinc	69.723 31 Ga gallium	72.64 32 Ge germanium	74.92160 33 As arsenic	78.96 34 Se sélénium	79.904 35 Br brome	83.798 36 Kr krypton
85.4678 37 Rb rubidium	87.62 38 Sr strontium	88.90585 39 Y yttrium	91.224 40 Zr zirconium	92.90638 41 Nb niobium	95.96 42 Mo molybdène	98 43 Tc technétium	101.07 44 Ru ruthénium	102.9055 45 Rh rhodium	106.42 46 Pd palladium	107.8682 47 Ag argent	112.411 48 Cd cadmium	114.818 49 In indium	118.710 50 Sn étain	121.760 51 Sb antimoine	127.60 52 Te tellure	126.9044 53 I iode	131.293 54 Xe xénon
132.9054 55 Cs césium	137.327 56 Ba barium	lanthanides 57-71	178.49 72 Hf hafnium	180.9478 73 Ta tantale	183.84 74 W tungstène	186.207 75 Re rhénium	190.23 76 Os osmium	192.217 77 Ir iridium	195.084 78 Pt platine	196.9665 79 Au or	200.59 80 Hg mercure	204.3833 81 Tl thallium	207.2 82 Pb plomb	208.9804 83 Bi bismuth	210 84 Po polonium	210 85 At astate	220 86 Rn radon
223 87 Fr francium	226 88 Ra radium	actinides 89-103	261 104 Rf rutherfordium	262 105 Db dubnium	266 106 Sg seaborgium	264 107 Bh bohrium	277 108 Hs hassium	288 109 Mt meitnérium	271 110 Ds darmstadtium	272 111 Rg roentgenium	285 112 Cn copernicium	284 113 Uut ununtrium	289 114 Fl flérovium	288 115 Uup ununpentium	292 116 Lv livermorium	292 117 Uus ununseptium	294 118 Uuo ununoctium
			138.9054 57 La lanthane	140.116 58 Ce cérium	140.9076 59 Pr praséodyme	144.242 60 Nd néodyme	145 61 Pm prométhium	150.36 62 Sm samarium	151.964 63 Eu europium	157.25 64 Gd gadolinium	158.9253 65 Tb terbium	162.500 66 Dy dysprosium	164.9303 67 Ho holmium	167.259 68 Er erbium	168.9342 69 Tm thulium	173.054 70 Yb ytterbium	174.9668 71 Lu lutécium
			227 89 Ac actinium	232.0380 90 Th thorium	231.0358 91 Pa protactinium	238.0289 92 U uranium	237 93 Np néptunium	244 94 Pu plutonium	243 95 Am américium	247 96 Cm curium	247 97 Bk berkelium	251 98 Cf californium	252 99 Es einsteinium	257 100 Fm fermium	258 101 Md mendélévium	259 102 No nobélium	262 103 Lr lawrencium

14X
6

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

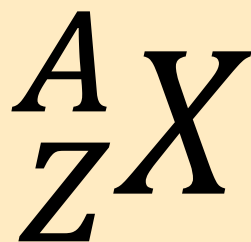
18

- ☐ métaux alcalins
 - alcalino-terreux
 - métaux pauvres
 - métaux de transition
 - métalloïdes
 - non-métaux
 - halogènes
 - gaz rares
- Sources : IUPAC, Wikimedia Commons



TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

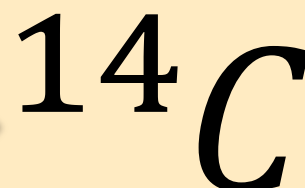
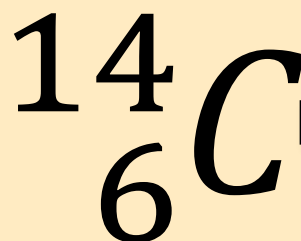
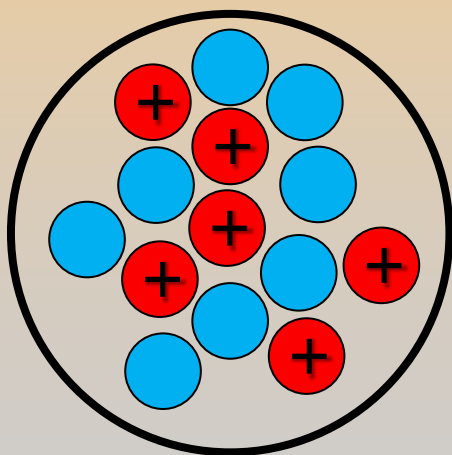
★ *Le nucléide :*



proton



neutron



Carbone quatorze

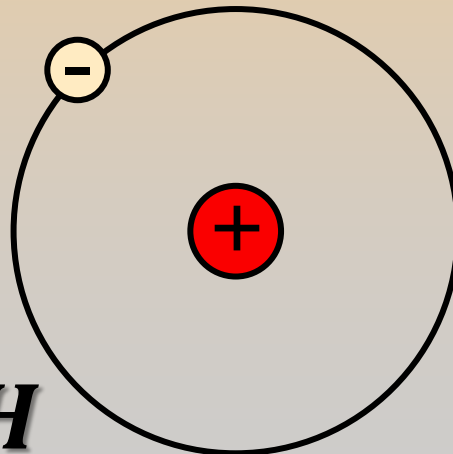
$$\text{Nombre de neutrons} = A - Z = 14 - 6 = \mathbf{8}$$

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

★ Vous remarquerez que les *M* atomiques du tableau périodique ne sont pas des nombres entiers.

1.00794	1		
H			
hydrogène			
		2	
6.941	3	9.012182	4
Li		Be	
lithium		béryllium	
22.98976	11	24.3050	12
Na		Mg	
sodium		magnésium	

Hydrogène



Deutérium

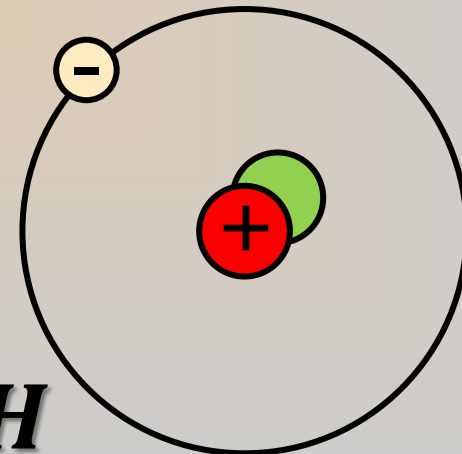




TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

- ★ Vous remarquerez que les *M* atomiques du tableau périodique ne sont pas des nombres entiers.
- C'est que, pour un même élément, le nombre de neutrons peut varier.
 - On appelle *isotopes* les différents types de noyau d'un même élément chimique.
 - Peu importe le nombre de neutrons, les propriétés chimiques demeurent les mêmes.



1.00794	1		
H			
hydrogène			
		2	
6.941	3	9.012182	4
Li		Be	
lithium		béryllium	
22.98976	11	24.3050	12
Na		Mg	
sodium		magnésium	

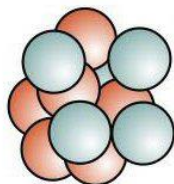




TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

 $^{12}_6\text{C}$

Carbone 12

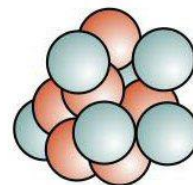


6

6

 $^{13}_6\text{C}$

Carbone 13

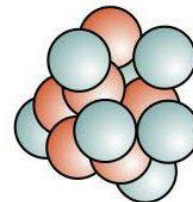


6

7

 $^{14}_6\text{C}$

Carbone 14



6

8

 Proton
 Neutron

Abondance 98.93%

1.07%

trace



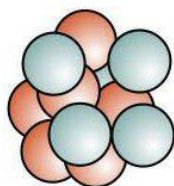
TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES



12.0107	6
C	
carbone	

 $^{12}_6\text{C}$

Carbone 12

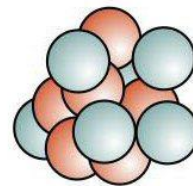


6

6

 $^{13}_6\text{C}$

Carbone 13

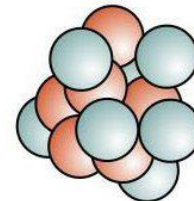


6

7

 $^{14}_6\text{C}$

Carbone 14



6

8

 Proton

 Neutron

La **masse atomique** reflète la masse et l'abondance des isotopes

Abondance 98.93%

1.07%

trace



TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.00794 1 H hydrogène																	4.002602 2 He hélium
6.941 3 Li lithium	9.012182 4 Be béryllium											10.811 5 B bore	12.0107 6 C carbone	14.0067 7 N azote	15.9994 8 O oxygène	18.998403 9 F fluor	20.1797 10 Ne néon
22.98976 11 Na sodium	24.3050 12 Mg magnésium											26.98153 13 Al aluminium	28.0855 14 Si silicium	30.97396 15 P phosphore	32.065 16 S soufre	35.453 17 Cl chlore	39.948 18 Ar argon
39.0983 19 K potassium	40.078 20 Ca calcium	44.95591 21 Sc scandium	47.867 22 Ti titane	50.9415 23 V vanadium	51.9962 24 Cr chrome	54.93804 25 Mn manganèse	55.845 26 Fe fer	58.93319 27 Co cobalt	58.6934 28 Ni nickel	63.546 29 Cu cuivre	65.38 30 Zn zinc	69.723 31 Ga gallium	72.64 32 Ge germanium	74.92160 33 As arsenic	78.96 34 Se sélénium	79.904 35 Br brome	83.798 36 Kr krypton
85.4678 37 Rb rubidium	87.62 38 Sr strontium														127.60 52 Te tellure	126.9044 53 I iode	131.293 54 Xe xénon
132.9054 55 Cs césium	137.327 56 Ba barium														210 84 Po polonium	210 85 At astate	220 86 Rn radon
223 87 Fr francium	226 88 Ra radium	actinides 89-103															
			101 Rf rutherfordium	102 Db dubnium	103 Sg seaborgium	104 Bh bohrium	105 Hs hassium	106 Mt meitnerium	107 Ds darmstadtium	108 Rg roentgenium	109 Cn copernicium	110 Uut ununtrium	111 Fl flerovium	112 Uup ununpentium	113 Lv livermorium	114 Uus ununseptium	115 Uuo ununoctium
			138.9054 57 La lanthane	140.116 58 Ce cérium	140.9076 59 Pr praséodyme	144.242 60 Nd néodyme	145 61 Pm prométhium	150.36 62 Sm samarium	151.964 63 Eu europium	157.25 64 Gd gadolinium	158.9253 65 Tb terbium	162.500 66 Dy dysprosium	164.9303 67 Ho holmium	167.259 68 Er erbium	168.9342 69 Tm thulium	173.054 70 Yb ytterbium	174.9668 71 Lu lutécium
			227 89 Ac actinium	232.0380 90 Th thorium	231.0358 91 Pa protactinium	238.0289 92 U uranium	237 93 Np neptunium	244 94 Pu plutonium	243 95 Am américium	247 96 Cm curium	247 97 Bk berkelium	251 98 Cf californium	252 99 Es einsteinium	257 100 Fm fermium	258 101 Md mendélévium	259 102 No nobélium	262 103 Lr lawrencium

Le tableau périodique se décline en **92 éléments** et **325 isotopes naturels**

■ métaux alcalins
■ alcalino-terreux
■ métaux pauvres
■ métaux de transition
■ métalloïdes
■ non-métaux
■ halogènes
■ gaz rares

Sources : IUPAC, Wikimedia Commons



L'ATOME DE BOHR

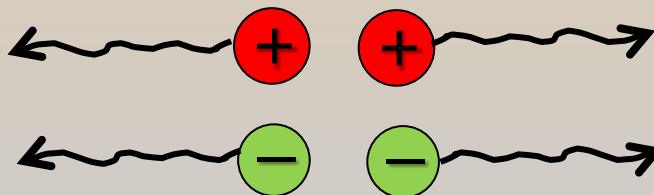
★ La cohésion du noyau

➤ En électricité, on sait que :

- Deux charges de signe opposés s'*attirent*



- Deux charges de même signe se *repoussent*

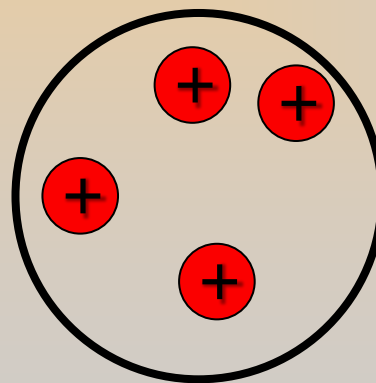
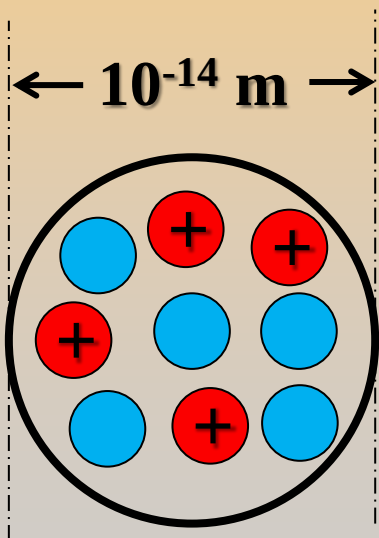




L'ATOME DE BOHR

★ La cohésion du noyau

➤ Comment se fait-il que dans le noyau...



➤ Les protons se repoussent bien que l'intégrité du noyau se maintienne !

➤ Comment ces protons coexistent-ils tout en étant littéralement collés les uns sur les autres ?



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE



- ★ Les objets physiques de l'Univers forment des structures et il doit bien exister des forces (interactions) qui initient et maintiennent ces cohérences.
- ★ On trouve **4** interactions dites ***fondamentales*** dans la nature.



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

1. Interaction gravitationnelle

- S'exerce aux grandes échelles de l'Univers où elle est dominante.
- S'applique à des objets électriquement neutres.

- Sa portée est infinie ➡ mais, $F \propto \frac{1}{d^2}$
- Elle est portée par une particule hypothétique appelée *Graviton* (?)





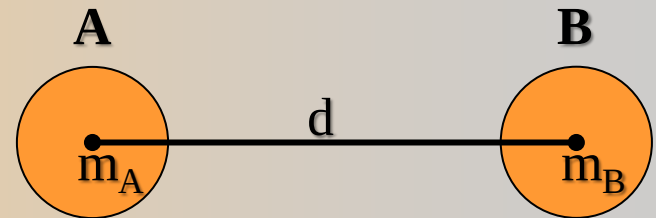
LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

1. Interactions gravitationnelles

➤ Loi de Newton :

$$\vec{F}_G(N) = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

Où $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$





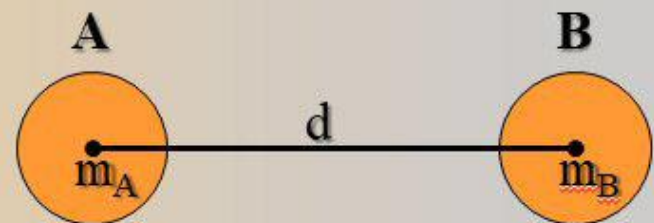
LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

1. Interactions gravitationnelles

➤ Loi de Newton :

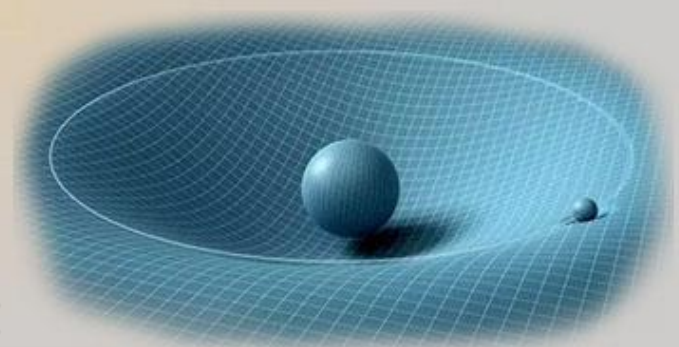
$$\vec{F}(N) = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

Où $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$



➤ Relativité générale :

- Cette “force” ne serait que la conséquence d’une géométrie particulière de l’espace-temps.





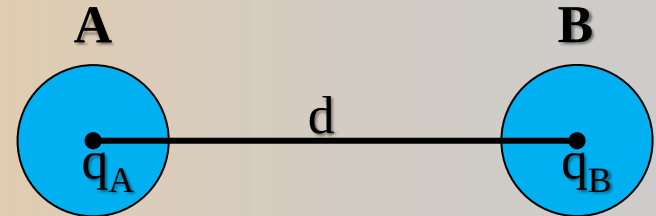
LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

2. Interactions électromagnétiques

➤ Loi de Coulomb :

$$\vec{F}_e(N) = K \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{d^2}$$

Où $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$



➤ La Force $\vec{F}_e$ peut être *attractive* (particules sont de charges différentes) ou *répulsive* (particules sont de mêmes charges)

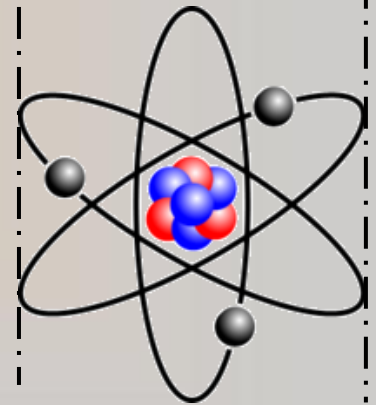


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

2. Interactions électromagnétiques



- S'exercent à l'échelle de la vie quotidienne...
- jusqu'à l'atome ➡ 10^{-10} m
- et même jusqu'au noyau

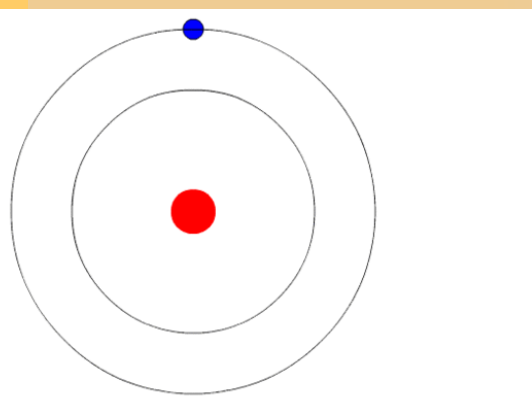
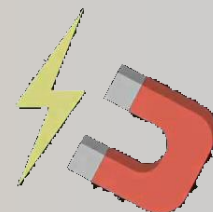


- Sa portée est infinie.

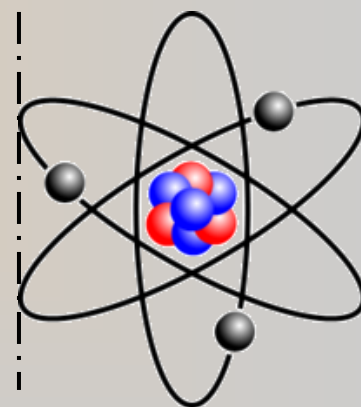


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

2. Interactions électromagnétiques



- S'exercent à l'échelle de la vie quotidienne...
- jusqu'à l'atome ➡ 10^{-10} m
- et même jusqu'au noyau



- Sa portée est infinie.
- Elle est portée par une particule appelée *Photon*, qui est un boson de jauge.

bosons
(forces)

0
0
1
γ
photon

électromagnétisme

0
0
1
g
gluon

interaction forte

91.2 GeV
0
1
Z⁰
boson Z⁰

interaction faible

80.4 GeV
±1
1
W[±]
boson W

interaction faible

B
o
s
o
n
s

d
e

j
a
u
g
e



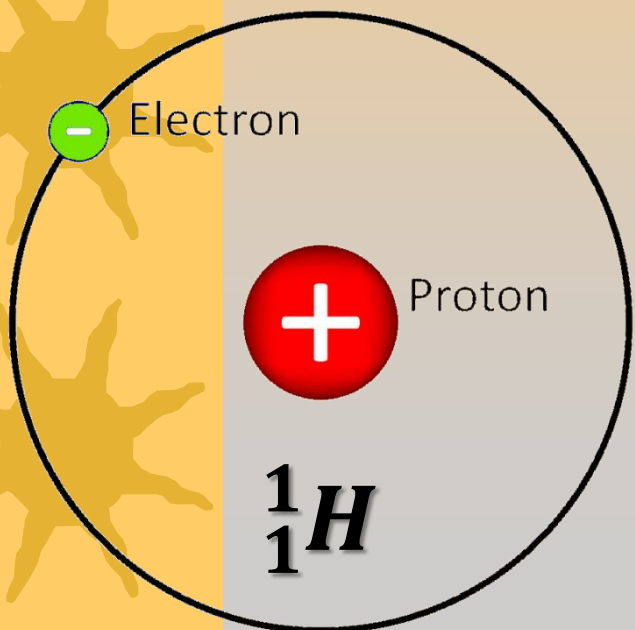
LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

2. Interactions électromagnétiques

- L'intensité de la force électromagnétique par rapport à la force gravitationnelle :

$$\overrightarrow{F}_G(N) = G \frac{m_p \cdot m_e}{d^2} = \mathbf{3,6 \times 10^{-47} \text{ N}}$$

$$\overrightarrow{F}_e(N) = K \frac{|q_p| \cdot |q_e|}{d^2} = \mathbf{8,2 \times 10^{-8} \text{ N}}$$



$$\frac{\overrightarrow{F}_e}{\overrightarrow{F}_G} \cong \mathbf{10^{39}}$$

On dit, en général, que la Force électromagnétique est **10³⁸** fois supérieure à la Force gravitationnelle.



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons

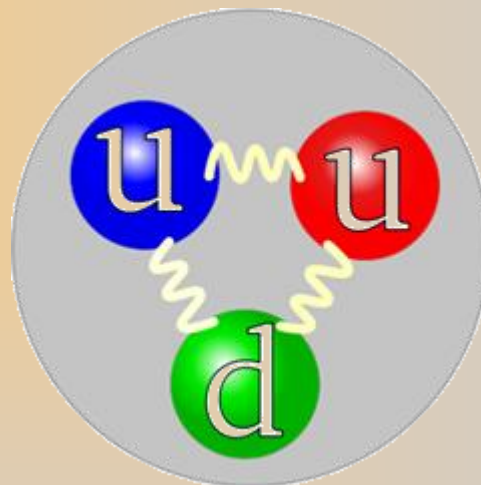
fermions (3 générations de la matière)			
	I	II	III
masse →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
nom →	u up	c charm	t top
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom

- Les quarks *charm*, *top*, *strange* et *bottom* sont très énergétiques et évanescents.
- Seuls les quarks *up* et *down* sont abondants. Ils forment les **nucléons** (protons et neutrons).
- Les quarks ont une charge fractionnaire : $+\frac{2}{3}$ ou $-\frac{1}{3}$.



LE MODÈLE STANDARD

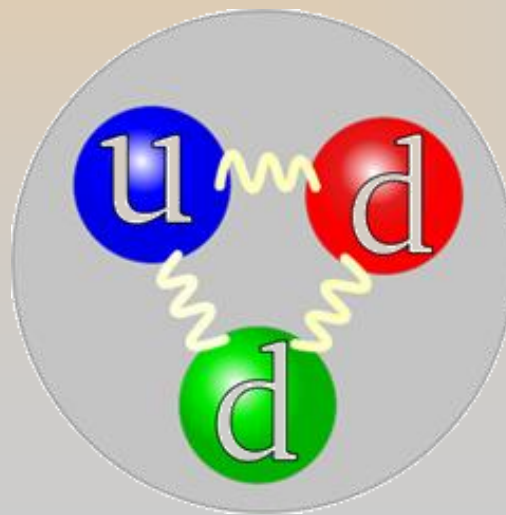
★ Le proton =



2 quarks Up ($+\frac{2}{3}$)
1 quark Down ($-\frac{1}{3}$)

Charge +1

★ Le neutron =



1 quark Up ($+\frac{2}{3}$)
2 quarks Down ($-\frac{1}{3}$)

Charge 0



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons
- Elles sont responsable de la radioactivité.
 - Classiquement, de la radioactivité β
- Elles sont à l'origine de la nucléosynthèse dans les étoiles.
- Rendent possible la datation par le ^{14}C en transformant $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$

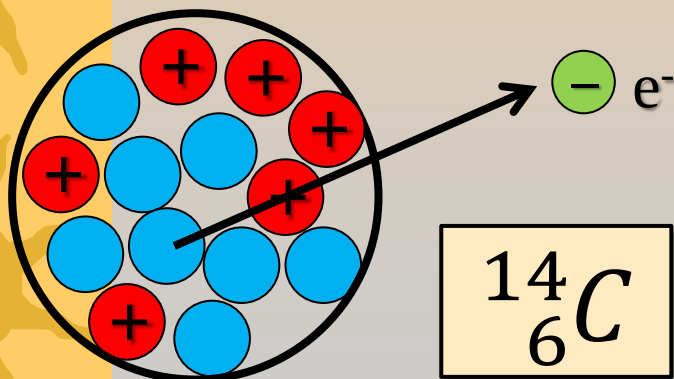


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

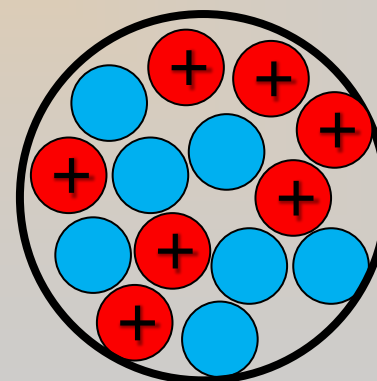
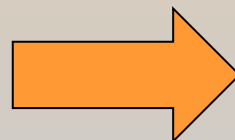
3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons

Radioactivité β^- : Nombre excessif de neutrons



$T^{1/2} = 5\,730 \text{ ans}$



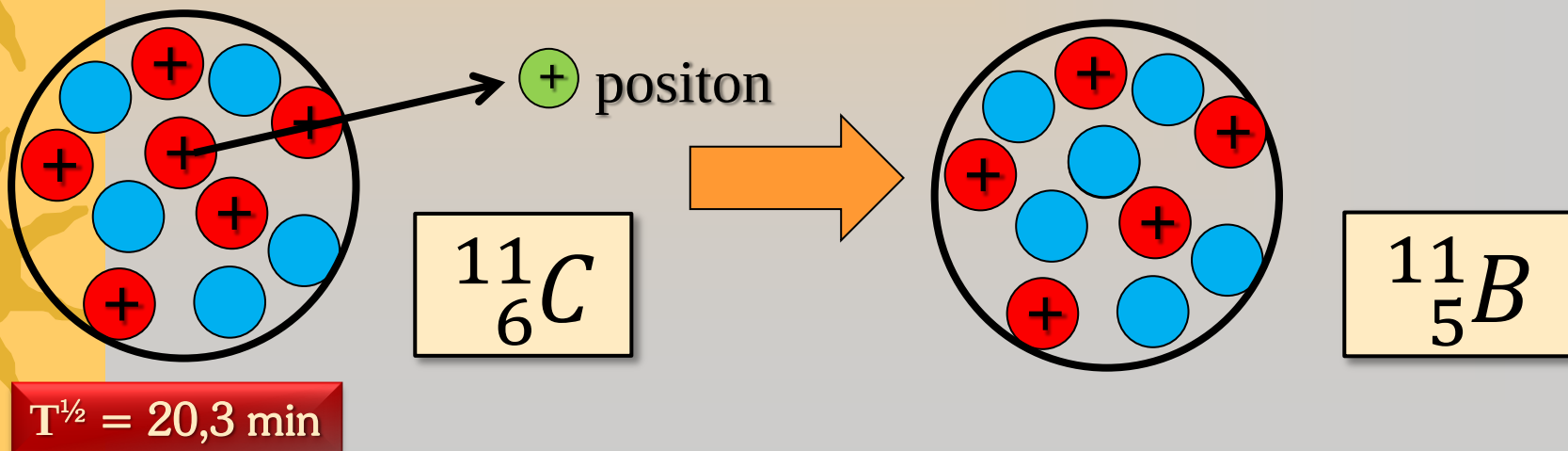


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons

Radioactivité β^+ : Nombre excessif de protons



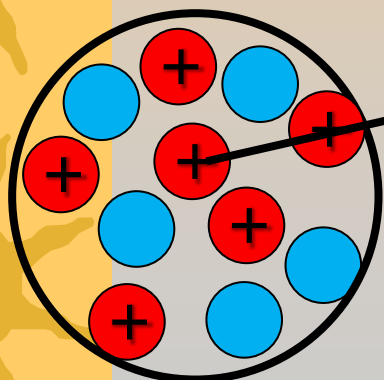


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

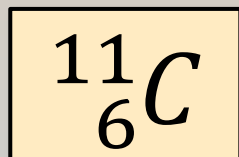
3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons

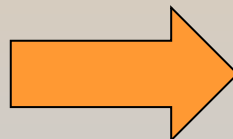
Radioactivité β^+ : Nombre excessif de protons



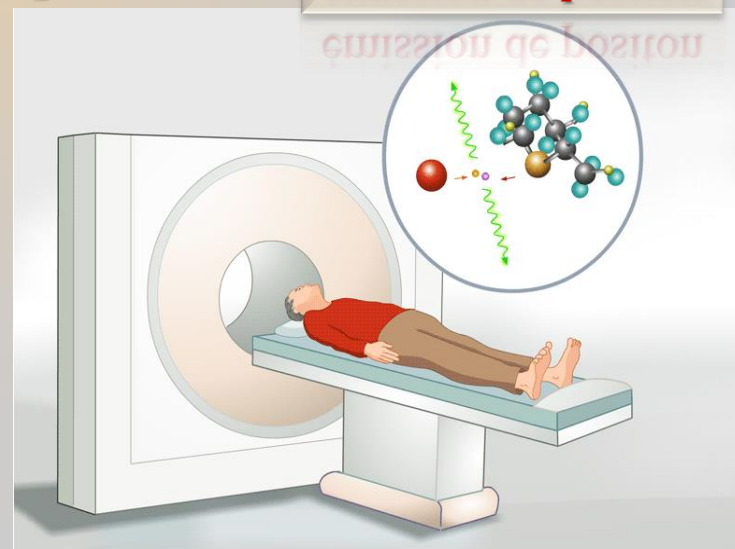
$T^{1/2} = 20,3 \text{ min}$



+ positon



Tomographie par
émission de positon





L'INTERACTION FAIBLE

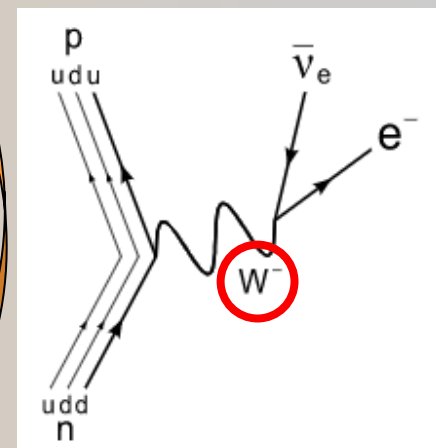
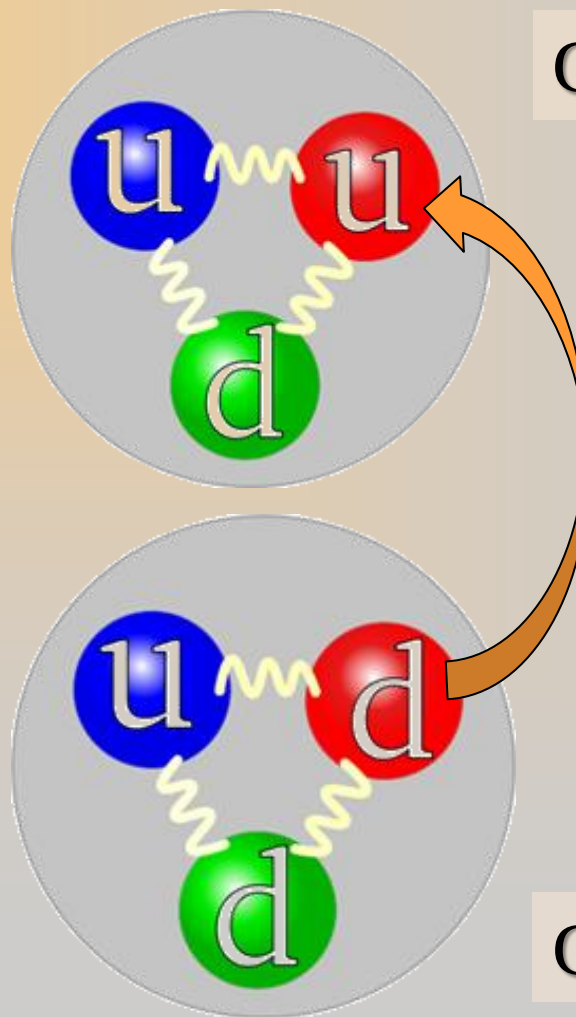
★ Le proton =

Charge +1

Change la saveur
des quarks

★ Le neutron =

Charge 0



bosons (forces)	
001	γ photon
001	g gluon
91.2 GeV	Z^0 boson Z^0
80.4 GeV	$W^\pm$ boson W

électromagnétisme

interaction forte

interaction faible

interaction faible

B
o
s
o
n
s

d
e

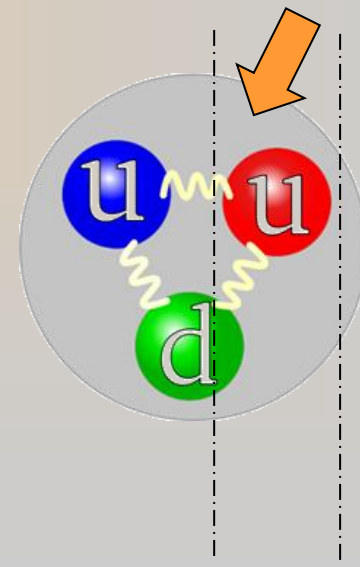
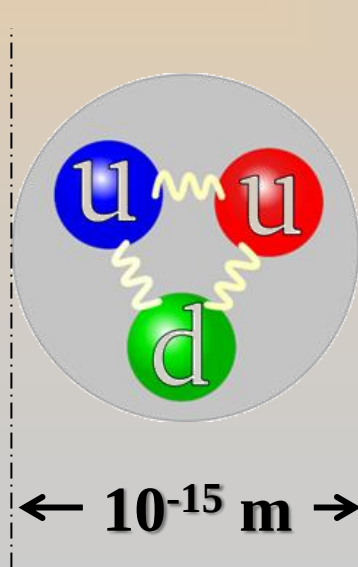
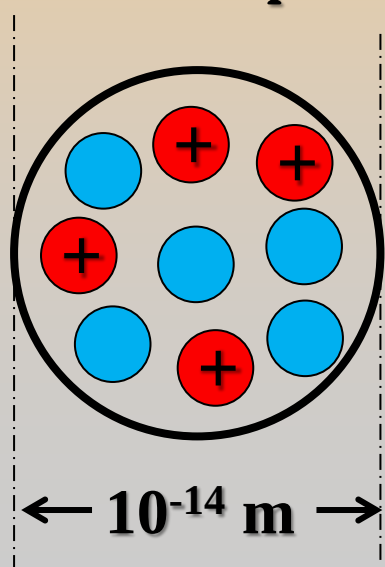
j
a
u
g
e



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons
- La portée de l'interaction faible = 10^{-17} m





LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

3. Interactions nucléaires faibles

- Elles modifient la *saveur* des quarks
 - Elles transforment protons $\rightleftharpoons$ neutrons
- La portée de l'interaction faible = 10^{-17} m
- L'intensité de l'interaction faible est 10^{35} fois supérieure à la Gravitation.

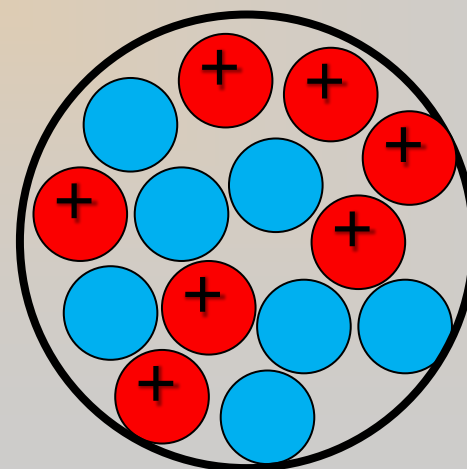
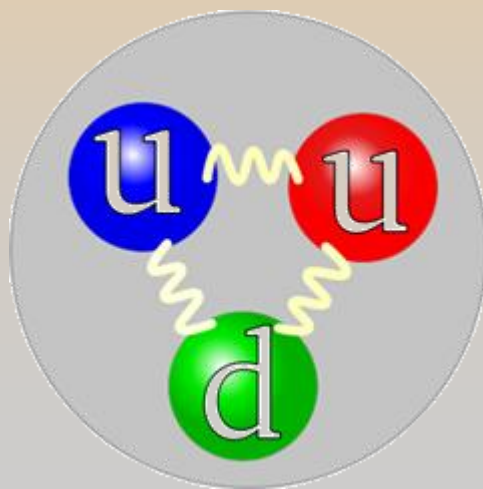
Interaction	Intensité
Gravitationnelle	1
Électromagnétique	10^{38}
Nucléaire faible	10^{35}



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Responsables de la cohésion des baryons (protons et neutrons).
- Responsables de la cohésion du noyau.





LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

➤ En plus de leur charge électrique...

masse →	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
nom →	u up	c charm	t top
Quarks	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom

$= +\frac{2}{3}$
 $= -\frac{1}{3}$ } fractionnaire

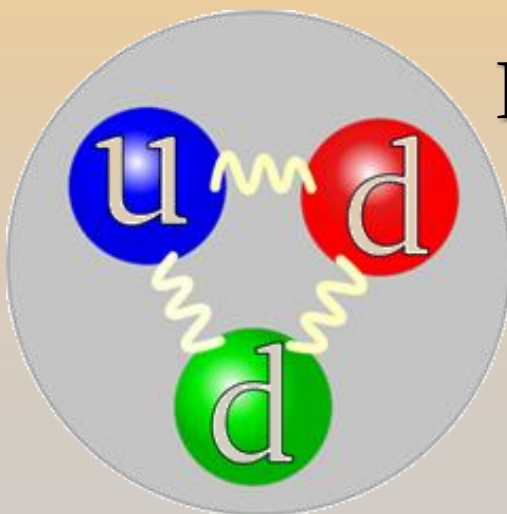
➤ ... et de leur saveur.



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Les quarks ont une charge de *couleur*.



Neutron

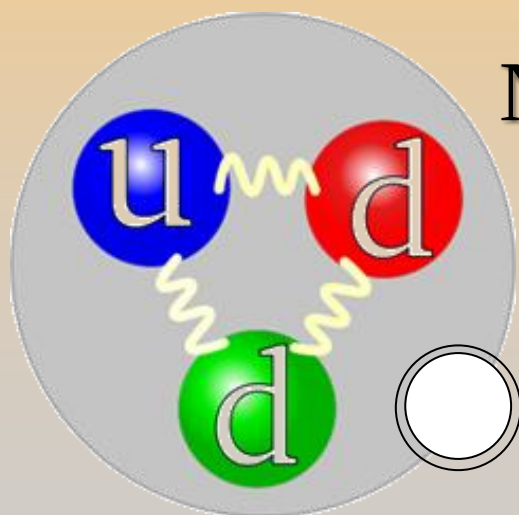
Par convention, le terme *couleur* réfère à un état quantique et non pas à la couleur au sens visuel du terme.



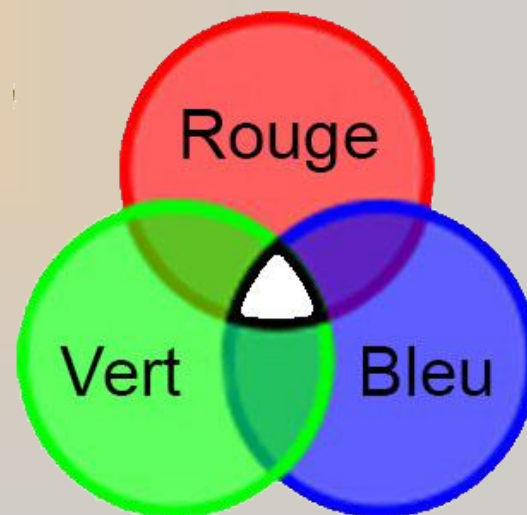
LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Les quarks ont une charge de *couleur*.



Neutron



Les hadrons (baryons et mésons) sont neutres et doivent être blancs

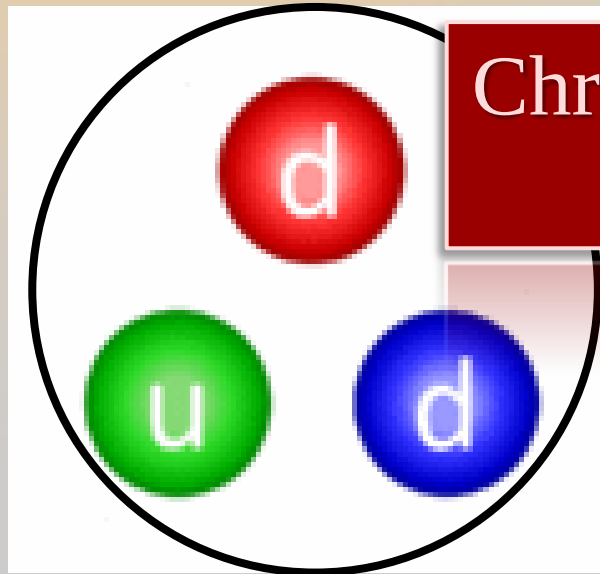


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- À l'intérieur des hadrons, les quarks changent continuellement de couleur en échangeant des *gluons*.

Neutron



Chromodynamique
quantique

Chromodynamique
quantique

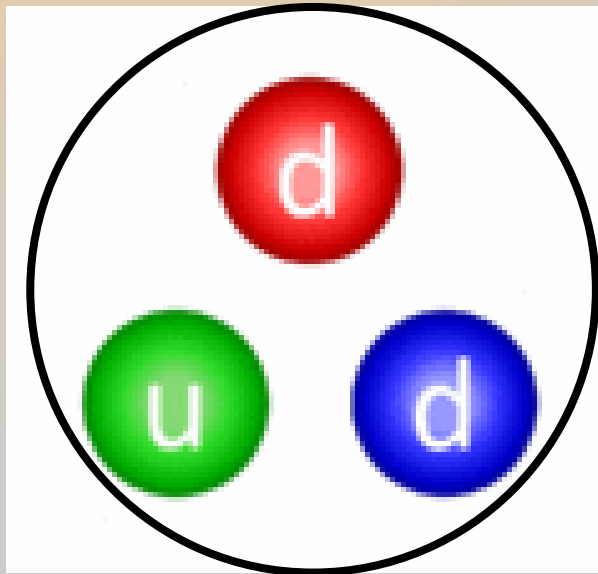


LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- C'est cet échange de *gluons* qui forme l'interaction forte responsable de l'intégrité des protons et des neutrons

Neutron





LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- C'est cet échange de *gluons* qui forme l'interaction forte responsable de l'intégrité des protons et des neutrons
- Tandis que l'interaction *faible* modifie la **saveur** des quarks...
- ... l'interaction *forte* agit sur leur **couleur**.



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes



LES QUARKS





LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Responsables de la cohésion du **noyau**





LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est “*forte*”. Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation

Interaction	Intensité
Gravitationnelle	1
Électromagnétique	10^{38}
Nucléaire faible	10^{35}
Nucléaire forte	10^{40}



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

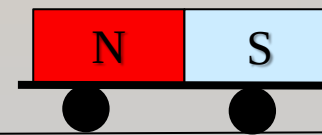
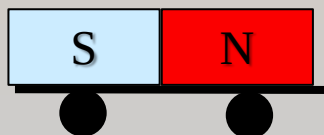
- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est “*forte*”. Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m



LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est "*forte*". Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m

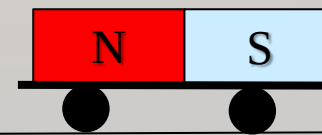
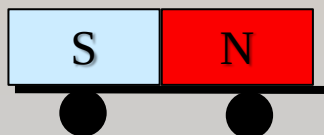




LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est "*forte*". Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m





LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est "*forte*". Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m

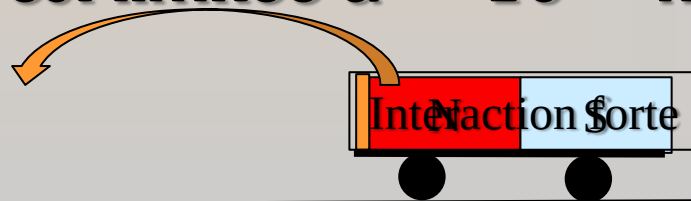
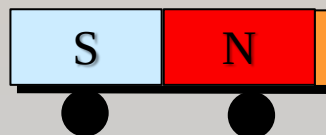




LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est "*forte*". Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m

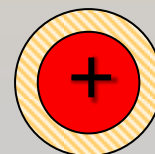
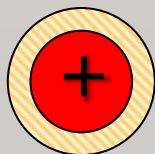




LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est "*forte*". Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m

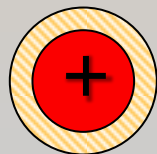




LES INTERACTIONS FONDAMENTALES DE LA NATURE

4. Interactions nucléaires fortes

- Modifient la *couleur* des quarks.
- L'intensité de l'interaction forte est "*forte*". Elle est 10^{40} fois supérieure à la Gravitation
- Contrairement aux autres forces, son intensité augmente avec la distance.
- Mais sa portée est limitée à $\sim 10^{-14}$ m



$\vec{v}$

Fusion nucléaire



MESSAGES CLÉS

- ★ Au niveau fondamental, la matière est composée d'atomes, eux-mêmes constitués d'un assemblage de particules élémentaires.
- ★ L'anticipation de la nature atomique de la matière est à la base du mouvement matérialiste grec de l'Antiquité, mais sa démonstration *scientifique* formelle n'a été ébauchée qu'au début du XIX^e siècle.



MESSAGES CLÉS

- ★ Les modèles actuels de l'atome le décrivent de la manière suivante :
 - Un noyau dense au centre, fait de protons et de neutrons, dont la taille est de l'ordre de 10^{-14} m. À toute fin pratique, toute la masse de l'atome est concentrée dans le noyau.
 - Un nuage électronique en orbite autour du noyau, donnant à l'ensemble un diamètre de $\pm 10^{-10}$ m. Le nombre d'électrons est égal au nombre de protons de sorte que l'atome est électriquement neutre.
 - L'atome est surtout constitué de vide.

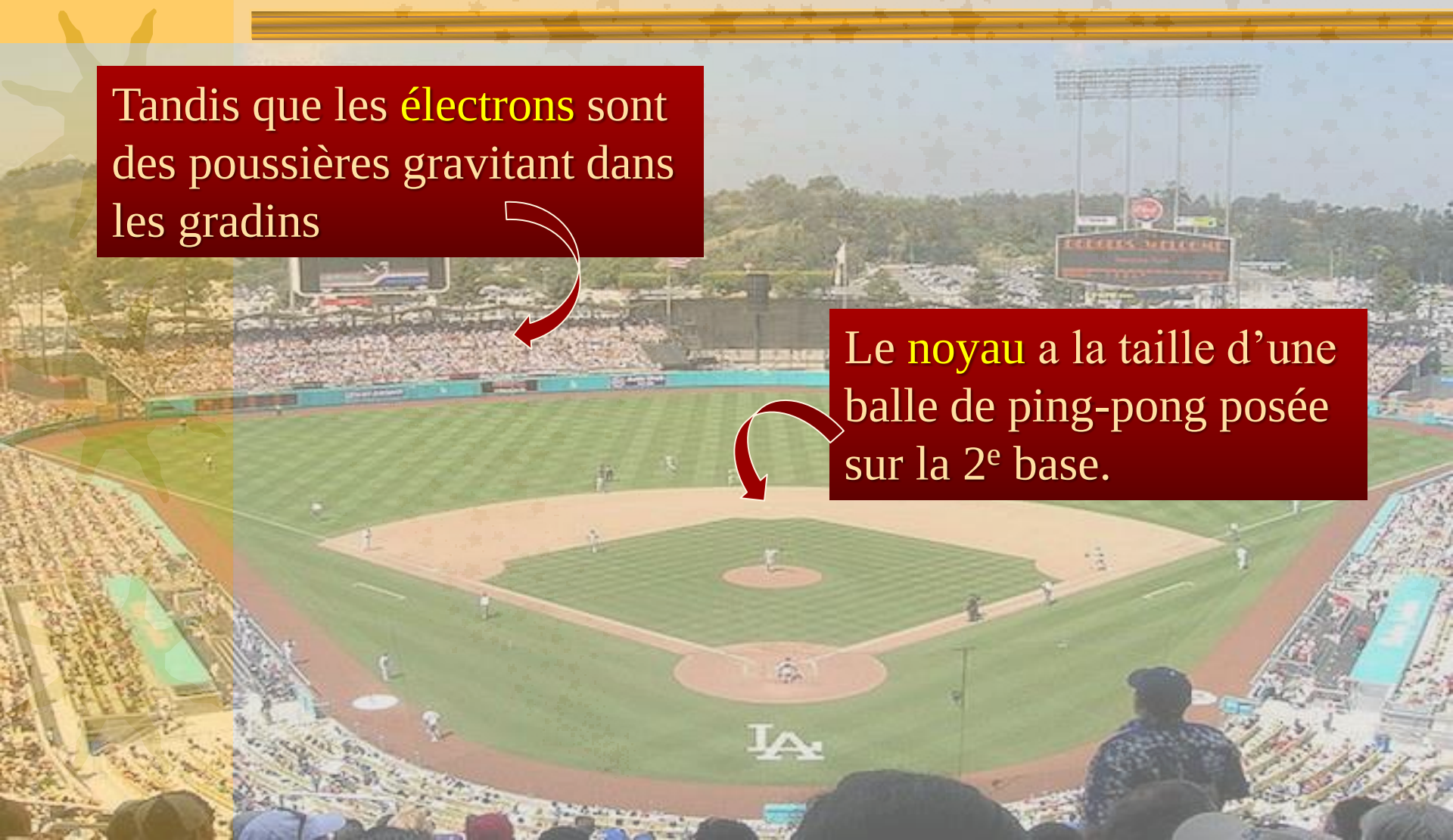
$$\frac{\text{Taille de l'atome } (10^{-10}\text{m})}{\text{Taille du noyau } (10^{-14}\text{m})} = 10\,000$$



$$\frac{\text{Taille de l'atome } (10^{-10} \text{ m})}{\text{Taille du noyau } (10^{-14} \text{ m})} = 10\,000$$

Tandis que les **électrons** sont des poussières gravitant dans les gradins

Le **noyau** a la taille d'une balle de ping-pong posée sur la 2^e base.





MESSAGES CLÉS

- ★ Les protons et les neutrons ne sont pas élémentaires. Ils sont constitués chacun de trois quarks de charges fractionnaires ($+\frac{2}{3}$ ou $-\frac{1}{3}$). On décrit les quarks par leur *saveur*. Les quarks les plus abondants dans la nature sont les quarks de saveur Up et Down.
- ★ Le **Modèle standard de la physique** décrit et regroupe les particules élémentaires en éléments matériels (quarks et leptons) et en médiateurs d'interactions (bosons).
- ★ Finalement, les atomes peuvent s'unir pour former des molécules qui composent les objets que l'on peut appréhender macroscopiquement.



MESSAGES CLÉS

- ★ On retrouve 4 interactions fondamentales qui assurent la cohésion de la nature :
 - L'interaction **gravitationnelle** qui décrit les relations des ensembles aux grandes échelles de distance.
 - L'interaction **électromagnétique** qui décrit les relations des particules chargées électriquement.
 - L'interaction **nucléaire forte** assure la cohésion des protons et des neutrons. Elle est aussi responsable de la cohésion des noyaux atomiques.
 - L'interaction **nucléaire faible** explique la radioactivité et l'activité énergétique des étoiles.



RÉFÉRENCES

- ★ Astronomie et Astrophysique, 2^e édition
Séguin M, Villeneuve B
Éditions du Renouveau Pédagogique Inc., 2002
- ★ Wikipedia :
 - Sur l'atome : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Atome>
 - Sur le Modèle standard :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8le_standard_de_la_physique_des_particules
- ★ Structure atomique des minéraux
in: Roches et minéraux
Sorrell CA, Sandström GF
Éditions Marcel Broquet, La Prairie (Qc), 1973



RÉFÉRENCES

★ Quarks et chromodynamique

<https://www.youtube.com/watch?v=feu644HOgIY>

★ Sur les interactions :

- Interaction gravitationnelle

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Gravitation>

- Interaction électromagnétique

<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectromagn%C3%A9tisme>

- Interaction nucléaire forte

https://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_forte

- Interaction nucléaire faible

https://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_faible