



# Fiche TTR – NOYAU

## 1– Introduction et historique

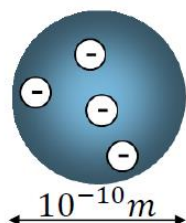
Synonyme de noyau : **nuclide** / **nucléotide**

• Dans l'antiquité, deux modèles s'opposent :

- **Démocrite** : la matière est composée de **particules élémentaires indivisibles et invisibles**, qu'il nomme **atomes**. Ces particules sont supposées **éternelles** et **immuables**.
- **Aristote** : la matière est composée de **4 éléments** (le feu, l'air, l'eau, la terre), c'est la croix d'Aristote, théorie avec beaucoup de succès qui va pousser à l'abandon de la théorie de Démocrite.

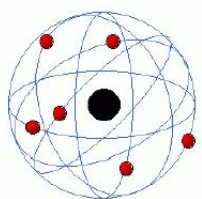
• 1805 : **John Dalton** reprend la théorie de l'atome → **sphère dure pleine de matière**.

• 1897 : **Thomson** découvre les composants de l'atome → **modèle de l'atome en pudding au raisin**.

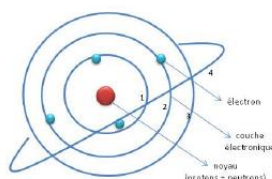


• XX<sup>ème</sup> siècle : Les modèles de l'atome évoluent, faisant apparaître **deux zones distinctes**, le **noyau (+)** et le **cortège électronique (-)**, plusieurs modèles vont alors cohabiter :

- **Rutherford** : les électrons sont dans un **nuage** autour du noyau.
- **Bohr** : notion de **couches électroniques** occupées par des électrons d'énergies bien définies.
- D'autres modèles ont vu le jour, plus sophistiqués, et qui continuent d'évoluer à l'heure actuelle.



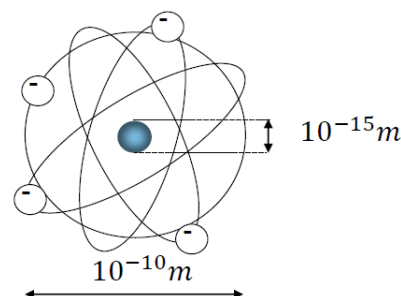
Le « nuage d'électron »  
du modèle de Rutherford



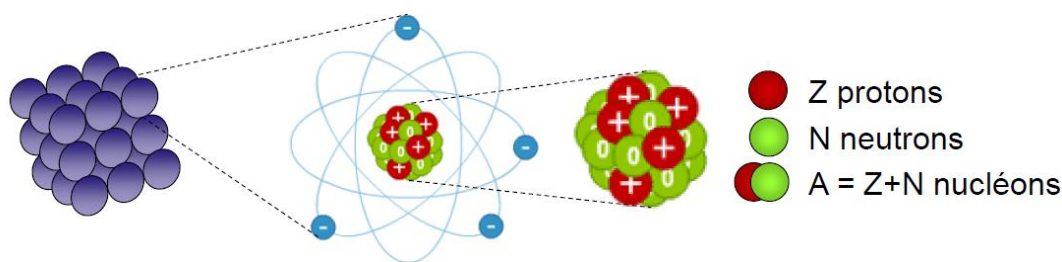
Le modèle « en  
couches » de Bohr

Concernant Rutherford, il y a une **expérience** à connaître qu'il a réalisée en 1911, on ne va pas la détailler ici, mais retenir déjà sa conclusion :

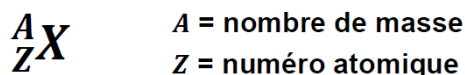
Rutherford conclut donc que l'atome a une **structure lacunaire**, c'est-à-dire avec un **petit noyau central** et **beaucoup de vide autour**. Il propose ainsi un modèle planétaire de l'atome, avec les électrons chargés négativement qui gravitent / satellisent autour du noyau central chargé positivement. Ces électrons ont une **masse très faible** par rapport à la totalité de la masse de l'atome, concentrée **quasi-exclusivement dans le noyau** (qui a donc une densité très élevée =  $10^{15} \text{ g.cm}^{-3}$ ).



## 2– Composition et classification



Nomenclature : Le noyau  $X$  est constitué de  $A$  **nucléons**, répartis en  $Z$  **protons** et  $N = A - Z$  **neutrons**.



### 2.1– Les différentes manières de classer les atomes

#### • En fonction du $Z$ (= nb de protons = nb de charges = nb d'e- = numéro atomique) :

Il s'agit de la classification périodique des éléments, aussi appelée classification de Mendeleïev. Elle est dite classification « chimique », car surtout utilisée dans le domaine de la chimie et moins dans celui de la physique nucléaire.

Les éléments sont ici classés en fonction de leur  $Z$  croissant, donc en fonction du nombre de protons. Ce nombre est **indissociable de l'élément chimique**.

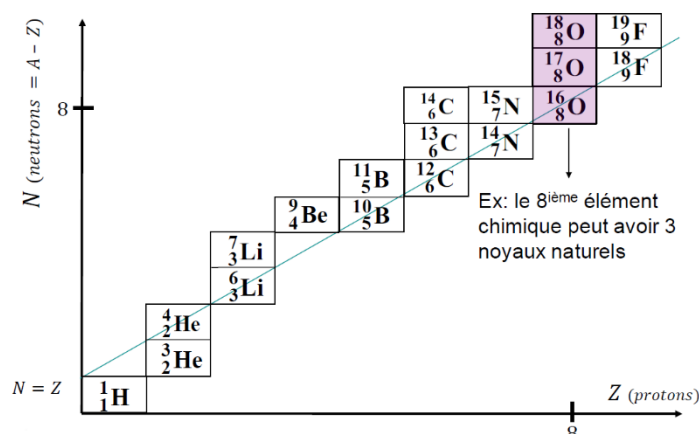
1 H					2 He
3 Li	4 Be				
11 Na	12 Mg	5 B	6 C	7 N	8 O
19 K	20 Ca	13 Al		9 F	10 Ne

Ex: le 8<sup>ème</sup> élément chimique (8 électrons)

Dans cette classification sont regroupés par **colonne** les éléments ayant des **propriétés physico-chimiques similaires**, on parle de familles d'éléments.

#### • En fonction du $N$ ( $= A - Z$ ), la table des nuclides :

La **table des nuclides** est une classification bien plus adaptée à la physique nucléaire. Elle tient compte du nombre de neutrons et permet de caractériser les différentes formes du noyau en fonction de  $Z$  et de  $N$ . On place en abscisses le nombre de protons  $Z$  et en ordonnées 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 !

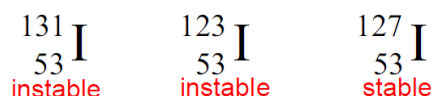
On voit ainsi l'exemple de l'oxygène, il est composé de  $Z = 8$  protons, et on voit qu'il existe sous 3 formes :

- $^{16}\text{O}$  qui a 8 protons et 8 neutrons, qui est stable, c'est le plus répandu.
- $^{17}\text{O}$  qui a 8 protons mais 9 neutrons, il est instable.
- $^{18}\text{O}$  qui a toujours 8 protons mais 10 neutrons, il est instable également !

On voit ici l'importance de faire apparaître le nombre de neutrons dans la classification, afin d'inclure les variétés isotopiques d'un même élément.

En parlant d'isotopes, trois définitions importantes :

• **Isotopes** : Deux nucléides avec le **même nombre de protons  $Z$** , mais des  $A$  différents. Les isotopes sont indiscernables chimiquement.



• **Isobares** : Deux nucléides avec le **même nombre de masse  $A$** , mais des  $Z$  différents. Deux isobares sont donc deux éléments chimiques différents.



• **Isotones** : Deux nucléides avec le **même nombre de neutrons** ( $A$  et  $Z$  sont différents). Deux isotones sont donc deux éléments chimiques différents.

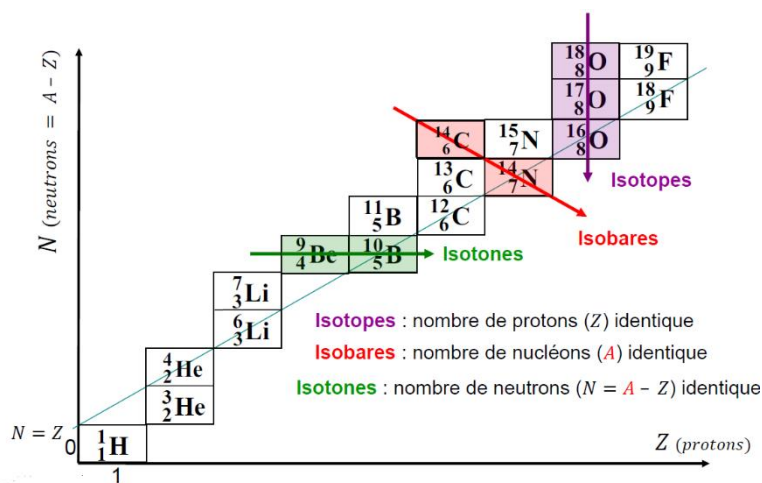
Ces éléments peuvent être retrouvés dans la table des nucléides :

### Tut'souviens :

Isotopes : même nb de protons

Isobares : même A

Isotones : même N



## 2.2– Les nucléons

On rappelle que  $A = \text{nb de nucléons} = \text{nb de masse}$

Ainsi  $A$  correspond à la valeur entière la plus proche de la masse d'un atome, puisque chaque nucléon a une masse approximative d'1u et que la masse des électrons est négligeable.

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

Conventions d'écriture :  $\mathcal{M}$  = masse d'un atome

$M$  = masse du noyau ( $M = \mathcal{M}(A, Z) - Zm_e$ )

$\Delta M$  = défaut de masse du noyau = énergie de liaison

Les deux nucléons sont :

- Le **proton**, qui existe à l'état libre (lors d'une dissociation acide par exemple) :  $^1_1p$  ou  $^1_1H$  ou  $H^+$

- Le **neutron**, instable en dehors du noyau :  ${}^1_0n$ , il se désintègre alors selon la réaction  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}$  de demi-vie de 10 minutes environ. Il se désintègre en un proton, un électron et un **antineutrino**, cela correspond à la **transformation  $\beta^-$** , revue dans le cours sur les transformations isobariques.

## 2.3 – Les particules élémentaires

Les **particules élémentaires** sont classées en 2 types et 3 familles dans le modèle standard.

On ne s'intéresse qu'à la **première famille dite « ordinaire » (I)**, qui concerne la matière qui nous entoure ( $\neq$  rayonnements cosmiques et réacteurs nucléaires pour les familles II et III).

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	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	c	t	Y
	up	charm	top	photon
Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d	s	b	g
	down	strange	bottom	gluon
Leptons	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	Z <sup>0</sup>
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	Z boson
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e	$\mu$	$\tau$	W <sup>±</sup>
	electron	muon	tau	W boson
				Bosons de gauge

Parmi les deux types de particules dans la famille I :

- Les **QUARKS** : **u** pour **up** et **d** pour **down**, qui sont prisonniers de particules plus grandes, ils ne peuvent pas se déplacer librement. Ces particules sont chargées :

$$u = +\frac{2}{3}e$$

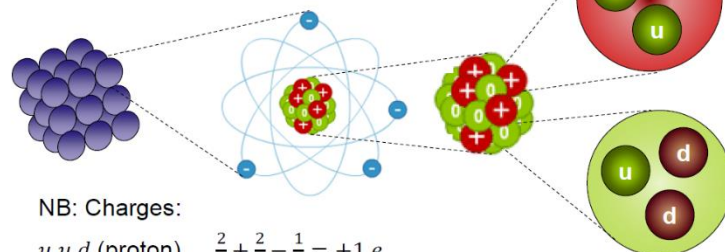
$$d = -\frac{1}{3}e$$

- Les **LEPTONS** : **électron** et **neutrino de l'électron**, qui peuvent se déplacer librement.

Il existe également des particules d'interaction, dont on parlera plus tard, qui sont les **Bosons**.

Les nucléons ne sont pas les particules les plus élémentaires de la matière, ils sont eux-mêmes composés de Quarks :

- Le neutron :  $u d d$
- Le proton :  $u u d$



NB: Charges:

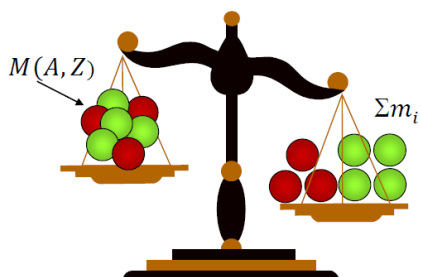
$$u u d \text{ (proton)} \quad \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1 e$$

$$u d d \text{ (neutron)} \quad \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0 e$$

On voit d'ailleurs que les **Quarks expliquent la charge du proton et du neutron** !

## 3– Energie de liaison et défaut de masse

La masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de ses nucléons pris séparément.



On a donc :  $M(A, Z) < \sum m_i$

Il existe donc ce qu'on appelle un **défaut de masse  $\Delta M$** , qui correspond à la **différence entre la somme des masses des nucléons d'un noyau pris séparément et la masse de ce noyau** :

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

### Point important sur le calcul du défaut de masse :

Dans les faits, on ne connaît pas la masse du noyau, c'est pourquoi dans 99,99% des cas dans l'énoncé on vous donnera la masse de **l'atome** ( $\mathcal{M}$ ), et ce n'est pas la même chose du tout !

On rappelle que  $M(A, Z) = \mathcal{M}(A, Z) - Zm_e$

Ainsi il faut adapter légèrement la formule du défaut de masse :

$$\Delta M = \sum m_i - M(A, Z) = \sum m_i - (\mathcal{M}(A, Z) - Zm_e) = \sum m_i + Zm_e - \mathcal{M}(A, Z)$$

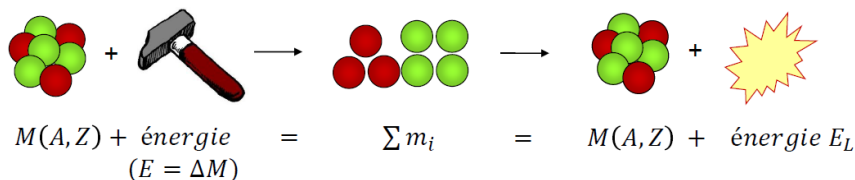
Autrement dit, en plus de la masse des protons et neutrons ( $\sum m_i = Zm_p + Nm_n$ ), on ajoute la masse des électrons, et on soustrait la masse de l'atome au lieu de celle du noyau.

Autre astuce : souvent dans l'énoncé vous aurez aussi la masse de l'atome d'Hydrogène  ${}^1_1H$ . Cet atome contient **un proton et un électron**, donc en multipliant  $m({}^1_1H)$  par  $Z$  on a déjà le  $Zm_p + Zm_e$  (c'est-à-dire la masse de nos protons et de nos électrons), il n'y a ensuite plus qu'à ajouter la masse des neutrons  $Zm_n$  (*en gros on fait deux multiplications en une seule*).

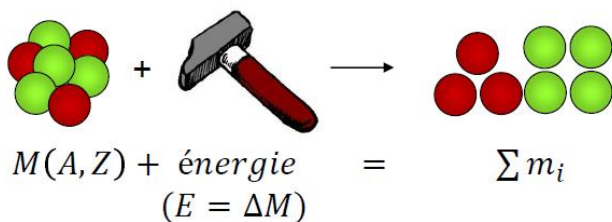
Ce défaut de masse est équivalent à une énergie, qui correspond à l'**énergie de liaison des nucléons**. On peut la calculer de deux manières, grâce à la **loi d'équivalence masse-énergie** :

- $E_L = \Delta M \times c^2$  avec  $E$  en Joules,  $\Delta M$  en Kilogrammes et  $c = 3.10^8$  m/s

- $E_L = 931,5 \times \Delta M$  avec  $E$  en MeV et  $\Delta M$  en u



On voit ici que schématiquement, il faut apporter de l'énergie à un noyau pour séparer ses nucléons, cette énergie correspond à l'énergie de liaison. A l'inverse, lorsqu'on assemble les nucléons pour former un noyau, celui-ci aura une masse plus faible que la somme des masses des différents nucléons pris séparément, et de l'énergie sera libérée, correspondant à l'énergie de liaison. Ce phénomène est à l'origine de l'énergie nucléaire, revue plus tard.



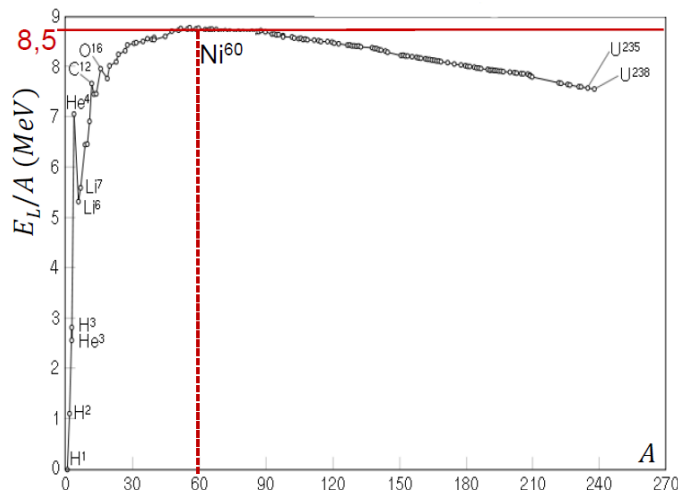
L'énergie de liaison des nucléons d'un noyau est donc l'**énergie qu'il faut fournir pour le dissocier**. L'énergie apportée est alors **transformée en masse**. Pour les **nucléons**, cette énergie est de l'ordre du **MeV**.



## 4– Facteurs de stabilité nucléaire

### 4.1– Energie de liaison par nucléon

Le premier facteur de stabilité du noyau est l'énergie de liaison des nucléons. Afin de mieux comparer les différents noyaux, on rapporte l'énergie de liaison globale du noyau au nombre de masse (donc au nombre de nucléons), on obtient ainsi l'**énergie de liaison par nucléon,  $E_L/A$** .

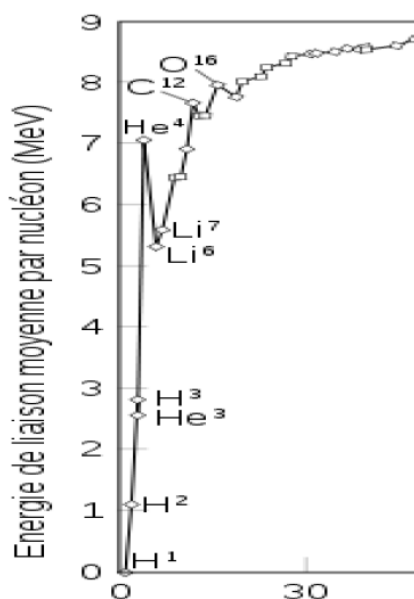


On place sur ce graphique le nombre de masse  $A$  en abscisses et l'énergie de liaison par nucléon  $E_L/A$  en MeV en ordonnées.

Cette énergie de liaison par nucléon varie entre 1 et **8,5 MeV**, et **plus elle est élevée, plus le noyau est stable**. (logique, on a vu que  $E_L$  est l'énergie à apporter pour dissocier le noyau, donc plus elle est grande pour chaque nucléon plus il est difficile de dissocier le noyau, qui est donc plus stable)

L'énergie de liaison va augmenter avec le  $A$  jusqu'à un **maximum d'environ 8,5 MeV pour le  $\text{Ni}^{60}$** .

Ensuite,  $A$  va augmenter jusqu'au  $\text{U}^{238}$  mais l'énergie de liaison va **légèrement diminuer** pour ces noyaux plus lourds.



On va maintenant s'intéresser un peu plus à la partie de ce graphique sur les noyaux les plus légers :

On remarque une absence de régularité de l'énergie de liaison par nucléon, avec des pics correspondant à une augmentation ponctuelle de l'énergie de liaisons par nucléon pour certains noyaux, et donc une grande stabilité.

Cela est dû à des combinaisons avec des « **nombres magiques** », c'est-à-dire lorsque  **$Z$  ou  $A$  vaut 2, 8, 20, 50, 82...** (me demandez pas pourquoi, c'est comme ça).

Par exemple l' $\text{He}^4$  est très stable car il est **doublement magique**, il est composé de 2 protons et 2 neutrons. Pareil pour le  $\text{O}^{16}$  composé de 8 protons et 8 neutrons.

## 4.2– Nombre de neutrons

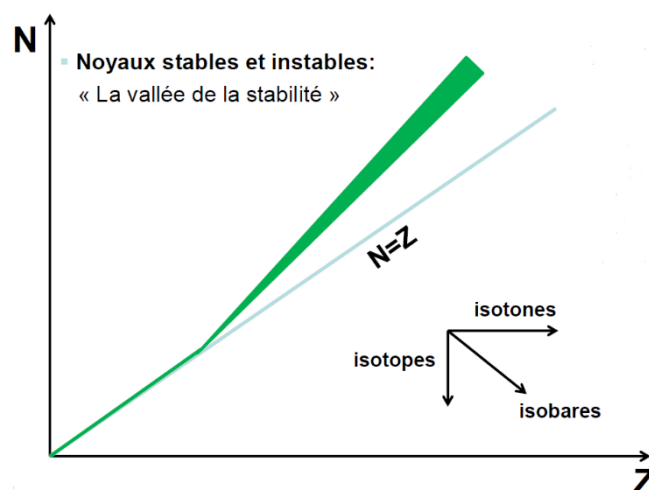
Un second facteur de stabilité du noyau est le **nombre de neutrons**.

On voit sur ce graphique en abscisses le nombre de charge  $Z$  et en ordonnées le nombre de neutrons  $N$ .

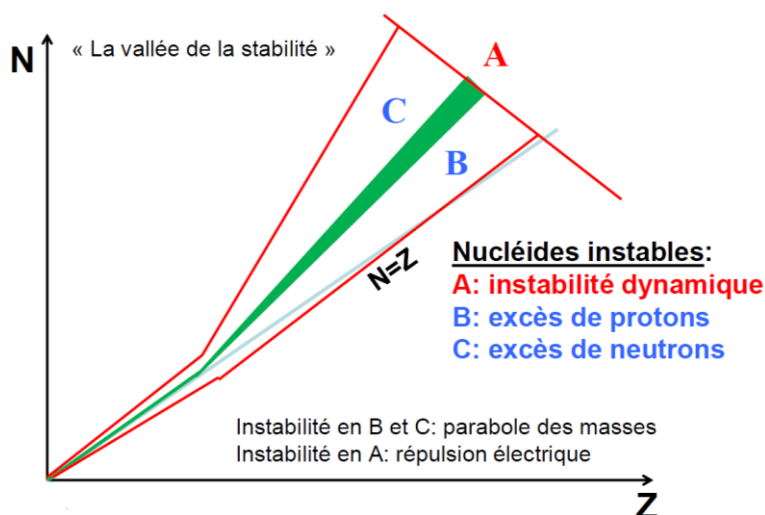
Les noyaux stables sont représentés en vert, dans ce qu'on appelle la « **vallée de la stabilité** ».

• **Pour les noyaux légers, avec  $A < 20$**  : ils sont stables si et seulement si le nombre de neutrons et de protons est égal, ils sont donc sur la première bissectrice telle que  $N = Z$ .

• **Pour les noyaux lourds, avec  $A > 20$**  : ils sont stables en ayant un nombre de neutrons plus élevé que le nombre de protons, ils se situent donc sur une autre bissectrice telle que  $N > Z$ .



On améliore un peu le schéma :



On voit les noyaux stables, dans la vallée de la stabilité, avec une énergie de liaison par nucléon 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 à :

- Un **excès de protons ou de neutrons**, ce qui va mener à des transformations radioactives **isobariques**.
- Un **excès de nucléons**, le noyau est trop lourd et les forces répulsives l'emportent sur les forces attractives, on est dans la **zone d'instabilité dynamique**, ce qui va conduire à des **transformations radioactive  $\alpha$** .

## 4.3– Parité du nombre de nucléons

Dernier facteur de stabilité des noyaux, c'est la **parité proton/neutron**.

$Z$	$N$	$A$	Nbre de noyaux stables
<i>pair</i>	<i>pair</i>	<i>pair</i>	166
<i>pair</i>	<i>impair</i>	<i>impair</i>	55
<i>impair</i>	<i>pair</i>	<i>impair</i>	51
<i>impair</i>	<i>impair</i>	<i>pair</i>	5

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 noyau stable dont le nombre de protons et le nombre de neutrons sont impairs. On peut donc voir que cette parité a des conséquences directes sur la stabilité des noyaux.

## 5– 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.

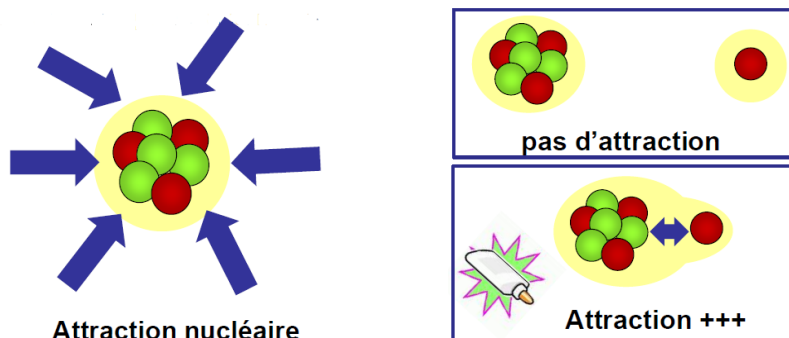
### 5.1– Interaction forte (force nucléaire spécifique)

Il s'agit d'une force **attractive** qui **assure la cohésion du noyau**.

Elle est 100 à 1000 fois plus importante que la force électrostatique, et elle s'exerce à des **distances très faibles, entre 1 et  $2 \cdot 10^{-15}$  m**.

Cette énergie correspond à la masse perdue par les nucléons.

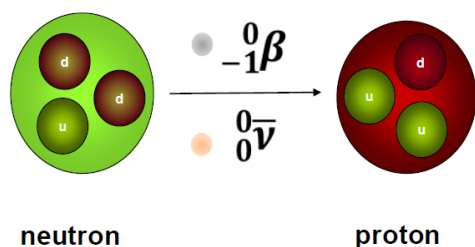
Cette interaction correspond à la mise en commun des particules d'interaction (les Bosons) que sont les **Gluons**.



### 5.2– Interaction faible (force nucléaire spécifique)

Cette interaction, **discrète** et de faible intensité, s'exerce également à **très courte distance ( $10^{-15}$  m)**, à **l'intérieur même des nucléons**.

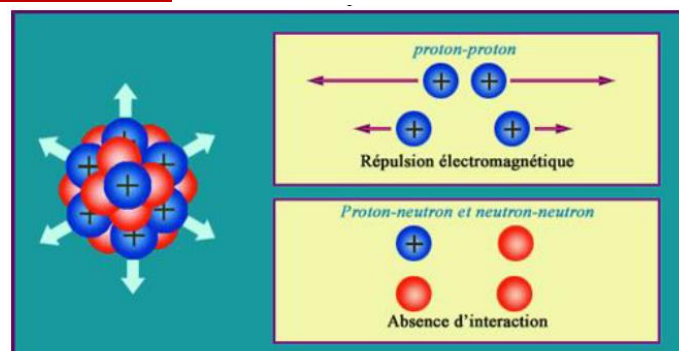
Elle est fondamentale car elle peut **changer la composition d'un noyau** en changeant un proton en un neutron ou vice versa, ce sont les **transformations isobariques** vues dans le cours sur la radioactivité.



On a ici l'exemple d'un neutron transformé en proton grâce à la **transformation d'un quark down en un quark up** par le changement de sa charge électrique. On aura alors l'émission d'une particule  $\beta^-$  et d'un antineutrino.

### 5.3– Force électrostatique (non spécifique du noyau)

Loi de Coulomb : « L'intensité de la force électrostatique entre deux charges électriques est **proportionnelle au produit des deux charges** et est **inversement proportionnelle au carré de la distance entre les deux charges**. La force est portée par la droite passant par les deux charges. »





La force électrostatique est donc de **type coulombien en  $1/r^2$** , non spécifique au noyau. (*c'est les termes du diapo, ça dit juste que la force électrostatique répond à la loi de Coulomb et est donc inversement proportionnelle au carré du rayon*)

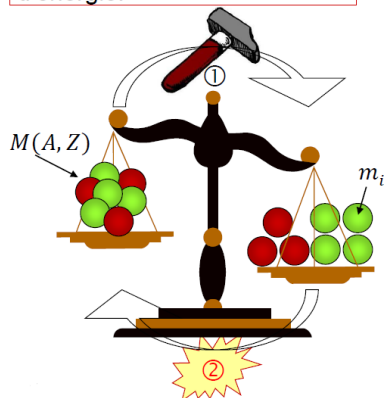
Cette force concerne les **protons** (*parce qu'ils sont chargés*) et est donc **répulsive** (*parce que les charges de même signe se repoussent*). Elle **explique l'excès de neutron des noyaux lourds**.

## 6– Réactions de fission et de fusion nucléaire

Au niveau des nucléons:

① Gain de masse = consommation d'énergie.

② Perte de masse = libération d'énergie.



Pour expliquer cette partie, il faut revenir à la **loi d'équivalence masse-énergie**.

Pour rappel au niveau des nucléons, la masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de l'ensemble de ses nucléons pris séparément.

Ainsi pour **séparer** les éléments d'un noyau, il faut un apport d'énergie, et cette **consommation d'énergie** se traduira par un **gain de masse**.

A l'inverse pour **assembler** le noyau à partir de ses éléments, de l'**énergie** va être **libérée**, entraînant une **perte de masse**.

On va maintenant voir ce qu'il se passe à l'échelle des noyaux, lors de la fusion ou de la fission.

- Le phénomène de fusion consiste à fusionner **deux petits noyaux en un noyau de taille plus importante**. Le noyau obtenu est **plus léger**, ce qui traduit une **libération d'énergie**.

- A l'inverse, la fission part d'un **très gros noyau** que l'on **fissionne en deux plus petits**. Le système final aura une **masse plus faible** que le système initial. On obtient donc également une **perte de masse**, donc une **libération d'énergie**.

La fusion et la fission sont donc deux phénomènes qui aboutissent à une perte de masse globale et à une libération d'énergie. Cela peut paraître **contradictoire** en comparaison avec ce qui a été vu avant avec les nucléons, d'autant que dans la fission on sépare un noyau en plusieurs éléments, alors que dans la fusion on forme un noyau à partir de noyaux préexistants.

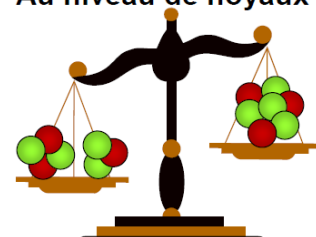
Pour expliquer cette contradiction, il faut revenir sur le graphique représentant l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de masse.

Ce qu'il faut retenir, c'est qu'une **augmentation du défaut de masse signifie que l'énergie de liaison par nucléon  $E_L/A$  augmente aussi, ce qui entraîne une libération d'énergie**.

Ainsi dans le cas de la **fusion**, qui concerne des **petits noyaux**, les noyaux obtenus auront une  $E_L/A$  plus importante, donc une **perte de masse avec libération d'énergie**.

Pour la **fission**, qui concerne les **gros noyaux**, on obtient également des noyaux avec une  $E_L/A$  plus importante, donc on a aussi une **perte de masse avec une libération d'énergie**.

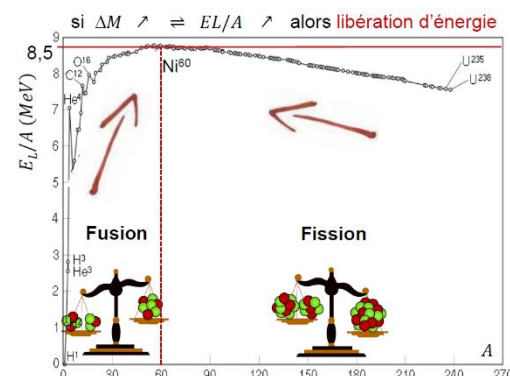
■ Au niveau de noyaux ?



Fusion de 2 petits ?

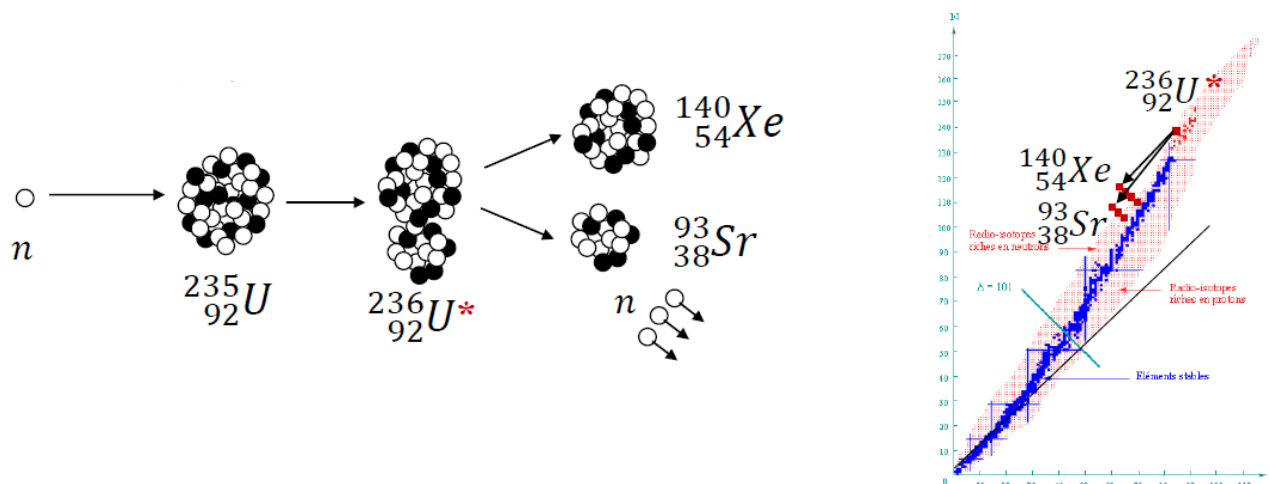


Fission d'un gros ?



## 6.1– Fission nucléaire

On va prendre l'exemple de l'**Uranium-235**, utilisé dans les centrales nucléaires pour produire de l'énergie.



La première étape est de bombarder notre Uranium-235 par un neutron, afin d'obtenir de l'Uranium-236, particulièrement **instable du fait de son excédent de nucléons**.

Pour retourner à la stabilité, ce noyau père d'Uranium-236 va se désintégrer, donnant deux noyaux fils, le Xenon-140 et le Strontium-93, ainsi que trois neutrons.

Au cours de ce processus, de l'énergie va bien sûr être libérée, cette énergie peut être calculée.

$$\begin{array}{rcccccc}
 & {}^1_0n & + & {}^{235}_{92}\text{U} & \rightarrow & {}^{140}_{54}\text{Xe} & + & {}^{93}_{38}\text{Sr} & + & 3 {}^1_0n \\
 E_{L/A} & 0 & & 7,5 & & 8,2 & & 8,5 & & 0 \\
 & & & \times 235 & & \times 140 & & \times 93 & & \\
 E_L (\Delta M) & 0 & & 1762,5 & & 1148 & & 790,5 & & 0 \\
 \text{Total avant} & = & 1762,5 \text{ MeV} & & \text{après} & = & 1938,5 \text{ MeV} & & & \\
 \Delta E_L & = & 1938,5 - 1762,5 = 176 \text{ MeV} & & & & & & & 
 \end{array}$$

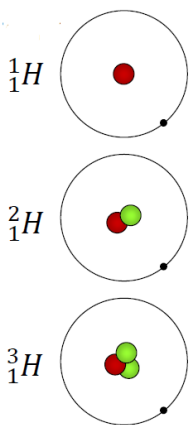
Pour calculer cette énergie libérée, on se base ici sur les **énergies de liaison par nucléon** :

1- On multiplie pour chaque élément par le nombre de nucléons pour obtenir l'**énergie de liaison globale**.  
(si on vous donne déjà les énergies de liaison globales dans l'énoncé pas besoin de cette étape)

2- On additionne les énergies de liaison globale de chaque côté afin d'avoir les **totaux d'énergies de liaison avant et après la transformation**.

3- On calcule la **différence d'énergie de liaison** afin d'obtenir l'**énergie libérée**, ici 176 MeV.

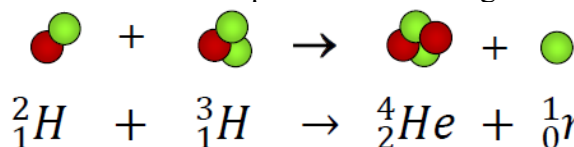
## 6.2– Fusion nucléaire



L'atome d'Hydrogène possède plusieurs isotopes :

$^1_1\text{H}$ , la forme classique de l'hydrogène,  $^2_1\text{H}$  pour le deutérium, et  $^3_1\text{H}$  pour le tritium

On va ici parler de la **fusion de deux atomes d'Hydrogène en un atome d'Hélium**, réaction essentielle permettant au soleil de produire de l'énergie.



Cette réaction de fusion s'effectue entre noyau de **deutérium** et un noyau de **tritium**, on obtient ainsi un atome d'Hélium et un proton.

On peut là aussi calculer l'énergie libérée par cette réaction, de la même manière que précédemment :

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

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

La méthodologie est la même que celle expliquée pour la fission, l'énergie libérée ici est de 17,6 MeV.

### Point important sur les calculs d'énergie libérée :

Parfois on ne vous donne pas dans l'énoncé les énergies de liaison par nucléon mais la masse des différents éléments consommés et produits.

Donc pour le calcul de l'énergie libérée, il suffit de **calculer le défaut de masse entre avant et après la réaction**. Pour cela rien de plus simple, on multiplie la masse de chaque élément par sa quantité (par exemple si on a 3 neutrons émis on multiplie la masse du neutron par 3), et on additionne les masses de chaque côté, afin d'avoir la **masse globale avant et après la réaction**. On soustrait les deux, et une fois qu'on a calculé ce défaut de masse, on a plus qu'à utiliser notre loi d'équivalence masse-énergie afin de retrouver l'énergie libérée. *Notez qu'en y regardant de plus près, c'est la même méthode que celle utilisée pour calculer l'énergie de liaison des nucléons dans le grand 3-*

### MAIS ATTENTION AUX UNITÉS++++

- $E_L = \Delta M \times c^2$  avec E en Joules,  $\Delta M$  en Kilogrammes et  $c = 3.10^8 \text{ m/s}$
- $E_L = 931,5 \times \Delta M$  avec E en MeV et  $\Delta M$  en u

La plupart du temps, on vous donnera dans l'énoncé les **masses en u**, il faudra donc utiliser la **deuxième formule** et vous aurez l'énergie libérée en MeV.

Si on vous demande une énergie en **Joules**, en vous donnant les masses en u, il faudra faire la conversion à la toute fin du calcul, une fois que vous aurez l'énergie libérée en MeV.

Pour rappel : **1eV = 1,6.10<sup>-19</sup> J**, donc pour passer de l'eV au J on multiplie par 1,6.10<sup>-19</sup>.

Donc pour les calculs d'énergie libérée lors d'une fusion/fission ou les calculs d'énergie de liaison des nucléons d'un noyau, pensez à bien utiliser les bonnes unités et la bonne formule. Ça vaut également pour les calculs que vous verrez dans les autres cours sur la radioactivité+++.

Exemple avec la fusion du deutérium et du tritium vue plus haut :

On donne (en u) :  $m(\text{deutérium}) = 2,0141$  //  $m(\text{tritium}) = 3,0160$  //  $m(\text{Hélium}) = 4,0026$  //  $m(\text{neutron}) = 1,009$

	${}^2_1\text{H}$	+	${}^3_1\text{H}$	→	${}^4_2\text{He}$	+	${}^1_0\text{n}$
Masse (u)	2,0141		3,0160		4,0026		1,009
Masses totales (u)	5,0301				5,0116		
ΔM (u)	ΔM = 5,0301 – 5,0116 = 0,0185 u						
E libérée (MeV)	E(libérée) = 931,5 x 0,0185 = <b>17,6 MeV</b>						

### 6.3– Applications

#### • La fission :

- **Bombe nucléaire**, comme celle utilisée par les Américains à Hiroshima, qui contenait de l'Uranium-235.
- **Centrales nucléaires**, qui produisent de l'électricité par fission de l'Uranium.

#### Explosives

##### Bombe A



#### Contrôlées

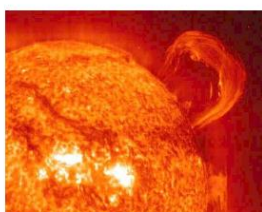
##### Centrale nucléaire



#### • La fusion :

- Nécessite beaucoup d'énergie à l'état naturel, retrouvée au niveau du **soleil**.
- **Bombe H** (pour Hydrogène).
- **Réacteurs thermonucléaires ITER**, projet de recherche visant à produire de l'électricité en utilisant la fusion.

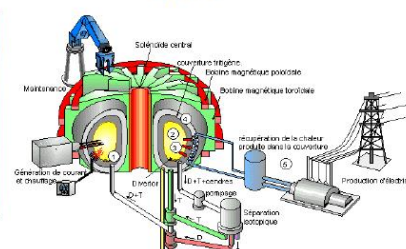
#### Soleil



#### Bombe H



#### ITER



International Thermonuclear Reactor

*Fin de cette fiche sur le noyau, là encore j'ai abrégé certaines parties, notamment l'intro et sa partie historique, et j'ai enlevé certaines parties qui n'avaient pas tellement d'intérêt pour la suite, ça veut pas dire qu'il faudra pas tout apprendre quand les cours seront sortis par les profs !! La fiche complète fait environ 16 pages du coup, pareil elle sortira une fois les cours donnés par les profs.*

*Dédi à vous tous qui bossez la biophy même si on est pas classant :')*