

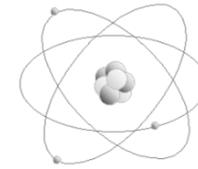
La production d'électricité à partir de l'énergie nucléaire

- Constitution de l'atome et du noyau.
- Stabilité du noyau.
- Radioactivité.
- La fission nucléaire.
- L'uranium.
- La centrale nucléaire.
- Les déchets radioactifs.
- Le nucléaire en Belgique et dans le monde.
- Bombe atomique.

Composition des atomes

Un atome est constitué:

- D'un noyau contenant:
 - Des protons porteurs d'une charge positive
 - Des neutrons électriquement neutres
- D'électrons qui gravitent autour du noyau
Les électrons portent une charge négative



Les charges électriques des électrons et des protons sont de même valeur.

Un atome dans son état normal comporte le même nombre de protons et d'électrons.
Il est donc **électriquement neutre**.

Le nombre de protons (nombre atomique: **Z**) est caractéristique de l'élément et détermine sa place dans le tableau de Mendéléev.

Exemples:

| | |
|------------|------------|
| Hydrogène: | 1 proton |
| Oxygène: | 8 protons |
| Fer: | 26 protons |
| Uranium: | 92 protons |

Masse des atomes

| | |
|----------------------|----------------------------|
| Masse du neutron: | $1,675 \times 10^{-27}$ kg |
| Masse du proton: | $1,673 \times 10^{-27}$ kg |
| Masse de l'électron: | $9,1 \times 10^{-31}$ kg |

Les neutrons et protons sont donc environ 2000 fois plus lourds que les électrons.

La masse de l'atome est presque totalement concentrée dans le noyau.

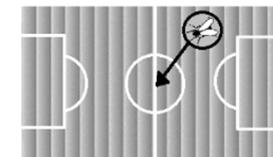
Dimension des atomes

| | |
|------------------------------|----------------------|
| Diamètre de l'atome: | environ 10^{-10} m |
| Diamètre du plus gros noyau: | environ 10^{-14} m |

Le plus gros noyau est environ 10.000 fois plus petit que l'atome.

Comme une mouche (1 cm) au centre d'un terrain de football (100 m).

Un noyau est donc pratiquement rempli de vide.



Une mole de matière (7 cm^3 de Fe) contient $6 \cdot 10^{23}$ atomes (ou molécules).

Peut-être plus que le nombre de grains de sable sur la Terre !!

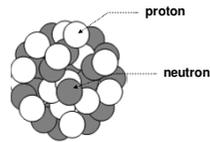
Le noyau

Le noyau est constitué de **nucléons**:
les protons et les neutrons

- **Z** est le nombre de protons (**nombre atomique**)
- **N** le nombre de neutrons
- **A** le nombre de nucléons (**nombre de masse**)

$$A = N + Z$$

Un noyau comportant un nombre donné de protons de neutrons s'appelle **un nucléide**.



La **notation standard** d'un noyau indique le symbole chimique (X), Z et A:
(Z peut être omis)



${}^{14}_6\text{C}$ Noyau de carbone 14 comportant:
14 nucléons: 6 protons et 8 neutrons.

${}^{238}_{92}\text{U}$ Noyau d'uranium 238 comportant:
238 nucléons: 92 protons et 146 neutrons.

Les isotopes

Des **isotopes** sont des noyaux qui ont

- le **même nombre atomique Z**.
- des **nombre de masse A différents**.

Ils ont le même nombre de protons et des nombres de neutrons différents.

Ils ont les **mêmes propriétés chimiques**.

${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{41}_{20}\text{Ca}$, ${}^{42}_{20}\text{Ca}$, ${}^{43}_{20}\text{Ca}$, sont les isotopes du calcium.

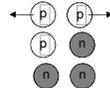
${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, sont les isotopes de l'hydrogène.

Dans la nature le noyau le plus lourd est celui de l'**uranium** (Z = 92)
Quelques-uns, plus lourds, sont produits artificiellement, ex: le **plutonium** (Z = 94)

Les forces à l'intérieur du noyau

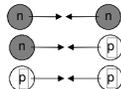
La force électrique:

- Force répulsive qui s'exerce entre les **protons**.
- Les neutrons ne sont pas soumis à cette force.
- Sa portée est très grande, elle s'exerce entre tous les protons d'un noyau.



La force nucléaire:

- Force attractive qui s'exerce entre tous les nucléons.
- Cette force attractive est beaucoup plus grande que la force électrique répulsive.
- Elle assure la cohésion du noyau.
- Sa portée est faible: au-delà de $4 \cdot 10^{-15}$ m (moins que le diamètre d'un gros noyau) elle n'agit plus.



A l'intérieur d'un noyau ces deux forces sont en compétition.

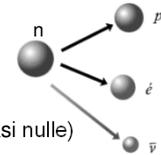
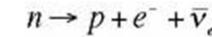
- Entre protons voisins, la force nucléaire attractive l'emporte.
- Entre protons éloignés, la force électrique répulsive l'emporte.
- Les neutrons insensibles à la force électrique renforcent la cohésion du noyau.

Le problème du neutron

Le neutron **isolé** est une particule **instable**.

Au bout de quelques minutes il se désintègre en:

- Un proton
- Un électron
- Un neutrino (petite particule neutre de masse quasi nulle)



A l'intérieur d'un noyau, le neutron devient stable grâce à la présence des protons en place, car il n'a pas l'énergie suffisante pour fabriquer un nouveau proton soumis aux forces répulsives des autres.

Cependant si les neutrons sont trop nombreux dans le noyau, certains d'entre eux peuvent perdre cette protection et se désintégrer à l'intérieur du noyau.

- Le proton formé reste dans le noyau.
- L'électron est éjecté à grande vitesse: c'est la **radioactivité bêta** (β).
- Le neutrino est éjecté.

La stabilité du noyau (1)

- La cohésion d'un noyau est assurée par la **force nucléaire** qui s'exerce entre nucléons.
- Cette force s'exerce entre nucléons voisins, sa portée est faible.
- Pour des protons assez distants à l'intérieur du noyau, c'est la force de répulsion électrique qui l'emporte.
- A cause de cette force, **des noyaux trop gros ne peuvent subsister.**

La présence de neutrons à l'intérieur d'un noyau contribue à le stabiliser.

- Les neutrons exercent une force d'attraction sur des nucléons voisins
- Ils ne sont pas soumis à la répulsion électrique des protons « éloignés ».
- Plus le noyau est gros, plus la proportion de neutrons doit être grande.

| | | |
|------------------------|-------------|---|
| $^{12}_6\text{C}$ | carbone-12: | 6 protons, 6 neutrons (50 % de neutrons) |
| $^{56}_{26}\text{Fe}$ | fer-56: | 26 protons, 30 neutrons (54 % de neutrons) |
| $^{207}_{82}\text{Pb}$ | plomb-207: | 82 protons, 125 neutrons (60 % de neutrons) |

Au-delà de Z=84 (Bismuth) tous les noyaux sont instables.

La stabilité du noyau (2)

Les neutrons, instables quand ils sont isolés, sont stables dans le noyau, grâce au voisinage des protons,

à condition que leur proportion par rapport aux protons ne soit pas trop grande.

Les noyaux ayant trop de neutrons sont instables.

La radioactivité

Libération d'énergie sous la forme de particules ou de rayons gamma provoquée par la désintégration du noyau instable d'un atome.

Les substances radioactives se transforment ainsi en d'autres éléments chimiques, qui peuvent être, aussi, radioactifs.

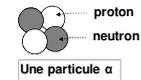
Les trois principaux types de radioactivité sont:

- La radioactivité alpha (α)
- La radioactivité bêta moins (β^-)
- La radioactivité gamma (γ)

La radioactivité alpha (α)

Elle est produite par les noyaux qui sont instables parce qu'ils sont trop gros (Z > 84)

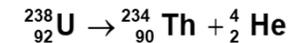
Le rayonnement α est constitué d'une particule formée de 2 protons et de 2 neutrons (^4_2He)



Elle est éjectée du noyau.

Vitesse de la particule α : entre 10.000 et 20.000 km/s

Formule générale: $^A_Z\text{X} \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + ^4_2\text{He}$



La radioactivité bêta⁻ (β⁻)

Elle est produite par les noyaux qui sont instables parce qu'ils ont un ou plusieurs neutrons en excès.

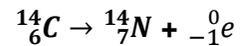
Un neutron en excès se transforme en:

- Un proton qui reste dans le noyau.
- Un électron qui est éjecté du noyau.

Particule émise: particule β⁻, c-à-d un « électron », ou **antineutrino**, noté ${}_{-1}^0e$, car il porte une charge élémentaire négative et que sa masse est négligeable devant celle d'un nucléon

Vitesse de la particule β : plus de 270.000 km/s.

Bilan de désintégration: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}_{-1}^0e$



La radioactivité bêta⁺ (β⁺)

Elle est produite par les noyaux qui sont instables parce qu'ils ont un ou plusieurs protons en excès.

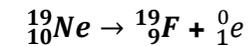
Un proton en excès se transforme en:

- Un neutron qui reste dans le noyau.
- Un positon qui est éjecté du noyau.

Particule émise: particule β⁺, c-à-d un positon, ou **neutrino**, noté 0_1e , car il porte une charge élémentaire positive et que sa masse est négligeable devant celle d'un nucléon

Vitesse de la particule β : plus de 270.000 km/s.

Bilan de désintégration: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_1e$



La radioactivité gamma (γ)

Les rayons γ sont des rayonnements électromagnétiques.
(Comme les micro-ondes, la lumière, les rayons X...)

Leur longueur d'onde est la plus courte de tous les rayonnements électromagnétiques (< 5 · 10⁻¹² m).

Ils sont souvent produits en même temps que les rayonnements α et β quand le noyau formé a un excès d'énergie.

La plupart des noyaux provenant d'une désintégration sont produits dans un état « excité »* riche en énergie.

Bilan de désintégration: ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$