

Transformations nucléaires

Introduction

Relire « l'évolution des idées en physique » p240 et 241 et les deux pages web suivantes (le site entier est très bien fait) :
<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/decouvertedunoyau.htm>
<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lexperiencederutherford.htm>

- 1) Qui sont les savants (un physicien et ses deux élèves) qui ont mis en évidence un noyau dense au sein de l'atome ?
Quand ? Où ?
- 2) Quelle évolution de la représentation d'un atome s'est faite grâce à leurs expériences ?
- 3) Comment sont-ils parvenus, à l'issue des résultats de leurs expériences, à présenter ce nouveau modèle de l'atome ?

I Particules élémentaires et noyaux atomiques

1) Des particules élémentaires connues

Le proton, le neutron et l'électron sont des particules élémentaires qui vous sont connues :

Particule élémentaire	Masse (unité du SI :)	Charge (unité du SI : ...)
	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$ notée « + e »
	$1,675 \cdot 10^{-27}$	0
	$9,11 \cdot 10^{-31}$	

Dans un noyau atomique, on ne trouve que des _____ et des _____. On réunit donc ces deux particules élémentaires sous le terme générique de « _____ ».

2) Une nouvelle particule élémentaire

Le positon est une nouvelle particule élémentaire qui a la masse de l'électron mais une charge opposée.

3) Comment sont notées les particules élémentaires en physique nucléaire ?

On leur associe deux lettres Z et A :

$${}^A_Z P \text{ où } P \text{ désigne la particule}$$

A est appelé _____

Z est appelé _____

_____ pour les particules et de manière générale.

particule	notation
Proton	
Neutron	
Electron	
Positon	

4) Le cas particulier des noyaux

a) Constitution

Un noyau est uniquement composé de nucléons se répartissant en neutrons et protons. Un noyau ne possède donc que des charges _____ ou _____. Il est donc globalement chargé _____.

A est toujours appelé nombre de nucléons.

Z est toujours appelé nombre de charge mais correspond aussi exactement **pour un noyau** à son nombre de _____.

A-Z correspond donc pour un noyau _____.

Exemple : ${}^{14}_7 N$ désigne _____

b) Elément chimique

Tous les noyaux qui possèdent le même nombre de charge Z sont regroupés au sein d'un même « élément chimique ». Un élément chimique est caractérisé ainsi par son nombre Z, ou encore un X ou encore . Z est parfois appelé « numéro atomique » pour les noyaux.

c) Isotopie

Deux noyaux qui possèdent le même nombre de mais

(c'est-à-dire encore deux noyaux qui ont même nombre de protons et un nombre de neutrons différents) sont appelés noyaux isotopes (d'un même élément). Chaque isotope d'un élément possède une abondance relative.

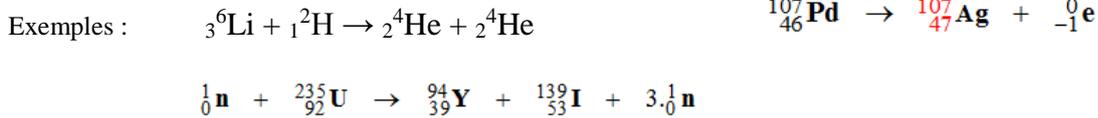
Exemple : l'élément chlore possède deux isotopes, compléter le tableau

Symbole	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Abondance relative
$^{35}_{17}Cl$			75,8%
$^{37}_{17}Cl$			

II Lois de conservation lors d'une transformation nucléaire

1) Equation nucléaire

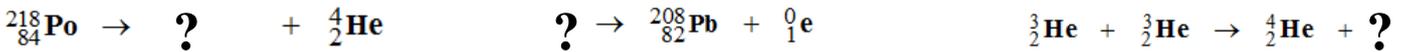
Une transformation nucléaire est modélisée par une réaction nucléaire elle-même symbolisée par une équation nucléaire.



Dans une réaction nucléaire apparaissent donc des noyaux et/ou des

2) Lois de conservation ou de Soddy (élève de Rutherford)

Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation



3) Le principe de Lavoisier n'est plus valide en physique nucléaire !

Attention ! Il ne faut raisonner qu'en A et Z, le principe de Lavoisier (réarrangement mais conservation des particules lors des transformations chimiques : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »), n'est pas vérifié pour les transformations nucléaires !

Exemples : quelles sont les variations de protons Δp, de neutrons Δn, d'électrons Δe- et de positon Δe pour les réactions nucléaires suivantes ?

	Δp	Δn	Δe-	Δe
$^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^0_{-1}e$				
$^1_0n \rightarrow ^1_1p + ^0_{-1}e$				
$^0_{-1}e + ^0_1e \rightarrow ?$				

4) Les différentes réactions rencontrées

On distingue :

- les réactions nucléaires (sans aucun apport extérieur, on dirait dans le langage courant qu'elles se font « toutes seules »),
- les réactions nucléaires (qui ne peuvent avoir lieu qu'avec un apport externe d'énergie ou de particules par exemple).

III Les réactions nucléaires spontanées

1) Stabilité et instabilité des noyaux

a) Interactions dans le noyau

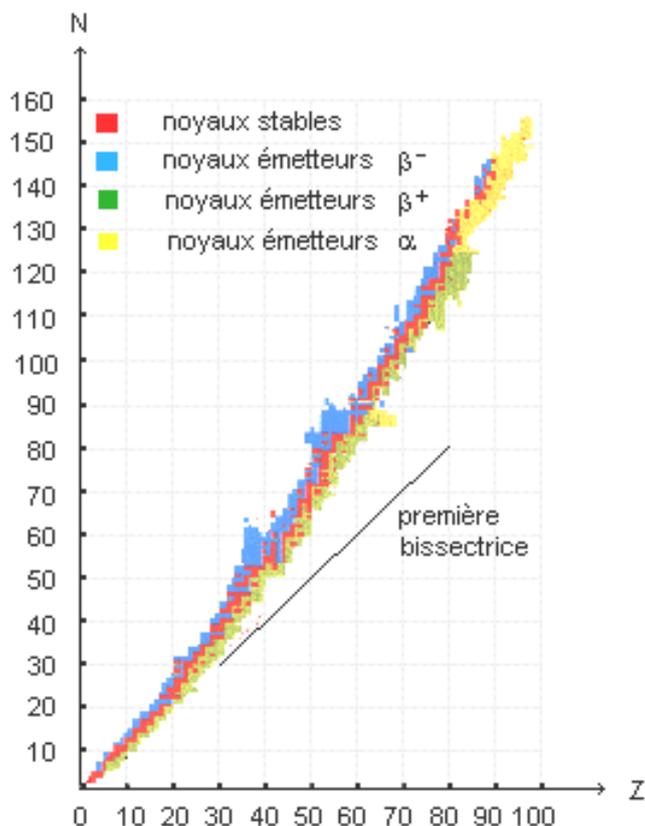
Les particules d'un noyau exercent entre elles trois interactions principales de nature différente :

- interaction gravitationnelle : entre particules possédant une masse. Tous les constituants du noyau sont concernés. C'est une interaction attractive mais elle est négligeable face aux autres interactions dans le noyau étant données les faibles masses mises en jeu.)
- interaction électrostatique : entre particules chargées uniquement. Seuls les protons sont concernés dans le noyau. Les protons possédant tous une charge de même signe, cette interaction est répulsive.
- interaction forte : entre toutes les particules. C'est une interaction attractive très intense dans le noyau en raison de la grande proximité des particules.

Un noyau sera stable si les effets de l'interaction forte « équilibrent » les effets de l'interaction électrique. Dans le cas contraire, le noyau est instable.

Sur les 1500 noyaux connus aujourd'hui, seuls 260 sont stables. Les autres noyaux se désintègrent spontanément, plus ou moins rapidement selon leur composition.

b) Diagramme de Ségré



i) Construction

Il permet d'étudier la répartition des noyaux stables et instables. En abscisse est reporté Z donc le nombre de protons pour les noyaux. En ordonnée est reporté $N = A - Z$ donc le nombre de Chaque petit carré correspond alors à un couple $(Z, A - Z)$ particulier c'est-à-dire aussi à un couple (A, Z) particulier donc à un noyau.

Donc dans une même colonne, on trouve tous les noyaux ayant le même mais des $A - Z$ différents donc des, donc en réalité tous les noyaux d'un même

Attention ! Parfois, le diagramme de Ségré positionne N en abscisse et Z en ordonnée. Il faut s'adapter.

ii) Exploitation

Les noyaux stables sont situés dans la « ».

Pour $Z < 20$, cette vallée est voisine de la première diagonale. Puis elle s'en écarte : la stabilité n'est assurée que si le nombre de neutrons devient au nombre de protons (car sinon l'interaction électrique l'emporte sur l'interaction forte).

Aucun noyau dont le numéro atomique est supérieur à 83 n'est stable.

iii) Conséquence : radioactivité

Les noyaux instables se transforment spontanément en noyaux **stables**. Ces transformations tout à fait particulières ont les

caractéristiques suivantes :

- elles font intervenir les particules du noyau (contrairement aux transformations qui ne font intervenir que les électrons en laissant les noyaux intacts) et appartiennent en cela à la famille des transformations
- elles produisent une émission de particules parfois accompagnée d'un rayonnement électromagnétique. Ce phénomène, découvert à Paris en 1896 par Becquerel est appelé

Chaque noyau instable qui se désintègre est dit Les transformations auxquelles ils participent ainsi et durant lesquelles ils se sont les transformations nucléaires spontanées et sont appelées par abus de langage « radioactivité α , β^- et β^+ ».

2) Radioactivité α , β^- et β^+

a) Equation générale pour les transformations nucléaires spontanées

Une transformation nucléaire spontanée est modélisée par une réaction nucléaire spontanée elle-même symbolisée par une équation nucléaire dont la forme générale est la suivante :

${}^A_Z X$ désigne le noyau

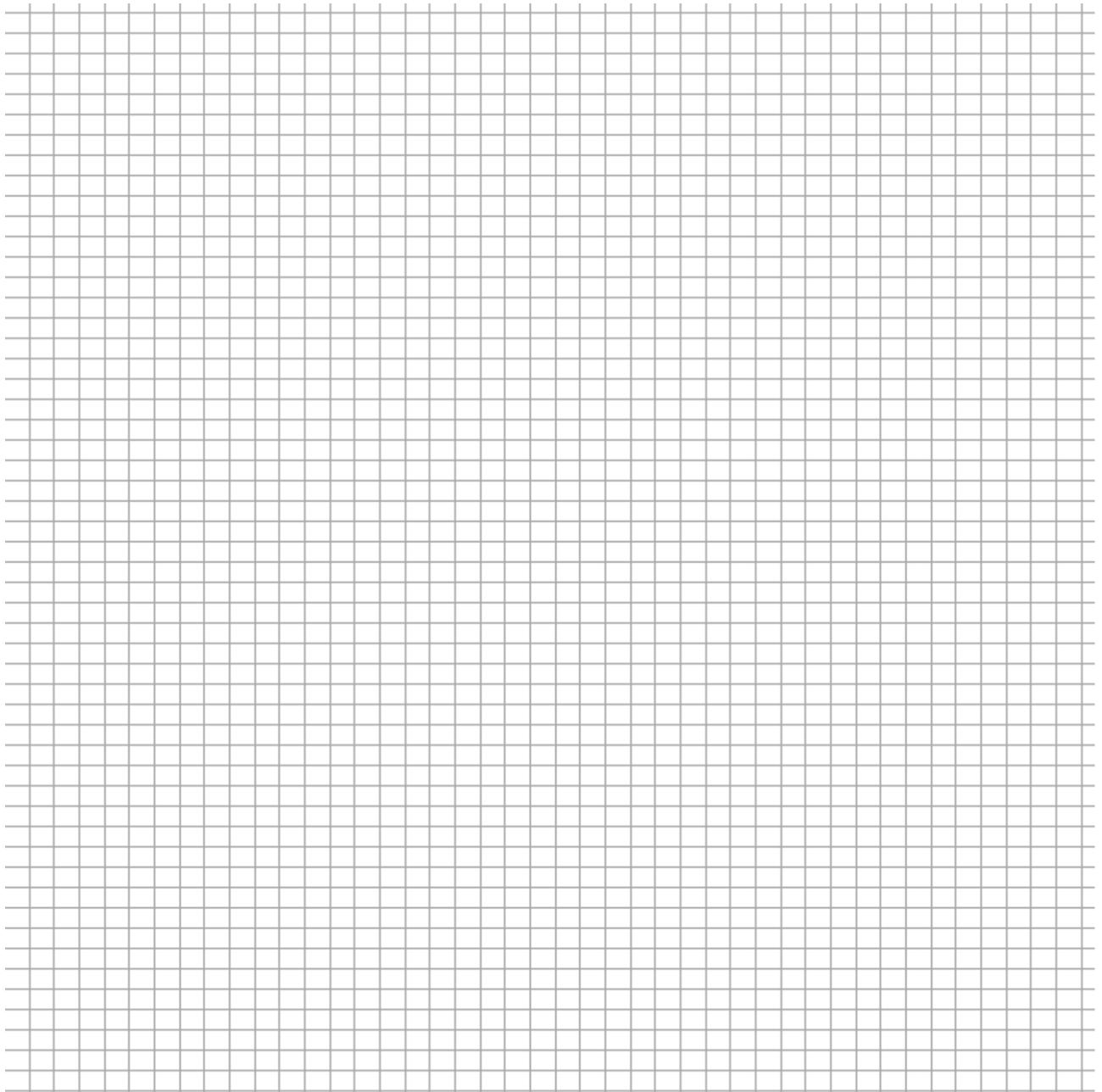
${}^{A_1}_{Z_1} Y$ désigne le noyau

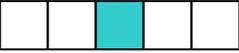
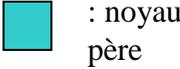
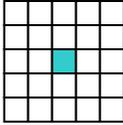
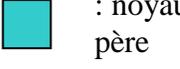
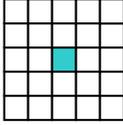
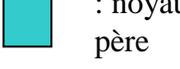
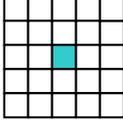
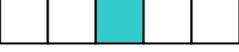
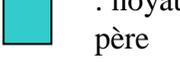
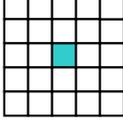
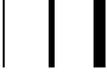
${}^{A_2}_{Z_2} P$ désigne

b) Radioactivité α , β^- et β^+ : définitions et propriétés

Voir grand tableau

3) Danger d'une source radioactive naturelle



Radioactivité	Equation générale	Particule émise	Type de noyaux pères impliqués	exemple	Déplacement dans le tableau périodique des éléments	Déplacement dans le diagramme de Segré (Z ;A-Z)	Caractéristiques du rayonnement : les traits représentent une feuille de papier, une plaque d'aluminium de 3 mm d'épaisseur et un mur de béton de forte épaisseur respectivement
Radioactivité α	${}^A_Z X \rightarrow \dots\dots X + {}^4_2 He$	Particule α ou	Eléments	${}^{222}_{86} Rn \rightarrow \dots\dots + {}^4_2 He$	 		
Radioactivité β^-	${}^A_Z X \rightarrow \dots\dots X + {}^0_{-1} e$	Particule β^- ou.....	Eléments possédant trop de	${}^{60}_{27} Co \rightarrow \dots\dots + \dots\dots$	 		
Radioactivité β^+	${}^A_Z X \rightarrow \dots\dots X + {}^0_1 e$	Particule β^+ ou.....	Eléments possédant trop de	${}^{30}_{15} P \rightarrow \dots\dots + \dots\dots$	 		
Désexcitation γ	${}^A_Z X^* \rightarrow \dots\dots X + \gamma$	Rayonnement γ		${}^{30}_{14} Si^* \rightarrow \dots\dots + \dots\dots$	 		

IV Les réactions nucléaires provoquées

1) Critère commun

Lors d'une réaction nucléaire provoquée, un noyau cible est frappé par un autre noyau ou une particule pour donner naissance à d'autres noyaux. Parmi ces réactions, on trouve les réactions intéressantes de fission et de fusion nucléaires.

2) Réaction de fusion nucléaire

Des noyaux légers vont pouvoir fusionner ensemble pour donner un noyau plus lourd et plus stable. C'est une **réaction de fusion**.

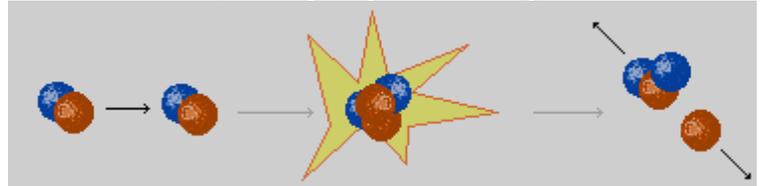
La fusion est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd et plus stable avec éventuellement éjection de particules.

Cette réaction n'est pas spontanée (à la différence des désintégrations, voir IV) : les deux noyaux légers ont tendance à se repousser car chargés tous deux positivement. Pour fusionner, il faut qu'ils possèdent une grande vitesse donc une grande énergie notamment, ceci est possible notamment au cœur des étoiles. Une particule élémentaire peut être rejetée (voir figure ci-

contre où deux noyaux ${}^2_1\text{H}$ s'unissent pour donner

un nouveau noyau ${}^3_1\text{H}$ plus lourd et un proton)

Donner l'équation de cette réaction nucléaire :



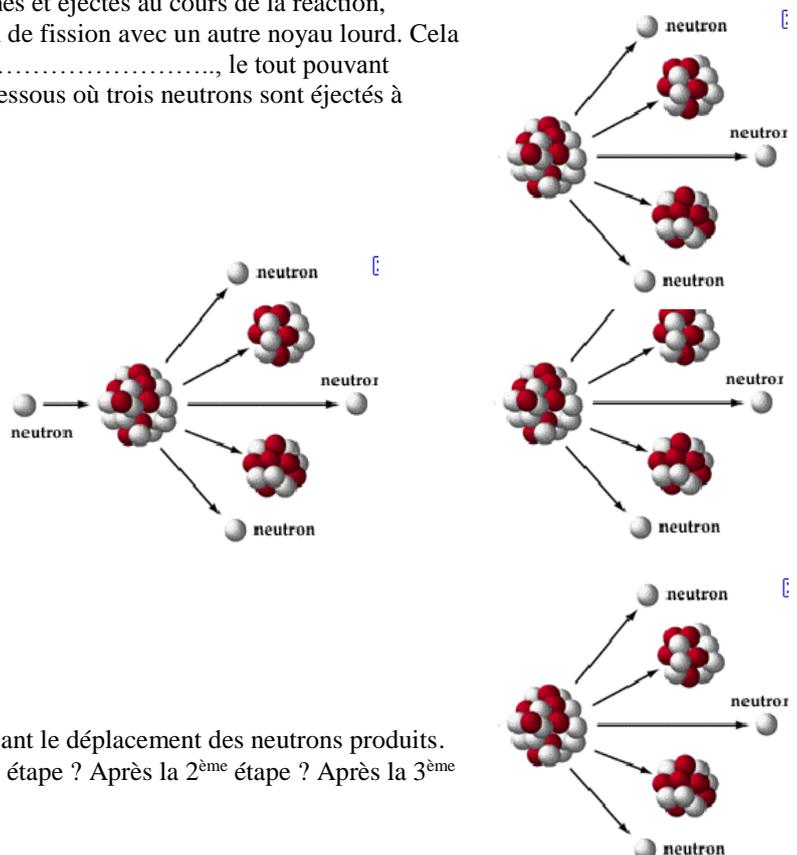
Autre exemple : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.

3) Réaction de fission nucléaire

Les noyaux les plus lourds ($A > 200$ par exemple) vont pouvoir se briser pour se transformer en noyaux plus légers et plus stables. C'est une **réaction de fission**.

La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd se brise pour donner deux noyaux plus légers et plus stables. Dans la plupart des cas, cette réaction n'est pas spontanée. On amorce la réaction en projetant un neutron sur le noyau lourd.

Plusieurs neutrons sont en général formés et éjectés au cours de la réaction, pouvant à leur tour amorcer chacun une réaction de fission avec un autre noyau lourd. Cela crée une suite de réactions « en chaîne » ou en, le tout pouvant devenir (voir figure ci-dessous où trois neutrons sont éjectés à chaque fois mais ce nombre peut être différent).



- Faire figurer trois flèches manquantes symbolisant le déplacement des neutrons produits.
- Combien trouve-t-on de noyaux fils après la 1^{ère} étape ? Après la 2^{ème} étape ? Après la 3^{ème} étape ?

Autre exemple : ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3{}^1_0\text{n}$

Bien maîtrisée, bien exploitée, ce genre de réaction peut être utilisé dans les centrales nucléaires.

Mal maîtrisée, ou exploitée de manière amorale, ce genre de réaction peut conduire à des catastrophes.