

**Evolution des conceptions  
de l'univers  
(aka Phys 137)**

# Evolution des conceptions de l'univers

Séance 5 :

**Noyaux, particules,  
radioactivité**

# Noyaux, particules

## Un peu d'histoire

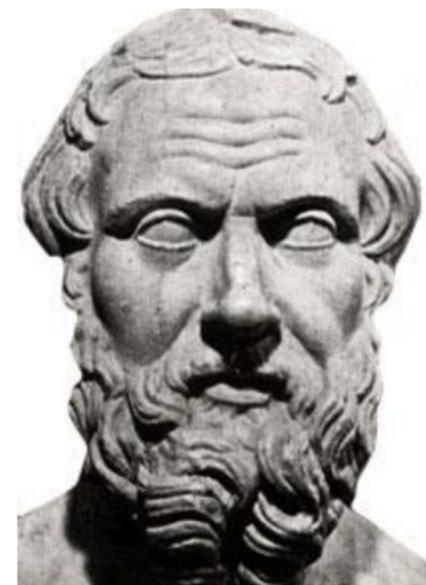
**Antiquité** : la matière est faite de grains indivisibles, les atomes.

Grec ancien : ἄτομος [átomos] = "insécable"

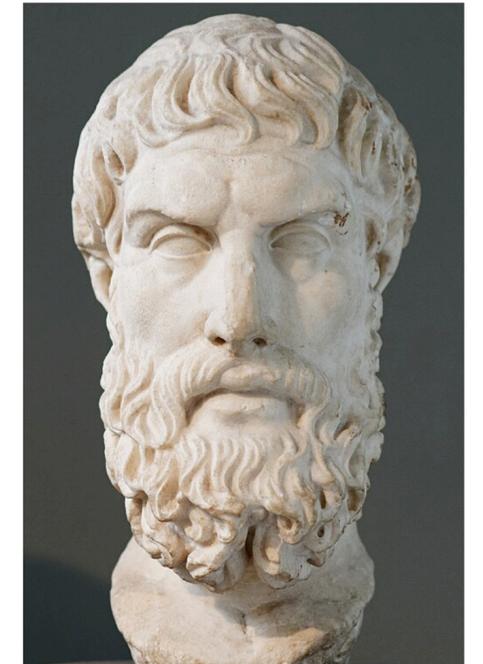
Notion apparue chez les grecs dès le V<sup>ème</sup> siècle avant notre ère (Leucippe, Démocrite, Epicure) mais peut-être auparavant et/ou ailleurs.



Leucippe  
(environ -460/-370)



Démocrite  
(environ -460/-370)



Epicure  
(-342/-270)

# Noyaux, particules

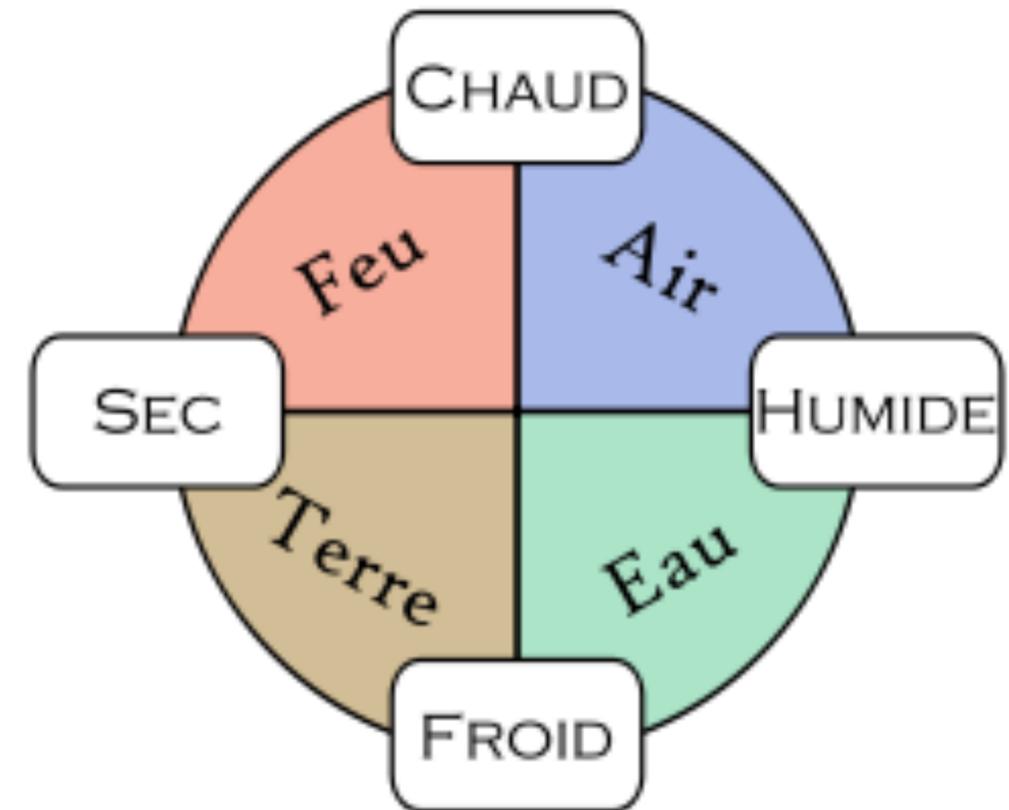
Un peu d'histoire

## Antiquité :

Empédocle (-492/-432 avant notre ère)

La matière est constituée de 4 éléments :

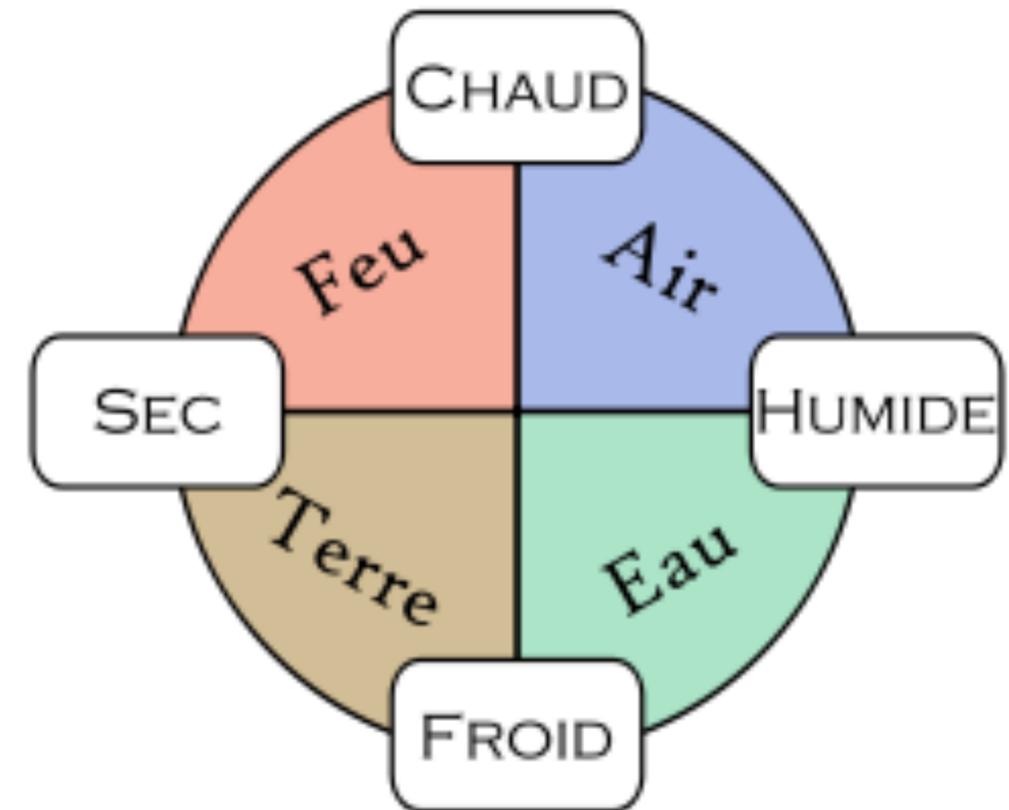
- air
- eau,
- terre
- feu



# Noyaux, particules

## Un peu d'histoire

- terre => état solide
- eau => état liquide
- air => état gazeux
- feu => état « incandescent »



# Noyaux, particules

Un peu d'histoire

**XVII<sup>ème</sup> siècle :**

La matière est constituée de 4 éléments :

- air
- eau,
- terre
- "phlogistique"



Georg Ernst Stahl  
(1660-1734)



Lorenz von Crell



Friedrich Gren



Sigismund Hermbstädt



Heinrich Klaproth

# Noyaux, particules

Selon la théorie d'alors, la phlogistique s'échappe d'un matériau en combustion.

Lavoisier pèse un matériau avant et après combustion : il y a gain de poids !  
(donc de masse)



Georg Ernst Stahl  
(1660-1734)

*La Recherche, avril 2016*

# Noyaux, particules

Selon la théorie d'alors, la phlogistique s'échappe d'un matériau en combustion.

Lavoisier pèse un matériau avant et après combustion : il y a gain de poids ! (donc de masse)

Pas de problème : la phlogistique a une masse négative !



Georg Ernst Stahl  
(1660-1734)

*La Recherche, avril 2016*

# Noyaux, particules

Un peu d'histoire

**XVIII<sup>e</sup> siècle** : apparition de la chimie moderne

- Découverte de l'hydrogène (Cavendish 1766), de l'oxygène et de l'azote (Lavoisier 1778)
- Conservation de la masse (Lavoisier 1789)



Antoine et Marie-Anne Lavoisier  
(1743-1794 et 1758-1836)

# Noyaux, particules

## Un peu d'histoire

### **XIX<sup>e</sup> siècle :**

- Classification périodique des éléments (Mendeleïev 1869)

=> vision systématique (masse des atomes, comportement chimique périodique)

=> découverte progressive des éléments chimiques (mais méconnaissance de la structure des atomes)



Dmitri Mendeleïev  
(1834-1907)

# Noyaux, particules

## Un peu d'histoire

### XIX<sup>e</sup> siècle :

- Classification périodique des éléments (Mendeleïev 1869)

=> vision systématique (masse des atomes, comportement chimique périodique)

=> découverte progressive des éléments chimiques (mais méconnaissance de la structure des atomes)

*D. Mendeleïev*

|     |       |          |          |          |
|-----|-------|----------|----------|----------|
|     |       | Ti=52    | Fe=90    | ?=120    |
|     |       | V=51     | Nb=94    | Sn=182   |
|     |       | Cr=52    | Mo=96    | W=186    |
|     |       | Mn=55    | Rh=104,4 | Pt=197,4 |
|     |       | Fe=56    | Ru=101,4 | Sr=137,4 |
|     |       | Ni-Co=59 | Pd=106,6 | Cs=133   |
| H=1 | ?=8   | ?=32     | Cu=63,4  | Ag=108   |
|     | Be=9  | Mg=24    | Zn=65,2  | Bi=208   |
|     | B=11  | Al=27,4  | ?=68     | Hg=200   |
|     | C=12  | Si=28    | ?=70     | Sn=118   |
|     | N=14  | P=31     | As=75    | Sb=120   |
|     | O=16  | S=32     | Se=78,4  | Te=128   |
|     | F=19  | Cl=35,5  | Br=80    | I=127    |
|     | Na=23 | K=39     | Rb=85,4  | Cs=133   |
|     |       | Ca=40    | Sr=87,6  | Ba=137   |
|     |       |          |          | Pb=207   |
|     |       |          |          | U=238    |

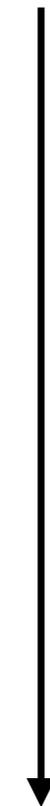
# Noyaux, particules

**Tableau périodique des éléments chimiques**

← nom de l'élément (**gaz**, **liquide** ou **solide** à 0°C et 101,3 kPa)  
 ← numéro atomique  
 ← symbole chimique  
 ← masse atomique relative (ou celle de l'isotope le plus stable)  
 [ CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015 ]

|         |                                   |                                   |                                   |                                     |                                       |                                  |                                    |                                 |                                  |                                    |                                  |                                   |                                     |                                 |                                     |                                   |                                  |                                 |                               |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Groupe  | I A                               | II A                              |                                   |                                     |                                       |                                  |                                    |                                 |                                  |                                    |                                  |                                   | III B                               | IV B                            | V B                                 | VI B                              | VII B                            | 0                               |                               |
| Période | 1                                 | 2                                 |                                   |                                     |                                       |                                  |                                    |                                 |                                  |                                    |                                  |                                   | 13                                  | 14                              | 15                                  | 16                                | 17                               | 18                              |                               |
| 1       | Hydrogène<br>1<br>H<br>1,00794    |                                   |                                   |                                     |                                       |                                  |                                    |                                 |                                  |                                    |                                  |                                   |                                     |                                 |                                     |                                   |                                  |                                 | Hélium<br>2<br>He<br>4,002602 |
| 2       | Lithium<br>3<br>Li<br>6,938       | Béryllium<br>4<br>Be<br>9,0121831 |                                   |                                     |                                       |                                  |                                    |                                 |                                  |                                    |                                  |                                   | Bore<br>5<br>B<br>10,811            | Carbone<br>6<br>C<br>12,0106    | Azote<br>7<br>N<br>14,006432        | Oxygène<br>8<br>O<br>15,999       | Fluor<br>9<br>F<br>18,99840316   | Néon<br>10<br>Ne<br>20,1797     |                               |
| 3       | Sodium<br>11<br>Na<br>22,98976928 | Magnésium<br>12<br>Mg<br>24,304   |                                   |                                     |                                       |                                  |                                    |                                 |                                  |                                    |                                  |                                   | Aluminium<br>13<br>Al<br>26,9815385 | Silicium<br>14<br>Si<br>28,0855 | Phosphore<br>15<br>P<br>30,97376209 | Soufre<br>16<br>S<br>32,065       | Chlore<br>17<br>Cl<br>35,453     | Argon<br>18<br>Ar<br>39,948     |                               |
| 4       | Potassium<br>19<br>K<br>39,0983   | Calcium<br>20<br>Ca<br>40,078     | Scandium<br>21<br>Sc<br>44,955908 | Titane<br>22<br>Ti<br>47,867        | Vanadium<br>23<br>V<br>50,9415        | Chrome<br>24<br>Cr<br>51,9961    | Manganèse<br>25<br>Mn<br>54,938045 | Fer<br>26<br>Fe<br>55,845       | Cobalt<br>27<br>Co<br>58,933194  | Nickel<br>28<br>Ni<br>58,6934      | Cuivre<br>29<br>Cu<br>63,546     | Zinc<br>30<br>Zn<br>65,38         | Gallium<br>31<br>Ga<br>69,723       | Germanium<br>32<br>Ge<br>72,630 | Arsenic<br>33<br>As<br>74,921595    | Sélénium<br>34<br>Se<br>78,971    | Brome<br>35<br>Br<br>79,904      | Krypton<br>36<br>Kr<br>83,798   |                               |
| 5       | Rubidium<br>37<br>Rb<br>85,4678   | Strontium<br>38<br>Sr<br>87,62    | Yttrium<br>39<br>Y<br>88,90584    | Zirconium<br>40<br>Zr<br>91,224     | Niobium<br>41<br>Nb<br>92,90637       | Molybdène<br>42<br>Mo<br>95,95   | Technétium<br>43<br>Tc<br>[98]     | Ruthénium<br>44<br>Ru<br>101,07 | Rhodium<br>45<br>Rh<br>102,90550 | Palladium<br>46<br>Pd<br>106,42    | Argent<br>47<br>Ag<br>107,8682   | Cadmium<br>48<br>Cd<br>112,411    | Indium<br>49<br>In<br>114,818       | Étain<br>50<br>Sn<br>118,710    | Antimoine<br>51<br>Sb<br>121,760    | Tellure<br>52<br>Te<br>127,60     | Jode<br>53<br>I<br>126,90547     | Xénon<br>54<br>Xe<br>131,293    |                               |
| 6       | Césium<br>55<br>Cs<br>132,905452  | Baryum<br>56<br>Ba<br>137,327     | Lanthanides<br>57-71              | Hafnium<br>72<br>Hf<br>178,49       | Tantale<br>73<br>Ta<br>180,94788      | Tungstène<br>74<br>W<br>183,84   | Rhénium<br>75<br>Re<br>186,207     | Osmium<br>76<br>Os<br>190,23    | Iridium<br>77<br>Ir<br>192,217   | Platine<br>78<br>Pt<br>195,084     | Or<br>79<br>Au<br>196,966569     | Mercury<br>80<br>Hg<br>200,592    | Thallium<br>81<br>Tl<br>204,3835    | Plomb<br>82<br>Pb<br>207,2      | Bismuth<br>83<br>Bi<br>208,98040    | Polonium<br>84<br>Po<br>[209]     | Astato<br>85<br>At<br>[210]      | Radon<br>86<br>Rn<br>[222]      |                               |
| 7       | Francium<br>87<br>Fr<br>[223]     | Radium<br>88<br>Ra<br>[226]       | Actinides<br>89-103               | Rutherfordium<br>104<br>Rf<br>[261] | Dubnium<br>105<br>Db<br>[268]         | Seaborgium<br>106<br>Sg<br>[269] | Bhassium<br>107<br>Bh<br>[270]     | Hassium<br>108<br>Hs<br>[277]   | Meitnerium<br>109<br>Mt<br>[278] | Darmstadtium<br>110<br>Ds<br>[281] | Röntgenium<br>111<br>Rg<br>[282] | Copernicium<br>112<br>Cn<br>[285] | Nihonium<br>113<br>Nh<br>[286]      | Flerovium<br>114<br>Fl<br>[289] | Moscovium<br>115<br>Mc<br>[289]     | Livermorium<br>116<br>Lv<br>[293] | Tennessou<br>117<br>Ts<br>[294]  | Oganesson<br>118<br>Og<br>[294] |                               |
|         |                                   |                                   | Lanthane<br>57<br>La<br>138,90547 | Cérium<br>58<br>Ce<br>140,116       | Praséodyme<br>59<br>Pr<br>140,90766   | Néodyme<br>60<br>Nd<br>144,242   | Prométhium<br>61<br>Pm<br>[145]    | Samarium<br>62<br>Sm<br>150,36  | Europium<br>63<br>Eu<br>151,964  | Gadolinium<br>64<br>Gd<br>157,25   | Terbium<br>65<br>Tb<br>158,92535 | Dysprosium<br>66<br>Dy<br>162,500 | Hoïmium<br>67<br>Ho<br>164,93033    | Erbium<br>68<br>Er<br>167,259   | Thulium<br>69<br>Tm<br>168,93422    | Ytterbium<br>70<br>Yb<br>173,045  | Lutécium<br>71<br>Lu<br>174,9668 |                                 |                               |
|         |                                   |                                   | Actinium<br>89<br>Ac<br>[227]     | Thorium<br>90<br>Th<br>232,0377     | Protactinium<br>91<br>Pa<br>231,03688 | Uranium<br>92<br>U<br>238,02891  | Néptunium<br>93<br>Np<br>[237]     | Plutonium<br>94<br>Pu<br>[244]  | Americium<br>95<br>Am<br>[243]   | Curium<br>96<br>Cm<br>[247]        | Berkélium<br>97<br>Bk<br>[247]   | Californium<br>98<br>Cf<br>[251]  | Einsteinium<br>99<br>Es<br>[252]    | Fermium<br>100<br>Fm<br>[257]   | Mendelevium<br>101<br>Md<br>[258]   | Nobélium<br>102<br>No<br>[259]    | Lavrencium<br>103<br>Lr<br>[260] |                                 |                               |

Périodicité du comportement chimique



Classification périodique des éléments aujourd'hui (118 éléments, 63 à l'époque de Mendeleïev)

# Noyaux, particules

## Un peu d'histoire

**1896 :**

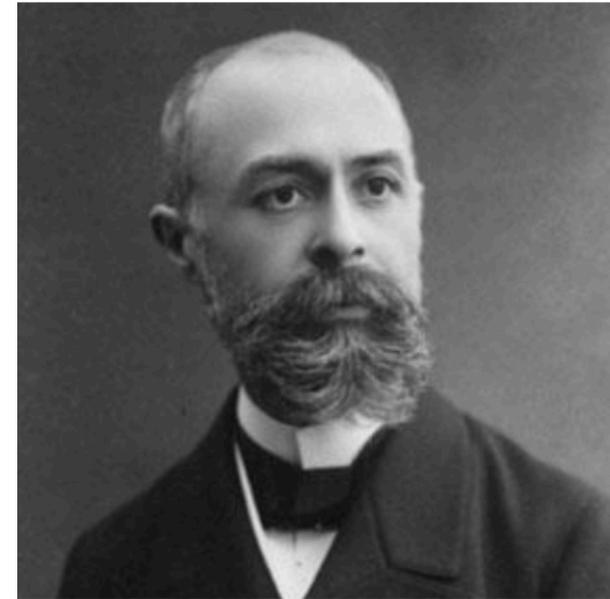
Découverte de la radioactivité (H. Becquerel)

**1897 :**

Découverte de l'électron (J. Thomson)

**1899 :**

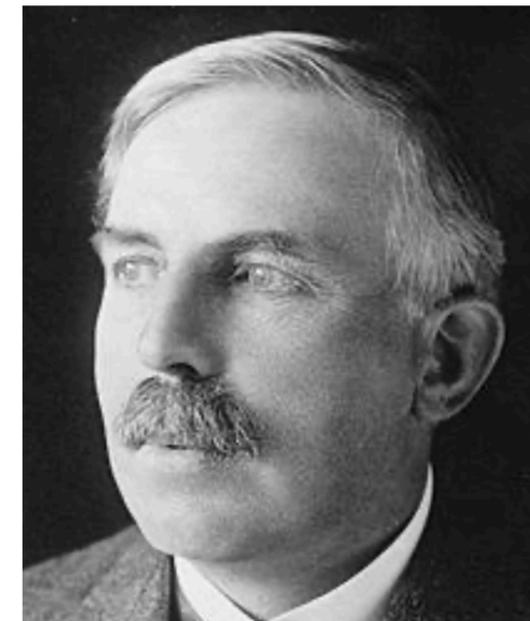
Découverte des particules  $\alpha$  et  $\beta$  (E. Rutherford)



Henri Becquerel  
(1852-1908)



Joseph Thomson  
(1856-1940)



Ernest Rutherford  
(1871-1937)

# Noyaux, particules

## Un peu d'histoire

**1911 :**

Découverte du noyau atomique (Rutherford)

**1914 :**

Découverte du proton (Rutherford)

**1932 :**

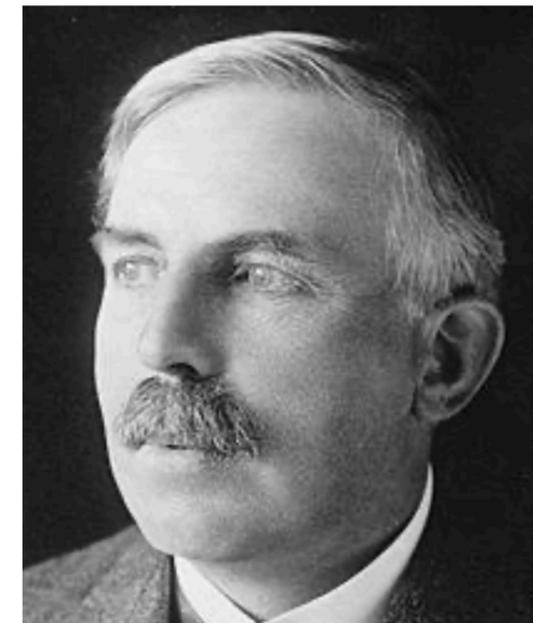
Découverte du neutron (James Chadwick),  
et du positron (Carl Anderson)



James Chadwick  
(1891-1974)



Carl Anderson  
(1905-1991)



Ernest Rutherford  
(1871-1937)

# Noyaux, particules

Un peu d'histoire

**1956 :**

Découverte du neutrino (F. Reines et C. Cowan)

**1963 :**

Introduction des quarks (M. Gell-Mann)

... : plein d'autres particules exotiques (muon, pion, bosons, antiproton...)

**2012 :**

Mise en évidence (LHC) du boson de Higgs ou boson BEH pour Brout-Englert-Higgs introduit théoriquement en 1964



Frederic Reines  
(1871-1937)



Clyde Cowan  
(1919-1974)

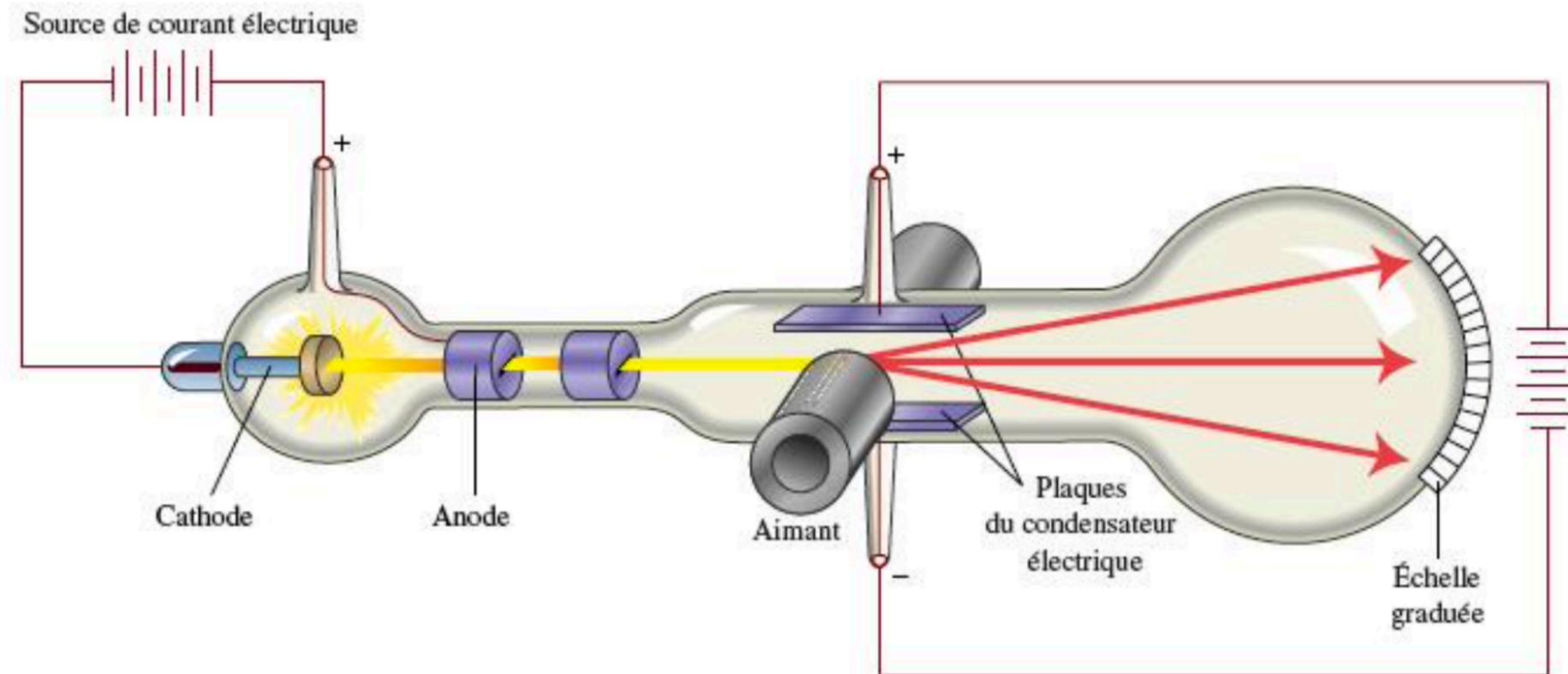


Murray Gell-Mann  
(1929-2019)

# Noyaux, particules

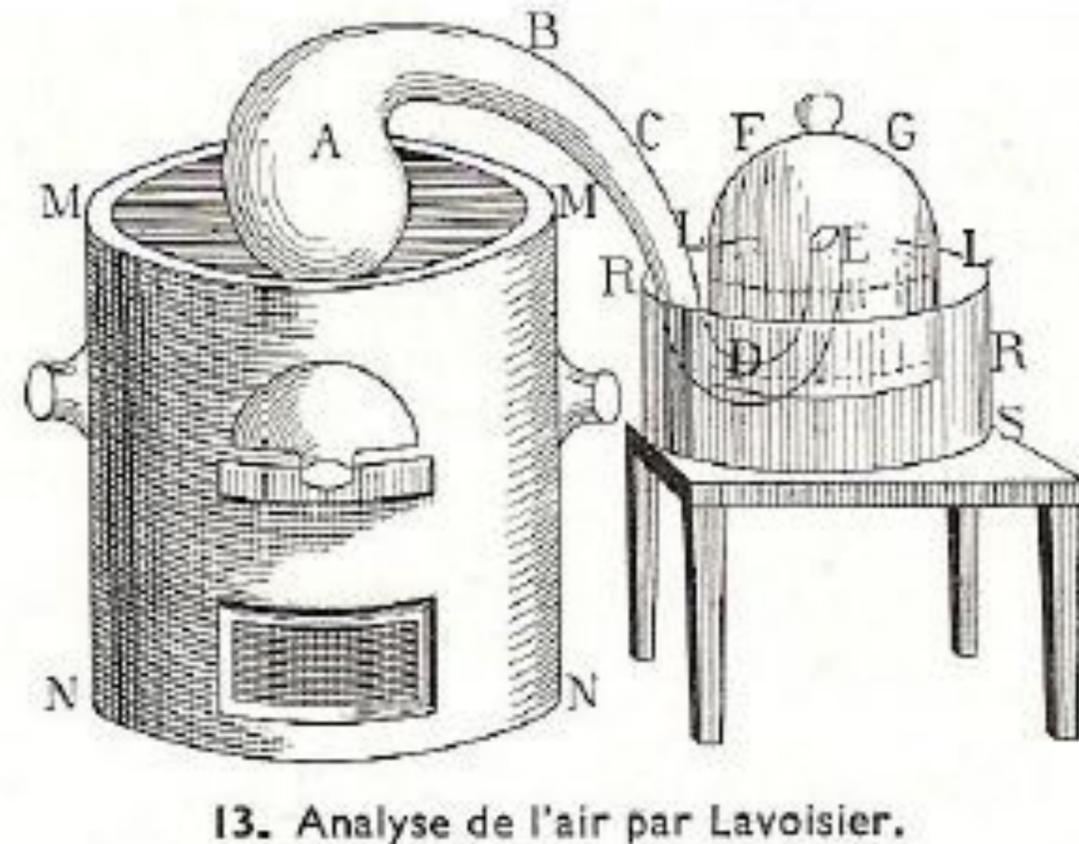
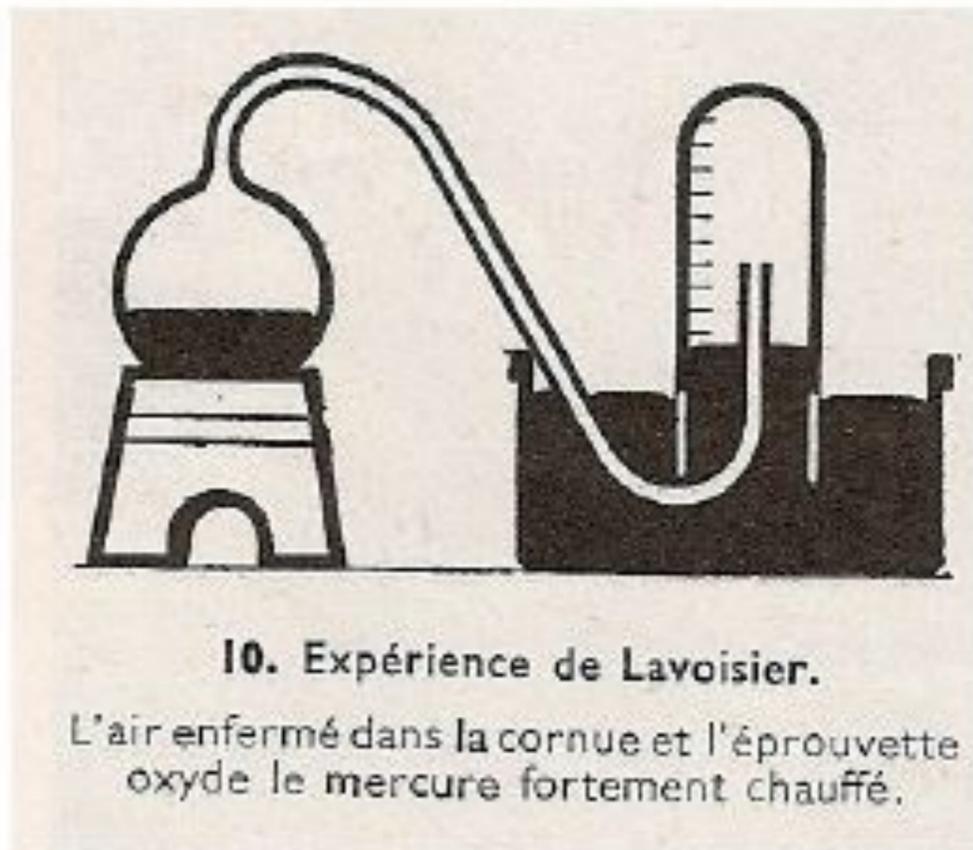
Un peu d'histoire

importance fondamentale de  
l'instrumentation !!!



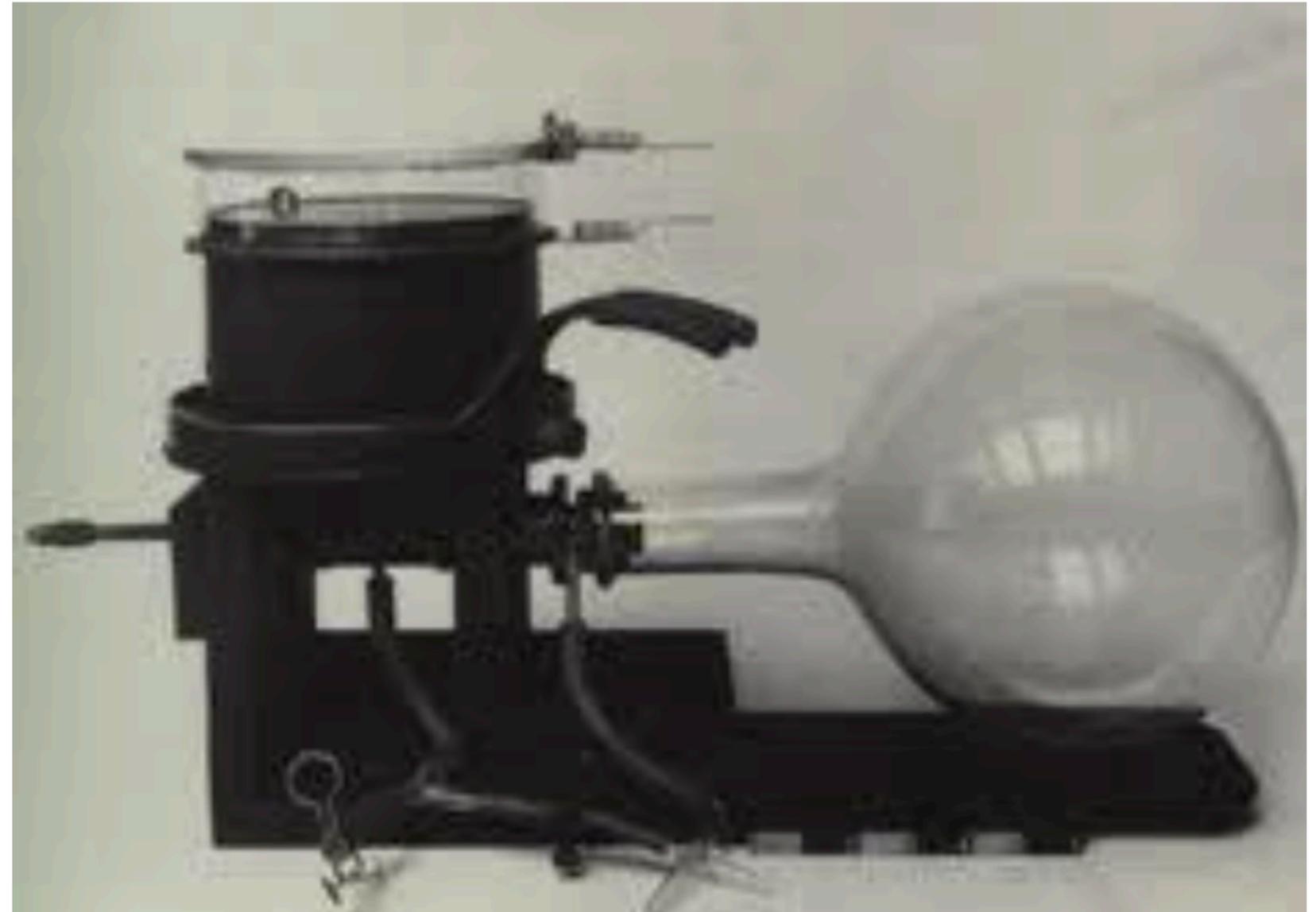
# Noyaux, particules

Un peu d'histoire  
importance fondamentale de  
l'instrumentation !!!



# Noyaux, particules

Un peu d'histoire  
**importance fondamentale de  
l'instrumentation !!!**



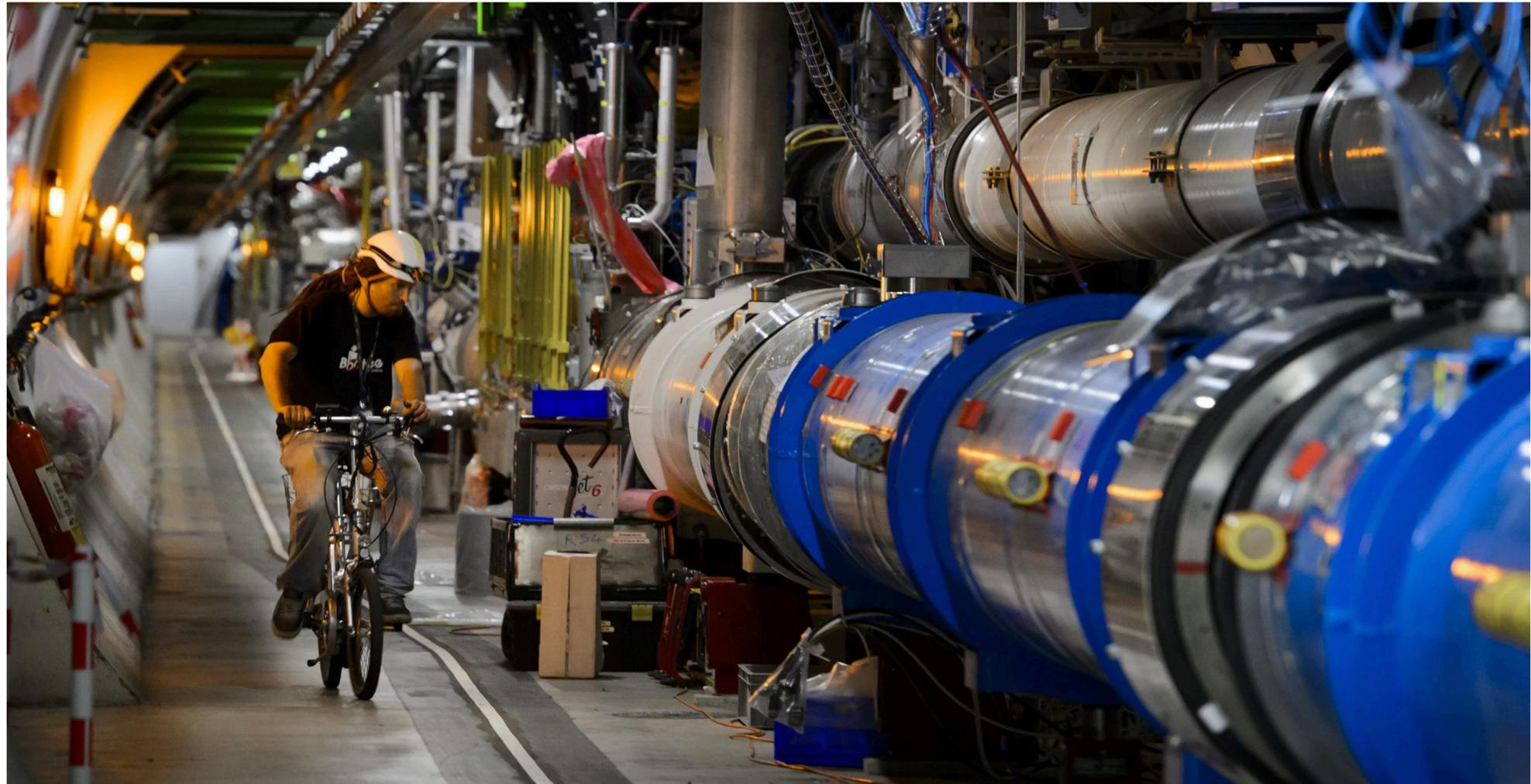
# Noyaux, particules

Un peu d'histoire

**importance fondamentale de  
l'instrumentation !!!**

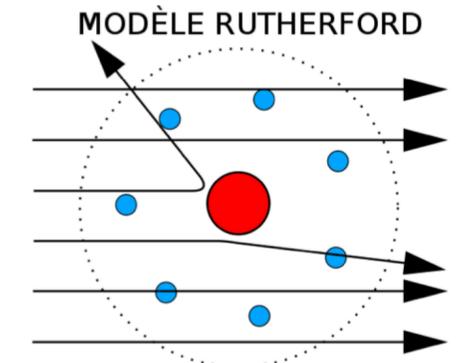
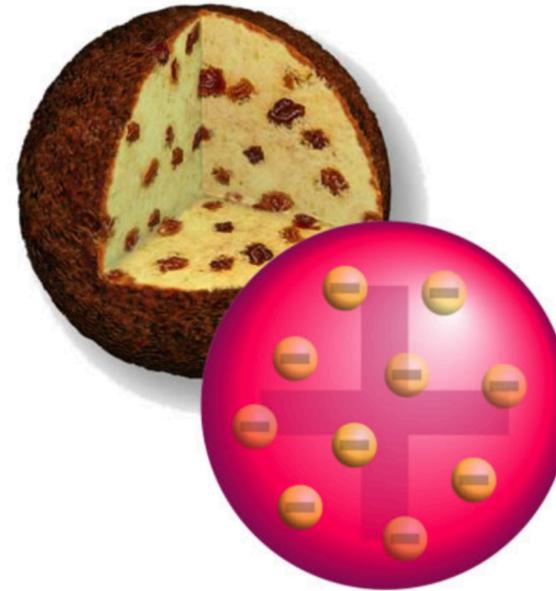
**Toujours d'actualité !**

**Mais plus imposant  
maintenant...**

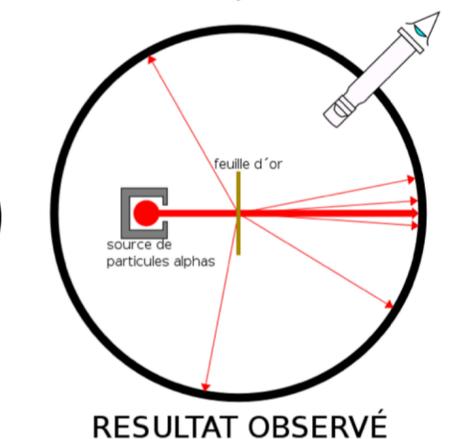


# Variations de la conception du noyau au cours du temps

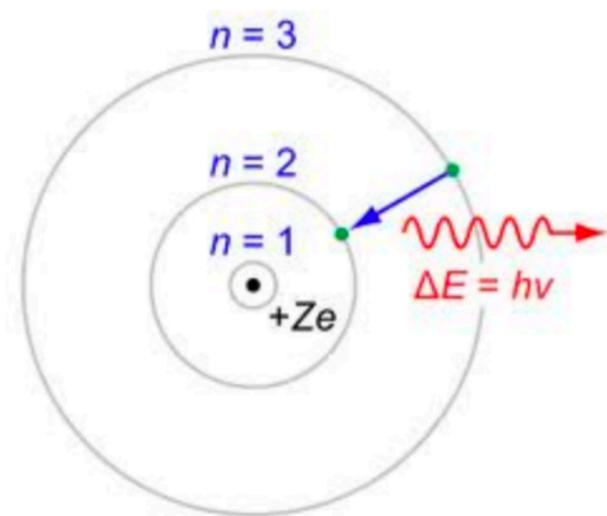
Modèle "plum pudding" (Thomson, 1904)



Modèle avec noyau (Rutherford, 1909)



RESULTAT OBSERVÉ

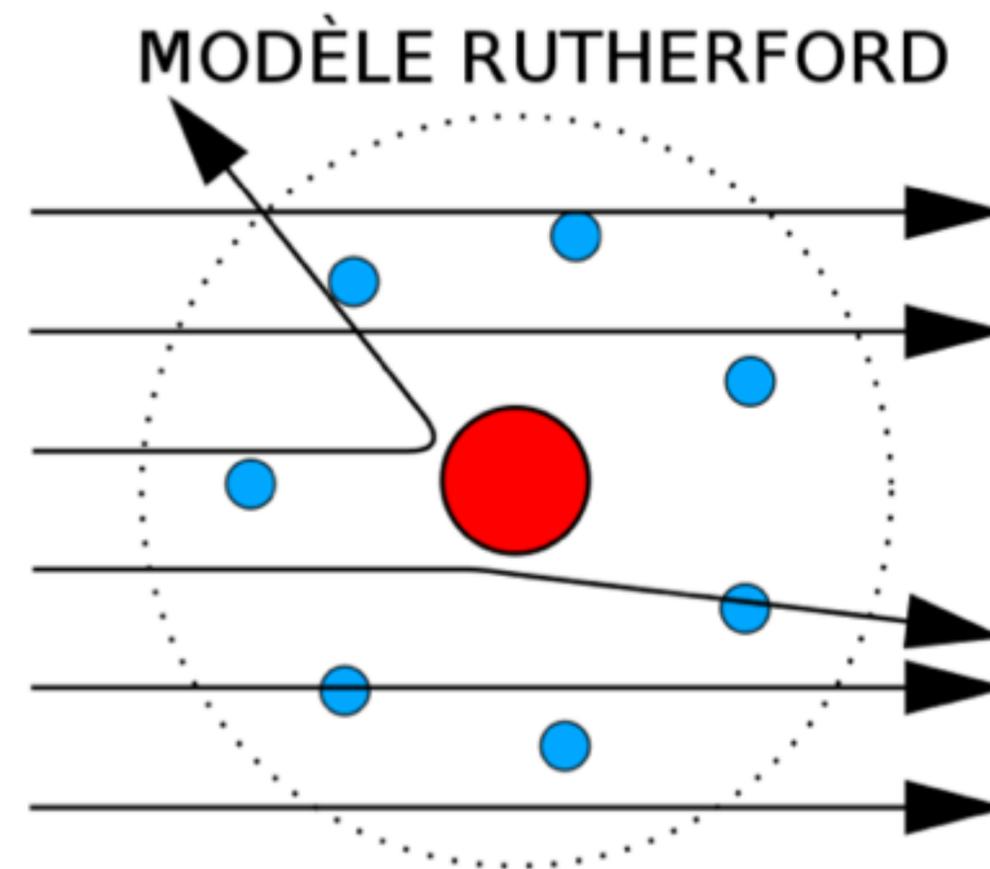
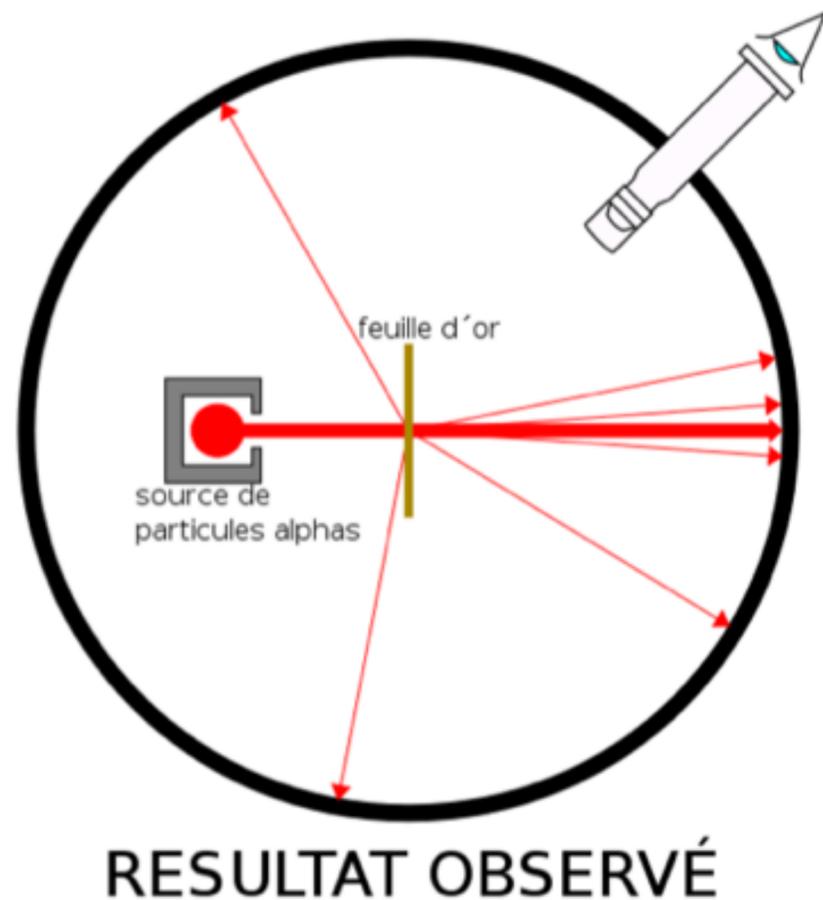


atome de Bohr

Modèle quantique (Bohr, 1913)

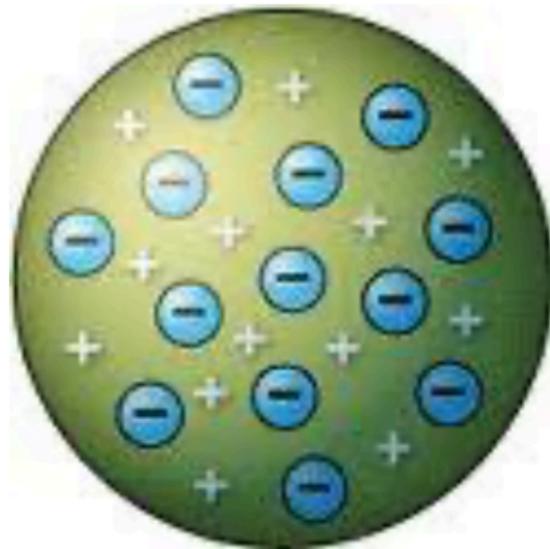
# Variations de la conception du noyau au cours du temps

Modèle avec noyau (Rutherford, 1909)

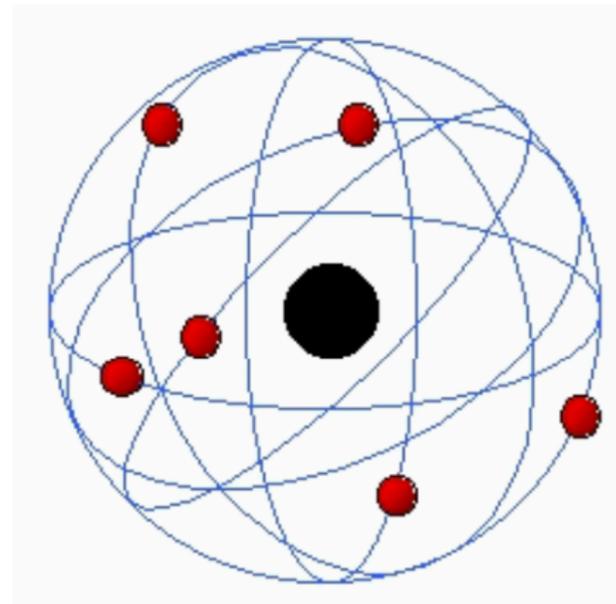


# Variations de la conception du noyau au cours du temps

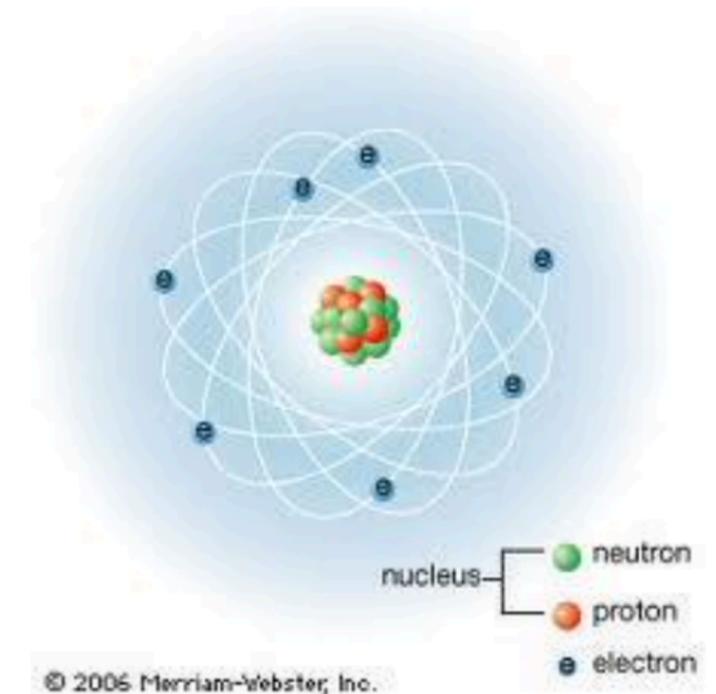
1898



1911

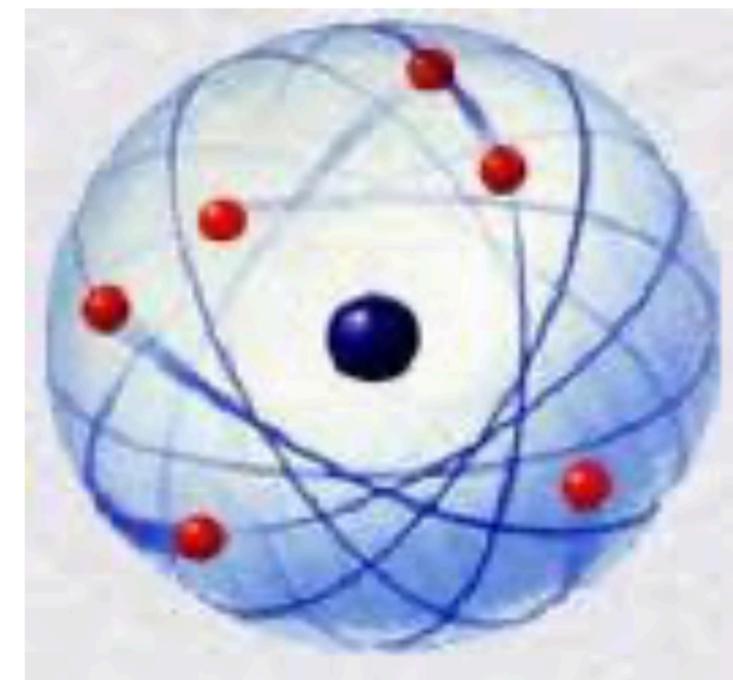
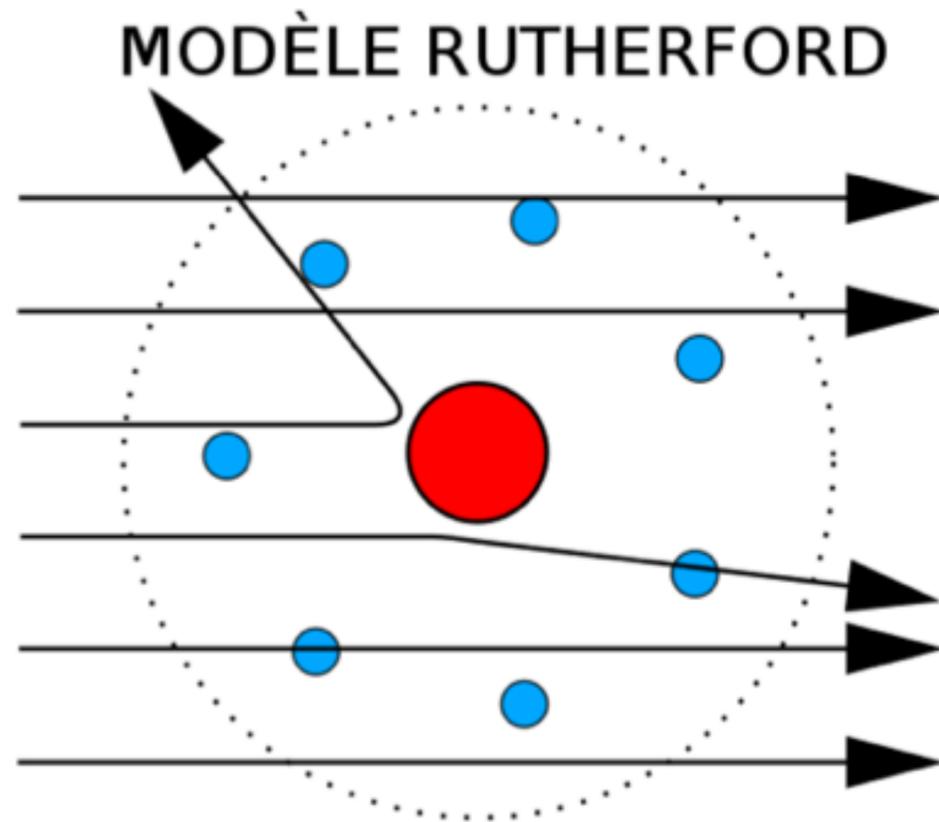


1932



# Variations de la conception du noyau au cours du temps

Modèle avec noyau (Rutherford, 1909)



$10^{-14}$  m

$10^{-10}$  m

# Modèle "standard"

|        | masse →                       | charge → | spin → |  |                                 |        |       |  |                                  |        |       |  |                        |         |   |  |                               |   |   |   |                            |
|--------|-------------------------------|----------|--------|--|---------------------------------|--------|-------|--|----------------------------------|--------|-------|--|------------------------|---------|---|--|-------------------------------|---|---|---|----------------------------|
| QUARKS | $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ | $2/3$    | $1/2$  | <b>u</b><br>up                                     | $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ | $2/3$  | $1/2$ | <b>c</b><br>charm                                | $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ | $2/3$  | $1/2$ | <b>t</b><br>top                                  | 0                      | 0       | 1 | <b>g</b><br>gluon                          | $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ | 0 | 0 | 0 | <b>H</b><br>boson de Higgs |
|        | $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ | $-1/3$   | $1/2$  | <b>d</b><br>down                                   | $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$    | $-1/3$ | $1/2$ | <b>s</b><br>strange                              | $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$   | $-1/3$ | $1/2$ | <b>b</b><br>bottom                               | 0                      | 0       | 1 | <b><math>\gamma</math></b><br>photon       |                               |   |   |   |                            |
|        | $0.511 \text{ MeV}/c^2$       | -1       | $1/2$  | <b>e</b><br>électron                               | $105.7 \text{ MeV}/c^2$         | -1     | $1/2$ | <b><math>\mu</math></b><br>muon                  | $1.777 \text{ GeV}/c^2$          | -1     | $1/2$ | <b><math>\tau</math></b><br>tau                  | $91.2 \text{ GeV}/c^2$ | 0       | 1 | <b><math>Z^0</math></b><br>boson $Z^0$     |                               |   |   |   |                            |
|        | $< 2.2 \text{ eV}/c^2$        | 0        | $1/2$  | <b><math>\nu_e</math></b><br>neutrino électronique | $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$        | 0      | $1/2$ | <b><math>\nu_\mu</math></b><br>neutrino muonique | $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$         | 0      | $1/2$ | <b><math>\nu_\tau</math></b><br>neutrino tauique | $80.4 \text{ GeV}/c^2$ | $\pm 1$ | 1 | <b><math>W^\pm</math></b><br>boson $W^\pm$ |                               |   |   |   |                            |
|        |                               |          |        |  |                                 |        |       |  |                                  |        |       |  |                        |         |   |  |                               |   |   |   |                            |
|        | LEPTONS                       |          |        |  |                                 |        |       |  |                                  |        |       |  |                        |         |   |  |                               |   |   |   |                            |

# Quelques caractéristiques

|                 | Masse (kg)   | Taille (m)               | Charge       |
|-----------------|--|--------------------------|--------------|
| <b>Proton</b>   | $1,67 \cdot 10^{-27}$  | $0,8-0,9 \cdot 10^{-15}$ | e            |
| <b>Neutron</b>  | $1,67 \cdot 10^{-27}$  | $\sim 10^{-15}$          | 0            |
| <b>Electron</b> | $9,10 \cdot 10^{-31}$  | 0                        | - e          |
| <b>Neutrino</b> | $< 1,4 \cdot 10^{-36}$<br>$< 3,0 \cdot 10^{-31}$<br>$< 3,2 \cdot 10^{-29}$ | 0                        | 0            |
| <b>Photon</b>   | 0  | 0                        | 0            |
| <b>Quark</b>    | $3,5 \cdot 10^{-30}$ à $3,1 \cdot 10^{-25}$                                | $10^{-18}$               | $2e/3, -e/3$ |

# Modèle "standard"

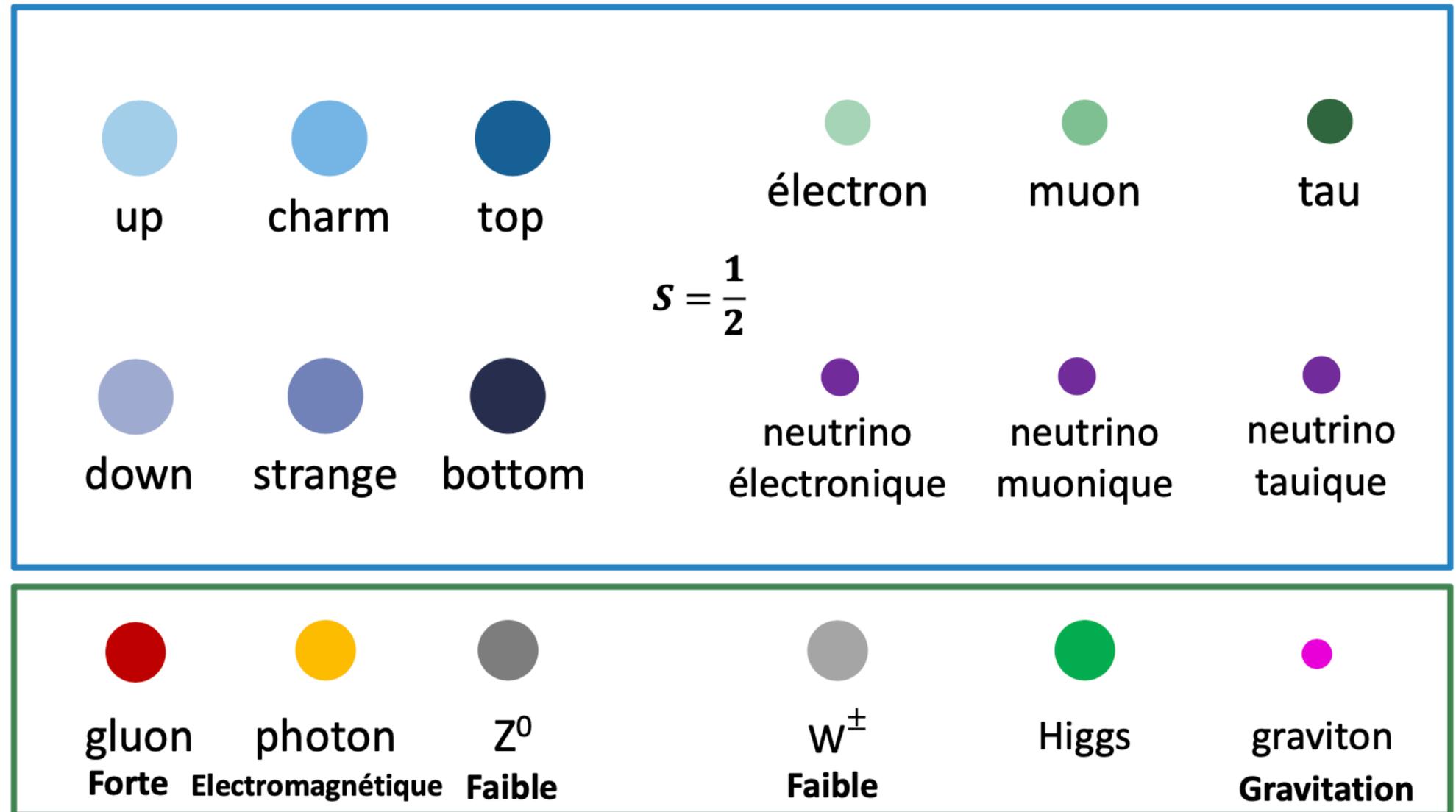
## LE MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

### Fermions

- Spin = demi-entier

### Bosons

- Spin = entier
- Certains transportent les interactions



# Modèle "standard"

Le spin ??

~ rotation de la particule sur elle-même...  
en mécanique classique !

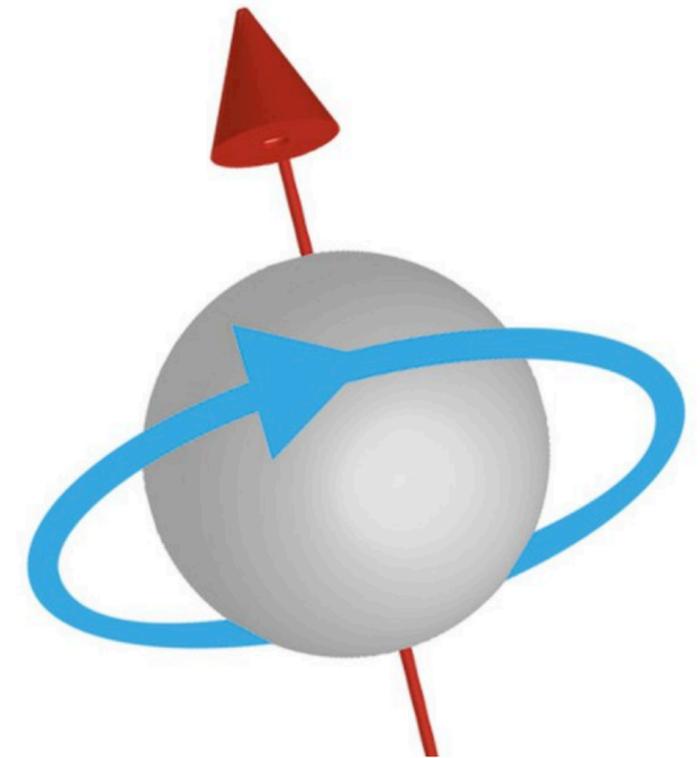
~ magnétisme

Spin demi entier (fermions)

=> impossible d'avoir 2 particules dans le  
même état quantique

Spin entier (bosons)

=> accumulation possible de particules  
dans le même état

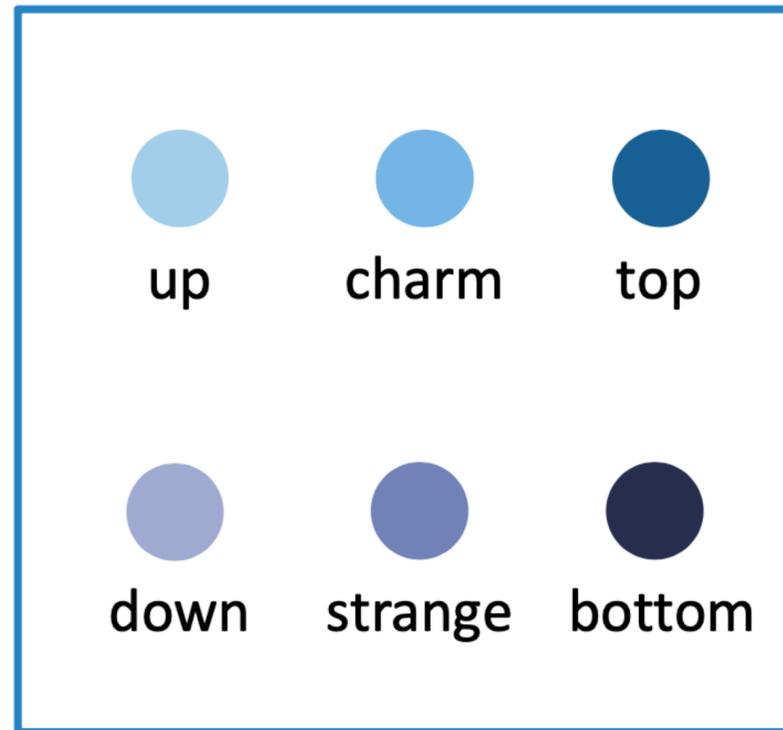


# Modèle "standard"

## LE MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

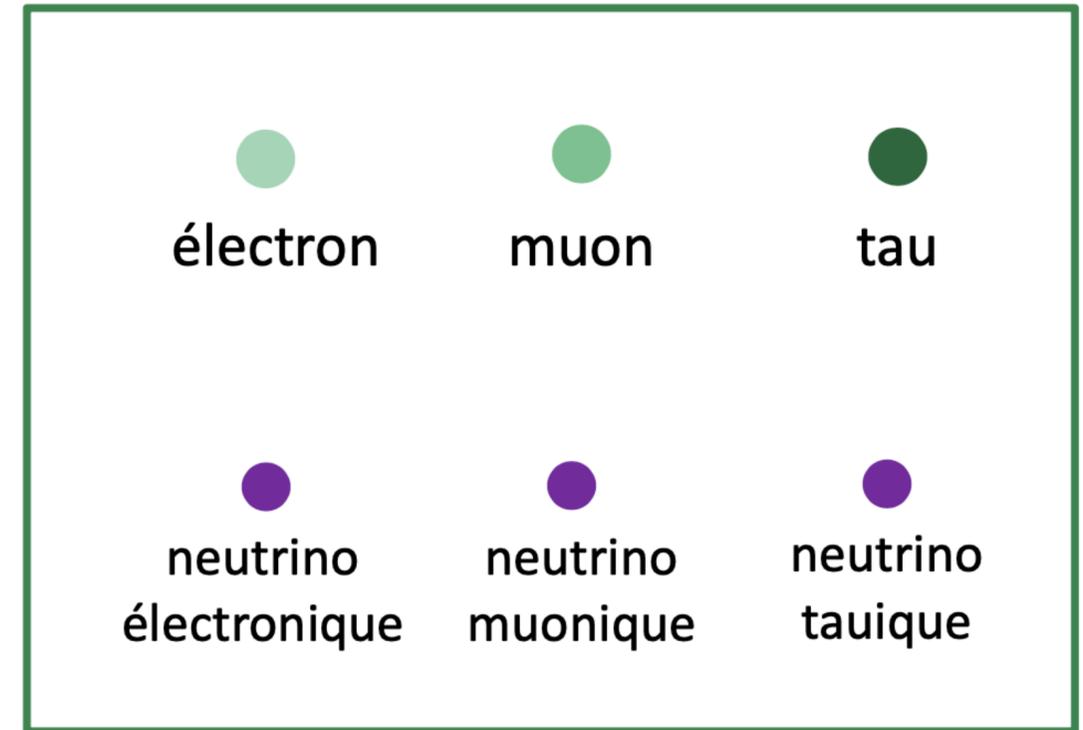
### Quarks

- Sensibles aux interactions :
  - **Forte**
  - Électromagnétique
  - Faible
  - (Gravitationnelle)



### Leptons

- Sensibles aux interactions :
  - Électromagnétique
  - Faible
  - (Gravitationnelle)

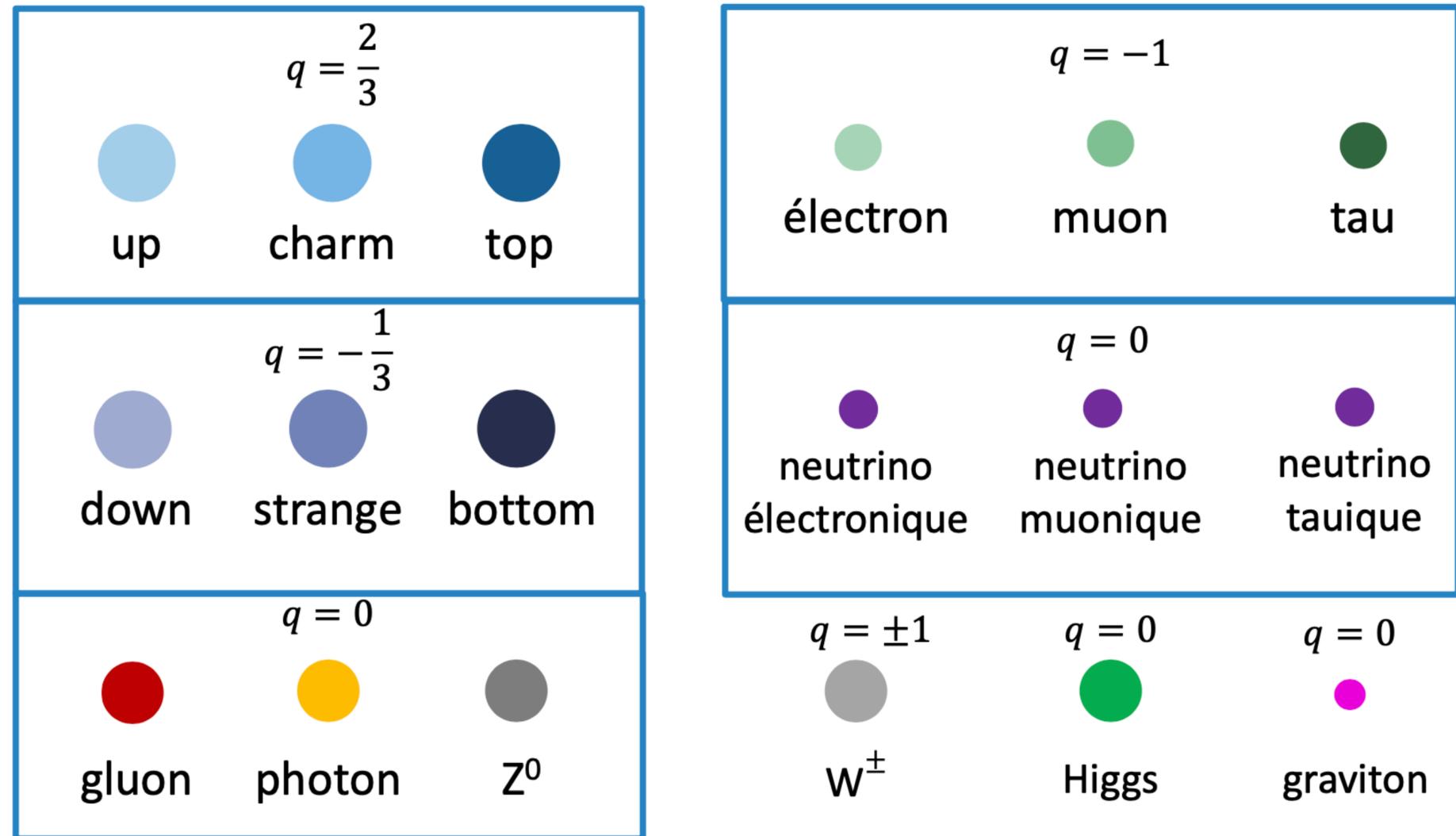


# Modèle "standard"

## LE MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

### Interaction électromagnétique

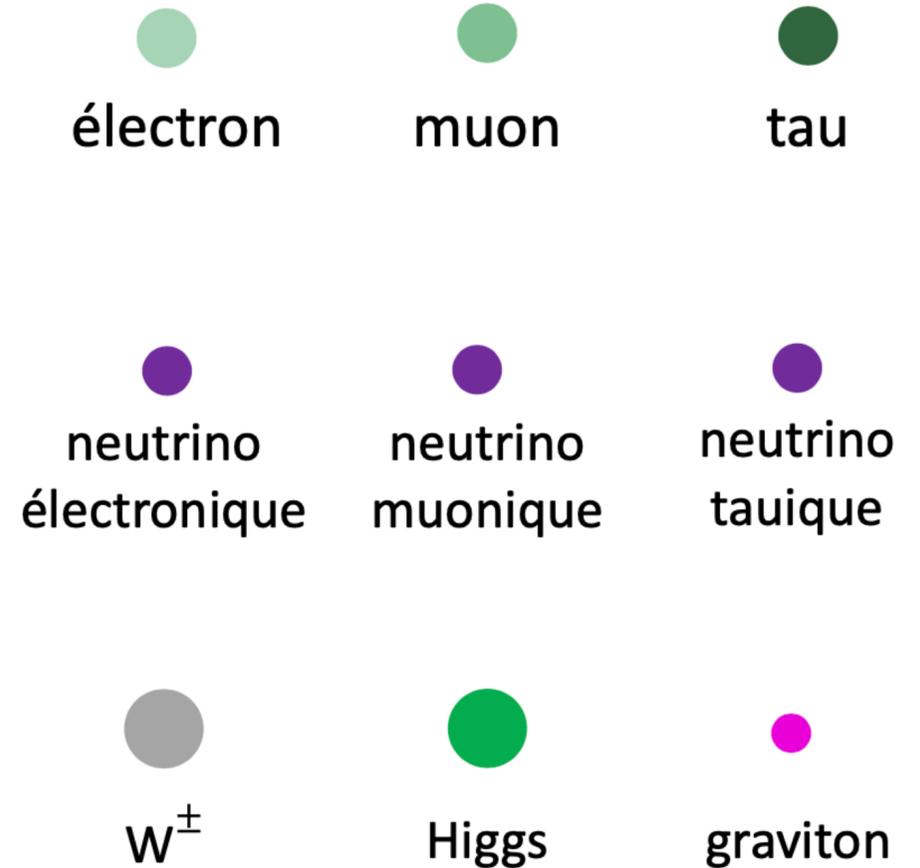
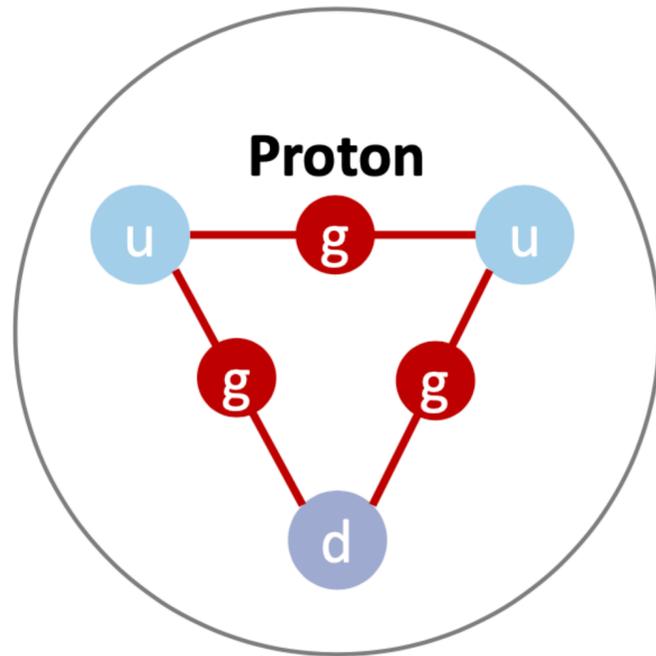
→ Charge électrique



# Modèle "standard"

LE MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

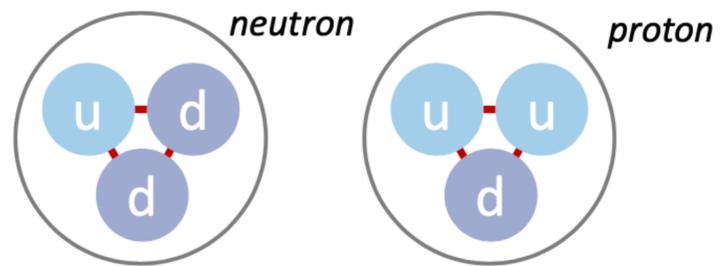
Quarks – forment des hadrons



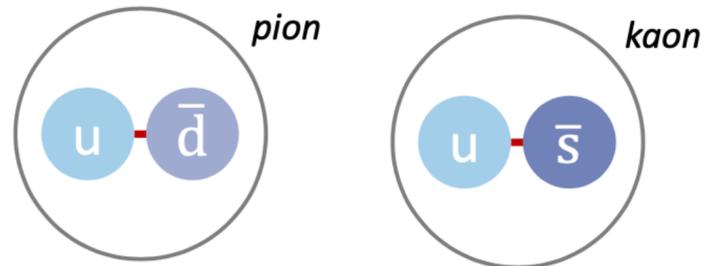
# Modèle "standard"

## LE MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

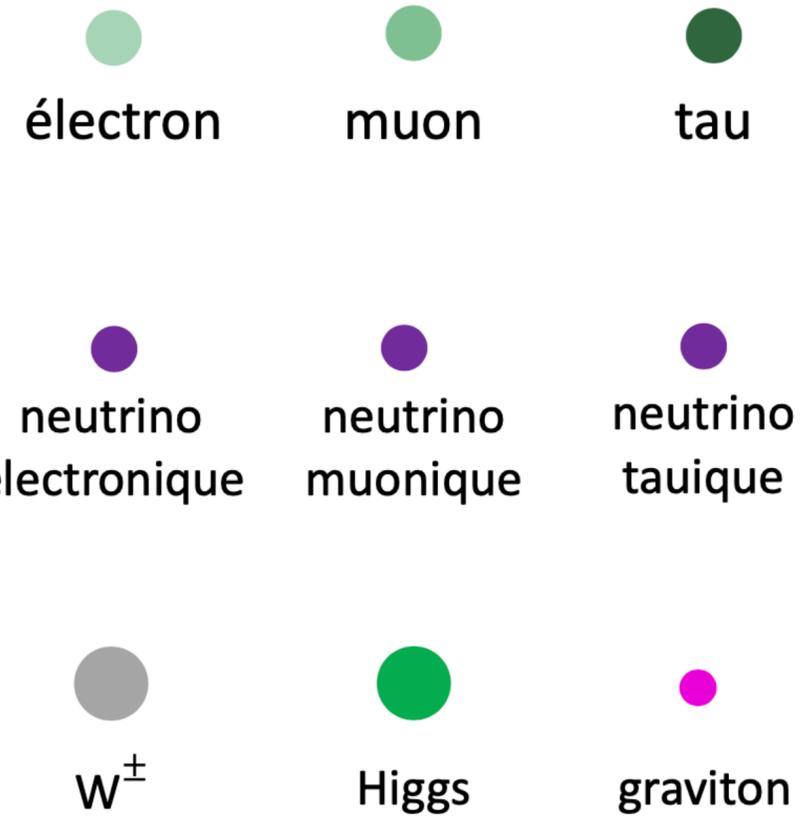
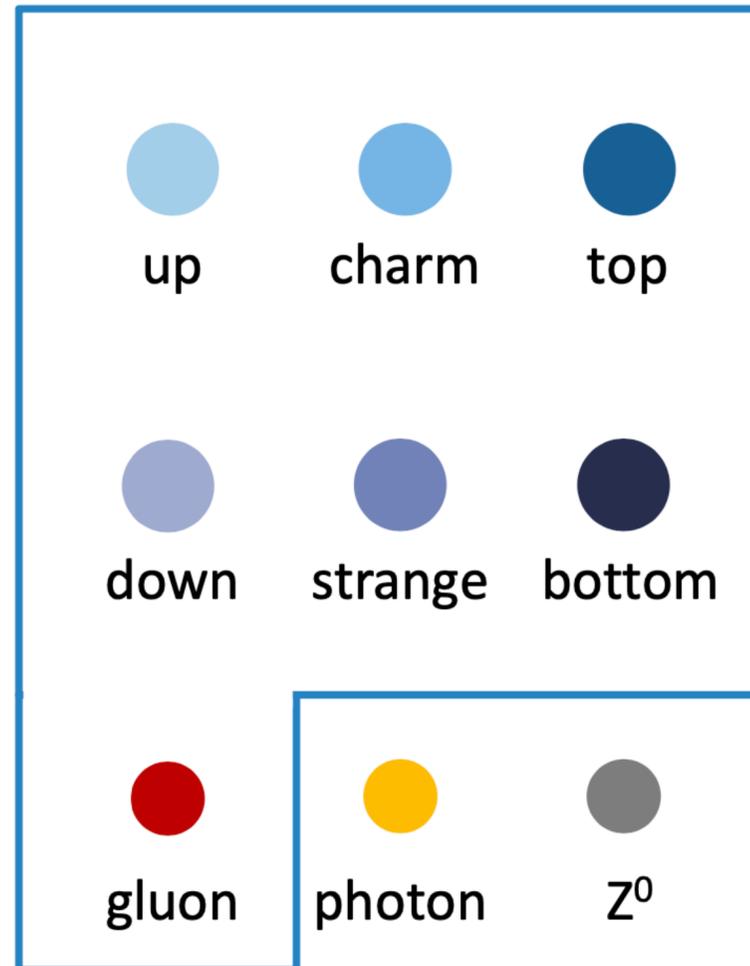
### Quarks – forment des hadrons



Baryons = 3 quarks



Mésons = 2 quarks



# Modèle "standard"

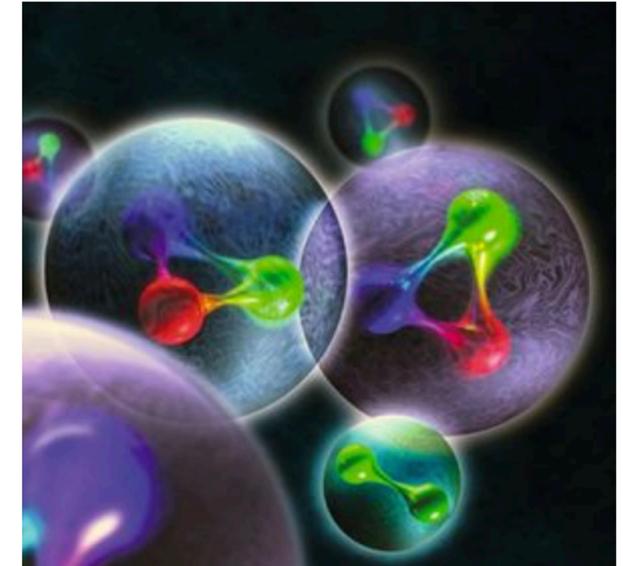
## LE MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

### Masse des particules

Plus la masse est élevée,  
plus la particule est instable...

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,3 MeV   | 1,3 GeV   | 173 GeV   | 511 keV   | 106 MeV   | 1,8 GeV   |
|    |    |    |    |    |    |
| up  | charm   | top   | électron  | muon  | tau   |
| 4,8 MeV   | 95 MeV  | 4,2 GeV   | $\approx 0$   | $\approx 0$   | $\approx 0$   |
|  |  |  |  |  |  |
| down  | strange   | bottom  | neutrino<br>électronique  | neutrino<br>muonique  | neutrino<br>tauique   |
| 0   | 0   | 91 GeV  | 80 GeV  | 126 GeV   | 0   |
|  |  |  |  |  |  |
| gluon   | photon  | Z <sup>0</sup>  | W <sup>±</sup>  | Higgs   | graviton  |

# Modèle "standard" = lego de particules



***fermions*** : particules de spin demi-entier

***bosons*** : particules de spin entier

***hadrons*** : particules composites de 2 ou 3 quarks, sensible à l'interaction forte

***baryons*** : particules composites de 3 quarks (ce sont des hadrons ; et spin demi-entier => fermions)

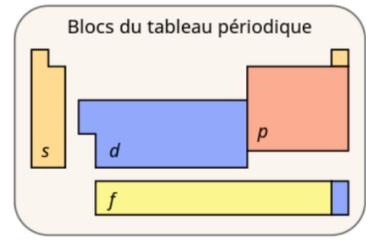
***leptons*** : particules de spin demi-entier, non sensible à l'interaction forte

# Tableau périodique des éléments

Groupe → I A  
Période ↓ 1

VIII A  
18

|   |   |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |  |  |   |  |   |  |                                       |  |     |      |       |    |
|---|---|--|--|--|--|---|---|--|---|---|---|--|--|---|--|---|--|---------------------------------------|--|-----|------|-------|----|
| 1 | <div data-bbox="716 187 2049 440" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>états d'oxydation (valeurs les plus courantes en gras)</p> <p>1<sup>ère</sup> énergie d'ionisation (en kJ/mol)</p> <p>électronégativité (Pauling)</p> <p>configuration électronique</p> <p>électrons par niveau d'énergie</p> </div> |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |  |  |   |  |   | 2  | III B                                 | IV B                                   | V B | VI B | VII B | 18 |
| 1 | <b>Hydrogène</b><br>H<br>1<br>1,007975  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |  |  |   |  |   | <b>Hélium</b><br>He<br>2<br>4,002602     |                                       |  |     |      |       |    |
| 2 | <b>Lithium</b><br>Li<br>3<br>6,9395   | <b>Béryllium</b><br>Be<br>4<br>9,0121831 |  |  |  |   |   |  |   |   |   |  |  |   |  |   |  | <b>Néon</b><br>Ne<br>10<br>20,1797    |  |     |      |       |    |
| 3 | <b>Sodium</b><br>Na<br>11<br>22,98976928  | <b>Magnésium</b><br>Mg<br>12<br>24,3055  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |  |  |   |  |   |  | <b>Argon</b><br>Ar<br>18<br>39,948    |  |     |      |       |    |
| 4 | <b>Potassium</b><br>K<br>19<br>39,0983  | <b>Calcium</b><br>Ca<br>20<br>40,078     | <b>Scandium</b><br>Sc<br>21<br>44,955908 | <b>Titane</b><br>Ti<br>22<br>47,867    | <b>Vanadium</b><br>V<br>23<br>50,9415        | <b>Chrome</b><br>Cr<br>24<br>51,9961    | <b>Manganèse</b><br>Mn<br>25<br>54,938044 | <b>Fer</b><br>Fe<br>26<br>55,845       | <b>Cobalt</b><br>Co<br>27<br>58,933194  | <b>Nickel</b><br>Ni<br>28<br>58,6934    | <b>Cuivre</b><br>Cu<br>29<br>63,546       | <b>Zinc</b><br>Zn<br>30<br>65,38         | <b>Gallium</b><br>Ga<br>31<br>69,723     | <b>Germanium</b><br>Ge<br>32<br>72,630  | <b>Arsenic</b><br>As<br>33<br>74,921595  | <b>Sélénium</b><br>Se<br>34<br>78,971   | <b>Brome</b><br>Br<br>35<br>79,904       | <b>Krypton</b><br>Kr<br>36<br>83,798  |  |     |      |       |    |
| 5 | <b>Rubidium</b><br>Rb<br>37<br>85,4678  | <b>Strontium</b><br>Sr<br>38<br>87,62    | <b>Yttrium</b><br>Y<br>39<br>88,90584    | <b>Zirconium</b><br>Zr<br>40<br>91,224 | <b>Niobium</b><br>Nb<br>41<br>92,90637       | <b>Molybdène</b><br>Mo<br>42<br>95,95   | <b>Technétium</b><br>Tc<br>43<br>[98]     | <b>Ruthénium</b><br>Ru<br>44<br>101,07 | <b>Rhodium</b><br>Rh<br>45<br>102,90550 | <b>Palladium</b><br>Pd<br>46<br>106,42  | <b>Argent</b><br>Ag<br>47<br>107,8682     | <b>Cadmium</b><br>Cd<br>48<br>112,414    | <b>Indium</b><br>In<br>49<br>114,818     | <b>Étain</b><br>Sn<br>50<br>118,710     | <b>Antimoine</b><br>Sb<br>51<br>121,760  | <b>Tellure</b><br>Te<br>52<br>127,60    | <b>Iode</b><br>I<br>53<br>126,90447      | <b>Xénon</b><br>Xe<br>54<br>131,293   |  |     |      |       |    |
| 6 | <b>Césium</b><br>Cs<br>55<br>132,905452   | <b>Baryum</b><br>Ba<br>56<br>137,327     | <b>Lanthanides</b><br>57-71              |  | <b>Hafnium</b><br>Hf<br>72<br>178,49         | <b>Tantale</b><br>Ta<br>73<br>180,94788 | <b>Tungstène</b><br>W<br>74<br>183,84     | <b>Rhénium</b><br>Re<br>75<br>186,207  | <b>Osmium</b><br>Os<br>76<br>190,23     | <b>Iridium</b><br>Ir<br>77<br>192,217   | <b>Platine</b><br>Pt<br>78<br>195,084     | <b>Or</b><br>Au<br>79<br>196,966569      | <b>Mercure</b><br>Hg<br>80<br>200,592    | <b>Thallium</b><br>Tl<br>81<br>204,3835 | <b>Plomb</b><br>Pb<br>82<br>207,2        | <b>Bismuth</b><br>Bi<br>83<br>208,98040 | <b>Polonium</b><br>Po<br>84<br>[209]     | <b>Astate</b><br>At<br>85<br>[210]    | <b>Radon</b><br>Rn<br>86<br>[222]      |     |      |       |    |
| 7 | <b>Francium</b><br>Fr<br>87<br>[223]  | <b>Radium</b><br>Ra<br>88<br>[226]       | <b>Actinides</b><br>89-103               |  | <b>Rutherfordium</b><br>Rf<br>104<br>[267]   | <b>Dubnium</b><br>Db<br>105<br>[268]    | <b>Seaborgium</b><br>Sg<br>106<br>[269]   | <b>Bohrium</b><br>Bh<br>107<br>[270]   | <b>Hassium</b><br>Hs<br>108<br>[277]    | <b>Meitnérium</b><br>Mt<br>109<br>[278] | <b>Darmstadtium</b><br>Ds<br>110<br>[281] | <b>Roentgenium</b><br>Rg<br>111<br>[282] | <b>Copernicium</b><br>Cn<br>112<br>[285] | <b>Nihonium</b><br>Nh<br>113<br>[286]   | <b>Flérovium</b><br>Fl<br>114<br>[289]   | <b>Moscovium</b><br>Mc<br>115<br>[289]  | <b>Livermorium</b><br>Lv<br>116<br>[293] | <b>Tennesse</b><br>Ts<br>117<br>[294] | <b>Oganesson</b><br>Og<br>118<br>[294] |     |      |       |    |
|   |   |  | <b>Lanthane</b><br>La<br>57<br>138,90547 | <b>Cérium</b><br>Ce<br>58<br>140,116   | <b>Praséodyme</b><br>Pr<br>59<br>140,90766   | <b>Néodyme</b><br>Nd<br>60<br>144,242   | <b>Prométhium</b><br>Pm<br>61<br>[145]    | <b>Samarium</b><br>Sm<br>62<br>150,36  | <b>Europium</b><br>Eu<br>63<br>151,964  | <b>Gadolinium</b><br>Gd<br>64<br>157,25 | <b>Terbium</b><br>Tb<br>65<br>158,92535   | <b>Dysprosium</b><br>Dy<br>66<br>162,500 | <b>Holmium</b><br>Ho<br>67<br>164,93033  | <b>Erbium</b><br>Er<br>68<br>167,259    | <b>Thulium</b><br>Tm<br>69<br>168,93422  | <b>Ytterbium</b><br>Yb<br>70<br>173,045 | <b>Lutécius</b><br>Lu<br>71<br>174,9668  |                                       |  |     |      |       |    |
|   |   |  | <b>Actinium</b><br>Ac<br>89<br>[227]     | <b>Thorium</b><br>Th<br>90<br>232,0377 | <b>Protactinium</b><br>Pa<br>91<br>231,03588 | <b>Uranium</b><br>U<br>92<br>238,02891  | <b>Neptunium</b><br>Np<br>93<br>[237]     | <b>Plutonium</b><br>Pu<br>94<br>[244]  | <b>Américium</b><br>Am<br>95<br>[243]   | <b>Curium</b><br>Cm<br>96<br>[247]      | <b>Berkélium</b><br>Bk<br>97<br>[247]     | <b>Californium</b><br>Cf<br>98<br>[251]  | <b>Einsteinium</b><br>Es<br>99<br>[252]  | <b>Fermium</b><br>Fm<br>100<br>[257]    | <b>Mendélévium</b><br>Md<br>101<br>[258] | <b>Nobélium</b><br>No<br>102<br>[259]   | <b>Lawrencium</b><br>Lr<br>103<br>[266]  |                                       |  |     |      |       |    |



|          |                  |             |           |                      |                |             |                   |           |            |             |            |                                  |             |
|----------|------------------|-------------|-----------|----------------------|----------------|-------------|-------------------|-----------|------------|-------------|------------|----------------------------------|-------------|
| Métaux   |                  |             |           |                      |                |             | Non métaux        |           |            |             | Origine    |                                  |             |
| Alcalins | Alcalino-terreux | Lanthanides | Actinides | Métaux de transition | Métaux pauvres | Métalloïdes | Autres non-métaux | Halogènes | Gaz nobles | Non classés | primordial | désintégration d'autres éléments | synthétique |

# ATOMES

Toutes les animations et explications sur  
[www.toutestquantique.fr](http://www.toutestquantique.fr)

# Classification périodique

## Structure du cortège électronique

Périodicité du comportement chimique

**Tableau périodique des éléments**

**Legend for Iron (Fe):**

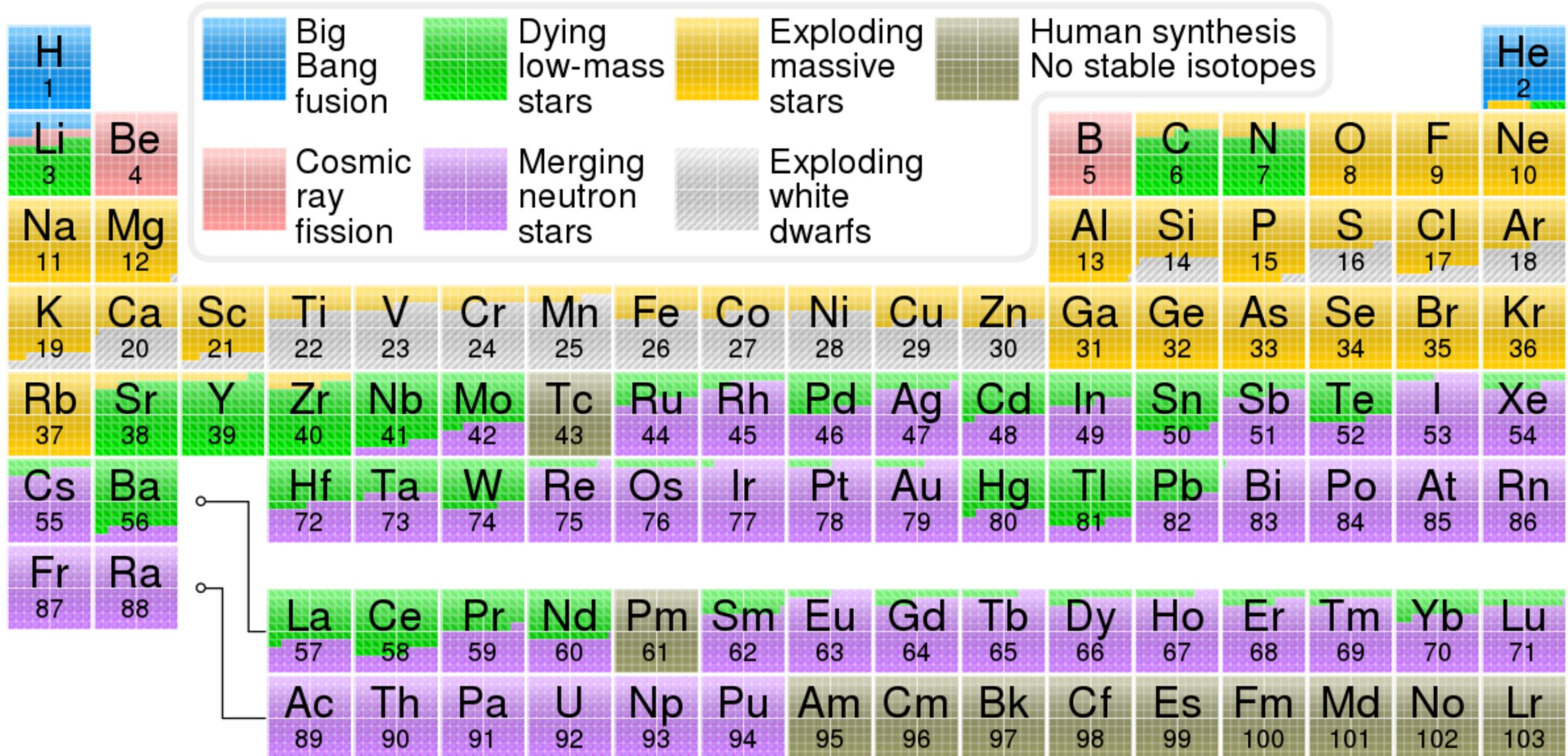
- états d'oxydation (valeurs les plus courantes en gras): +2, +3
- 1<sup>ère</sup> énergie d'ionisation (en kJ/mol): 762
- électronégativité (Pauling): 1,9
- configuration électronique:  $[Ar] 3d^6 4s^2$
- électrons par niveau d'énergie: 2, 8, 14, 2
- nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa): solide
- numéro atomique: 26
- symbole chimique: Fe
- masse atomique relative (ou celle de l'isotope le plus stable): 55,845

**Classification Legend:**

- Métaux:** Alcalins, Alcalino-terreux, Lanthanides, Actinides, Métaux de transition, Métaux pauvres, Métalloïdes
- Non métaux:** Autres non-métaux, Halogènes, Gaz nobles
- Non classés:** (Empty box)
- Origine:** primordial, désintégration d'autres éléments, synthétique

Numéro atomique

# Classification périodique



# Radioactivité

## Un peu d'histoire

**1896 :**

Découverte de la radioactivité (H. Becquerel)

**1897 :**

Découverte de l'électron (J. Thomson)

**1899 :**

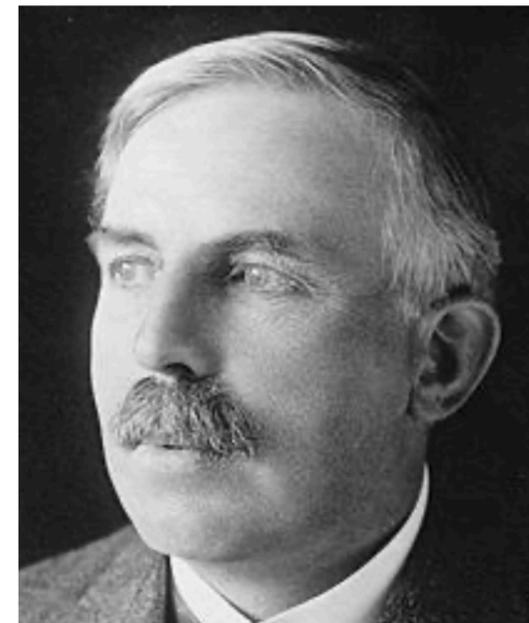
Découverte des particules  $\alpha$  et  $\beta$  (E. Rutherford)



Henri Becquerel  
(1852-1908)



Joseph Thomson  
(1856-1940)



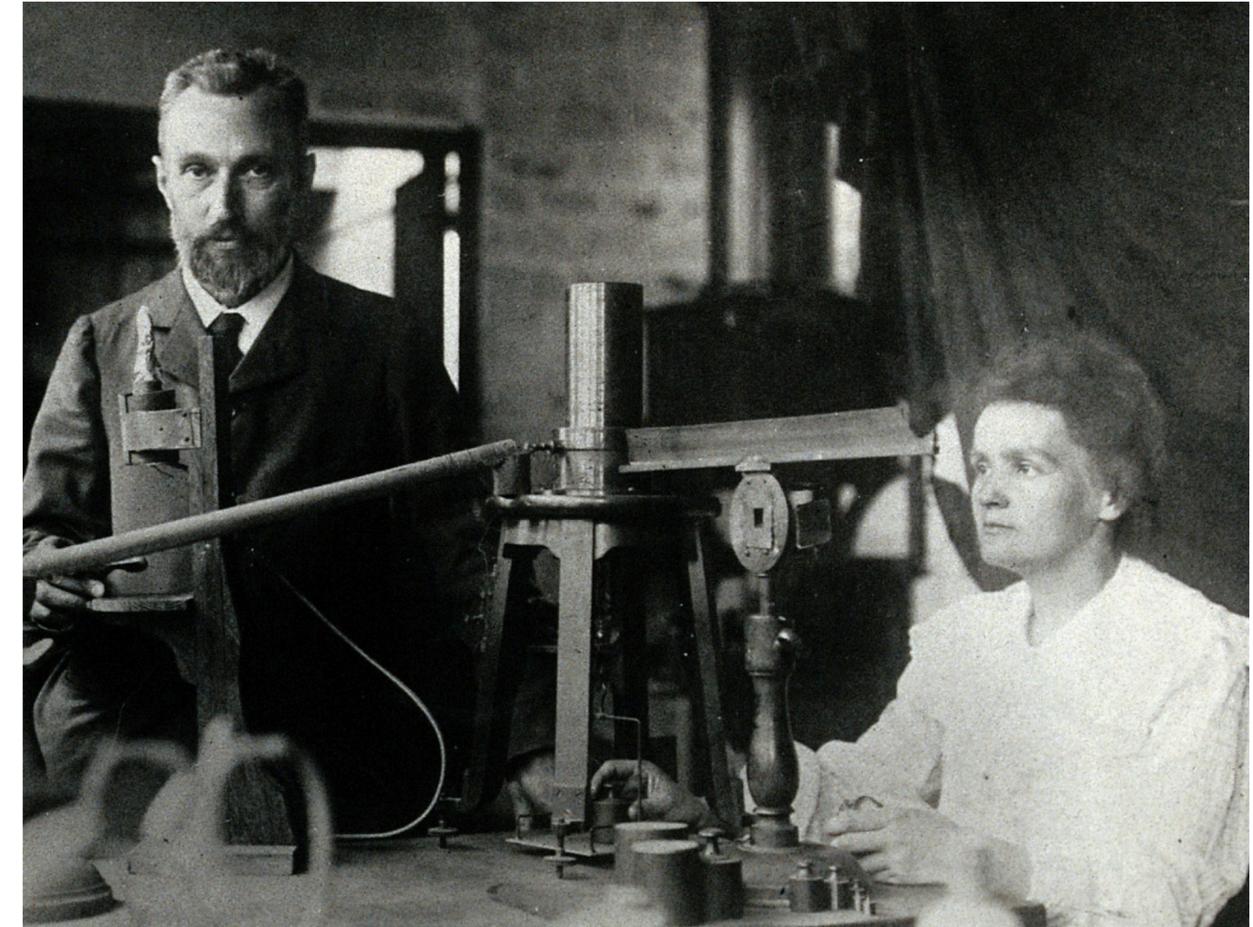
Ernest Rutherford  
(1871-1937)

# Radioactivité

Un peu d'histoire

**1896 :**  
Découverte de la radioactivité (H. Becquerel)

Mais aussi, Pierre Curie et Marie Sklodowska Curie, Ernest Rutherford... au début du 20ème siècle



Pierre Curie  
(1859-1906)

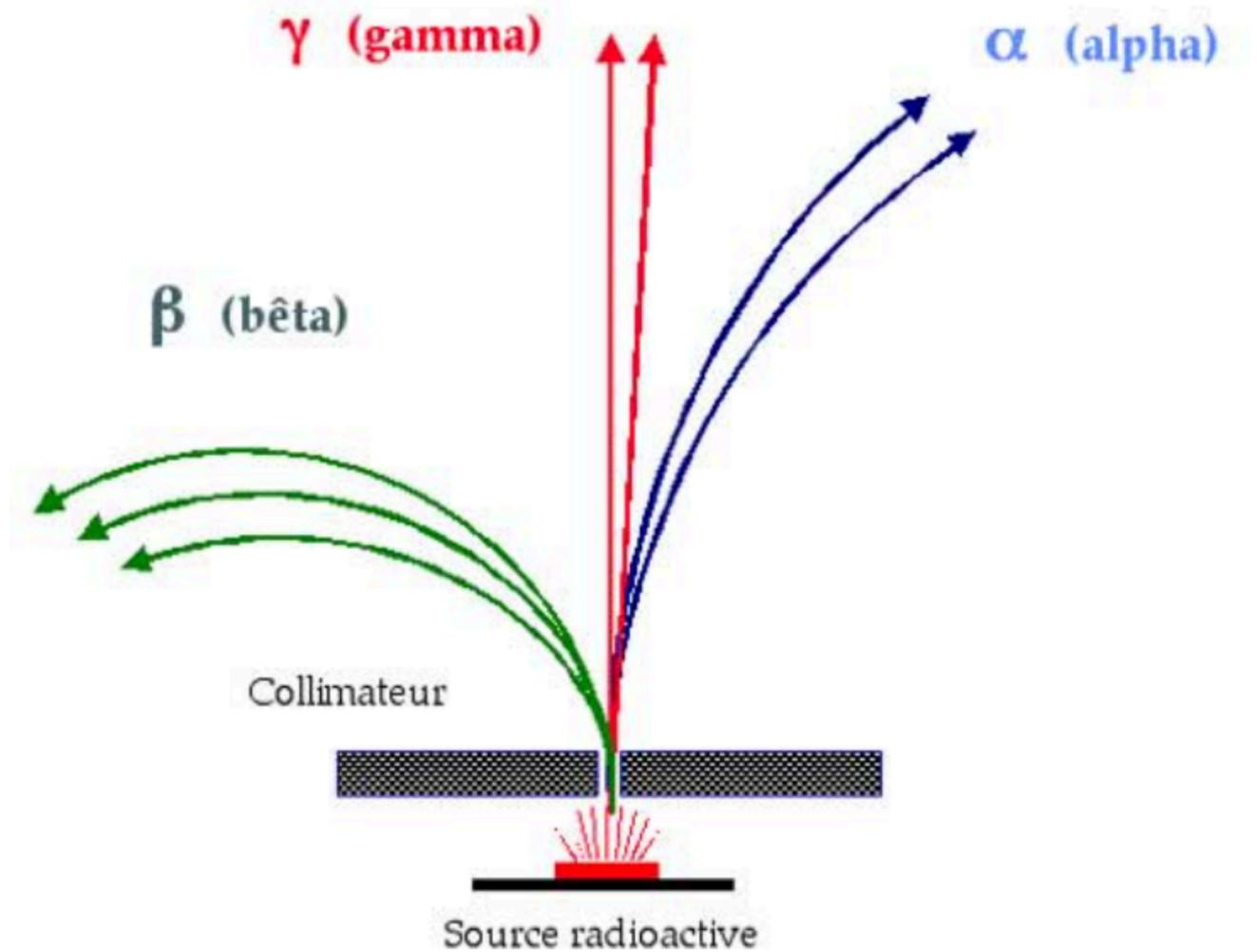
Marie Skłodowska Curie  
(1867-1934)

# Radioactivité

A l'origine, 3 types de "rayons" :

$\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$

qui se comportent différemment dans un champ magnétique

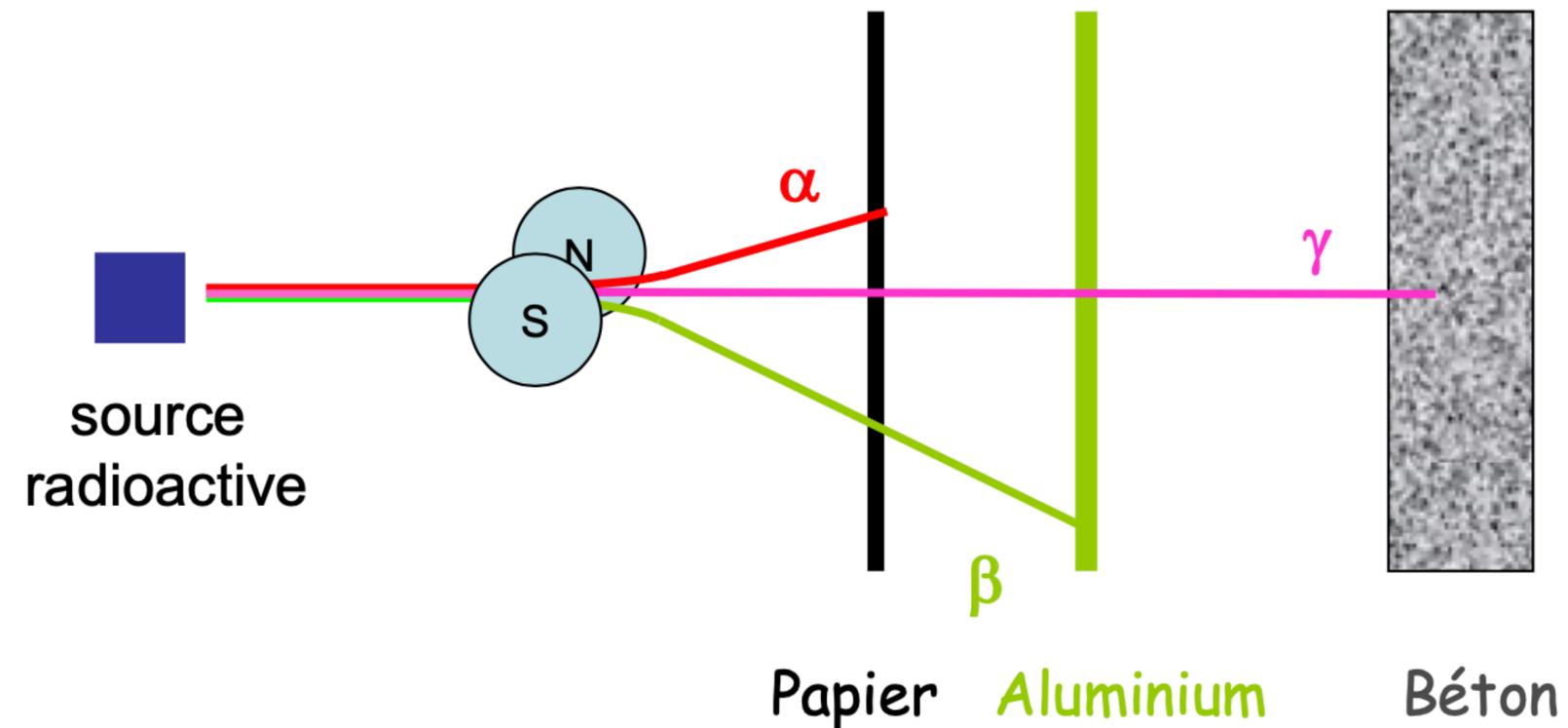


# Radioactivité

A l'origine, 3 types de "rayons" :

$\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$

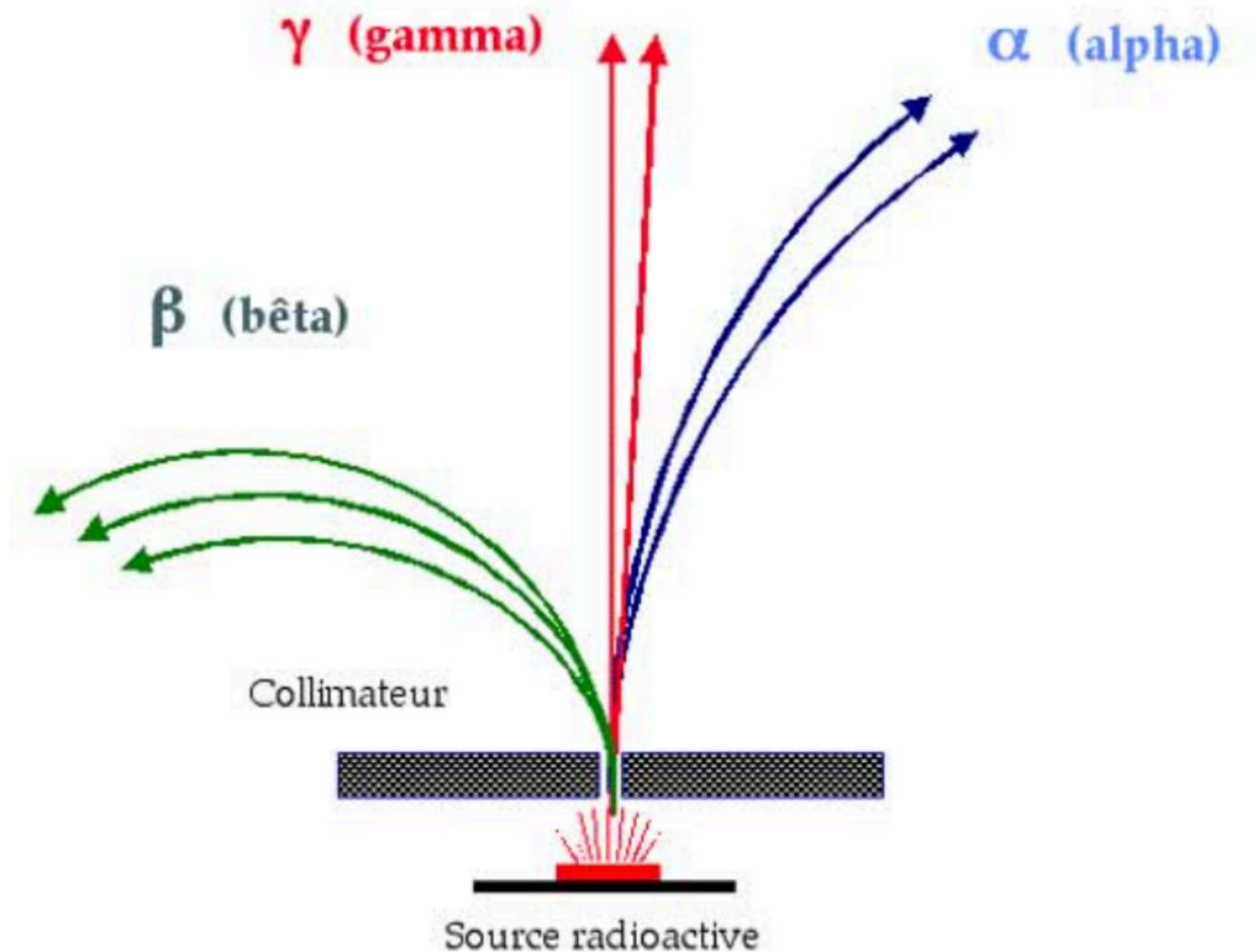
qui sont stoppées plus ou  
moins facilement



# Radioactivité

Définition: un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre et produit d'autres particules (noyaux ou particules élémentaires)

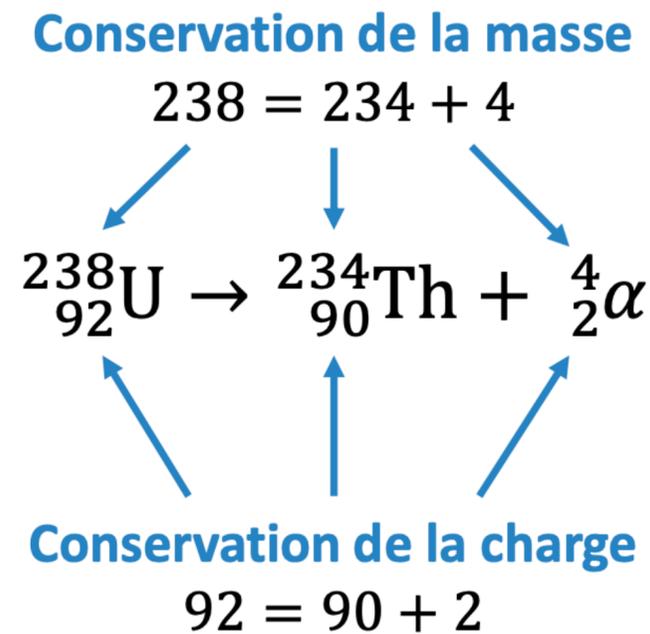
Il y a conservation de la masse et conservation de la charge



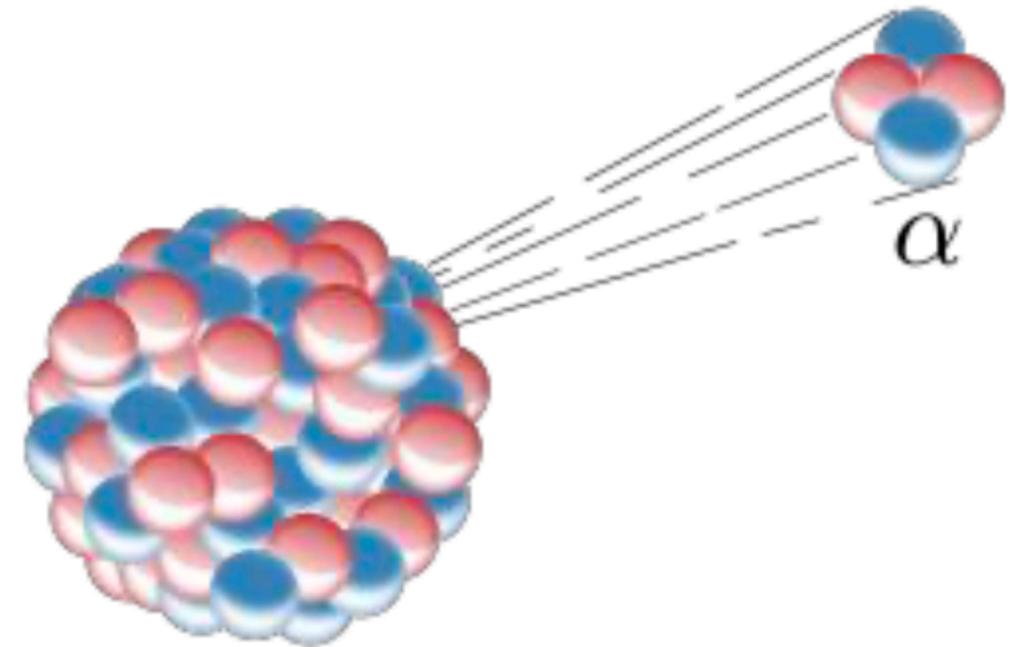
# Radioactivité

Définition: un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre et produit d'autres particules (noyaux ou particules élémentaires)

Il y a conservation de la masse et conservation de la charge



## Radioactivité $\alpha$



# Radioactivité

Définition: un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre et produit d'autres particules (noyaux ou particules élémentaires)

Il y a conservation de la masse et conservation de la charge

Conservation de la masse

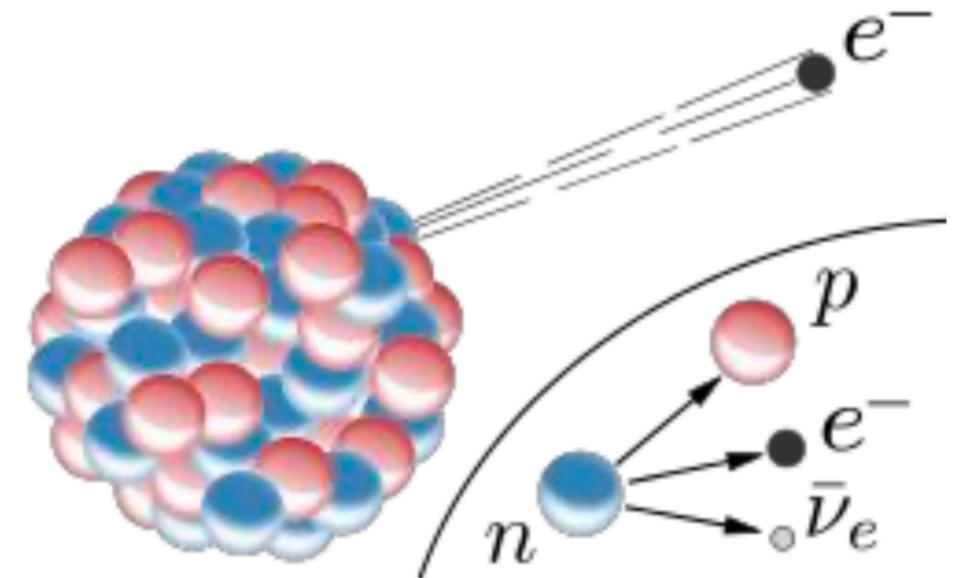
$$234 = 234 + 0 + 0$$



Conservation de la charge

$$90 = 91 - 1 + 0$$

## Radioactivité $\beta$



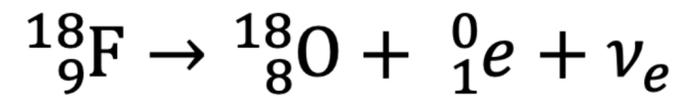
# Radioactivité

Définition: un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre et produit d'autres particules (noyaux ou particules élémentaires)

Il y a conservation de la masse et conservation de la charge

Conservation de la masse

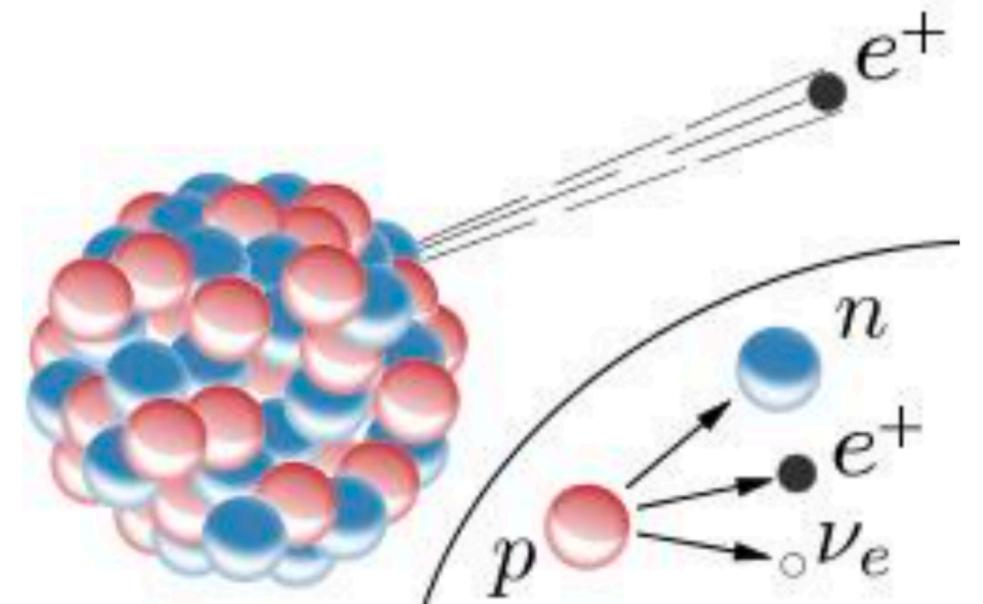
$$18 = 18 + 0 + 0$$



Conservation de la charge

$$9 = 8 + 1 + 0$$

## Radioactivité $\beta$



# Radioactivité

Définition: un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre et produit d'autres particules (noyaux ou particules élémentaires)

Il y a conservation de la masse et conservation de la charge

Conservation de la masse

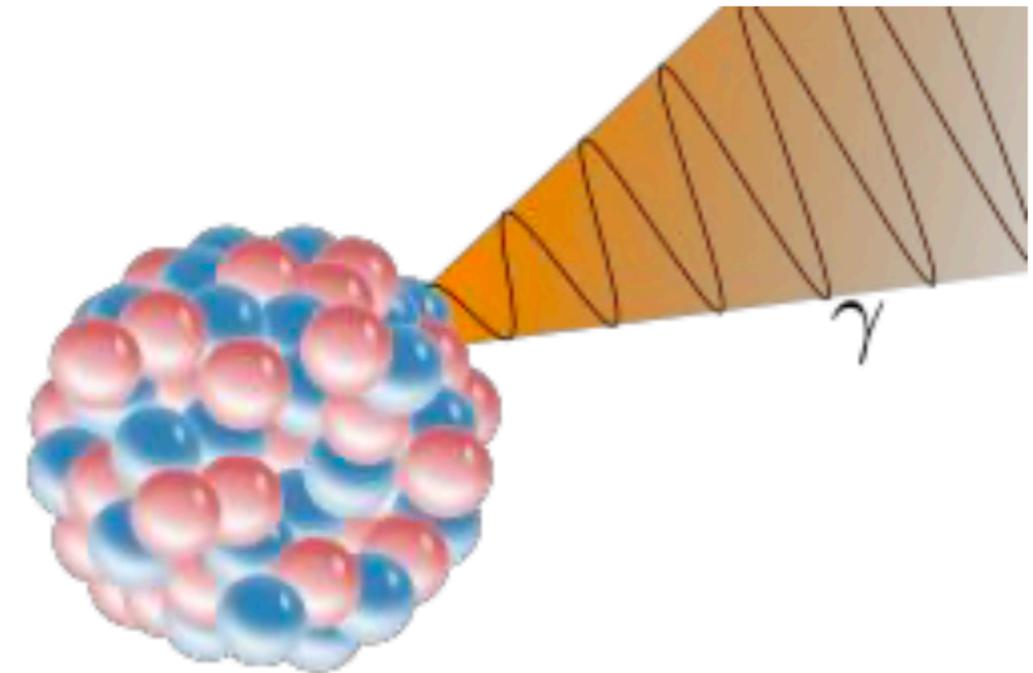
$$60 = 60 + 0$$



Conservation de la charge

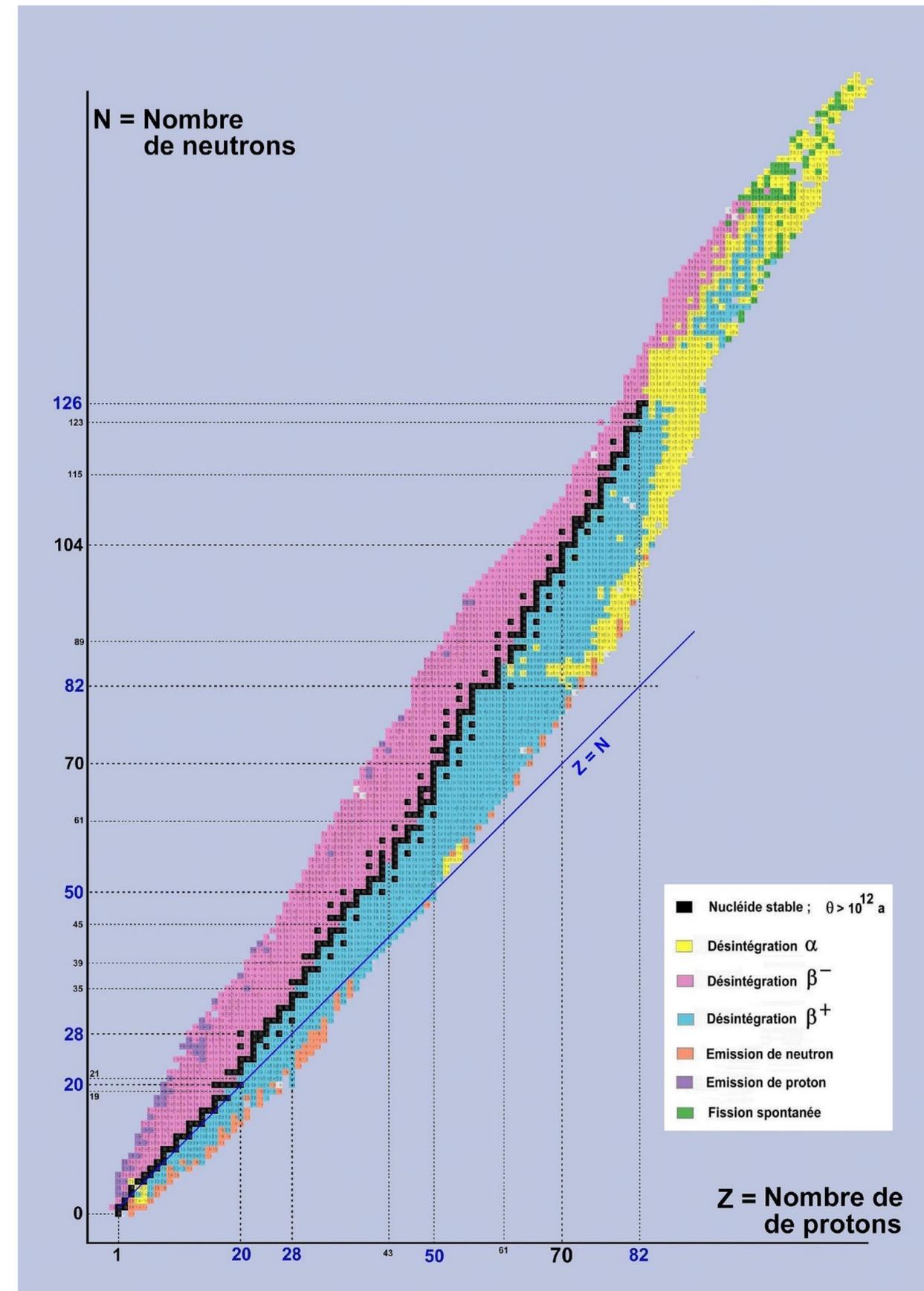
$$28 = 28 + 0$$

## Radioactivité $\gamma$



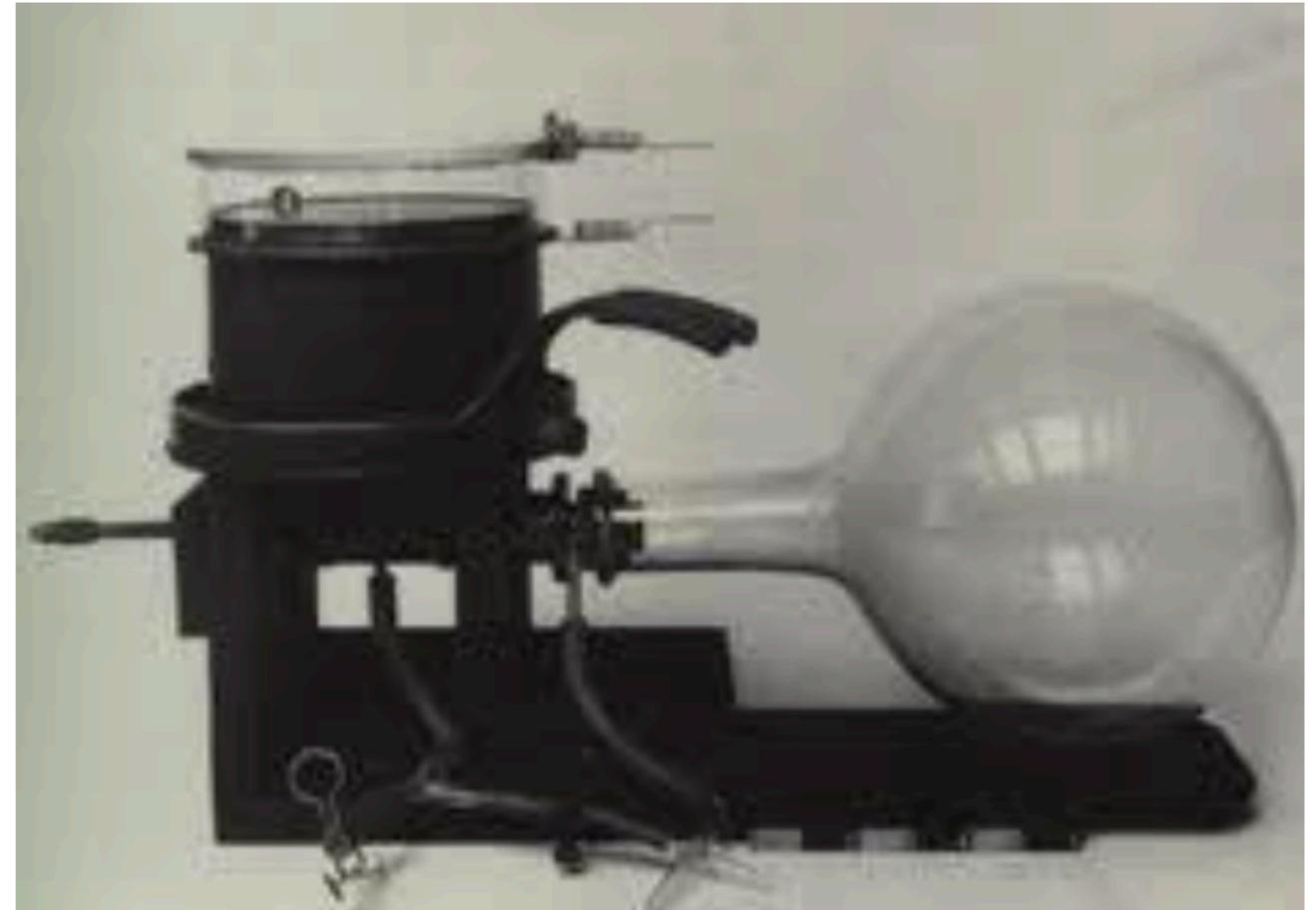
# Radioactivité

La vallée de stabilité, et ses abords instables



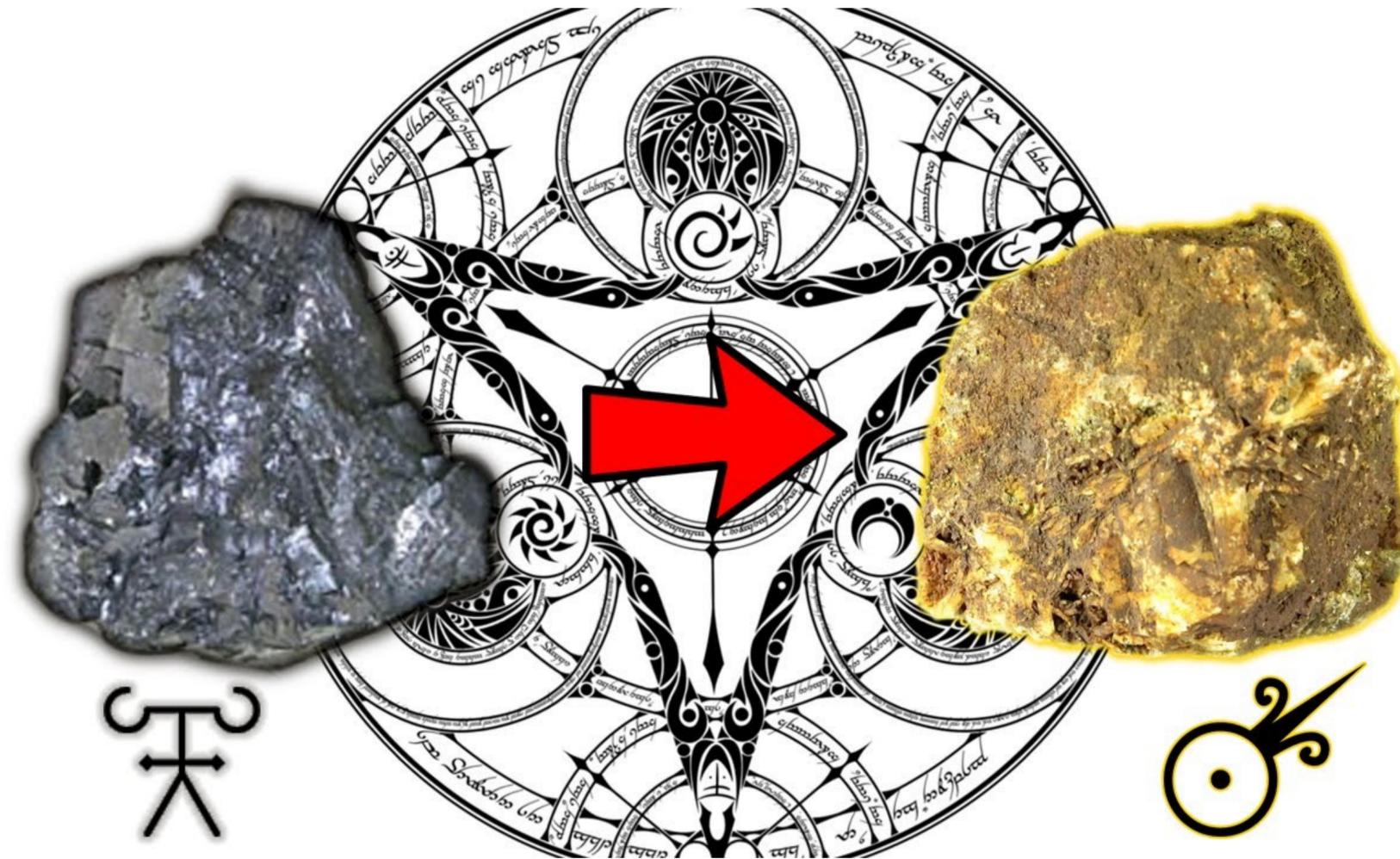
# Radioactivité

1ere transmutation en laboratoire  
(E. Rutherford, 1919)



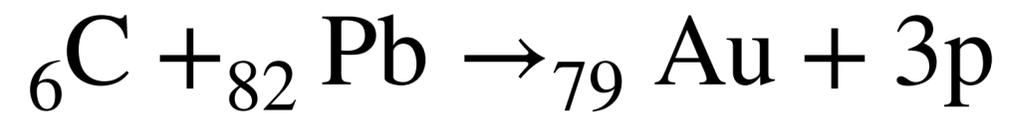
# Radioactivité

Alchimie ?

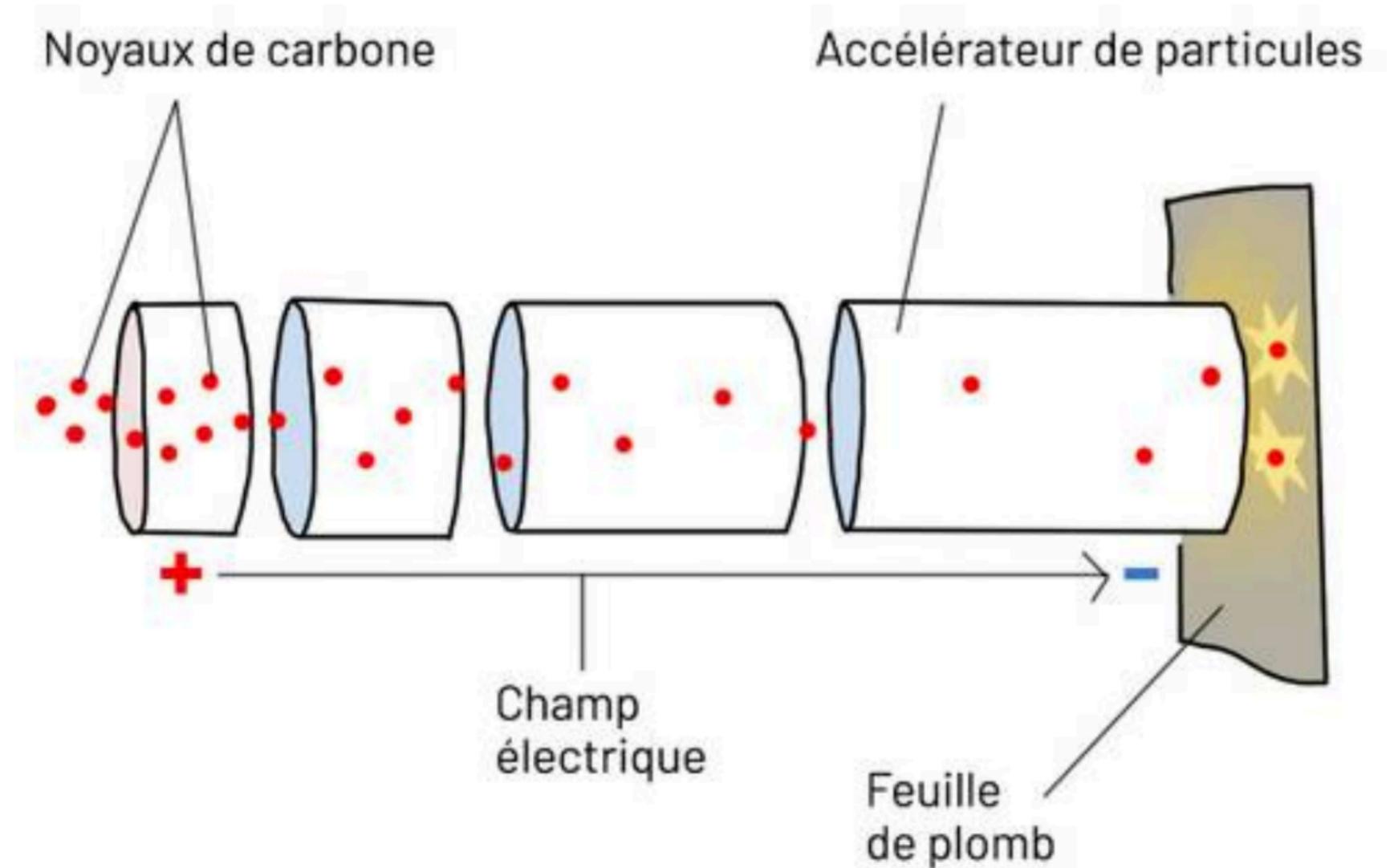


# Radioactivité

Alchimie ?



30g d'or = \$10<sup>15</sup>



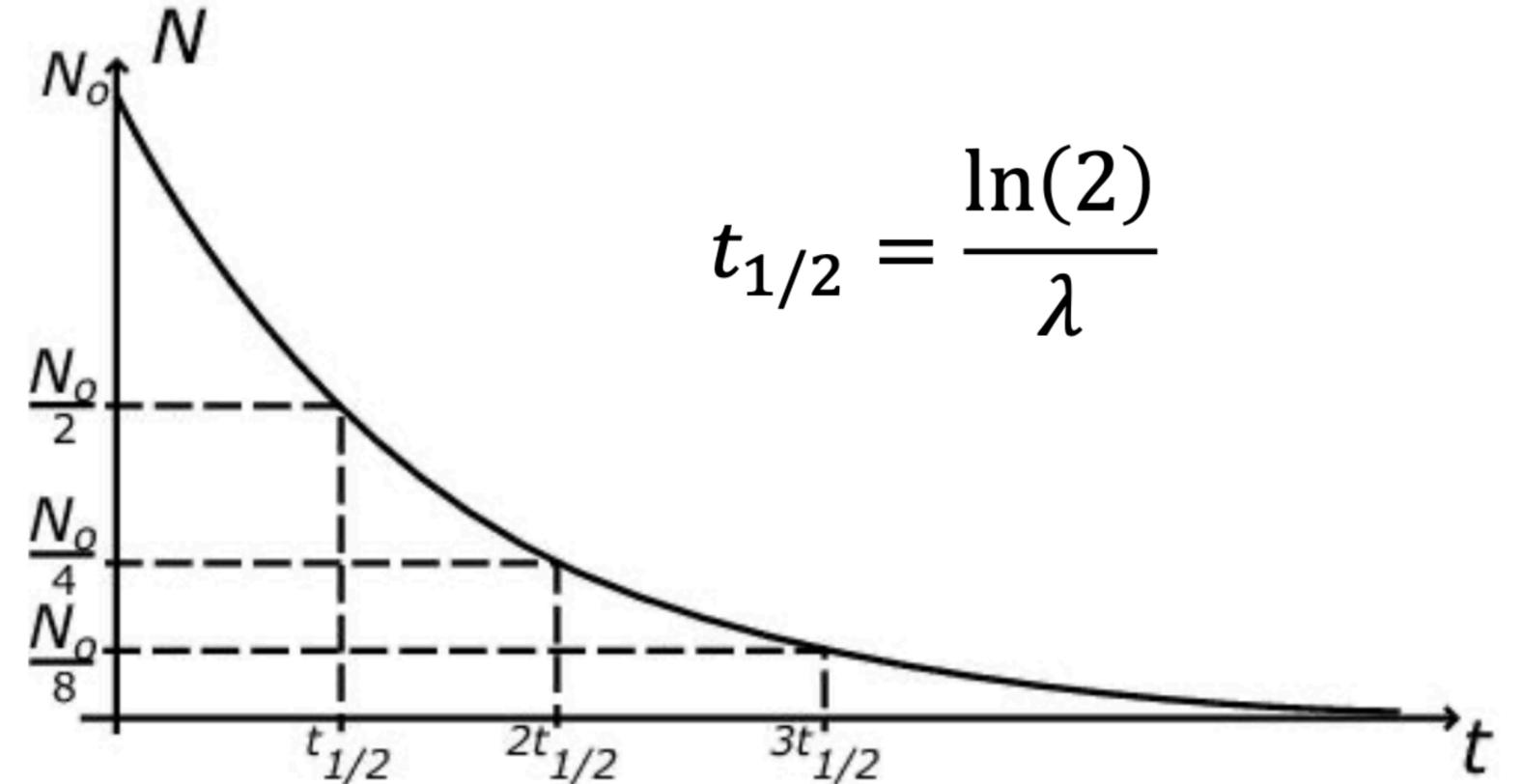
# Radioactivité

Loi de décroissance :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

=> définition de la "demi-vie"  
(= 50% de noyaux désintégrés)

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$



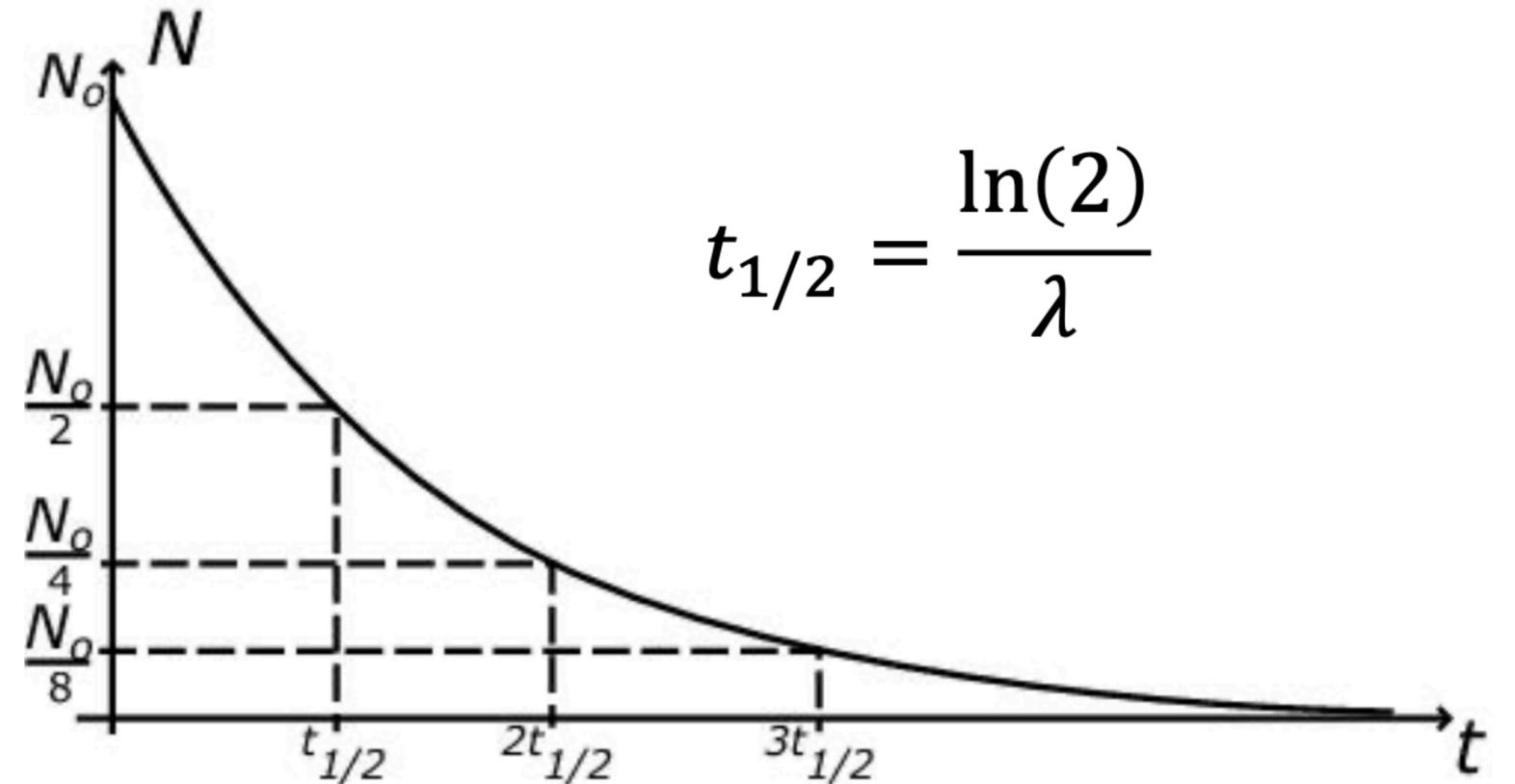
# Radioactivité

## Exemples

$${}^{131}_{53}\text{I} : t_{1/2} = 8,02 \text{ jours}$$

$${}^{14}_6\text{C} : t_{1/2} = 5730 \text{ ans}$$

$${}^{235}_{92}\text{U} : t_{1/2} = 703,8 \text{ millions d'années}$$



# Radioactivité

