

# Physique pour Tous ! Saison 5

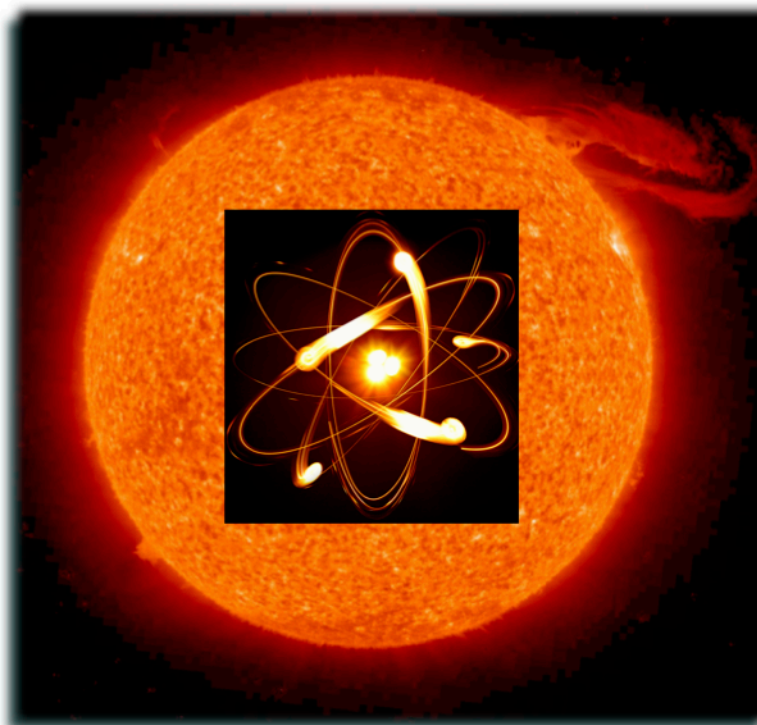
Edition 2022-2023 – les mardis 18h15-19h45

Physique  
pour Tous !

## Cycle de Rentrée – Briques & Fabriques Nucléaires



Septembre-Octobre 2022  
par Benoit Gall  
(Unistra/IPHC)



**A partir du mardi 27/09**  
**4 cours**

*Amphithéâtre Fresnel*  
*Institut de Physique*  
*3-5 rue de l'université*  
*Strasbourg*

contact : [physiquepourtous@unistra.fr](mailto:physiquepourtous@unistra.fr) / web : [physiquepourtous.unistra.fr](http://physiquepourtous.unistra.fr)

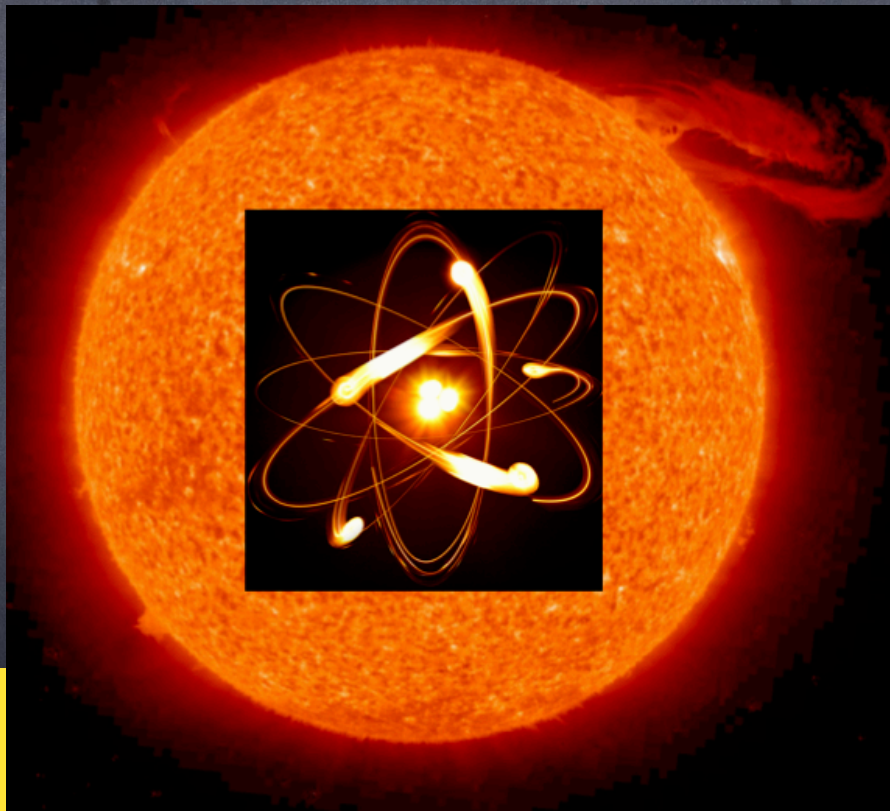
Mardi 27 septembre 2022

Mardi 4, 11 & 18 octobre 2022



# Physique pour tous

## Brîques & Fabriques nucléaires



USIAS

Benoît GALL

Faculté de Physique & Ingénierie



Université

de Strasbourg





# Physique pour tous

## Briques & Fabriques nucléaires

Mardi 27 septembre 2022



## De l'atome aux isotopes

la notion d'atome,  
le noyau atomique et des isotopes,  
l'unité de masse atomique & la masse molaire,  
Le tableau périodique de Mendeleïev.



Benoît GALL  
Faculté de Physique & Ingénierie



Université

de Strasbourg





# Physique pour tous

## Briques & Fabriques nucléaires

Mardi 4 octobre 2022



### Le noyau atomique - objet quantique

Voyage dans l'infiniment petit où la mécanique quantique nous ouvre des voies impénétrables ! Ce cours sera illustré par des résultats expérimentaux de spectrométrie nucléaire



Benoît GALL  
Faculté de Physique & Ingénierie



Université

de Strasbourg





# Physique pour tous

## Briques & Fabriques nucléaires

Mardi 11 octobre 2022



### À la recherche de nouveaux éléments

Voyage aux limites du monde atomique et isotopique. Combien d'éléments existent ? Comment et qui peut les produire ? Où peut-on les trouver ? Auront-ils de nouvelles propriétés ? Ont-ils existé ?



Benoît GALL  
Faculté de Physique & Ingénierie



Université

de Strasbourg



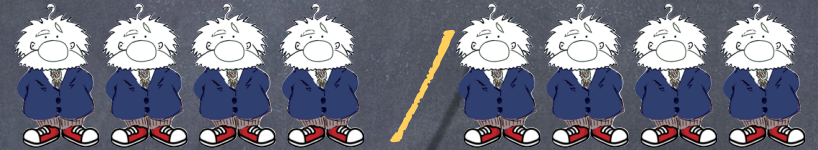


<http://iphc.cnrs.fr/>

# Physique pour tous

## Briques & Fabriques nucléaires

Mardi 18 octobre 2022



### Les chaudrons nucléaires

Dans quels lieux la nature fabrique des nouveaux éléments et/ou les transforme : nucléosynthèse primordiale, stellaire et explosive, radioactivité naturelle et tellurique et réacteurs naturels



Benoît GALL  
Faculté de Physique & Ingénierie



Université

de Strasbourg





# Physique pour tous

## Briques & Fabriques nucléaires

Mardi 27 septembre 2022



## De l'atome aux isotopes

la notion d'atome,  
le noyau atomique et des isotopes,  
l'unité de masse atomique & la masse molaire,  
Le tableau périodique de Mendeleïev.



Benoît GALL  
Faculté de Physique & Ingénierie



Université

de Strasbourg



Observons le monde qui nous entoure ...

l'eau ...

Etat solide  
Etat liquide  
Etat gazeux  
+ plasmas

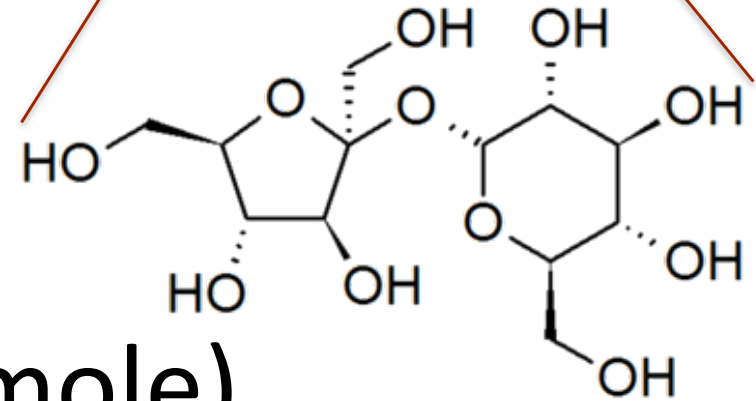


# Quelle réalité ? ...



Sucre = 5 grammes

Molécule de saccharose  
( $C_{12}H_{22}O_{11}$  - 342, 29 g/mole)



$$\begin{aligned}
 1 \text{ sucre} &= 5\text{g} \div 342 \text{ g/mole} \times 6,02 \cdot 10^{23} \text{ atomes/mole} \\
 &= 9 \cdot 10^{21} \text{ molécules} \\
 &= 9 \text{ 000 000 000 000 000 000 000 000 000 molécules}
 \end{aligned}$$



# Quelle réalité ? ...

## Sucre



## Saccharose

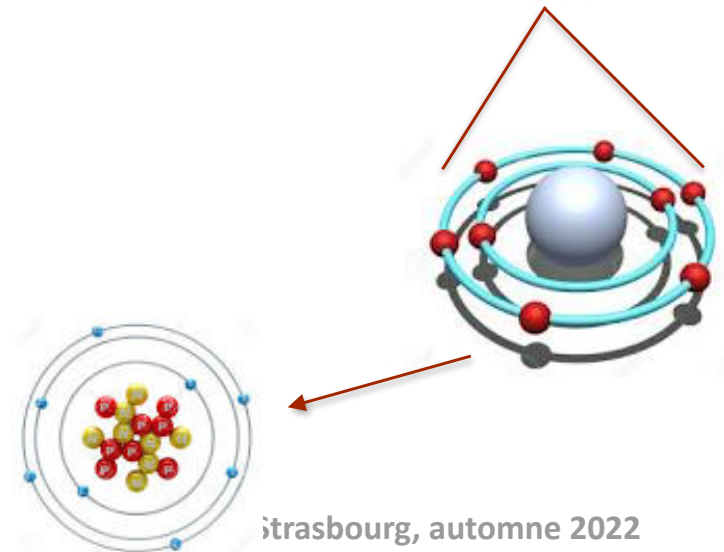
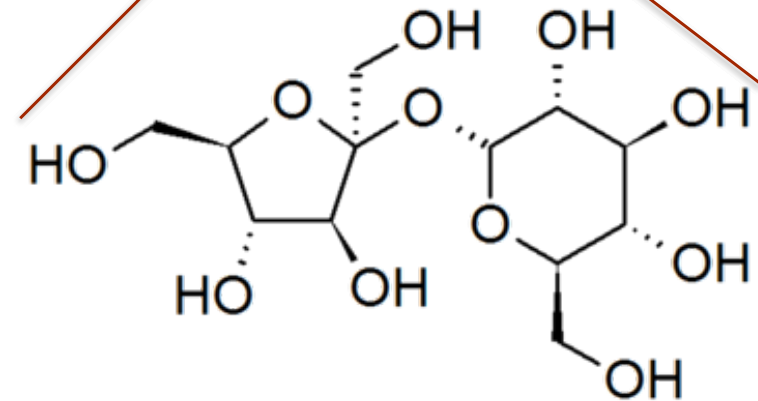
1 sucre =  $5\text{g} \div 342\text{ g/mole} \times 6,02 \cdot 10^{23}\text{ atomes/mole}$   
 =  $9 \cdot 10^{21}$  molécules  
 = 9 000 000 000 000 000 000 000 molécules

## Oxygène

1 sucre =  $9 \cdot 10^{21}$  molécules  $\times$  11 oxygènes  
 =  $1 \cdot 10^{23}$  atomes d'oxygène  
 = 100 000 000 000 000 000 000 000 atomes

## Noyau d'oxygène

8 protons (= charge + 8 compense les 8 électrons)  
 8 neutrons





# Masse molaire

12 uma  $\longleftrightarrow$   $^{12}\text{C}$   $\longleftrightarrow$  Avogadro

Avogadro : nbre d'atomes dans 12 grammes de C :  $N_A = 6,22 \cdot 10^{23}$  atomes

Carbone 12,0 grammes / mole

1 atome de C =  $12/N_A = 12 \times 0,166 \cdot 10^{-23}$  g

=> unité de masse atomique 1/12e d'1 atome de C :  $1 \text{ uma} = 0,166 \cdot 10^{-23}$  g  
 $= 6 m_e / 12 + 6 m_p / 12 + 6 m_n / 12 - B_{\text{Nucl}} / 12 - B_{\text{elec}} / 12$

... on a de la masse et de l'énergie de liaison dans l'uma !

$E = mc^2 \Rightarrow 1 \text{ uma} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$



# Masse molaire

$12 \text{ uma} \longleftrightarrow {}^{12}\text{C} \longleftrightarrow \text{Avogadro}$

|                  |
|------------------|
| <b>O</b>         |
| Oxygen           |
| 15.999305        |
| $\sigma$ 0.19 mb |

( energie de ) Masse molaire isotopique

ex :  ${}^{16}\text{O}$      $A = 16$      $\Delta({}^{16}\text{O}) = -4,736998 \text{ MeV}$   
 $M \sim A \text{ g / mole} \Rightarrow 16 \text{ g/mole}$   
 pas tout à fait vrai ...

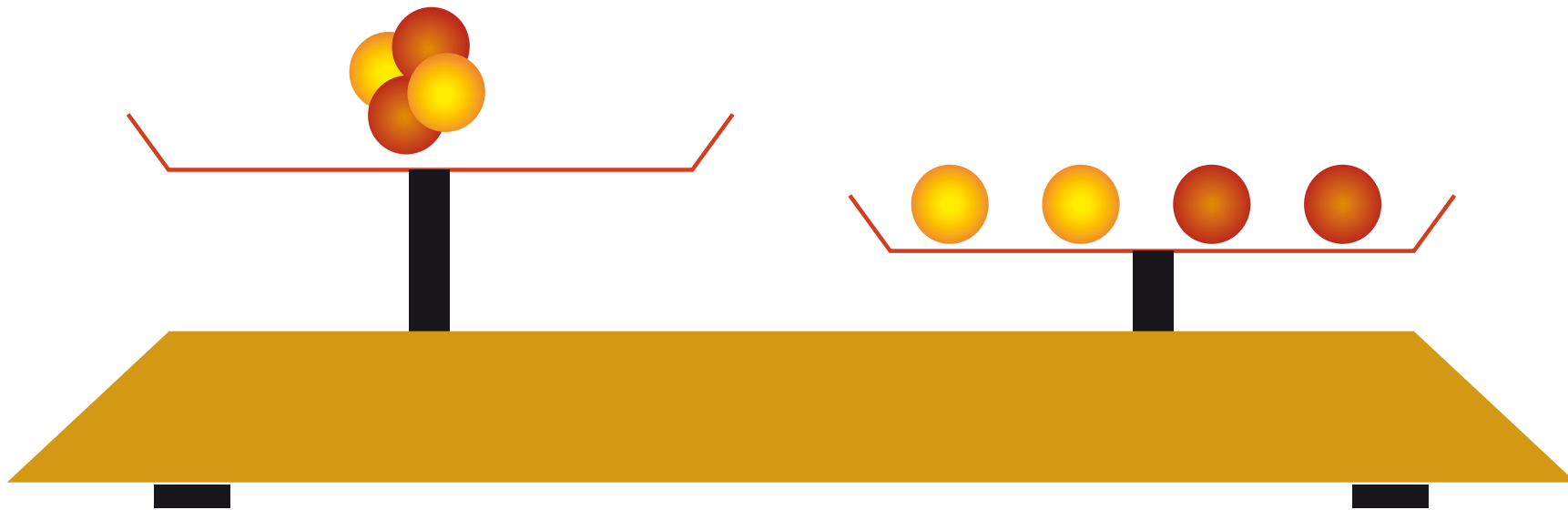
|                  |
|------------------|
| <b>O 16</b>      |
| -4736.998 (1)    |
| 0+               |
| 99.762%          |
| $\sigma$ 0.19 mb |

$$\begin{aligned}
 Mc^2 &= A \times \text{uma}.c^2 + \Delta = (A + \Delta / \text{uma}.c^2) \times \text{uma}.c^2 \\
 A &\longrightarrow A + \Delta / \text{uma}.c^2 \\
 16 &\longrightarrow 16 + (-4,736998/931,5) \\
 &= 16 - 0,00508 \qquad \dots 0,03\% \text{ d'écart } \dots \\
 &= 15,99491 \text{ g / mole}
 \end{aligned}$$



# Liaison => différence de masse

$$M_{\text{noyau}}(A,Z) < Z.m_{\text{proton}} + N.m_{\text{neutron}} !!!$$



$$M_{\text{noyau}}(A,Z).c^2 = Z.m_{\text{proton}}(A,Z).c^2 + (N).m_{\text{neutron}}(A,Z).c^2 - B_N(A,Z)$$

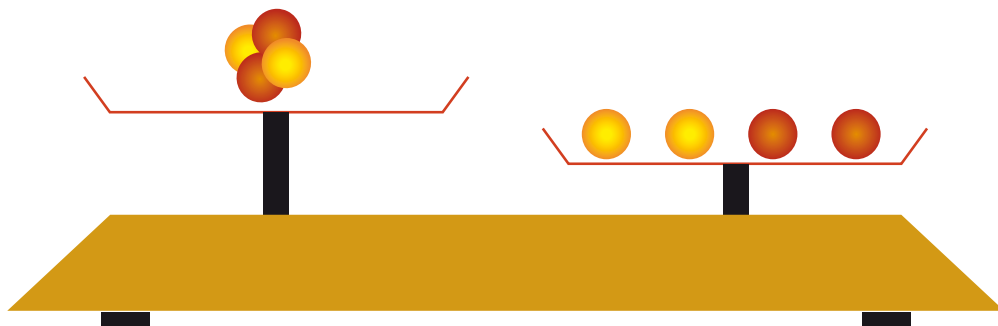
# Conservation de l'énergie

*Loi de conservation de l'énergie totale*

$$T + V + m.c^2 = \text{constante}$$

*Chaleur de réaction, variation d'EC*

$$Q = \Delta T = (V_i - V_f) + (m_i - m_f).c^2$$

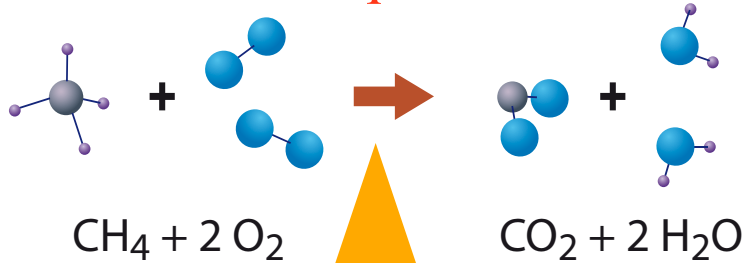


$$\begin{aligned} Q &= (m_i - m_f).c^2 \\ &= (\Delta_i - \Delta_f). \\ &= (B_f - B_i) \end{aligned}$$



# Combustions ...

Réaction chimique :

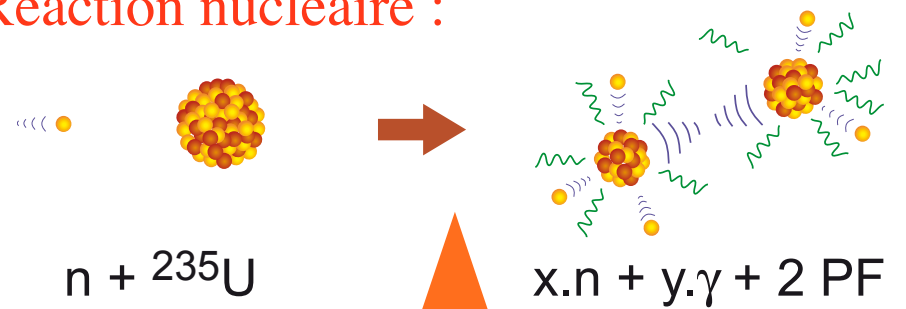


Énergie chimique  
... qq eV

libère  $B = 9 \text{ eV}$   
 $= 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

$d = \text{qq } 10^{-10} \text{ m}$

Réaction nucléaire :



Énergie nucléaire  
... qq MeV

libère  $B = 200\,000\,000 \text{ eV}$   
 $= 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

$d = \text{qq } 10^{-15} \text{ m}$

6 ordres de  
grandeur !

# The Periodic Table of the Elements, in Pictures

|         |   |   |                       |  |                       |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |                |                 |                   |                 |             |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|---|---|-----------------------|--|-----------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Periods | ↓ | 1 | Alkali Metals Group 1 |  | Alkali Earth Metals 2 |  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Boron Group 13 | Carbon Group 14 | Nitrogen Group 15 | Oxygen Group 16 | Halogens 17 | Noble Gases 18 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         |   |   |                       |  |                       |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |                |                 |                   |                 |             |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

elements.wlonk.com Copyright © 2005-2016 Keith Enevoldsen See website for terms of use.



# Elements ...

**The Periodic Table of the Elements, in Pictures**

This image shows a periodic table where each element is represented by a small icon. The icons are color-coded by groups: Alkali Metals (Group 1), Alkaline Earth Metals (Group 2), Transition Metals, Main Group Elements (Groups 13-18), and Lanthanides/Actinides. The table is titled 'The Periodic Table of the Elements, in Pictures'.

118 éléments  
connus

à chaque élément  
correspondent  
plusieurs isotopes

↑  
Z

N →

N →



...plus de 3500 isotopes

Application

marquage moléculaires  
synthèse d'éléments

# Séries isotopiques

**Z=22**

vecteur isotopique  
enrichissement

**Ti**

Titanium

47.867

$\sigma$  6.09

**Z=22**

| Ti            | Ti 44                  | Ti 45                                  | Ti 46         | Ti 47         | Ti 48         | Ti 49         | Ti 50          | Ti 51                   | Ti 52           |
|---------------|------------------------|----------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------------------------|-----------------|
| Titanium      | -37548.3 (8)           | -39006.9 (12)                          | -44125.3 (11) | -44931.7 (10) | -48487.0 (10) | -48558.0 (10) | -51425.8 (10)  | -49726.9 (13)           | -49464 (7)      |
| 47.867        | 59.2 a                 | 184.8 m                                | 0+            | 5/2-          | 0+            | 7/2-          | 0+             | 5.76 m                  | 1.7 m           |
| $\sigma$ 6.09 | 0+                     | 7/2-                                   | 8.25%         | 7.44%         | 73.72%        | 5.41%         | 5.18%          | 3/2-                    | 0+              |
|               | $\gamma$ 78* 68* 146 w | $\beta^+$ 1.044 (0.32) w... $\epsilon$ | $\sigma$ 0.59 | $\sigma$ 1.7  | $\sigma$ 7.84 | $\sigma$ 2.2  | $\sigma$ 0.179 | $\beta^-$ (2.15) (1.54) | $\beta^-$ 1.834 |
|               | $\sigma$ 1.1           | $\gamma$ 720 1408 w 1661 w             |               |               |               |               |                | $\gamma$ 320 929 609    | $\gamma$ 124 17 |

**N=**

**22**

**24**

**26**

**28**

**30**



**50**

| Ti 46         | Ti 47         | Ti 48         | Ti 49         | Ti 50          |
|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| -44125.3 (11) | -44931.7 (10) | -48487.0 (10) | -48558.0 (10) | -51425.8 (10)  |
| 0+            | 5/2-          | 0+            | 7/2-          | 0+             |
| 8.25%         | 7.44%         | 73.72%        | 5.41%         | 5.18%          |
| $\sigma$ 0.59 | $\sigma$ 1.7  | $\sigma$ 7.84 | $\sigma$ 2.2  | $\sigma$ 0.179 |



# Séries isotopiques

**Z=22**

| Ti<br>Titanium<br>47.867<br>$\sigma$ 6.09 | Ti 46<br>-44125.3 (11)<br><br>0+<br>8.25%<br>$\sigma$ 0.59 | Ti 47<br>-44931.7 (10)<br><br>5/2-<br>7.44%<br>$\sigma$ 1.7 | Ti 48<br>-48487.0 (10)<br><br>0+<br>73.72%<br>$\sigma$ 7.84 | Ti 49<br>-48558.0 (10)<br><br>7/2-<br>5.41%<br>$\sigma$ 2.2 | Ti 50<br>-51425.8 (10)<br><br>0+<br>5.18%<br>$\sigma$ 0.179 |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|

| uma.c2 (MeV) |        | A          | 46       | 47       | 48      | 49      | 50       |
|--------------|--------|------------|----------|----------|---------|---------|----------|
| 931,5        |        | $\Delta$   | -44,1253 | -44,9317 | -48,487 | -48,558 | -51,4258 |
|              |        | %          | 8,25 %   | 7,44 %   | 73,72 % | 5,41 %  | 5,18 %   |
| 47,918       | g/mole | A x %      | 3,795    | 3,497    | 35,386  | 2,651   | 2,590    |
|              |        | $\Delta A$ | -0,0474  | -0,0482  | -0,0521 | -0,0521 | -0,0552  |
|              |        | M          | 45,9526  | 46,9518  | 47,9479 | 48,9479 | 49,9448  |
| 47,867       | g/mole | M x %      | 3,791    | 3,493    | 35,347  | 2,648   | 2,587    |
|              |        |            |          |          |         |         |          |
|              | 100 %  |            | 0,20 %   | 0,50 %   | 3 %     | 1 %     | 95 %     |
| 49,846       | g/mole | M x %      | 0,092    | 0,235    | 1,582   | 0,489   | 47,448   |

# Le monde isotopique

