

**Je suis la fée de la matière**

**Je suis la clef de la vie**

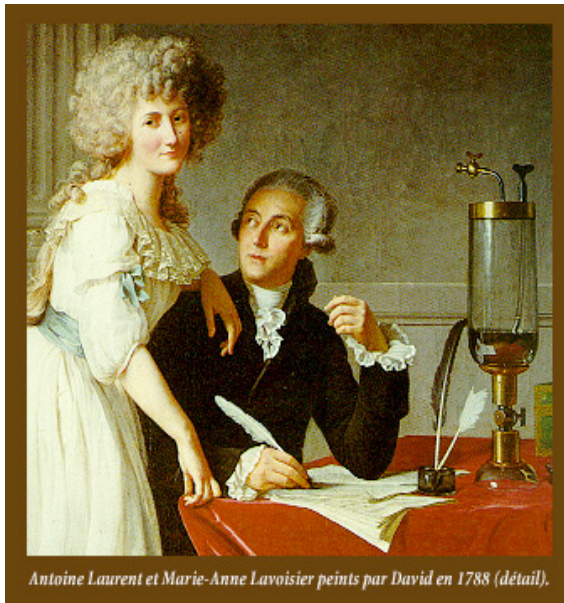
**Qui suis-je ?**

**la Chimie !...**

*"La chimie est à la biologie  
ce que le solfège est à la musique"*



*"La chimie forge la clé  
qui ouvre la porte aux merveilles"*



*"Rien ne se perd, rien ne se crée,  
tout se transforme"*

Si on parlait



# Chimie!



Année internationale de la  
**CHIMIE**  
2011

*" On ne fait jamais attention à ce qui a été fait ;  
on ne voit que ce qui reste à faire "*

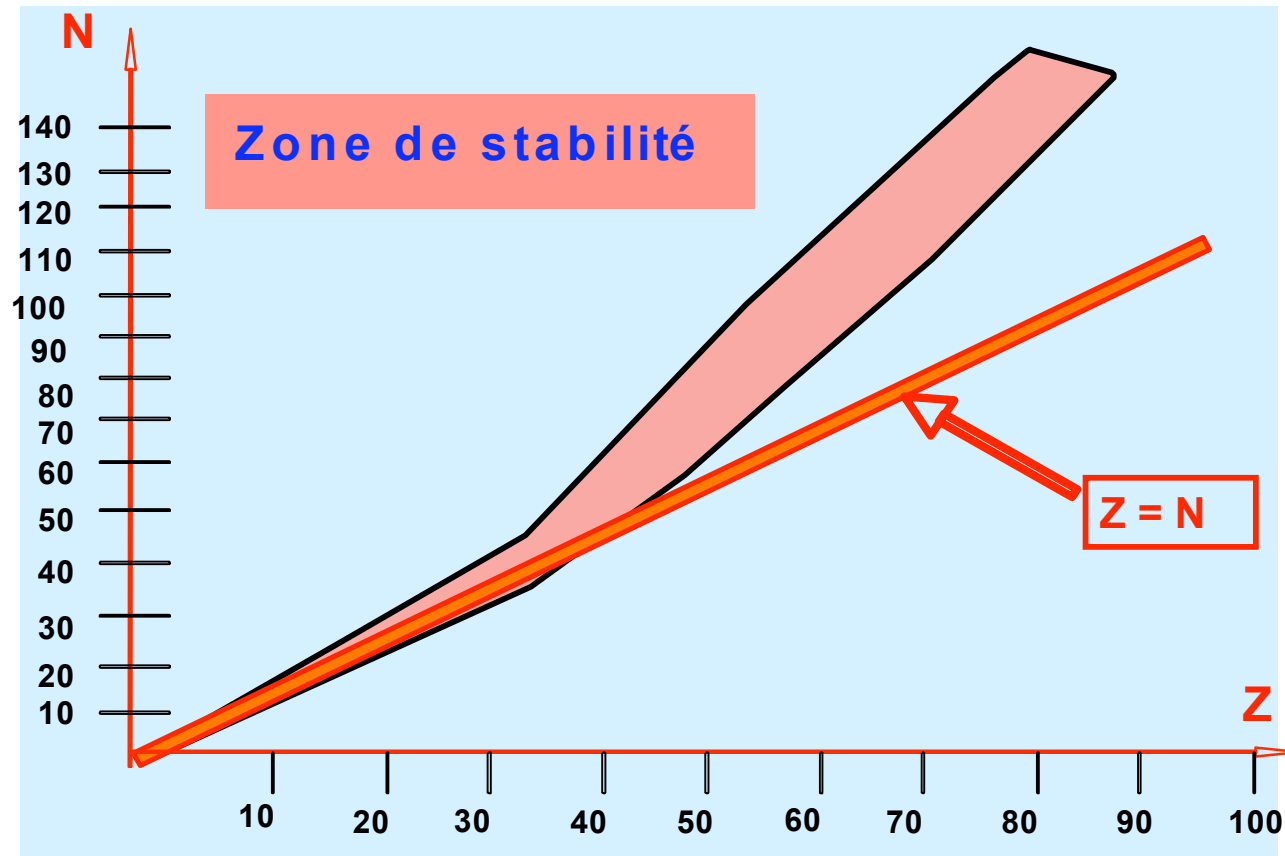
**L'enseignement de l'atomistique :**

***Voyage dans le monde de l'infiniment petit***

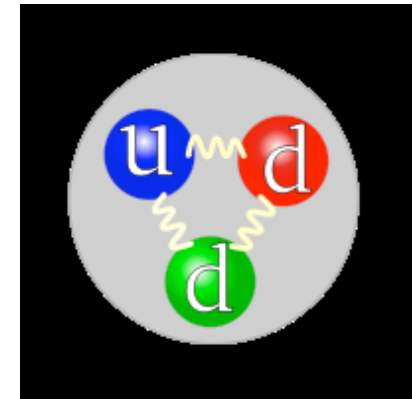
***À la notion de trajectoire d'une particule  
se substitue une probabilité de présence***

***La mécanique quantique est l'une des théories  
physiques qui donne le plus de fil à retordre  
à l'entendement***

NOTIONS FONDAMENTALES  
SUR LA STRUCTURE DE LA MATIÈRE



Domaine de stabilité nucléaire des atomes



Les n et p contiennent  
des quarks nommés  
u (up) et d (down).  
 $p = uud$  et  $n = udd$

# Les constituants universels

## Caractéristiques physiques des particules subatomiques

Particule et symbole	Scientifiques contributeurs	Charge ( C )	Masse ( Kg )
Électron $e^-$	J. J. Thomson (1897) R. A. Millikan (1911)	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$9,11 \cdot 10^{-31}$
Proton $p$	E. Rutherford (1910)	$1,602 \cdot 10^{-19}$	$1,673 \cdot 10^{-27}$
Neutron $n$	J. Chadwick (1932)	0	$1,675 \cdot 10^{-27}$



- Les masses du proton et du neutron sont très voisines.

$$m_p \approx m_n \approx 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- La masse de l'électron est environ 2000 fois plus faible.

$$m_p / m_e = 1833$$

**Avec ces 3 briques fondamentales,  
on peut construire tous les éléments qui existent.**

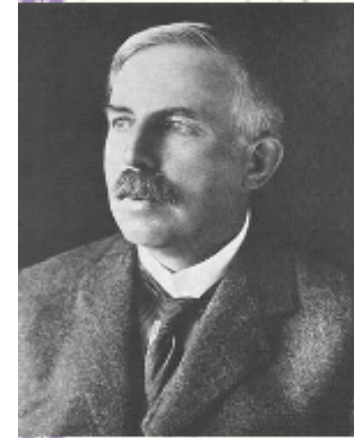
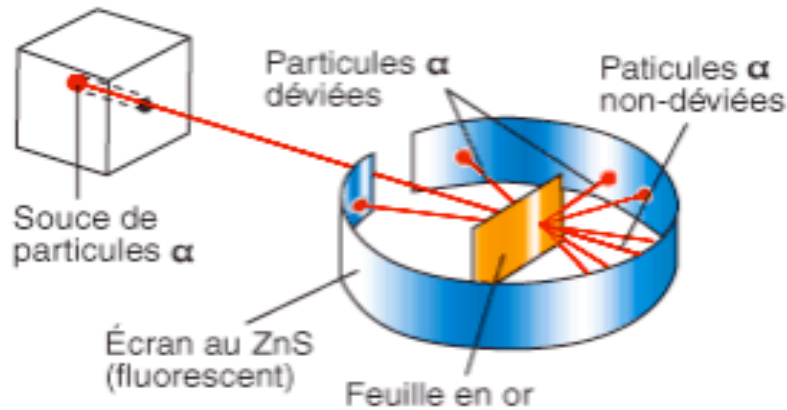
\*uma = unité de masse atomique ; 1 uma = 1 u =  $1,66057 \cdot 10^{-27}$  kg

# Première approche de la structure des atomes

## Découverte de l'atome nucléaire

### I - L'expérience de Rutherford (1911)

#### ★ Bombardement de minces feuilles d'or

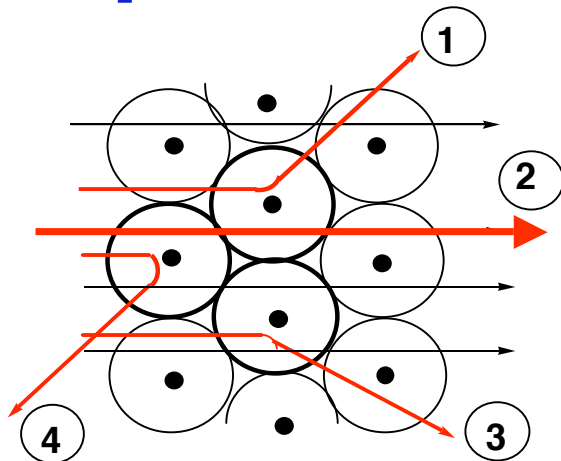


### Découverte du noyau atomique

#### Les résultats furent étonnants :

Aucune déviation pour la plupart des particules :  
Seules, quelques unes sont déviées, voire réfléchies.

### Interprétation et modèle nucléaire de Rutherford



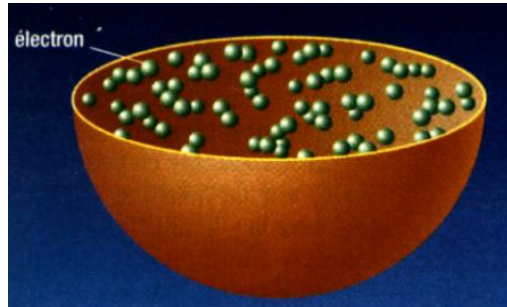
- La plupart des particules  $\alpha$  traversent la feuille d'or.
- $1/10^4$  à  $1/10^5$  sont déviées.

- La quasi-totalité de l'atome est vide.
- Sa masse est concentrée dans le noyau.
- La matière est lacunaire....et pleine de vide.

\* Les particules  $\alpha$  sont des noyaux d'atomes d'hélium. Voir *radioactivité*

# Première approche de la structure des atomes

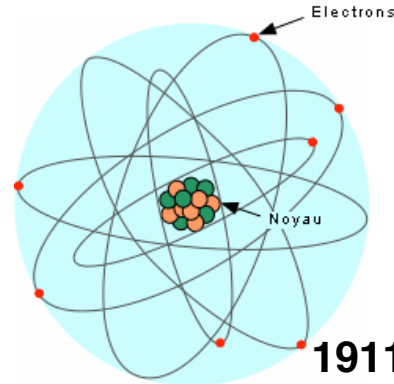
## II - Evolution du modèle atomique → "modèle planétaire"



1898



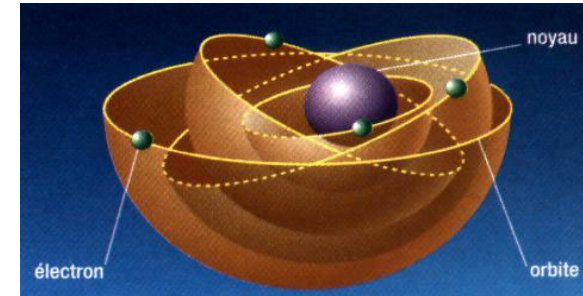
**Joseph Thomson**  
(Nobel physique 1906)



1911



**Ernest Rutherford**  
(Nobel chimie 1908)



1913



**Niels Bohr**  
(Nobel physique 1922)



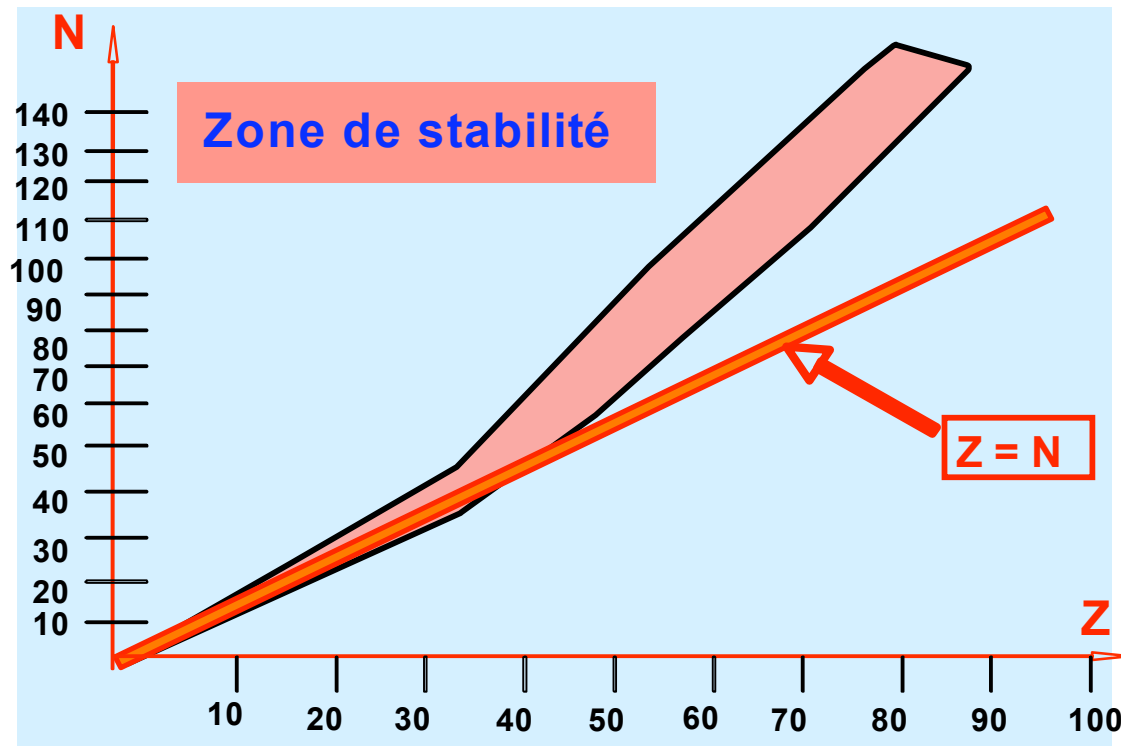
*Les électrons sont situés sur des orbites fixes et se déplacent autour du noyau un peu comme les planètes autour du Soleil.*

# Notions sur la stabilité des noyaux

## I - Recherche d'un critère de stabilité des noyaux

- On connaît plus de 2 000 noyaux mais moins de 300 sont stables, **non radioactifs**.
- Parmi la centaine d'éléments, seuls les 83 premiers possèdent au moins un isotope stable. (exceptions :  ${}_{43}\text{Tc}$  et  ${}_{61}\text{Pm}$ )
- A partir du  ${}_{84}\text{Po}$ , tous les nucléides sont radioactifs.

### ★ Diagramme de stabilité des noyaux



- .  $N \approx Z$  éléments avec  $Z < 30$
- .  $N > Z$  " »  $Z > 30$   
(Plus le nombre Z  $\nearrow$  et  
plus le nombre N devra  $\nearrow$   
pour que le nucléide soit stable).

Cet "effet de dilution"  
des protons par les neutrons  
n'existe plus au-delà de  $Z > 83$ .

**Force nucléaire forte**

**D'où vient-elle?**

# Notions sur la stabilité des noyaux

## II - Relation d'Einstein (1905)

- Les masses des noyaux sont mesurés avec une très grande précision et les physiciens ont démontré :  $\Delta m = M\left(\begin{smallmatrix} A \\ Z \end{smallmatrix} X\right) - \sum m_{\text{nucléons}}$

$$\Delta m < 0$$

*"La masse d'un noyau stable est toujours inférieure à la somme des masses de ses nucléons". "La différence est le défaut de masse".*

- L'origine de ce défaut de masse est donné par la relation d'Einstein.
- La formation d'un noyau s'accompagne d'une production d'énergie de cohésion fournie par les nucléons eux-mêmes sous forme d'une faible fraction de leur masse.

Energie de liaison  
< 0

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Une énergie < 0 correspond  
à un système lié.

Attention aux unités.

- Exemple : Calcul de l'énergie de cohésion du noyau de  ${}^{235}_{92}\text{U}$

masse des nucléons =  $(92 \times 1,00728 + 143 \times 1,00867) = 236,9096 \text{ uma}$

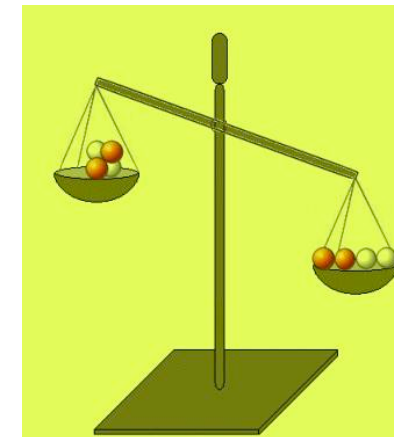
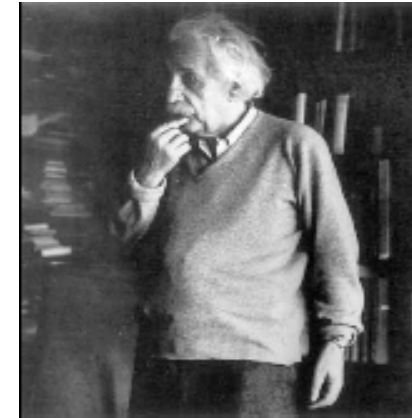
masse du noyau =  $235,0439 \text{ uma}$

énergie de cohésion =  $(1,8657 \times 1,66057 \cdot 10^{-27})(3 \cdot 10^8)^2$

$$\Delta E = 2,79 \cdot 10^{-10} \text{ J/atome}$$

$$\text{soit } 1,67 \cdot 10^{14} \text{ J.mol}^{-1}$$

$$E = mc^2$$





# Notions sur la stabilité des noyaux

## III - Relation d'Einstein et unités appropriées

### - Unité d'énergie

- . Dans le monde des particules, le **choix de l'électron-volt** s'impose. c'est **l'énergie cinétique** d'une charge élémentaire, initialement au repos, soumise à une ddp de 1 Volt.

### Unité d'énergie

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- . Avec le noyau  $^{235}\text{U}$ , on peut vérifier que :

l'énergie de cohésion est  $1,74 \cdot 10^9$  eV/atome soit **7,4 MeV/nucléon**.

- . Dans les réactions nucléaires, les énergies sont considérables et  $\Delta m$  est mesurable.

### - Unité de masse

- . D'après la relation d'Einstein, on peut exprimer une masse en son équivalent d'énergie :

$$1 \text{ uma} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$
$$\Delta E = \Delta mc^2$$
$$\left. \begin{array}{l} 1,66057 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 14,945 \cdot 10^{-11} \text{ J} \\ \text{Soit } 934,0 \text{ MeV} \end{array} \right\}$$
$$E = mc^2$$
$$1 \text{ eV} \approx 1,8 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

### Unité de masse

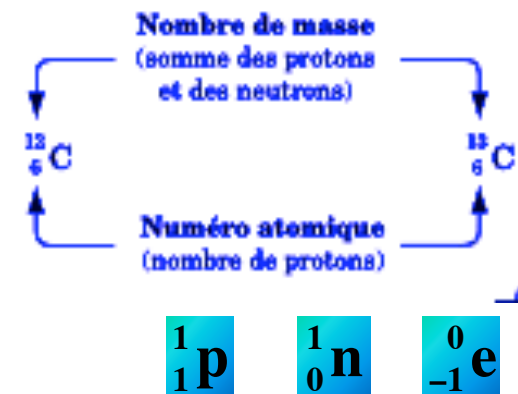
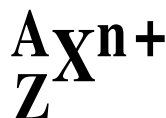
Le calcul exact donne **1 uma = 931,5 MeV**

# Les atomes - Définitions

## Atomes, isotopes et masse atomique

### I - Représentation d'un atome ou d'un ion

- Les atomes ou leurs ions, ayant un même nombre de protons  $Z$  (le numéro atomique) mais un nombre variable de neutrons  $N$ , sont regroupés sous le terme d'**élément**. Le nombre de masse est  $A = Z + N$
- Chaque élément possède un symbole unique.



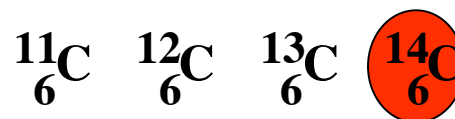
Les atomes ou les ions de l'élément X sont représentés par :

- Les **nucléides** sont des ensembles constitués d'atomes stables ( $A$  et  $Z$ , entiers définis) ou instables.

Nucléides de  $Z \neq$



Nucléides de  $Z$  identiques



( $A$  identique et  $Z \neq$  = isobares)

- Les nucléides de  $Z$  identiques sont des **isotopes**. Ils diffèrent par leur nombre de masse  $A$ . **Autres exemples.**

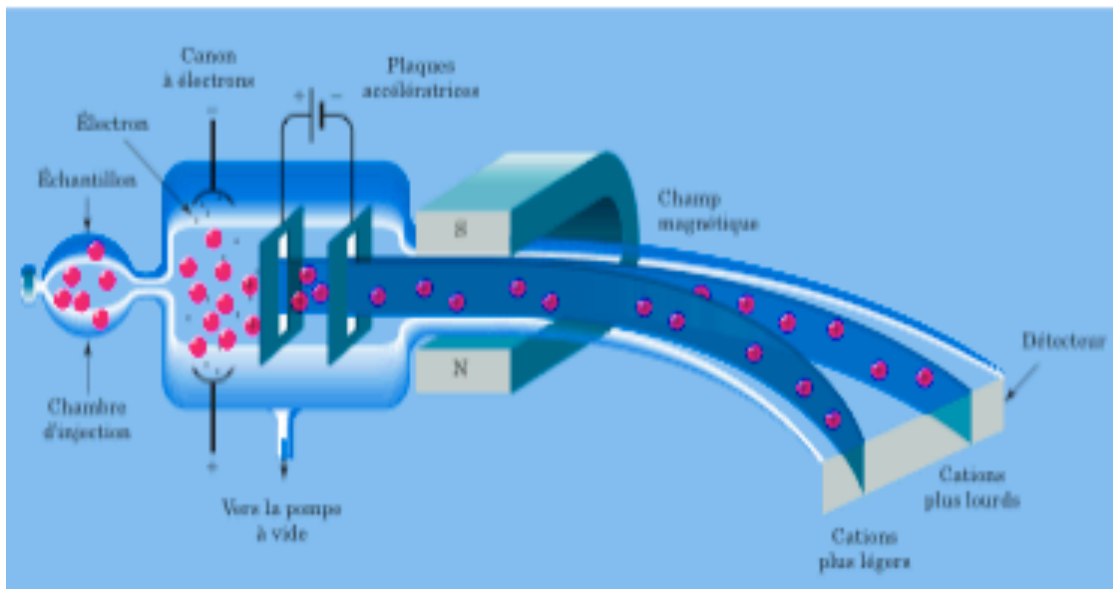
La répartition des  $Z$  électrons autour du noyau définit les propriétés chimiques des atomes.

# Les atomes - Définitions

## II - Isotopes et spectrométrie de masse

- La plupart des éléments possèdent de 2 à 5 isotopes stables.  
une vingtaine en possède un seul : Be, F, Na, P, As, I, Au,.....
- On détermine la nature des isotopes et leur abondance relative à l'aide d'un

### spectromètre de masse



- Dans cet appareil, l'échantillon injecté est bombardé par un faisceau d'électrons.

- Sous l'effet des collisions, des électrons sont à leur tour arrachés de l'échantillon, engendrant *des cations*.

- Les cations sont accélérés par un champ *E*, puis sont d'autant plus déviés par un champ *H* qu'ils sont légers.

Séparation d'éléments de masse isotopique différente et détermination de leur proportion relative. (voir exercices)

Elément	Isotope	Abondance	Masse (kg)
H	<sup>1</sup> H	99,985	1,67.10 <sup>-27</sup>
	<sup>2</sup> H	0,015	3,34.10 <sup>-27</sup>
C	<sup>12</sup> C	98,89	19,92.10 <sup>-27</sup>
	<sup>13</sup> C	1,11	21,59.10 <sup>-27</sup>

## Les atomes - Définitions

### III - Masse atomique et unité de masse atomique

Masse d'un atome : masse de son noyau ou masse de ses nucléons ?

$$m_{\text{noyau}} = \sum m_{\text{nucléons}} - \Delta m = \sum m_{\text{nucléons}} \left( 1 - \frac{\Delta m}{\sum m_{\text{nucléons}}} \right)$$

Ce rapport



Si on néglige la masse des électrons erreur max de 0,05%

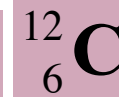
Erreur relative maximale de 0,93%

Masse de l'atome  $\approx$  masse du noyau  $\approx \Sigma(\text{masse des nucléons})$

Les masses des atomes sont toujours très faibles ( $\approx 10^{-25}$  g).

On peut les convertir en unité de masse atomique :

- Par définition, l'unité de masse atomique est le 1/12 de la masse d'un atome de



1 u = 1/12 (masse d'un atome de  ${}_{6}^{12}\text{C}$ )

$$1 \text{ uma} = \frac{1,9926 \cdot 10^{-23} \text{ g}}{12} = 1,6605 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$m_p \approx m_n \approx 1 \text{ u}$$

$$m({}_{17}^{35}\text{Cl}) = 35 \times 1 = 35 \text{ u} \quad (\text{au lieu de } 34,969, \text{ écart } 0,09\%)$$

$$m({}_{17}^{37}\text{Cl}) = 37 \times 1 = 37 \text{ u} \quad (\text{au lieu de } 36,966, \text{ écart } 0,09\%)$$

$$1 \text{ uma} = \frac{1}{12} \times \frac{12}{N_A} = \frac{1}{N_A}$$

en g

## Les atomes - Définitions

### IV - La mole et la masse molaire - la constante d'Avogadro

La mole : un changement d'échelle  
niveau microscopique → macroscopique

$$1 \text{ mole} = \frac{12 \text{ g}}{1,9926 \cdot 10^{-23} \text{ g}} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ atomes}$$

- Par définition, **une mole** est le nombre d'atomes présents dans 12 g de  $^{12}\text{C}$ .

Le nombre d'atomes dans une mole est le *nombre d'Avogadro*  $N_A$ .

$M = N_A m$  La masse molaire du  $^{12}_6\text{C}$  est par définition  $M(^{12}_6\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La masse d'un *isotope* en uma est équivalente à sa masse molaire en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse d'un atome  $^{14}\text{N} = 14 \text{ uma}$

masse d'une mole d'atomes  $^{14}\text{N} = 14 \text{ g}$

La masse d'un atome (en uma) ou sa masse molaire (en g) sont pratiquement égales à son nombre de masse  $A = Z + N$ .

$$M = \sum x_i M_i$$

### V - Masse molaire d'un élément naturel

- Elle tient compte de sa composition isotopique.
- L'abondance relative des différents isotopes d'un élément est connue.

$x_i$  abondance naturelle de l'isotope  $i$  de masse molaire  $M_i$



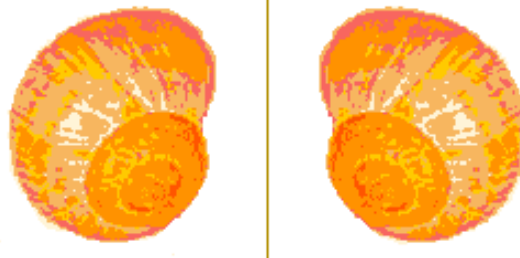
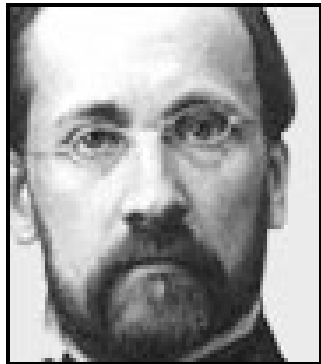
C	$^{12}\text{C}$	98,89 %
	$^{13}\text{C}$	1,11 %

$$M_C = (0,9889 \times 12) + (0,0111 \times 13) \quad (\text{Tableau périodique})$$

*" l'avenir de la chimie sera, n'en doutez pas,  
plus grand encore que son passé "*



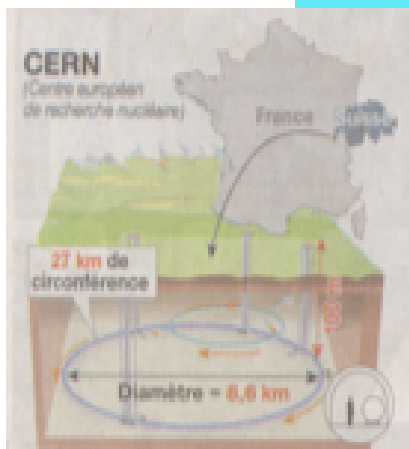
*"La vie est fonction de la dissymétrie de l'univers"*



*" Savoir s'étonner à propos est le premier pas  
fait sur la route de la découverte "*

*" Il y a plus de philosophie dans une .....  
que dans tous les livres "*

## Découverte fondamentale sur l'origine de la matière

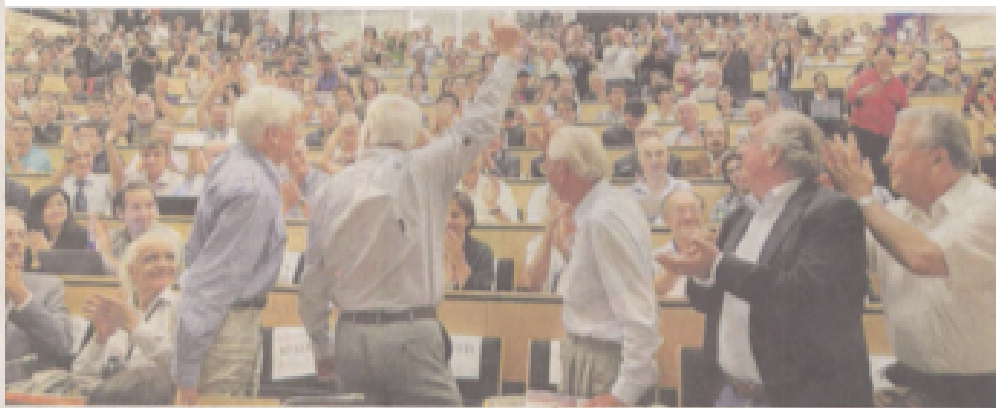


O-F 5/07/2012

C'était l'un des enjeux principaux de la physique du XXI<sup>e</sup> siècle. Une particule qui pourrait être le « boson de Higgs » a été observée. Cette nouvelle retentissante a été annoncée hier, à Genève. Elle lève un mystère sur la création de notre univers.



Les physiciens François Englert et Peter Higgs



La joie des scientifiques, après l'annonce de la découverte

