

Structure de la matière et transformations physiques, chimique ou nucléaires

Table des matières

I. Structure de la matière	2
I.1. Les différents éléments	2
I.2. Caractéristiques de l'atome	2
I.3. Molécules, ions	3
II. Les différents états d'un corps pur	3
II.1. Description	3
II.2. Transformation physique : transition de phase	4
II.3. Masse volumique	4
III. Quantité de matière : la mole	6
III.1. Constante d'Avogadro	6
III.2. Masse molaire	6
IV. Réaction chimique	7
IV.1. Schéma réactionnel	7
IV.2. Avancement d'une réaction	8
IV.3. Réactif limitant	8
V. Transformation nucléaire	11
V.1. Instabilité des noyaux	11
a) Diagramme de Segré	11
b) Lois de conservation	12
V.2. Les trois types de radioactivité	12
V.3. La fission de l'uranium	13
V.4. La fusion nucléaire	14

I. Structure de la matière

I.1. Les différents éléments

D'après Wikipédia :

Le tableau périodique des éléments, également appelé table de Mendeleïev, ou classification périodique des éléments, représente tous les éléments chimiques, ordonnés par numéro atomique croissant et organisés en fonction de leur configuration électronique, laquelle sous-tend leurs propriétés chimiques.

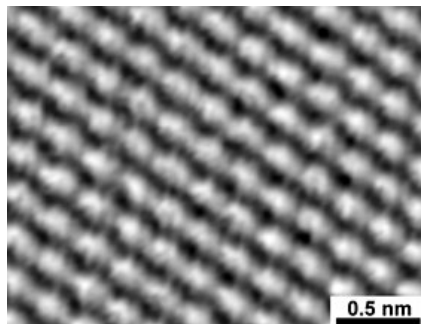


FIGURE 1 : Atomes de carbone à la surface de graphite observés par microscope à effet tunnel.

La plus petite entité caractéristique d'un élément est l'**atome** (du grec ancien *atomos*, « insécable »).

Les atomes peuvent se combiner chimiquement pour former des **molécules** (exemple : H_2O).

I.2. Caractéristiques de l'atome

Un atome est constitué d'un **noyau** entouré d'**électrons** formant un "nuage électronique".

Le noyau est lui même constitué de **nucléons** reliés par l'interaction forte :

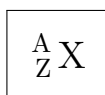
- des **protons** de charge positive $+e$
- des **neutrons** de charge nulle

Chaque électron porte une charge négative $-e$.

La charge élémentaire e fait partie désormais des constantes fondamentales fixées en unité SI :

$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C. On retient $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

On représente l'atome d'un élément X par :



- Z **numéro atomique** = nombre de protons du noyau. C'est lui qui caractérise l'élément.
- A **nombre de masse** = nombre de nucléons (protons+neutrons) du noyau

Exemples : $^{12}_6\text{C}$; $^{13}_6\text{C}$; $^{14}_6\text{C}$.

 Comment qualifie-t-on ces différents atomes ?

Ces atomes représentent les différents **isotopes** du carbone.

Deux noyaux **isotopes** ont le même nombre de protons mais des nombre de neutrons différents.

 Citer une utilisation du $^{14}_6\text{C}$.

[Datation au carbone 14.](#)

Un atome étant neutre, il possède un nombre d'électrons égal au nombre de protons.

La taille d'un atome est de l'ordre de 10^{-10} m soit $1 \text{ \AA}$ (angström).

La taille du noyau est de l'ordre du femtomètre (10^{-15} m).

 Calculer le rapport des volumes occupés par l'atome et par le noyau en supposant ces volumes sphériques. Commenter.

$$\frac{V_{\text{atome}}}{V_{\text{noyau}}} = \left(\frac{10^{-10}}{10^{-15}} \right)^3 = 10^{15}$$

Le noyau occupe une infime partie du volume de l'atome.

I.3. Molécules, ions

En général les **atomes** s'associent entre eux pour former des **molécules**. Une molécule est un groupement d'atomes reliés par des liaisons chimiques et globalement neutre (exemples : O_2 , H_2O , CH_4).

Un atome, ou une molécule, peuvent gagner ou perdre des électrons. On distingue

- les **anions** de charges négatives (exemples : Cl^- , SO_4^{2-}).
- les **cations** de charges positives (exemples : Na^+ , Cu^{2+}).

II. Les différents états d'un corps pur

II.1. Description

Un **corps pur** ne comporte qu'une seule espèce chimique. On distingue

- le **corps pur simple** : constitué un seul élément chimique (exemple : le carbone C, le dioxygène O_2 ...)
- le **corps pur composé** : constitué de plusieurs éléments chimiques (exemple : H_2O , NH_3).

Un mélange eau+alcool n'est pas un corps pur. De même un alliage de deux métaux n'est pas un corps pur.

On distinguera trois états : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux (ou état vapeur).

- L'**état solide** est un état compact, c'est-à-dire que les distances entre particules constitutives (atomes ou molécules) sont faibles, celles-ci étant quasiment au contact les unes des autres. Dans un solide cristallin, les particules sont rangées dans un état ordonné, présentant une périodicité spatiale.

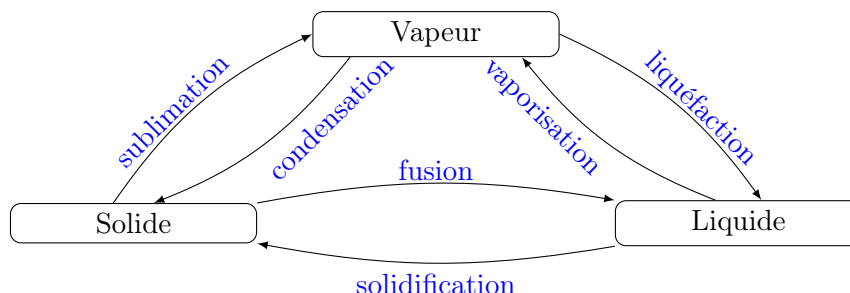
Les forces de liaisons sont suffisamment importantes pour conférer au solide cohésion et rigidité. Notamment, les solides possèdent un volume propre et ne peuvent s'écouler.

- L'**état liquide** est aussi un état compact de la matière, avec des particules quasiment au contact. Contrairement aux solides, les liquides ne sont pas ordonnés et les atomes ou molécules, moins liées que dans un solide, peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres. En conséquence les liquides possèdent un volume propre, mais peuvent s'écouler.
- L'**état gazeux**. Dans un gaz, les particules sont très éloignées les unes des autres, c'est-à-dire situées à des distances grandes par rapport à la taille propre des particules. Vu la distance entre les particules, les interactions entre celles-ci sont assez faibles. Par conséquent un gaz occupe la totalité du volume auquel il peut accéder.

On appelle **phase** une forme de la matière qui est uniforme en tout point par sa composition chimique et par son état physique.

II.2. Transformation physique : transition de phase

Nomenclature des transitions de phase :



Remarque :

Un solide peut exister sous différentes phases cristallines. Par exemple le carbone existe à l'état graphite (penser aux mines de crayon) ou à l'état diamant.

L'étain cristallise à la pression atmosphérique et aux températures usuelles sous la forme cristalline β (étain blanc). À basse température la phase la plus stable devient la phase cristalline α (étain gris) beaucoup plus pulvérulent. Le solide se disloque lors de cette transition de phase, phénomène couramment appelé « peste de l'étain ». Les soldats de Napoléon en ont fait les frais durant la campagne de Russie en 1812 : les boutons, timbales, écuelles et autres ustensiles en étain tombaient en poussière.

II.3. Masse volumique

On considère une masse m de corps pur sous une phase donnée occupant un volume V .

La **masse volumique** ρ est définie par

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Unité SI : kg.m^{-3}

Exemples :

- masse volumique de l'eau liquide : $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.
- masse volumique de la glace : $\rho = 0,9.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
- masse volumique de l'air à pression et température ambiante : $\rho \simeq 1 \text{ kg.m}^{-3}$
- masse volumique du mercure $\rho_{\text{Hg}} = 13,6.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

Pétanque

Calculer la masse d'une boule de pétanque, sphérique, de diamètre $D = 7,5 \text{ cm}$, en acier de masse volumique $\rho = 7,8.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ en supposant la boule pleine.

$$m = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi R^3 = \rho \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 = \rho \pi \frac{D^3}{6}$$

$$m = 7,8.10^3 \times \pi \times \frac{(7,5.10^{-2})^3}{6} = 1,3 \times \pi \times 7,5^3 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m = 1,72 \text{ kg}$$

Or la masse maximale autorisée est de 800 g. La boule est en réalité creuse. En supposant sa masse égale à 800 g déterminer le diamètre D_i de la cavité sphérique formée à l'intérieur de la boule.

$$m = \rho V' = \rho \frac{4}{3} \pi (R^3 - R_i^3) = \rho \frac{4}{3} \pi \left(\left(\frac{D}{2} \right)^3 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^3 \right)$$

$$m = \rho \frac{\pi}{6} (D^3 - D_i^3)$$

$$\frac{6m}{\rho\pi} = D^3 - D_i^3$$

$$D_i^3 = D^3 - \frac{6m}{\rho\pi}$$

$$D_i = \left(D^3 - \frac{6m}{\rho\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_i = \left((7,5 \cdot 10^{-2})^3 - \frac{6 \times 0,8}{7,8 \cdot 10^3 \pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Plus de détails sur la fabrication des boules de pétanque :

<https://www.youtube.com/watch?v=Ylr9UYjUSB4>

Remarque :

On peut également définir le **volume massique** v , c'est à dire le volume occupé par unité de masse.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Unité SI : $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

III. Quantité de matière : la mole

III.1. Constante d'Avogadro

Plutôt que de compter le nombre d'atomes ou de molécules contenus dans une bouteille d'eau on compte le nombre de moles.

Une mole contient $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ atomes ou molécules. Dans la nouvelle définition du système SI, la **constante d'Avogadro** a été fixée à

$$\mathcal{N}_a = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$



Amadeo AVOGADRO

Si le système étudié contient N atomes ou molécules d'un corps pur donné alors il en contient n moles avec :

$$n = \frac{N}{\mathcal{N}_A}$$

III.2. Masse molaire

En général, on a plutôt accès à la masse m d'une certaine quantité de corps pur. Pour évaluer le nombre de moles n contenu dans la masse m de corps pur on utilise sa **masse molaire** M .

La **masse molaire** M d'un corps pur correspond à la masse d'une mole de ce corps pur.

On a $M = \mathcal{N}_A m_a$ où m_a est la masse d'un atome ou d'une molécule.

Exemples :

- masse molaire du carbone : $M_C = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- masse molaire de l'hydrogène : $M_H = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- masse molaire de l'oxygène : $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- masse molaire de l'azote : $M_N = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

 En déduire les masses molaires

- du dioxygène O_2 : $M_{O_2} = 2 \times M_O = 2 \times 16,0 = 32,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- du diazote N_2 : $M_{N_2} = 2 \times M_N = 2 \times 14,0 = 28,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- de l'eau H_2O : $M_{H_2O} = 2 \times M_H + M_O = 2,0 + 16,0 = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Remarque : en général les masses molaires sont exprimées en g.mol^{-1} . Cependant l'unité SI d'une masse molaire est le kg.mol^{-1} .

La **quantité de matière** (exprimée en moles) contenue dans une masse m d'un corps pur donné vaudra donc :

$$n = \frac{m}{M}$$

Exercice :

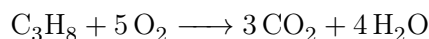
Déterminer le nombre de moles d'eau contenues dans une bouteille de volume $V = 1,5$ L.

Masse d'eau contenue dans la bouteille : $m = \rho V$

$$n = \frac{\rho V}{M_{H_2O}} = \frac{1,0 \cdot 10^3 \times 1,5 \cdot 10^{-3}}{18,0 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{18} = \frac{0,5}{6} 10^3 = \frac{500}{6} = 83 \text{ mol}$$

IV. Réaction chimique**IV.1. Schéma réactionnel**

Une réaction chimique est décrite par une équation bilan. Par exemple la réaction de combustion :



On a supposé ici la réaction totale.

Les espèces chimiques de gauche sont les **réactifs** et celles de droites sont les **produits**. On peut également préciser l'état solide, liquide ou gazeux de chacun des réactifs ou des produits.

Les coefficients placés devant chaque espèce chimique sont appelés **coefficients stœchiométriques** (ici : 1 devant C_3H_8 , 5 devant O_2 , 3 devant CO_2 et 4 devant H_2O). Les quantités de réactifs consommés et de produits formés sont liées par ces coefficients.

– 1 molécule de C_3H_8 réagit avec 5 molécules de O_2 pour donner 3 molécules de CO_2 et 4 molécules de H_2O .

Ainsi, par proportionnalité :

– N molécules C_3H_8 réagissent avec $5N$ molécules de O_2 pour donner $3N$ molécules de CO_2 et $4N$ molécules de H_2O

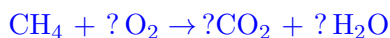
– 1 mol de C_3H_8 réagit avec 5 mol de O_2 pour donner 3 mol de CO_2 et 4 mol de H_2O .

– n_0 mol de C_3H_8 réagissent avec $5n_0$ mol de O_2 pour donner $3n_0$ mol de CO_2 et $4n_0$ mol de H_2O .

Remarque : normalement la réaction chimique que vous aurez à étudier devrait déjà être équilibrée. Il peut être utile cependant de savoir le faire.

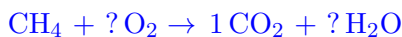
Entraînez-vous :

Écrire la réaction de combustion du méthane CH_4 puis précisez ses coefficients stœchiométriques.



Pour équilibrer la réaction on assure :

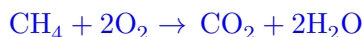
– la conservation du nombre d'atomes de carbone $\rightarrow 1 CO_2$ à droite.



– la conservation du nombre d'atomes d'hydrogène $\rightarrow 2 H_2O$ à droite.



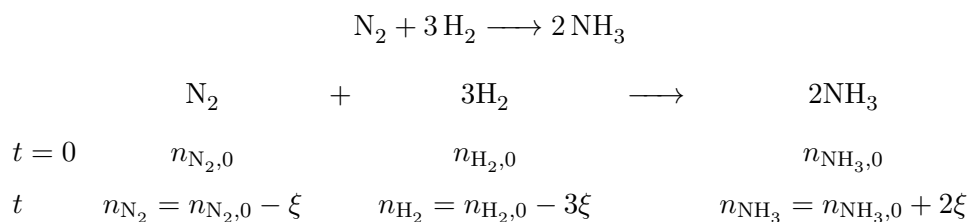
On a alors 4 atomes d'oxygène à droite. Pour conserver le nombre d'atomes d'oxygène il faut placer $2 O_2$ à gauche.



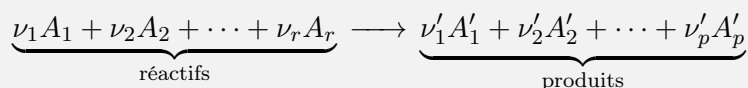
Méthode "CHON".

IV.2. Avancement d'une réaction

On considère la réaction de formation de l'ammoniac à différents instants :



On considère la réaction :



que l'on peut écrire formellement sous la forme :

$$\sum_{j=1}^r \nu_j A_j \longrightarrow \sum_{i=1}^p \nu'_i A'_i$$

On note **ξ avancement de la réaction** tel que, pour un avancement ξ :

— la quantité de matière du *produit* A'_i a pour expression :

$$n'_i = n'_{i,0} + \nu'_i \xi$$

— la quantité de matière du *réactif* A_j a pour expression :

$$n_j = n_{j,0} - \nu_j \xi$$

L'avancement ξ est homogène à une quantité de matière. Son unité SI est la mole.

IV.3. Réactif limitant

Petit intermède culinaire...

Vous voulez faire une pâte à tarte. La recette indique les proportions suivantes pour la pâte brisée : 100 g de beurre pour 200 g de farine...

Après inspection de votre réfrigérateur et de vos placards, vous disposez de 300 g de farine et de 200 g de beurre (en dessous de cette quantité point de survie en Bretagne)...

Quelle quantité maximale de pâte pouvez-vous fabriquer ?

Retour à la chimie...

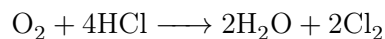
Une réaction s'arrête quand un des réactifs vient à manquer. On a alors $n_j = 0$. Le **réactif limitant** est celui pour lequel n_j s'annule en premier, donc pour la plus petite valeur de ξ telle que $n_j = n_{j,0} - \nu_j \xi = 0$. La valeur finale de l'avancement, lorsque tout le réactif limitant est consommé vaut

$$\xi_f = \min \left(\frac{n_{j,0}}{\nu_j} \right)$$

Un réactif peut être limitant s'il est en trop faible quantité au départ ou si la réaction en consomme beaucoup (son coefficient stœchiométrique ν_j est élevé).

Exercice :

On considère la réaction suivante :



On fait réagir 3 mol de O_2 avec 5 mol de HCl .

- Déterminer le réactif limitant.
- Réaliser le tableau d'avancement (*état initial, état intermédiaire, état final*).

Solution :

- Si O_2 est le réactif limitant $\xi_f = \frac{3}{1} = 3$ mol.

Si HCl est le réactif limitant $\xi_f = \frac{5}{4} = 1,25$ mol.

C'est donc HCl le réactif limitant avec $\xi_f = \frac{5}{4} = 1,25$ mol.

- Les quantités de matière sont indiquées en mol.

	ξ (mol)	O_2	+	4HCl	$\longrightarrow$	$2\text{H}_2\text{O}$	+	2Cl_2
$t = 0$	$\xi = 0$	3		5		0		0
t	ξ	$3 - \xi$		$5 - 4\xi$		2ξ		2ξ
t_f	$\xi_f = 1,25$	$3 - \xi_f = 1,75$		$5 - 4\xi_f = 0$		$2\xi_f = 2,5$		$\xi_f = 2,5$

Une réaction s'effectue dans les **proportions stœchiométriques** lorsque les rapports $\frac{n_{j,0}}{\nu_j}$ sont les mêmes pour tous les réactifs. Dans ce cas, si la réaction est totale, dans l'état final tous les réactifs ont disparu et les produits sont apparus dans les proportions stœchiométriques.

En reprenant l'exemple précédent, pour que les proportions soient stœchiométriques il faudrait que le nombre de moles de HCl soit égal à quatre fois le nombre de moles de O_2 .

	ξ (mol)	O_2	+	4HCl	$\longrightarrow$	$2\text{H}_2\text{O}$	+	2Cl_2
$t = 0$	$\xi = 0$	3		12		0		0
t	ξ	$3 - \xi$		$12 - 4\xi$		2ξ		2ξ
t_f	$\xi_f = 3$	0		0		$2\xi_f = 6$		$2\xi_f = 6$

dans ce cas l'avancement final vaut $\xi_f = 3$ mol.

Exercice :

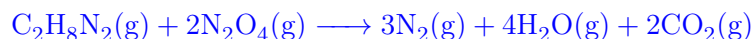
Le premier étage de la fusée Ariane IV était équipé de moteurs Viking qui utilisaient la diméthylhydrazine (DMHA), de formule $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$, comme combustible et le tétraoxyde de diazote, de formule N_2O_4 comme comburant. Ces espèces chimiques réagissent entre elles à l'état gazeux. La réaction donne du diazote, de l'eau et du dioxyde de carbone, tous à l'état gazeux. La fusée emporte une masse $m = 50,0$ tonnes de DMHA et une masse m_c de N_2O_4 .

- Écrire l'équation chimique modélisant la réaction.
- Calculer la quantité de matière n_0 de DMHA emportée.
- En déduire la quantité de matière puis la masse m_c de N_2O_4 à emporter pour que le mélange initial soit stoechiométrique.

Données : $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Solution :

- On assure la conservation du nombre d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.



- Masse molaire de DMHA : $M_{\text{DMHA}} = 2 \times 12,0 + 8 \times 1,0 + 2 \times 14,0 = 60,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

$$n_0 = \frac{m}{M_{\text{DMHA}}} = \frac{50,0 \cdot 10^3}{60,0 \cdot 10^{-3}} = 8,33 \cdot 10^5 \text{ mol}$$

- Les conditions stoechiométriques sont assurées lorsque la quantité de tétraoxyde de diazote embarquée vaut $n = 2n_0 = 1,67 \cdot 10^6 \text{ mol}$, soit une masse $m_c = 2n_0 M(\text{N}_2\text{O}_4) = 2 \frac{M(\text{N}_2\text{O}_4)}{M_{\text{DMHA}}} m$.

$$M(\text{N}_2\text{O}_4) = 2 \times 14,0 + 4 \times 16,0 = 92,0 \text{ g.mol}^{-1} \quad m_c = 2 \frac{92,0}{60,0} 50,0 = 153 \text{ t}$$

V. Transformation nucléaire

Une réaction nucléaire est un processus au cours duquel un ou plusieurs noyaux atomiques sont transformés pour donner des noyaux de masse et/ou de charge différentes. La réaction chimique conserve les éléments chimiques, alors que la réaction nucléaire transforme un nucléide en un autre.

La physique nucléaire a débuté avec la découverte de la radioactivité à la toute fin du XIX^{ème} siècle. La radioactivité naturelle (ou spontanée) a été découverte par Becquerel en 1896, puis étudiée par de nombreux chercheurs dont Pierre et Marie Curie, Ernst Rutherford ...

Plus tard en 1934 Irène et Frédéric Joliot Curie découvrent la radioactivité artificielle en provoquant une transformation nucléaire qui produit de nouveaux noyaux radioactifs..

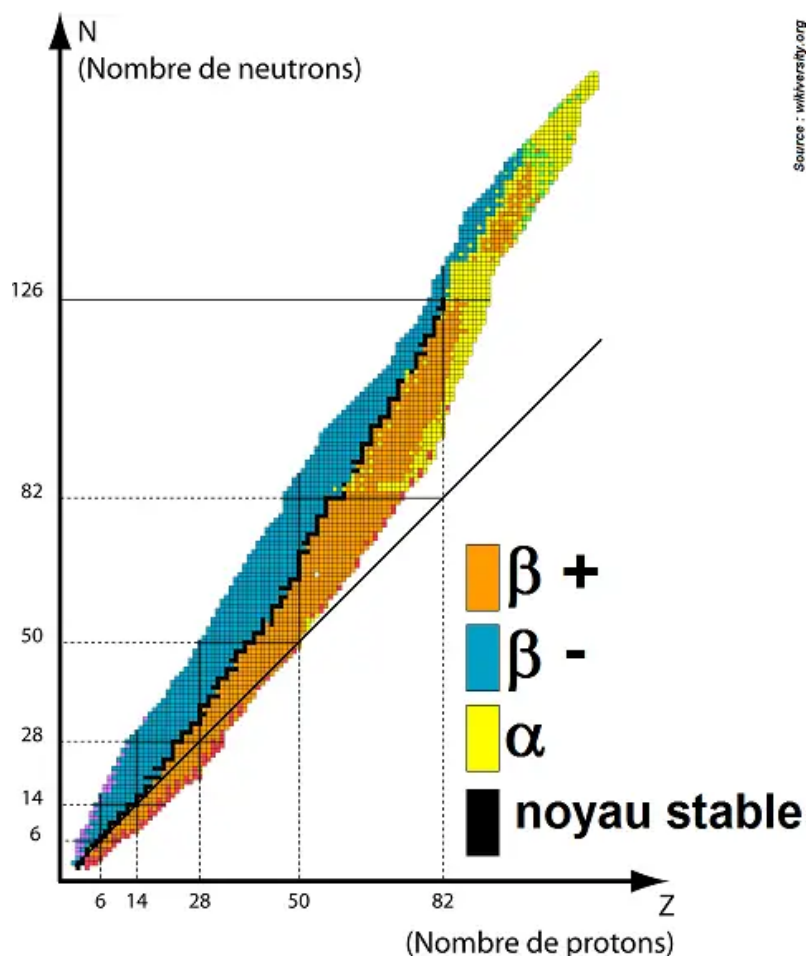
Quelles applications de la radioactivité connaissez-vous ?

V.1. Instabilité des noyaux

a) Diagramme de Segré

La cohésion du noyau est liée au nombre Z de protons et $N = A - Z$ de neutron qui constituent le noyau. Lorsque la cohésion n'est plus assurée le noyau devient instable.

L'ensemble des noyaux connus est classé dans un diagramme dit diagramme de Segré. Les noyaux stables apparaissent en noir, dans la "vallée de la stabilité". Pour $Z < 20$ les noyaux stables ont pratiquement le même nombre de protons que de neutrons. Pour $Z > 20$ les noyaux stables contiennent plus de neutrons que de protons.



Pour se déplacer à l'intérieur de ce diagramme :

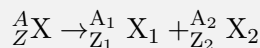
<https://physique-chimie.ac-normandie.fr/IMG/IMG2/html/diagrammenz.html>

En cliquant sur un élément instable on peut voir toute la chaîne de désintégrations qui conduisent à un élément stable.

b) Lois de conservation

En principe la réaction nucléaire doit vous être fournie. Elle devra cependant vérifier des lois de conservation.

La réaction de désintégration



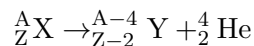
devra vérifier

- la conservation du nombre de nucléons : $A = A_1 + A_2$
- la conservation de la charge électrique : $Z = Z_1 + Z_2$

V.2. Les trois types de radioactivité

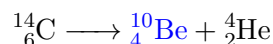
• La radioactivité α .

La désintégration s'accompagne de l'émission d'une **particule α** (c'est-à-dire d'un noyau d'hélium) :

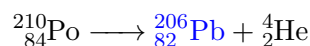


Exemple :

▷ Désintégration du carbone 14

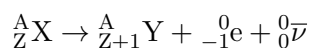


▷ Désintégration du polonium 210



• La radioactivité β^- .

Au cours d'une émission β^- un neutron du noyau se transforme en proton et un électron e^- est émis (la charge totale est ainsi conservée). La dernière particule émise est un antineutrino $\bar{\nu}$. Le neutrino a été introduit par Fermi en 1932 pour assurer la conservation de l'énergie. Il n'a été détecté que beaucoup plus tard en 1956.



Exemple :

▷ Désintégration du cobalt 60



▷ Désintégration du césium 137



• La radioactivité β^+ .

Au cours d'une émission β^+ , c'est un proton du noyau qui se transforme en neutron et un positron e^+ est émis ce qui assure la conservation de la charge. La dernière particule émise est un neutrino ν . Le positron e^+ est l'antiparticule associée à l'électron e^- .



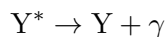
Exemple :

▷ Désintégration du phosphore 30

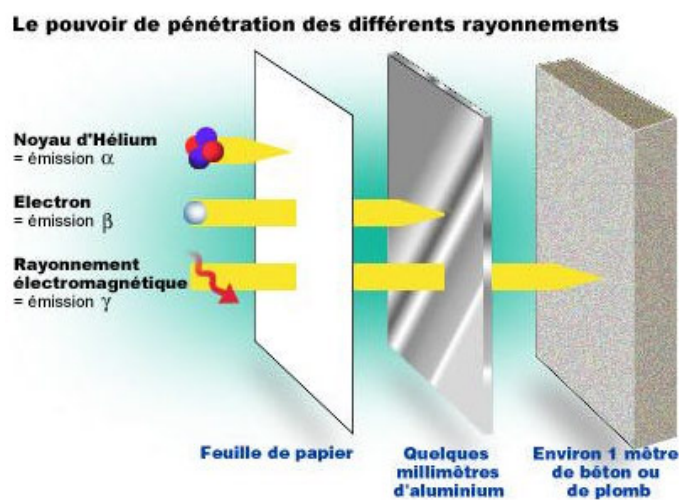


• La radioactivité γ .

En général les noyaux Y issus d'une désintégration sont dans un état excité. Ils se désexcitent en émettant un photon très énergétique (photon γ)



Tous les rayonnements émis (α , β , γ) n'ont pas le même pouvoir de pénétration.

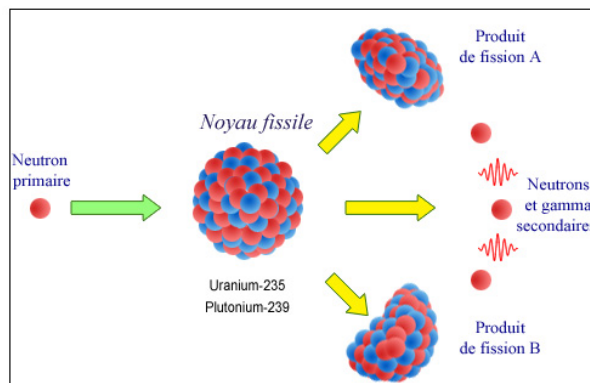
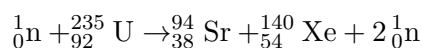


V.3. La fission de l'uranium

En 2023, 78,7% de l'énergie utilisée pour produire de l'électricité en France était d'origine nucléaire¹. Le phénomène de fission nucléaire de l'uranium a été découvert par Otto Hahn et Fritz Strassmann et interprété par Lise Meitner et Otto Frisch en 1938.

Un gros noyau d'uranium 235 (${}_{92}^{235}\text{U}$) est dit **fissile** : la capture d'un neutron forme un noyau très instable qui se scinde alors en deux noyaux plus légers. Cette fission s'accompagne de l'émission de 2 à 3 neutrons (suivant les produits de fission) et éventuellement d'un photon γ . Elle libère une grande quantité d'énergie.

Exemple de réactions de fission possibles :



Ainsi, une réaction en chaîne est possible : les neutrons produits peuvent à leur tour être absorbés par d'autres noyaux d'uranium 235, qui fissionneront en produisant de nouveaux neutrons etc...

1. <https://www.edf.fr/origine-de-l-electricite-fournie-par-edf>

Cette réaction en chaîne non maîtrisée a conduit à la fabrication de la bombe atomique. Dans un réacteur nucléaire cette réaction en chaîne doit être contrôlée : pour éviter l'emballement de la réaction il ne doit pas y avoir plus de neutrons produits que de neutrons absorbés.

Les produits issus de la fission nucléaire sont en général *naturellement* radioactifs : ils se désintègrent sans intervention d'un neutron extérieur.

Les neutrons émis lors du processus de fission ont un grand pouvoir de pénétration. Ils sont arrêtés par une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine.

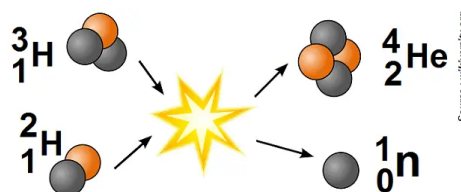
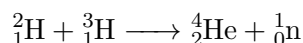
V.4. La fusion nucléaire

La **fusion** est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour donner un noyau plus lourd.

Cette réaction dégage également une grande quantité d'énergie.

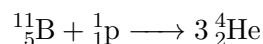
Exemple :

La plupart des réacteurs expérimentaux tentent de réaliser la réaction de fusion du deutérium (${}^2_1\text{H}$) et du tritium (${}^3_1\text{H}$).



Pour amorcer la réaction de fusion les noyaux doivent se rapprocher d'une distance de l'ordre de 10^{-15} m (portée de l'interaction forte) alors qu'en raison de leurs charges positives ils se repoussent d'autant plus qu'ils se rapprochent (interaction électromagnétique). Il est donc nécessaire de chauffer à des températures très élevées (environ 100 millions de kelvins).

Pour éviter la production de neutrons, qui peuvent rendre les parois du réacteur radioactives et éviter l'utilisation du tritium, élément radioactif qu'il faut produire, l'entreprise TAE Technologies envisage de réaliser la fusion entre des protons et des noyaux de bore :



mais cette méthode nécessite d'atteindre des températures dix fois plus élevées qu'avec la réaction de fusion Deutérium-Tritium.

Dernier succès de confinement de plasma : communication du CEA

Pour un inventaire des différents projets : Philipp Ball, "*Fusion nucléaire, la grande accélération*", Pour la Science, Avril 2022.

Extrait du programme :

Notions et contenus	Capacités exigibles
Structure de la matière et transformations physiques, chimiques ou nucléaires.	
Noyau atomique, isotopes.	Déterminer la composition d'un noyau A_ZX Reconnaître deux noyaux isotopes d'un même élément.
Entité chimique	Utiliser le terme adapté parmi molécule, atome, anion et cation pour nommer une entité chimique à partir d'une formule chimique.
Quantité de matière Masse molaire d'une entité	Déterminer la quantité de matière d'une entité dans une masse donnée et inversement, sa masse molaire étant fournie.
Transformation physique, transformation chimique et transformation nucléaire.	Identifier une transformation physique, une transformation chimique et une transformation nucléaire à partir d'un bilan fourni.
Transformation chimique Modélisation macroscopique d'une transformation par une équation de réaction chimique.	Exploiter une équation de réaction chimique ajustée fournie pour réaliser un bilan de matière. Identifier le ou les réactifs limitants d'un système réactionnel.