

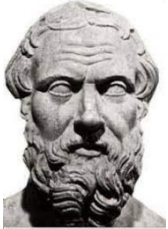
Biophysique des rayonnements – Le Noyau

Table des matières

I.	Introduction.....	2
A)	Historique de l'atome et du noyau (=nuclide=nucléide)	2
B)	L'expérience de Rutherford	3
II.	Composition et classification.....	4
A)	Nombre de protons Z = nombre de charges = nombre d'électrons = Numéro atomique	4
B)	Nombre de neutrons $A-Z$	4
C)	Classification des nucléides	5
D)	Abondance isotopique	6
E)	Nombre de masses	6
F)	Nucléons.....	7
III.	Énergie de liaison et défaut de masse.....	8
IV.	Facteurs de stabilité nucléaire.....	9
A)	Énergie de liaison par nucléon	9
B)	Nombre de neutrons	10
C)	Parité du nombre d'électrons	11
V.	Forces nucléaires	11
A)	Interaction forte (force nucléaire spécifique).....	11
B)	Interaction faible	11
C)	Force électrostatique.....	12
VI.	Modèles nucléaires	12
A)	Modèle de la goutte sphérique	12
B)	Modèle en couches	12
VII.	Réactions de fission et de fusion nucléaires.....	13
A)	Fission nucléaire	14
B)	Fusion nucléaire.....	15
C)	Applications	15

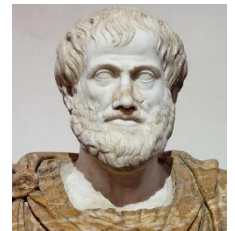
I. Introduction

A) Historique de l'atome et du noyau (=nuclide=nucléide)



La notion d'atome est apparue dans l'antiquité grecque avec **Démocrite** (400 av. JC). Démocrite va faire une hypothèse intuitive : la matière est composée de particules élémentaires indivisibles et invisibles : **ATOMES**. Pour Démocrite, les atomes sont éternels et immuables donc on est encore très loin de la notion de radioactivité mais il va expliquer que la variété de matière qui nous entoure est due à l'infinité de forme que peuvent prendre les atomes.

Cependant, sa théorie s'oppose à celle d'**Aristote**, personne extrêmement influant à l'époque, pour qui la matière est constituée de 4 éléments : le **feu**, l'**air**, la **terre** et l'**eau**. C'est la croix d'Aristote, théorie qui a beaucoup de succès, se prolongeant dans les siècles et qui va aboutir à **l'abandon de la théorie de Démocrite**.



C'est seulement en 1805 que l'hypothèse de Démocrite est reprise par **John Dalton**. Selon lui l'atome se limite à une sphère dure pleine de matière et l'atome explique les réactions chimiques (assemblages, réarrangements d'atomes et de molécules).

En 1897, **Thomson** est le premier à découvrir les composants de l'atome et à les différencier selon leur **charge électrique**. Il va mettre en évidence la présence **d'électrons** et montrer que ces particules sont chargées négativement avec une masse très faible, inférieure à 1% de la masse de l'atome. Cependant comme on sait que l'atome est neutre, s'il y a des électrons qui ont une charge négative, il faut compenser par des charges positives, et donc il va émettre le modèle de **pudding au raisin**. Les électrons sont répartis dans l'atome comme des petits raisins secs dans un pudding. La pâte du pudding a globalement une charge positive et on trouve au milieu ces petits électrons qui ont une charge négative.

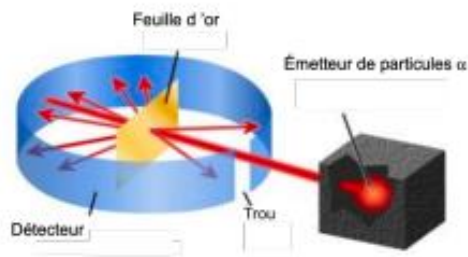


C'est au **20^{ème} siècle** que les modèles de l'atome vont évoluer très nettement et faire apparaître 2 zones distinctes :

- **Le noyau** : contient l'ensemble des charges positives
- **Le nuage électronique** : contient les charges négatives

Différents modèles vont cohabiter : le modèle de **Rutherford** pour qui les électrons sont répartis dans un nuage autour du noyau et le modèle de **Bohr** qui fait intervenir la notion de couches électroniques. Ces 2 modèles vont être mises à défaut par les observations expérimentales et d'autres modèles vont voir le jour et continuent d'évoluer encore à l'heure actuelle.

B) L'expérience de Rutherford

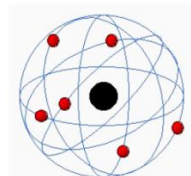


Cette expérience a permis de comprendre la structure de l'atome. Rutherford a pris de **l'uranium radioactif** émetteur de particules alpha (composées de 2 protons et 2 neutrons) qu'il a placé dans une boîte en **plomb**. Les particules alpha sont absorbées par le plomb sauf au niveau d'un petit trou. Les particules alpha pouvaient s'échapper par un petit trou, formant un faisceau qui se projetait sur une **très fine feuille d'or**. Il a placé une couronne détectrice à 260° autour de la feuille d'or, capable de détecter les particules alpha.

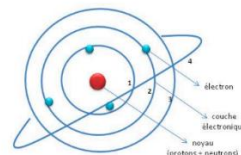
Résultat de l'expérience : la **majorité** des particules alpha a traversé la feuille d'or sans être déviée ; un petit pourcentage a légèrement été dévié, et environ 1 particule sur 20 000 va rebondir sur la **feuille d'or** et venir frapper le détecteur à côté de la source. Ces résultats **contredisent** totalement les théories sur l'atome à cette époque.

Explication : la plupart des particules alpha chargées positivement va traverser le vide de la matière et donc ne pas être déviée. Certaines vont passer à proximité du noyau et vont être légèrement déviées et certaines vont rentrer en contact avec le noyau et vont rebondir contre la **feuille d'or** (1 / 20 000). Rutherford a conclu à une **structure lacunaire de l'atome**, c'est-à-dire que les atomes sont constitués par un petit noyau central avec beaucoup de vide autour. Rutherford propose alors un **modèle planétaire de l'atome**, avec les électrons chargés négativement, qui gravitent autour d'un noyau central, chargé **positivement**. Ces électrons ont une masse très faible par rapport à la totalité de la masse de l'atome. Le noyau en position centrale concentre donc la quasi-totalité de la masse de l'atome. Différents modèles de l'atome vont coexister :

- **Le modèle de Rutherford** : les électrons sont répartis dans un nuage autour du noyau
- **Le modèle de Bohr (1913)** : fait intervenir la notion de **couches électroniques**, dont les électrons occupent des couches avec des niveaux d'énergie bien définis.



Le « nuage d'électron »
du modèle de Rutherford



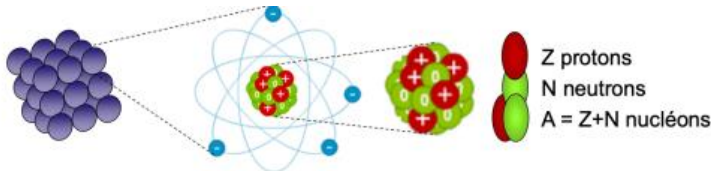
Le modèle « en
couches » de Bohr

II. Composition et classification

Nomenclature : le noyau X (symbole chimique de l'élément) est constitué de nucléons (A, le nombre de masse) répartis en protons (Z) et en neutrons (A-Z). Les protons étant chargés positivement, Z est proportionnel à la charge électrique du noyau. (on n'oublie pas que les électrons gravitent autour du noyau, ils n'en font pas partie)



A = nombre de masse
Z = numéro atomique



A) Nombre de protons Z = nombre de charges = nombre d'électrons = Numéro atomique

Classification périodique des éléments (de Mendeleïev).

1 H					2 He
3 Li	4 Be				
11 Na	12 Mg				
19 K	20 Ca				

5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al					

Ex: le 8^{ème} élément chimique (8 électrons)

Il existe différentes manières de classer les atomes en fonction de leur noyau.

La 1^{ère} est la classification périodique des éléments, appelée **classification de Mendeleïev**. Les éléments sont classés en fonction de leur **Z croissant**, en fonction du **nombre de protons**. Ce nombre est indissociable de l'élément chimique.

Par exemple, un atome qui possède 6 protons sera toujours un carbone.

Cette classification regroupe les éléments ayant des propriétés physico-chimiques proches de la même colonne : on parle de **famille**.

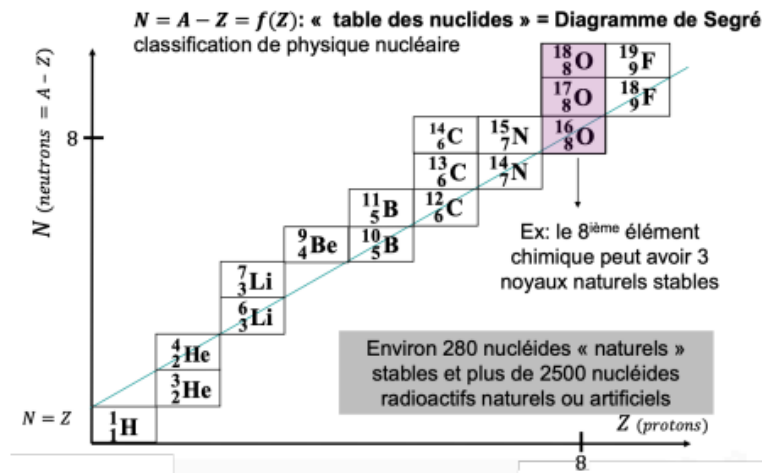
Elle est très intéressante pour les chimistes. En physique nucléaire, on va utiliser une autre classification qui est plus adaptée aux problématiques qu'on se pose.



B) Nombre de neutrons A-Z

En **physique nucléaire**, on utilise plutôt une classification qui va tenir compte du nombre de neutrons : c'est la **table des nucléides**. Elle permet de caractériser les différentes formes du noyau en fonction de Z et N. Cette représentation place les noyaux dans un repère cartésien, qui a comme abscisse le nombre de protons Z et en ordonnée le nombre de neutrons N. Les progrès de la physique nucléaire ont permis de répertorier un peu moins

de 300 nucléides naturels (stables) et plus de 2500 nucléides radioactifs (instables). La table des nucléides permet de classer tous les noyaux, naturels comme radioactifs.



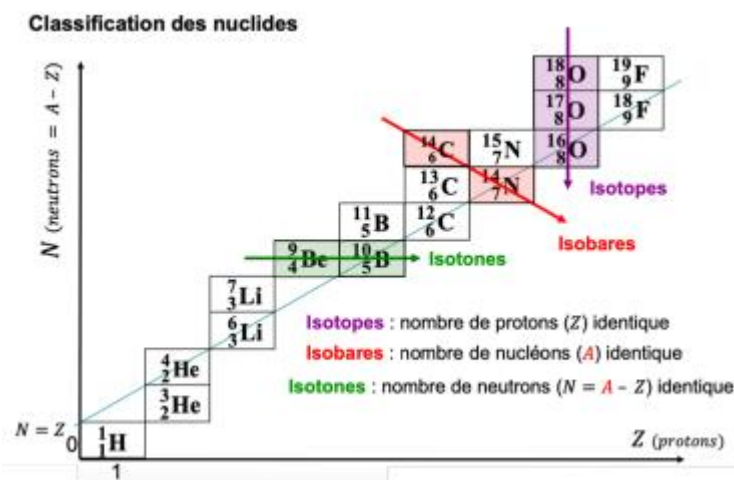
On va prendre l'exemple de l'**oxygène**, qui a 8 protons, et on voit qu'il existe sous 3 formes solides :

- $^{16}_8\text{O}$: possède 8 protons et 8 neutrons, il est stable et est le plus répandu
- $^{17}_8\text{O}$: possède 8 protons mais 9 neutrons, il est instable
- $^{18}_8\text{O}$: possède 8 protons mais 10 neutrons, il est instable aussi

On voit donc ici l'importance du nombre de neutrons qui fait apparaître les **variétés isotopiques** d'un même élément.

C) Classification des nucléides

Cette représentation donne accès à toutes les formes de noyaux :



- **Les isotopes** : noyaux ayant le même nombre de Protons. Ils ont le **même symbole chimique** (c'est le même élément) mais un nombre de neutrons différent (comme l'exemple de l'oxygène précédemment)
- **Les isobares** : noyaux ayant le même nombre de nucléons A. **Leur symbole chimique est différent**, ce n'est plus le même élément, exemple : $^{14}_6\text{C}$ et $^{14}_7\text{N}$
- **Les isotones** : noyaux ayant le même nombre de neutrons N. Ce sont **donc 2 éléments différents**, exemple : ^9_4Be et $^{10}_5\text{B}$

D) Abondance isotopique

Notion « d'abondance isotopique »:

	$^{14}_6\text{C}$	$^{15}_7\text{N}$
	$^{13}_6\text{C}$	$^{14}_7\text{N}$
$^{11}_5\text{B}$	$^{12}_6\text{C}$	
$^{10}_5\text{B}$		

Ce tableau illustre la notion **d'abondance isotopique**.La **majorité des éléments chimiques** existent à l'état naturel sous la forme d'un mélange de plusieurs **isotopes**.

Par exemple, le carbone existe sous plusieurs formes, avec toujours 6 protons mais avec un nombre de masse différent (12, 13 ou 14), *on a tous déjà entendu ou vu quelque part « datation au carbone 14 » par exemple*.

Exemple du carbone naturel:

$$^{12}_6\text{C} = 98,89\%$$

$$^{13}_6\text{C} = 1,11\%$$

$$^{14}_6\text{C}^* = \text{Traces}$$

L'abondance isotopique, c'est la fraction molaire de chaque isotope exprimée en %. La somme des différents isotopes d'un même élément chimique est égale à **100%**.

E) Nombre de masses

Le nombre de nucléons correspond à la **valeur entière la plus proche de la masse de l'atome** exprimée en unité de masse atomique, ou alors de la masse atomique d'une mole d'atome exprimée en g.

La **valeur approchée de la masse de l'atome correspond à A** puisque chaque nucléon a une valeur approximative de 1u (avec la masse d'un électron qui est négligeable).

Convention d'écriture : M = masse de l'atome / M = masse du noyau

Attention à ne pas confondre les 2

$$\begin{array}{ll} ^{14}_7\text{N} & \mathcal{M}(14,7) = 14,003 \text{ u} \\ ^{16}_8\text{O} & \mathcal{M}(16,8) = 15,994 \text{ u} \end{array}$$

La masse du noyau est donc égale à la **masse de l'atome moins la masse des électrons**.

ΔM = défaut de masse du noyau qui correspond à l'énergie de liaison entre les nucléons du noyau.

Équivalence masse/énergie : D'après la loi d'Einstein, on dit que $E = mc^2$ avec m en kg, c en m/s et E en Joules. Cependant, l'**énergie** est généralement en **eV** et non en joules et la **masse** en **u** et non en kg. Pour passer d'une unité à l'autre, on utilise l'équivalence :

$$\mathbf{1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2}$$

(important pour les calculs+++)

F) Nucléons

Par analogie avec la nomenclature des noyaux, on va pouvoir écrire :

• PROTON: $\frac{1}{1}p$ ou $\frac{1}{1}H$ ou H^+ existe à l'état libre (dissociation acide)

• NEUTRON: $\frac{1}{0}n$ instable: $\frac{1}{0}n \rightarrow \frac{1}{1}p + \frac{0}{-1}e + \bar{\nu}$ ($T_{1/2} \approx 10 \text{ mn}$)

En dehors du noyau, le **proton est stable** alors que le **neutron ne l'est pas**.

En fait, la demi-vie d'un neutron en dehors du noyau est de **10 min**, avant de se désintégrer en 1 proton, 1 électron et 1 anti-neutrino. Il s'agit de la **transformation β^-** .

Ce qui est intéressant c'est la différence de masse entre le neutron et le proton, le neutron étant légèrement plus lourd. Cette différence de masse est à peu près de **0,14%** mais c'est **fondamental**, la stabilité de l'univers (*oui oui vous ne rêvez pas*) repose en grande partie sur cette différence de masse.

Particule	Charge ($e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)	A	Masse (u)	Masse (MeV/c ²)
$\frac{1}{1}p$	+1	1	1,00728	938,28
$\frac{1}{0}n$	0	1	1,00866	939,56
$\frac{0}{-1}e$	-1	0	0,00055	0,511

Les particules élémentaires sont classées en **2 types et 3 familles** (modèle standard). On ne s'intéresse qu'à la famille I dite « ordinaire », car elle regroupe les particules qui nous entourent. Les familles II et III concernent les particules des rayonnements cosmiques et des réacteurs nucléaires.

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z ⁰ Z boson
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W [±] W boson

Quarks

Leptons

Gauge Bosons

Dans la famille I, on retrouve 2 sous-groupes :

- **Les Quarks** : ce sont les particules qui constituent les nucléons, donc les protons et les neutrons. Ils sont prisonniers de ces particules, ils ne peuvent pas se déplacer librement. Il existe 2 types de quarks :

✚ **Up (u)** chargé $+2/3e$

✚ **Down (d)** chargé $-1/3e$

- **Les Leptons** : contrairement aux quarks, ils peuvent se déplacer librement dans l'espace, ils ne sont pas confinés dans le noyau. Il y a 2 types de lepton :

✚ **L'électron**

✚ **L'antineutrino** qui est très difficile à observer

Les nucléons ne sont pas des particules élémentaires de la matière, en effet, ils sont eux-mêmes composés de Quarks :

- **Le proton** : 2 quarks up et 1 down : $uud = 2/3 + 2/3 - 1/3 = 1e$

- **Le neutron** : 2 quarks down et 1 up : $udd = 2/3 - 1/3 - 1/3 = 0e$

Les quarks expliquent donc la charge du proton et du neutron.

III. Énergie de liaison et défaut de masse

La masse d'un noyau constitué est **inférieure** à la **somme de la masse de ses nucléons A pris individuellement**.

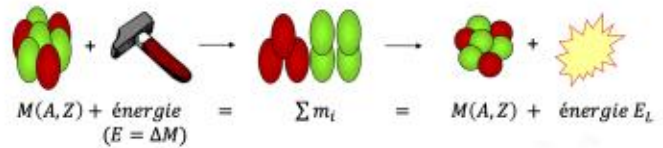
Il existe donc un **défaut de masse ΔM** qui est égal à la somme des masses des nucléons pris individuellement moins la masse du noyau. Cette différence de masse est liée à l'énergie de liaison entre les nucléons dans le noyau, donnée par l'équivalence masse-énergie d'Einstein : $E = mc^2$ avec ΔM le défaut de masse.

• La masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de ses nucléons :

$$M(A, Z) < \sum m_i$$

• « Défaut de masse »

$$\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z)$$



Il faut apporter une énergie E pour **séparer les nucléons** entre eux et casser le noyau. Et à l'inverse, si on veut créer un noyau à partir de nucléons, le noyau résultant aura une masse plus faible puisque de l'énergie va être libérée.

Ce phénomène est à l'origine de **l'énergie nucléaire**.

On peut généraliser cette notion de défaut de masse et de cette énergie de liaison : à tout groupe cohérent de particules correspond un défaut de masse qui est lié à l'énergie de liaison de ses particules entre elles. On a montré que le défaut de masse du noyau est lié à l'énergie de liaison des nucléons. On peut maintenant élargir l'échelle et s'intéresser au défaut de masse de l'atome en entier.

• Noyau: $M(A, Z) < \sum m_i$

$$\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z) = E_{in} \quad \text{Énergie de liaison des nucléons}$$

• Atome: $\mathcal{M}(A, Z) < M(A, Z) + Zm_e$

$$\Delta \mathcal{M}_e(A, Z) = M(A, Z) + Zm_e - \mathcal{M}(A, Z) = E_{le} \quad \text{Énergie de liaison des électrons}$$

On va calculer le ΔM entre l'atome pris dans sa **globalité** (*noyau + électrons*) et la masse de son noyau + ses électrons pris **séparément**. On se rend compte que la masse des particules séparées est **légèrement supérieure** à la masse de l'atome lié. Ce défaut de masse correspond donc à l'énergie de liaison entre les électrons périphériques et le noyau de l'atome.

Les énergies de liaison sont différentes entre les particules :

	Noyau Nucléons	Atome Électrons	Molécules Atomes
Énergie de liaison	MeV	keV	eV (4 pour C – H)

IV. Facteurs de stabilité nucléaire

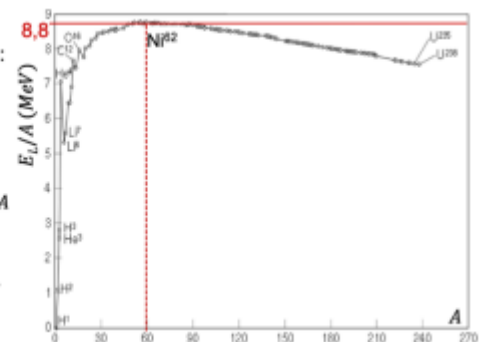
A) Énergie de liaison par nucléon

Le premier facteur de stabilité est **l'énergie de liaison des nucléons**. Pour pouvoir mieux comparer les différents noyaux, on va rapporter l'énergie de liaison du noyau par le nombre de masses, donc l'énergie de liaison par nucléon est égale à l'énergie de liaison totale du noyau/nombre de nucléons.

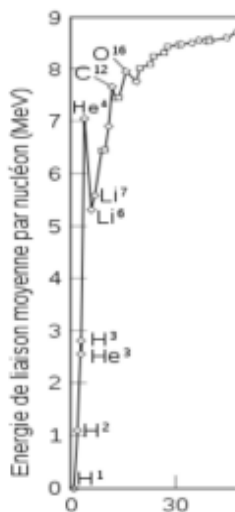
On a en abscisse le nombre de masses des différents atomes et en ordonnée l'énergie de liaison par nucléon. Cette énergie de liaison varie entre **1 et 8,8 MeV**. Plus l'énergie de liaison augmente, plus le noyau va être stable jusqu'à peu près un maximum de 8,8 MeV pour le **Ni⁶⁰**.

• Pour comparer le E_L , on la rapporte à la taille: E_L/A (E_L par nucléon)

- Plus E_L/A \nearrow plus le noyau est stable.
- E_L/A augmente avec A jusqu'à $\approx 8,8$ MeV.
- E_L/A diminue ensuite avec les noyaux lourds.



Ensuite, le nombre de masses va augmenter jusqu'à l'uranium 238 et l'énergie de liaison par nucléon va légèrement diminuer pour ces noyaux lourds.



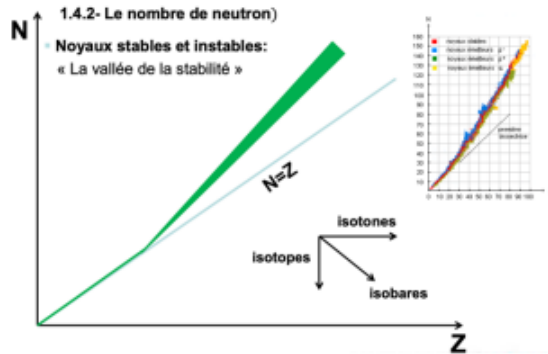
On remarque ci-contre **l'absence de régularité**, il y a des pics pour certains noyaux. Ces pics correspondent à une **augmentation très ponctuelle** de l'énergie de liaison par nucléon ce qui se traduit par une grande stabilité : on appelle ça les **nombre magique**. Par exemple on observe un pic d'énergie pour **He⁴**. Cet atome est particulier, car il est composé de 2 protons et 2 neutrons. L'hélium est **doublement magique**, ça veut dire qu'à la fois son énergie de liaison est élevée et à la fois son nombre de neutrons et protons sont égaux.

C'est exactement la même chose pour **O¹⁶** où son nombre de protons et de neutrons sont égaux à 8, il est un nombre **doublement magique**. On peut également donner l'exemple du **Pb²⁰⁸** qui est constitué de 80 protons et 226 neutrons qui sont tous les deux nombres magiques et qui est particulièrement **stable** alors que pourtant très lourd.

B) Nombre de neutrons

Un second facteur de stabilité est le **nombre de neutrons**.

Sur ce graphe, les noyaux stables ne sont pas situés n'importe où :



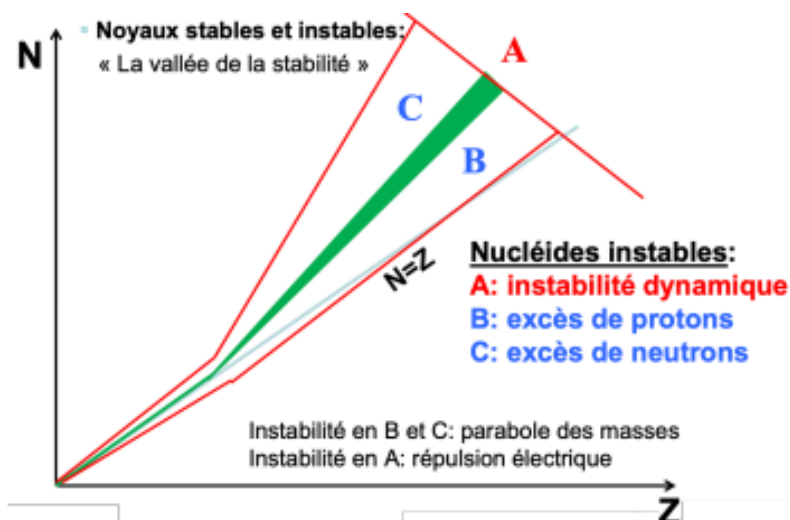
- Pour les noyaux légers, dont $A < 20$, ils sont stables si et seulement si : **nombre de neutrons=nombre de protons**, ils sont donc situés sur la première bissectrice tel que $N = Z$
- Pour les noyaux plus lourds, dont $A > 20$, ils seront stables en ayant un **nombre de neutrons > nombre de protons**. Ils se situeront sur une autre bissectrice $N > Z$.

Explication pour les noyaux lourds : Dans le noyau, s'il y avait que les interactions fortes (forces attractives) entre les nucléons, cela suffirait à assurer la stabilité. Mais il y a aussi des **interactions électriques coulombiennes** (forces répulsives) entre ces nucléons, vu que les protons sont chargés. Pour compenser ses forces répulsives, il faut **augmenter les forces attractives**, et cela se passe par une augmentation du nombre de neutrons.

On voit ici que les noyaux stables se situent dans ce qu'on appelle la **vallée de la stabilité**, ils ont une énergie de liaison de leurs nucléons qui est supérieure à celle des noyaux avoisinants.

Les noyaux qui se trouvent en dehors de cette vallée de stabilité sont instables c'est-à-dire **radioactifs**. Ceci est dû soit à un :

- **Excès de protons ou de neutrons**, cela amènera à des transformations radioactives que l'on reverra
- **Excès de nucléons**, les forces répulsives l'emportent sur les forces attractives, on est dans la zone d'instabilité dynamique

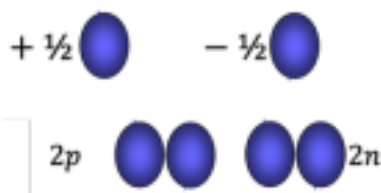


C) Parité du nombre d'électrons

Dernier facteur de stabilité des noyaux, c'est la **parité protons/neutrons**. On remarque que la grande majorité des noyaux stables ont un nombre de protons et de neutrons qui est **pair**. Il y a très peu de noyaux stables dont le nombre de protons et le nombre de neutrons sont impairs.

Z	N	A	Nbre de noyaux stables
pair	pair	pair	166
pair	impair	impair	55
impair	pair	impair	51
impair	impair	pair	5

Interprétation : les nucléons possèdent un spin de soit $+1/2$ soit $-1/2$

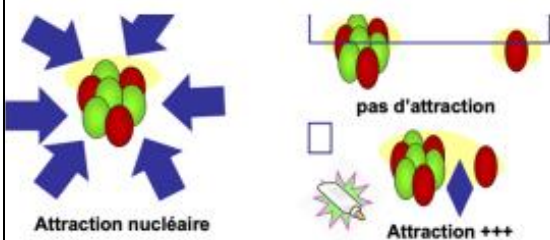


- Ils tournent sur leur axe avec un type de spin, en fonction de leur orientation
- Du fait de l'existence de ces **2 spins**, les nucléons ont tendance à se regrouper par paires, avec un **spin opposé**. On a donc, à ce moment-là, des nucléons qui vont avoir des spins qui se compensent, **s'annulent**. **Cette parité favorise la stabilité du noyau.**

V. Forces nucléaires

Les forces nucléaires sont liées aux **interactions des nucléons entre eux** et au sein du **noyau**. Ce qui est fondamental, c'est que ces forces sont responsables de la stabilité ou de l'instabilité du noyau. L'intensité de ces forces va correspondre à **l'énergie moyenne de liaison** au sein du noyau.

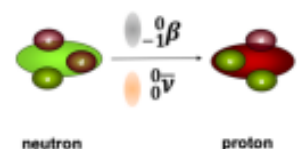
A) Interaction forte (force nucléaire spécifique)



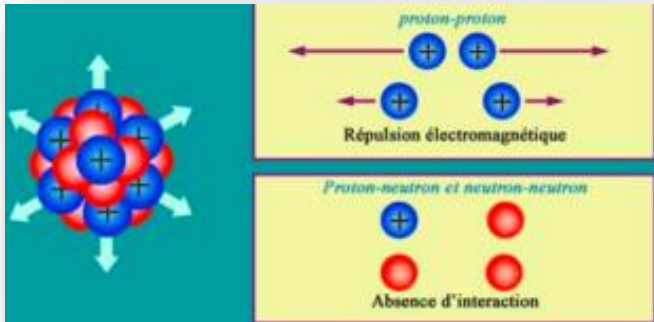
C'est une force attractive à **très courte distance** (entre 1 et 2×10^{-15} m) qui assure la cohésion du noyau. Elle est 100 à 1000 fois supérieure à la force électrostatique. Cette force est **responsable du défaut de masse**, elle correspond à la masse perdue par les noyaux. Cette interaction correspond à la mise en commun des particules d'interaction qui sont les gluons (appartenant à la famille des bosons).

B) Interaction faible

Discrète, s'exerce à **très courte distance**. Elle s'exerce à l'intérieur même des nucléons. Elle est fondamentale car elle est capable de **changer la composition d'un noyau** (neutron en proton ou vice versa ; c'est la transformation radioactive β dont on reparlera). On a ici l'exemple de la transformation d'un quark down en un quark up par le changement de sa charge électrique ce qui aboutira à la transformation d'un neutron en proton. Cela s'accompagne par **l'émission d'un électron** issu du noyau et d'un antineutrino : il s'agit de la **transformation radioactive**.



C) Force électrostatique



C'est une force **coulombienne**, qui est non spécifique au noyau. Elle est **répulsive**, et agit entre les **protons** qui ont des charges positives. Elle explique le besoin d'avoir des neutrons pour maintenir la stabilité des noyaux lourds pour lesquelles la force électrostatique est plus importante du fait de l'abondance de protons. Elle reste nettement **plus faible** que l'interaction forte.

La stabilité ou l'instabilité d'un noyau est le résultat de la **compétition de ces 3 forces**.

VI. Modèles nucléaires

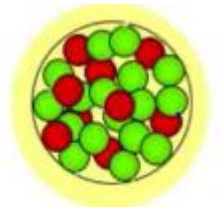
A) Modèle de la goutte sphérique

C'est un modèle relativement simple :

- On assimile le **noyau** à un liquide qui est constitué de **nucléons**
- Ces derniers sont confinés dans cette goutte par l'interaction **forte** (attractive)

Caractéristiques :

- Il est considéré comme **incompréhensible**
- Il est **sphérique**, on peut calculer son rayon
- Il a une **répartition de densité homogène des charges** au sein du noyau



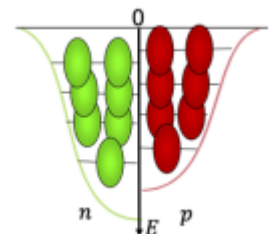
B) Modèle en couches

C'est un modèle analogue à celui des atomes.

Les nucléons sont caractérisés par un **nombre quantique**. Ils se répartissent dans le noyau dans différentes couches et sous-couches étant caractérisées par un couplage spin-orbite.

Il y aura un **nombre maximum de nucléons par couche** avec un remplissage successif des couches, et une **différence entre les protons et les neutrons**.

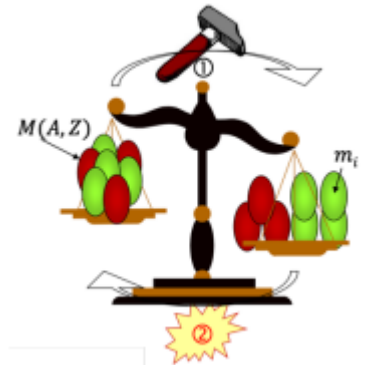
Ce modèle permet d'expliquer la **stabilité des noyaux à nombre magique**. Ces nombres magiques correspondent à la saturation d'une couche. Exemple : ${}^4_2\text{He}$ qui a 2 protons et 2 neutrons. C'est un atome doublement magique dans lequel la première couche est saturée.



VII. Réactions de fission et de fusion nucléaires

Pour expliquer ce chapitre, il faut toujours revenir à la même loi d'équivalence masse-énergie.
Au niveau des nucléons d'un noyau :

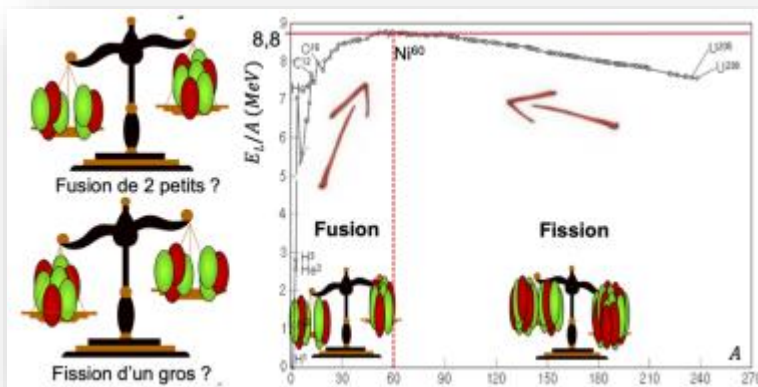
- Si on veut séparer un noyau en ces différents éléments constitutifs que sont les nucléons, on doit faire un **apport d'énergie de l'extérieur** pour casser les liaisons. Et selon la loi d'Einstein, une consommation d'énergie va se traduire par un gain de masse
- À l'inverse, si on part des nucléons et que l'on veut recréer le noyau, les nucléons doivent **acquérir une énergie de liaison** qui se traduira par un défaut de masse



Gain de masse = consommation d'énergie ; Perte de masse = libération d'énergie

Nous avons vu que la fusion et la fission sont 2 phénomènes qui libèrent de l'énergie :

- Le phénomène de **fusion** consiste à fusionner deux petits noyaux en un noyau de masse plus importante. On obtient une augmentation d'énergie de liaison avec une **perte de masse du système** ; on **libère de l'énergie**
- À l'inverse, la fission par d'un très gros noyau que l'on fissionne en 2 plus petits. Le système final aura une masse plus faible que le système initial. On obtient donc également une **perte de masse** ; on **libère de l'énergie**.



Dans les 2 cas, on a une perte de masse avec libération d'énergie ce qui est contradictoire vu que dans la fission on casse un gros noyau pour en obtenir un plus petit et dans la fusion c'est l'inverse. Le graphique à gauche va permettre de comprendre que fission et fusion sont 2 phénomènes qui libèrent de l'énergie.

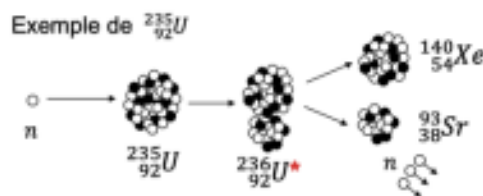
La **fusion** entraîne une **augmentation de l'énergie de liaison par nucléon** (on se rapproche de E_b/A_{max}). On a une **baisse de masse** (augmentation de ΔM) de votre noyau final par rapport aux deux noyaux initiaux. On aboutit à une libération d'énergie.

La **fission** entraîne également une **augmentation de EL/A**. Un gros noyau **instable** se divise en deux noyaux plus petits et plus stables. On a une perte de masse (augmentation de ΔM) entre le noyau initial et les noyaux finaux. On obtient également une libération d'énergie.

Conclusion : lorsqu'on a une augmentation du défaut de masse ΔM , l'énergie de liaison par nucléon EL/A augmente aussi, et on a alors une libération d'énergie.

A) Fission nucléaire

On va prendre l'exemple de l'**uranium 235** qui est utilisé dans les centrales nucléaires pour faire de l'énergie.



Comment ça marche : La première étape va être de bombarder ^{235}U par un **neutron** pour donner ^{236}U qui est particulièrement instable du fait de son excédent de nucléons.

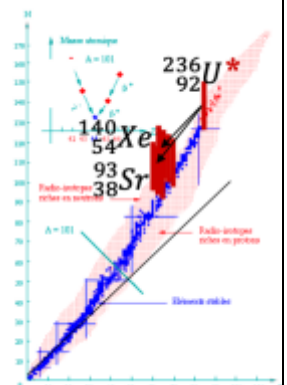
Donc pour essayer de retourner à la stabilité, le noyau père se désintègre en **2 noyaux fils** : ^{93}Sr et ^{140}Xe .

Quand il y a un excès de neutrons, le noyau va, via la **radioactivité β^-** , transformer un **neutron** en un **proton** pour retourner vers une zone de stabilité.

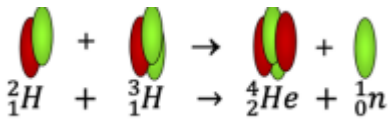
Calcul de l'énergie libérée : On va raisonner avec l'énergie de liaison par nucléon de nos différents noyaux :

	$\frac{1}{0}\text{n}$	+	$\frac{235}{92}\text{U}$	\rightarrow	$\frac{140}{54}\text{Xe}$	+	$\frac{93}{38}\text{Sr}$	+	$3\frac{1}{0}\text{n}$
$E_{L/A}$	0		7,5		8,2		8,5		0
			$\times 235$		$\times 140$		$\times 93$		
$E_L (\Delta M)$	0		1762,5		1148		790,5		0
Total avant =		1762,5 MeV		après =		1938,5 MeV			
$\Delta E_r = 1938,5 - 1762,5 = 176 \text{ MeV}$									

On prend l'énergie de liaison par nucléon de chaque noyau que l'on multiplie par le nombre de nucléons, on obtient l'énergie de liaison totale du noyau. Ensuite on fait le total des énergies dans l'état initial et dans l'état final. On soustrait les deux et obtient l'énergie libérée par la réaction de fission de ^{235}U qui est de **176 MeV**.



B) Fusion nucléaire



On voit ici l'exemple de la **fusion** de deux atomes d'hydrogène en un atome d'hélium. Cette réaction est essentielle, elle permet au soleil de produire de l'énergie.

Il y a plusieurs **isotopes** de l'atome d'hydrogène : ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ (deutérium) et ${}^3_1\text{H}$ (tritium)

La réaction de fusion s'effectue entre un noyau de **deutérium et de tritium** qui donne un noyau **d'hélium et un neutron**.

Calcul de l'énergie libérée : On calcule de la même manière que précédemment. On utilise les énergies de liaison par nucléon que l'on multiplie pour obtenir l'énergie de liaison totale par un noyau. On fait la différence entre état initial et état final et obtient l'énergie libérée par la réaction de fusion de **17,6 MeV**.

• Calcul de l'énergie libérée

$$\begin{array}{rcccl}
 {}^2_1\text{H} & + & {}^3_1\text{H} & \rightarrow & {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} \\
 E_{L/A} (\text{MeV}) & 1 & + & 2,8 & \rightarrow & 7 & 0 \\
 & \times 2 & & \times 3 & & \times 4 \\
 E_L (\Delta M) & \frac{2}{2} & & 8,4 & & \frac{28}{28}
 \end{array}$$

Total avant = 10,4 MeV après = 28 MeV
 $\Delta E = 28 - 10,4 = 17,6 \text{ MeV libérés}$

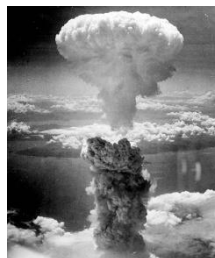
C) Applications

FISSION : Il y a 2 types de fissions : **induite** et **spontanée**.

La fission **spontanée** c'est une fragmentation de noyau **naturelle** sans intervention extérieure. Elle est possible uniquement pour les noyaux très lourds. La fission **spontanée** de l'uranium 235 existe dans la nature mais est très lente vu que la demi-vie de l'uranium 235 est de **plusieurs millions d'années**.

On va donc **induire** sa fission en le bombardant de neutrons comme on l'a vu précédemment.

➔ Un exemple malheureux d'application, c'est la **bombe atomique**. La bombe larguée par les Américains sur Hiroshima contenait de l'uranium 235.

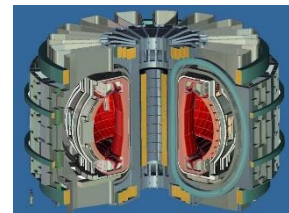
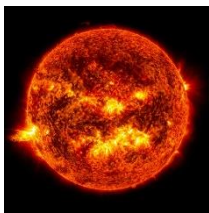


- Un autre exemple d'application civile, c'est dans les **centrales nucléaires** qui produisent de l'électricité par fission de l'uranium. La fission est ici contrôlée.



FUSION : Elle existe à l'état naturel mais il lui faut un environnement avec énormément d'énergie, elle n'est donc présente qu'au niveau du soleil.

- **Application militaire** : **bombe H** pour hydrogène, qui utilise la réaction de fusion. Elle est nettement plus destructrice qu'une bombe nucléaire à uranium (*à noter que pour réaliser une fusion de la sorte, il faut un apport conséquent d'énergie qu'une fission nucléaire réalise, ainsi on a une première fission qui va apporter de l'énergie pour réaliser ensuite la fusion, qui va libérer une énergie encore plus grande*)
- **Application scientifique** : les **réacteurs thermonucléaires ITER** qui sont destinés à produire l'électricité en utilisant la fusion. C'est le plus gros projet de recherche scientifique au monde, il y a des équipes internationales qui collaborent dessus et ça se passe sur le site de Cadarache à côté d'Aix en Provence.



Voilà c'est fini pour cette fiche sur le noyau, perso j'avais vachement apprécié le cours donc j'espère que vous aussi !!

Moi après avoir fait la fiche

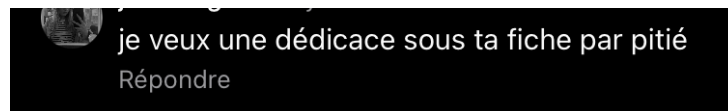


Toi après avoir appris le cours



Place aux p'tites dédis gagnées au SG :

- Dédi à Lou Ann aka Amelb_fan sur snap (vous la trouverez plus elle a changé de pseudo...), mais oui je parle bien de votre tutrice d'anat au s2
- Dédi à Marina et la coïncidence pour qu'on habite dans la même rue ??
- Dédi à Anaëlle qui était à coté de moi l'année dernière en pré rentrée, on se retrouve au tut un an après c'est lunaire
- Dédi à Emma alors que normalement on est dans la même famille de parrainage mais je l'avais oublié (oupsi cousine)
- Dédi à Jade pcq apparemment elle veut absolument sa dédi



CB12

- Et le meilleur pour la fin : J'AI NOMMÉ LA **CB12** (à dire dans toutes les langues possibles), et Alexis le GOAT (Gigantesque Orang-outan Avec des Tongues)