



## Le noyau

### I/ Introduction :

Le noyau= nuclide= nucléide. Il est important que connaitre les synonymes pour les QCM.

### ★ A- Historique :

C'est dans l'antiquité grecque vers **-400** que la **notion atome** apparait.

**Démocrite** fait une hypothèse intuitive (sans démonstration expérimentale) : la matière serait composée de particules élémentaires, indivisible et invisible, qu'il nomme atomes. Ils seraient éternels et immuables.

La variété de matière serait due à l'infinité de formes qu'ils peuvent prendre mais il **s'oppose à la théorie des 4 éléments d'Aristote** (croix d'Aristote) qui est bien plus populaire à l'époque et jusqu'à il y a peu.

Ce qui pousse **Démocrite à abandonner son idée**.

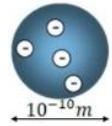


Sa théorie sera reprise en **1805 par Dalton** : l'atome se limite une sphère dure pleine de matière qui expliquerait les réactions chimiques (réassemblage d'atomes et de molécules).

**Thomson en 1897** découvre les **composants de l'atome** qu'il sépare selon leurs charges électriques. Il décrit l'électron est négatif avec une masse très faible <1% atome.

Globalement l'atome est neutre donc il faut compenser par des charges positives.

Pour cela il émet le **modèle du pudding au raisin** : les électrons (charges négatives) se répartissent dans l'atome (positif) comme des raisins secs dans la pâte du pudding.



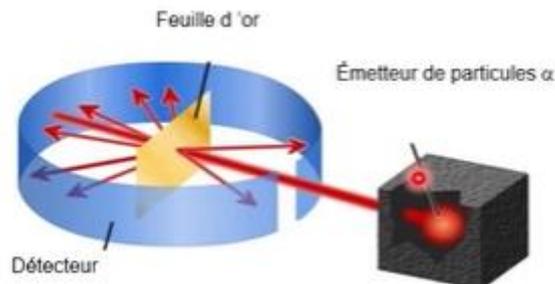
L'atome et son noyau sont **développés très nettement au 20ème** avec l'apparition de 2 zones distinctes : le noyau avec des charges positives et le nuage électronique avec des charges négatives gravitant autour. Plusieurs modèles sont émis : Rutherford (modèle planétaire), Bohr (couches électroniques), etc... Tout ceci continue d'évoluer.

### ★ B- Rutherford et son expérience de la feuille d'or :

Cette expérience permet de **comprendre la structure de l'atome**.

Rutherford travaillait à la base sur la radioactivité alpha (=noyau hélium). Il utilise de l'uranium radioactif (=émetteur de particule alpha) qu'il place dans une boîte en plomb avec un trou pour que les particules soient émises et s'échappe en formant un faisceau projeté sur une feuille d'or fine.

Il y avait une couronne de détecteur à 360° autour de la feuille d'or pour détecter les particules alpha.



Il s'attendait selon le modèle du pudding à ce que le faisceau traverse de manière assez homogène avec très peu de déviations.

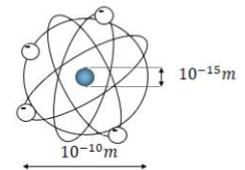
Or il **observe que la majorité traverse sans être dévié, un petit % est dévié légèrement et 1 particule sur 20 000 rebondit et tape le détecteur de plus de 90° voire 180°.**

Cela contredit le modèle atomique de l'époque et il propose une nouvelle structure de l'atome : **une structure lacunaire.**

Les **atomes** sont **constitués de vide** en majorité : un petit noyau central et beaucoup de vide autour donc :

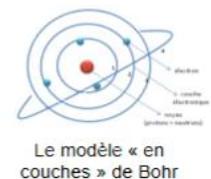
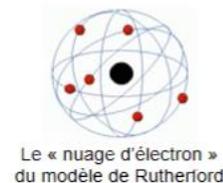
- ♥ Si les particules alpha traversent le vide elles ne sont pas déviées,
- ♥ Légèrement déviées si elles passent proches du noyau
- ♥ Si choc avec le noyau : grosse déviation.

Il **propose donc un modèle planétaire de l'atome** : les électrons négatifs sont satellisés autour du petit noyau central positif concentré à  $10^{-15}$  qui contient la quasi-totalité de la masse de l'atome et le rayon de l'atome est  $10^{-10}$ . C'est une structure lacunaire.



*"L'atome est comme un pépin d'orange (=noyau) sur la pointe de l'obélisque et les poussières (=électrons) gravitent à la distance de l'hôtel Trions à Paris. Le noyau est donc beaucoup de vide avec un espace infime occupé. "*

Modèle de **Rutherford** où les électrons sont dans un **nuage** et celui de **Bohr** où les électrons sont sur des **couches électroniques** bien définies où l'énergie est quantifiée précisément, sont 2 modèles qui s'affrontent.



## II/ Composition du noyau et classification :

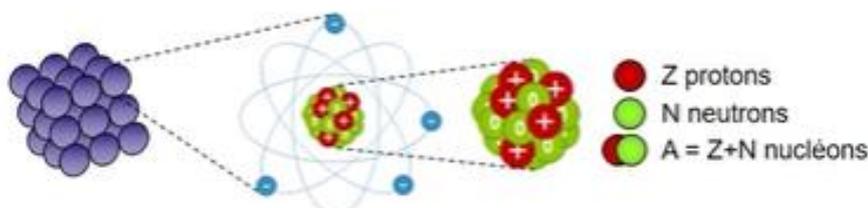
Le **noyau est donc un assemblage compact de protons et de neutrons**, on définit :

- ♥  $Z$  = nombre de proton proportionnel à la charge électrique du noyau
- ♥  $N$  = nombre de neutron ( $A-Z$ )
- ♥  $X$  = symbole de l'élément
- ♥  $A$  = nombre de neutron et de proton donc nombre de nucléons ou nombre de masse du noyau



$A$  = nombre de masse  
 $Z$  = numéro atomique

**N et Z sont les nucléons** car ils sont à l'intérieur du noyau



## A- Classement des noyaux :

### a- Tableau périodique des éléments = classification de Mendeleïev :

C'est la classification des atomes en fonction du **nombre de protons** (numéro atomique Z) **croissant** dans le noyau, qui est indissociable de l'élément chimique. Un atome avec 6 protons c'est toujours du carbone, son nombre de neutrons peut changer mais ça restera toujours du carbone.

Classification périodique des éléments (de Mendeleïev).

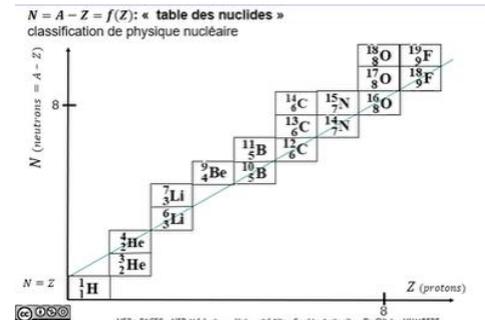
1 H									2 He
3 Li	4 Be								10 Ne
11 Na	12 Mg								18 Ar
19 K	20 Ca								36 Kr

Les **colonnes** rapprochent des **familles d'éléments** avec des **propriétés physico chimiques similaires**.

### b- La table des nuclides : ★

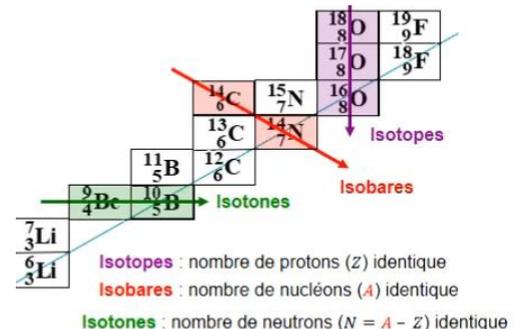
Cette table des nuclides est une bible pour les physiciens nucléaires. C'est une **classification plus adaptée à la radioactivité**.

Elle classe les atomes dans un repère cartésien avec un abscisse le nombre de proton et en ordonné le nombre de neutron.



On répertorie un peu moins de 300 nuclides naturels assez stables et plus de 2500 radioactifs. Ils sont tous répertoriés sur la table des nuclides. Il fait apparaître les isotopes, isobare et isotones. On voit alors les **variétés isotopiques des éléments**.

- ★ ♥ **Isotope** : même Z mais N différent. Même symbole chimique sur une colonne
- ★ ♥ **Isotone** : même nombre de neutrons mais le reste change sur une ligne
- ♥ **Isobare** : le nombre de nucléons A identiques mais Z change donc pas le même élément, dans une diagonale décroissante



**L'abondance isotopique est l'abondance d'un isotope d'un même élément à l'état naturel.**

En effet certains éléments sont présents sous la forme d'un mélange de plusieurs éléments. C'est donc la fraction molaire de l'élément dans le mélange : 98.89% C12, 1.11% C13, traces C14.

## B- Les nucléons :

Les scientifiques ont développé l'UMA pour que la masse des nucléons soit égale à 1. Or le **proton et le neutron n'ont pas exactement la même masse**. Cette différence de masse est fondamentale car représente la **stabilité** de l'univers et permet son existence.

Cette **différence de masse** provient aussi de **l'énergie de liaison** variable selon le nuclide alors on utilise le carbone 12 comme élément de référence : la masse d'un atome de carbone 12 vaut 12 unités de masse atomique. D'après l'équivalence masse énergie  $1u=931.5 \text{ MeV}/c^2$ .

Particules	Ecriture	Etat libre	Dissociation hors noyau radioactif	Charge	Masse en u
Proton	${}^1_1\text{H}, {}^1_1\text{p}, \text{H}^+$	Stable	Acide	1eV	1.007
Neutron	N	Instable (10min)	$\text{P} + e^- + \text{antineutrino}$	0	1.009

### C- Particules élémentaires :

Les **particules élémentaires** sont classées en **2 types** (quark et lepton) et sont classés en **3 familles**. La **famille ordinaire** est celle qui nous intéresse car famille de la **matière du quotidien**.

	I	II	III	
mass	2.2 eV/c <sup>2</sup>	1.37 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	-2.2 eV/c <sup>2</sup>	-0.17 MeV/c <sup>2</sup>	-1.777 GeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	ν <sub>e</sub> electron neutrino	ν <sub>μ</sub> muon neutrino	ν <sub>τ</sub> tau neutrino	Z <sup>0</sup> 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	-1
	1/2	1/2	1/2	1
	e electron	μ muon	τ tau	W <sup>±</sup> W boson

Elle comporte :

♥ **Les leptons** se déplacent **librement** et ne sont **pas confinés dans le noyau** :

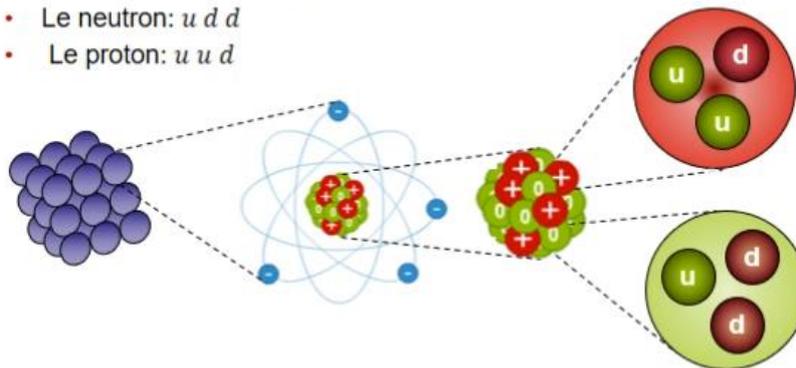
- ♣ Electron
- ♣ Neutrino (difficile à observer, masse très faible).

♥ **2 types de quarks** :

- ♣ Particules **cachées dans les protons et neutrons** avec charges entières : **up** (+2/3 e) et **down** (-1/3 e).
- ♣ Les nucléons sont composés de 3 quarks : **neutron (udd) et protons (uud)**.
- ♣ Les **quarks sont l'unité élémentaire** de la matière et pas les nucléons comme on pensait. On remarque que la somme des quarks donne bien la charge du nucléon qu'il représente : +2/3-1/3-1/3=0 ; +2/3+2/3-1/3=1.

**Les nucléons sont composés de 3 quarks:**

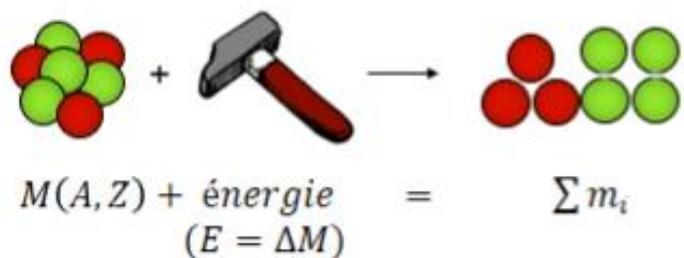
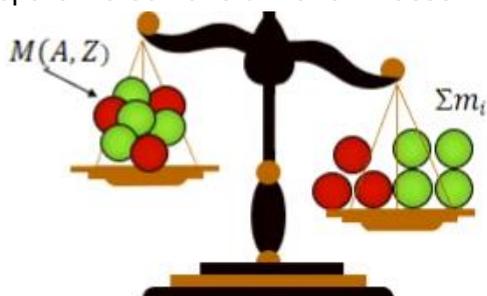
- Le neutron: *u d d*
- Le proton: *u u d*



### III/ Energie de liaison et défaut de masse :

La **masse d'un noyau constitué** est **inférieure à la somme des masses de ses nucléons** qui le compose pris **individuellement**.

C'est ce qu'on appelle le défaut de masse = somme masse nucléons - la masse totale du noyau regroupé. Elle est **liée à l'énergie de liaisons** des nucléons dans le noyau **en Joule** qui est **l'énergie à fournir pour dissocier les nucléons**. En gros cette énergie qu'on apporte pour les séparer va se transformer en masse.



L'énergie de liaison se calcule comme ça :  $E_l = \text{défaut de masse (kg)} \cdot c^2 \text{ J}$ . ★★  
 On convertit :  $E_l = 931.5 \cdot \text{défaut de masse (u)} \text{ MeV}$

On généralise ce défaut de masse à d'autres groupe de particules : celui du noyau et les nucléons en MeV, celui de l'atome avec les électrons en keV, celui des molécules et de l'atome en eV.

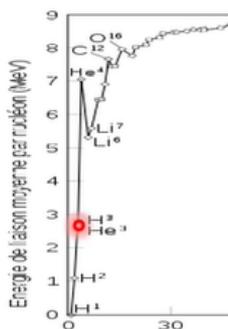
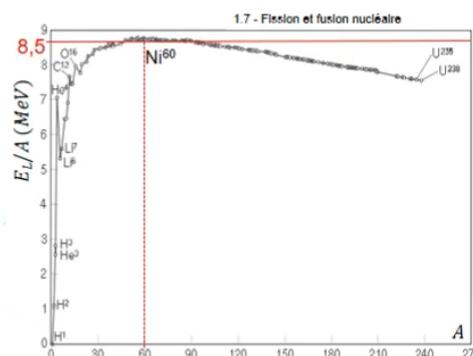
**L'énergie de liaisons des nucléons d'un noyau est l'énergie à apporter au noyau pour les dissocier et se transforme en masse ce qui explique le défaut de masse.**

#### IV/ Facteurs de stabilité :

##### ★ a- Energie de liaison par nucléons :

C'est l'énergie qui lie les nucléons : on les représente sur une courbe où les ramène à leur énergie par nombre de masse :  $E_l/A$ . Elle est comprise **entre 2 et 8,5/9 MeV par nucléons**.

On compare donc le rapport de stabilité et dépend de chaque nuclide : **plus  $E_l/A$  augmente plus le noyau est stable avec un pic à 8.5MeV pour le nickel 60, puis le nombre de masse augmentant la courbe commence à décroître doucement.**



On remarque des **pics pour certains noyaux** : dû à une augmentation à un moment donné et donc une **grande stabilité** on introduit la notion de **nombre magique** (2.8.20.28.50.82.) alors on observe une majoration de stabilité.

Si le **nombre de protons ou de neutron est égal à un nombre magique alors il y a un pic de stabilité**. L'hélium est doublement magique car son nombre de neutron et de protons sont tous deux magiques comme l'O 16.

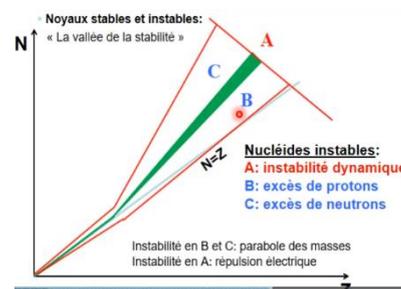
##### b- Nombre de neutron :

Les noyaux stables sont sur un endroit précis :

- ♥ Les noyaux **Z<20 sont stables sur N=Z** (1<sup>ère</sup> bissectrice),
- ♥ A augmentant les noyaux stables quittent la 1<sup>ère</sup> bissectrice et le **nombre de neutron augmente** plus le nombre de proton car il n'y a pas que l'interaction forte mais aussi une **interaction répulsive coulombienne** donc on doit augmenter son nombre de neutron pour **compenser** les forces coulombienne **en augmentant les interactions fortes** entre les nucléons.

Il faut donc que **N soit légèrement > à Z**.

- ♥ Cette zone de stabilité s'appelle la vallée de la stabilité.
- ♥ Ceux qui sont **en dehors sont alors radioactifs** si **A>200** ils sont en grande majorité en **instabilité** car dans la zone A d'instabilité dynamique où les **forces électrostatique de répulsion** des protons vont **l'emporter** sur les **forces nucléaires de cohésion**.  
 Si N en excès : dessous vallée, si excès Z : au-dessus vallée.



c- Parité du nombre de nucléons :

Si les noyaux sont pairs les noyaux sont plus stables. Cela est dû au spin  $\pm 1/2$  des nucléons qui se regroupent par paires.

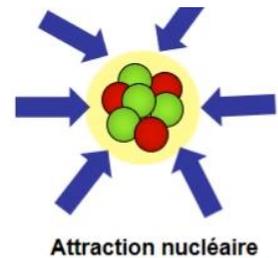
Z	N	A	Nbre de noyaux stables
pair	pair	pair	166
pair	impair	impair	55
impair	pair	impair	51
impair	impair	pair	5

VI/ Forces nucléaires :

Elles sont liées aux interactions des nucléons au sein du noyau responsable de la stabilité du noyau. L'intensité de ces forces va correspondre à l'énergie moyenne de liaison au sein du noyau.

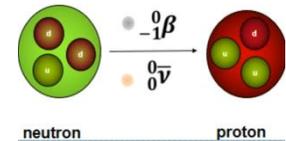
a- Principale= interaction forte :

C'est une interaction **spécifique** au noyau qui **assure la cohésion** car c'est une force **attractive**. Elle est **100 à 1000 fois supérieure** à la force **électrostatique**. Elle est attractive à très **courte distance** à moins de  $1-2 \cdot 10^{-15}m$ , donc il faut que le proton ou neutron soit proche du noyau pour le ressentir, il est alors capturé par le noyau. Elle est responsable du défaut de masse. C'est la **mise en commun des gluons** qui sont des particules attractives très forte qui assure la cohésion du noyau.



b- Interaction faible

A l'intérieur même des nucléons et responsable de la **radioactivité isobarique**, distance très faible. Elle est **discrète**. Elle est fondamentale car **peut changer la nature d'un noyau** : transformation d'un neutron en positon ou vice versa. Permet au soleil de briller. Elle est **répulsive**.

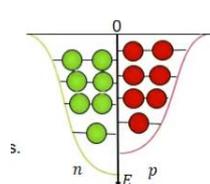
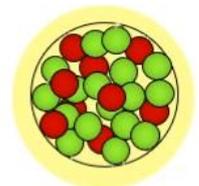


c- Forces électrostatique :

Elle est **répulsive** et agit sur les protons. C'est une force coulombienne  $1/r^2$ , **non spécifique**, explique noyau lourd avec excès neutrons pour maintenir la cohésion. Elle est présente **dans le noyau** car les protons ont des charges positives et se repoussent. Elle explique la **nécessité d'augmenter le nombre de neutrons** pour augmenter la stabilité pour compenser la répulsion. L'intensité est **proportionnelle au produit des 2 charges** et **inversement proportionnelle au carré de la distance**. Or dans le noyau la distance est très faible donc la force est forte. Mais elle reste inférieure à l'interaction forte.

VI/ Modèles :

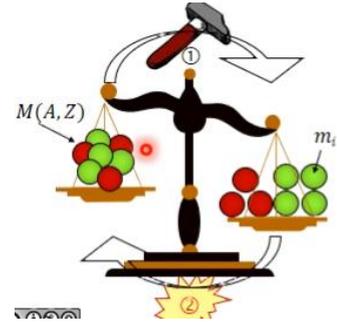
Goutte sphérique : le noyau est un **liquide constitué de nucléons** qui sont **confiné par l'interaction forte** représentée comme une goutte. Il est sphérique, incompressible, la densité et la répartition des charges est homogène.



Modèle en couche : on attribue des **nombre quantiques** aux nucléons qui se **répartissent des couches** et sous couches avec un nombre maximum par couche. Système différent pour les protons et neutrons. **Explique la stabilité des noyaux à nombres magiques** qui entraînent la stabilité maximum du noyau car leurs couches sont saturées.

VII/ Fission et fusion :

On reprend la loi d'équivalence masse énergie : **le gain de masse vient d'une consommation d'énergie et la perte de masse est transcrite en énergie**. On distingue alors l'énergie de liaison de l'énergie de l'extérieur que le système va soit consommer ou libérer.



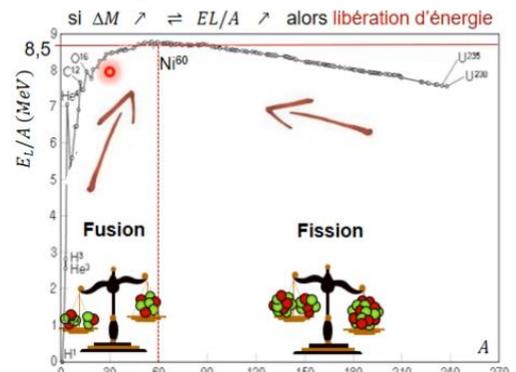
On a un noyau X (A, Z) lié par l'interaction forte.

**Si on veut le séparer** en ses différents nucléons on doit **apporter de l'énergie pour casser** les liaisons qui lie les nucléons et on a alors un **gain de masse** des nucléons individuels.

A l'inverse **les nucléons peuvent se remettre** ensemble en **perdant de la masse** (défaut de masse) ce qui **utilise/libère de l'énergie**.

Fusion et fission libèrent tous deux de l'énergie (fusion 6\* plus)

**La fusion** de 2 noyaux petits en 1 noyau plus grand entraîne une **augmentation de l'énergie de liaison** par nucléon (donc une augmentation de la stabilité), une **perte de masse** et donc une **libération d'énergie** à l'extérieur. Elle concerne les noyaux légers avec un **nombre de masse faible**.

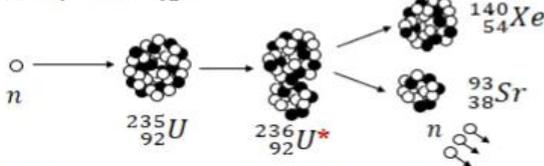


*A parte : j'ai eu une question sur le forum concernant ça. La perte de masse signifie que la masse des 2 noyaux additionnés est supérieure à la masse du noyau final.*

**La fission** d'un noyau volumineux en 2 noyaux plus petit entraîne une **libération d'énergie** car les 2 noyaux auront une **masse plus importante** que le noyau initial. Elle concerne, elle, les noyaux lourds avec un grand nombre de masse et il y a également une augmentation de l'énergie de liaison par nucléon.

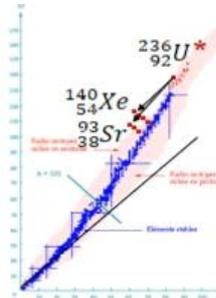
Exemple fission : uranium 235

Exemple de  $^{235}_{92}\text{U}$



Calcul de l'énergie libérée (via l'évolution des  $E_L$ )

	$\frac{1}{0}n$	$+ \ ^{235}_{92}\text{U}$	$\rightarrow$	$\ ^{140}_{54}\text{Xe}$	$+ \ ^{93}_{38}\text{Sr}$	$+ \ 3\frac{1}{0}n$	
$E_{L/A}$	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			
	$\Delta E_L = 1938,5 - 1762,5 = 176 \text{ MeV}$						



On le bombarde par un neutron qui donne de l'uranium 236 instable, il se sépare en exemple xénon et strontium+ 3neutrons. Ils se retrouvent encore dans une zone d'instabilité et donc on crée une cascade de réactions.

