

1 Changements d'états de la matière

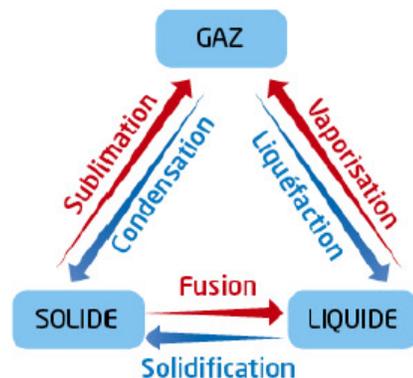
1.1 Changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement

La matière existe sous trois états physiques (doc. 1) : solide (s), liquide (ℓ) et gazeux (g).

- Une transformation d'un système d'un état physique à un autre qui conserve les espèces chimiques est un changement d'état.
- Dans la vie courante ou dans l'environnement [→ **Activité 1**], on peut citer :
 - des liquéfactions, par exemple lorsque de la buée se forme sur une vitre froide ;
 - des vaporisations, par exemple lorsque l'eau liquide du linge s'évapore ;
 - des fusions, par exemple lors de la formation du magma dans le manteau terrestre ;
 - des solidifications, par exemple lorsque de la lave devient une roche solide après une éruption.

La sublimation (transformation d'un solide en gaz) et la condensation (transformation d'un gaz en solide) sont, par exemple, utilisées au laboratoire pour purifier des espèces chimiques.

Chacun des six changements d'état a un nom particulier (doc. 1).



1. Noms des six changements d'état.

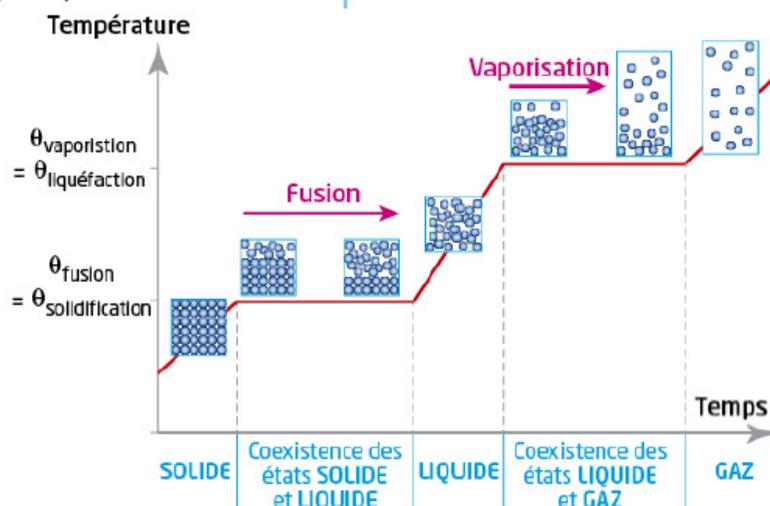
1.2 Modélisation microscopique

L'état gazeux est dispersé.

Les états liquide et solide sont condensés : les distances entre entités chimiques sont du même ordre de grandeur que les dimensions de ces entités. [→ **Activité 2**]

Dans le cas d'un corps pur, les changements d'état ont lieu à température constante lorsque la pression est maintenue constante.

Cela permet de caractériser des espèces chimiques [→ **Chapitre 1**]. L'évolution de la température d'un corps pur lors d'un apport régulier d'énergie par transfert thermique est présentée **doc. 2**.



2. Évolution de la température d'un corps pur lorsqu'on lui apporte régulièrement de l'énergie par transfert thermique à pression constante.

1.3 Écriture symbolique d'un changement d'état

- Un changement d'état d'un corps pur est modélisé par une réaction dont l'équation utilise le même formalisme que pour une transformation chimique.
- L'état physique de l'espèce chimique avant et après la transformation est précisé par une lettre entre parenthèses.

EXEMPLES

Fusion du gallium : $\text{Ga}(s) \rightarrow \text{Ga}(\ell)$

Vaporisation de l'eau : $\text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ (**doc. 3**)

Solidification du saccharose : $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\ell) \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(s)$.



3. Source d'eau chaude en Islande. L'eau chaude liquide de la source se vaporise dans l'atmosphère et se liquéfie ensuite en fines gouttelettes au contact de l'air froid.

1.4 Distinction entre fusion et dissolution

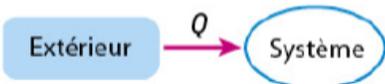
- Lors d'une fusion, il y a transformation du système de l'état solide à l'état liquide. Il s'agit d'un changement d'état.
- Une dissolution est une transformation physique différente de la fusion, mais elle conserve aussi la formule chimique des espèces. La dissolution ne peut pas se faire sans l'intervention d'une deuxième espèce chimique, liquide, le solvant.

Dans une équation de dissolution, lorsque le solvant est l'eau, la formule de l'espèce chimique dissoute est suivie de (aq) pour « aqueux » (DOC. 4).

2 Énergie de changement d'état

2.1 Transformations endothermique et exothermique

- Un changement d'état d'un système (à température constante) est endothermique si le système étudié reçoit de l'énergie par transfert thermique.
- Un changement d'état d'un système (à température constante) est exothermique si le système étudié cède de l'énergie par transfert thermique. [→ Activité 4]

Endothermique	Exothermique
	
La fusion, la vaporisation et la sublimation sont des transformations physiques endothermiques : le système qui change d'état reçoit de l'énergie par transfert thermique.	La solidification, la liquéfaction et la condensation sont des transformations physiques exothermiques : le système qui change d'état cède de l'énergie par transfert thermique.

2.2 Énergie massique de changement d'état

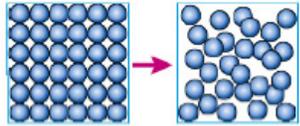
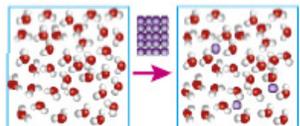
L'énergie Q échangée par transfert thermique lors d'un changement d'état est proportionnelle à la masse m du système qui change d'état. [→ Activité 3]

On appelle énergie massique de changement d'état la grandeur quotient notée ℓ telle que :

$$\ell = \frac{Q}{m}$$

Unités SI :
 ℓ en joule par kilogramme ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 Q en joule (J)
 m en kilogramme (kg)

REMARQUE L'énergie massique reçue par un système lors du changement d'un état 1 à un état 2 est égale à l'énergie massique cédée par le système lors du changement d'état dans le sens opposé (de l'état 2 vers l'état 1).

Fusion	<p>Modélisation</p>  <p>Exemple : $\text{Ga}(s) \rightarrow \text{Ga}(\ell)$</p>
Dissolution	<p>Modélisation</p>  <p>Exemple : $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(s) \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{aq})$</p>

4. Modélisation à l'échelle microscopique de la fusion et de la dissolution.

VOCABULAIRE

En physique-chimie, le mot « système » désigne la portion de matière qui est étudiée. Un système est délimité par une frontière, réelle ou imaginaire.

POINT MATHS

$\ell = \frac{Q}{m}$ est une grandeur quotient.

En multipliant les deux membres de cette égalité par m , on obtient :

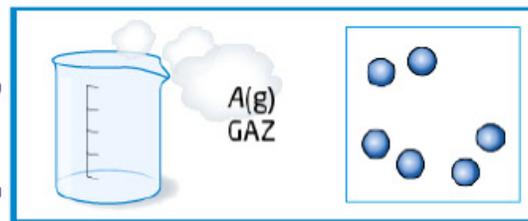
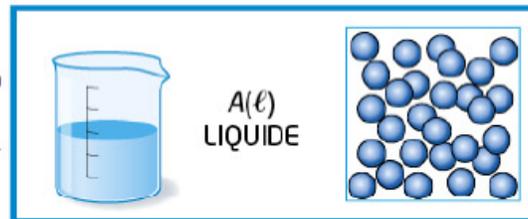
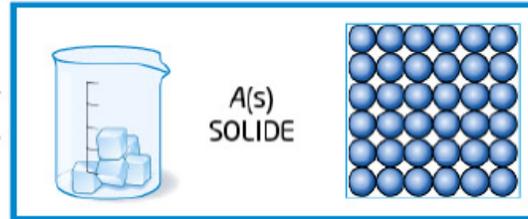
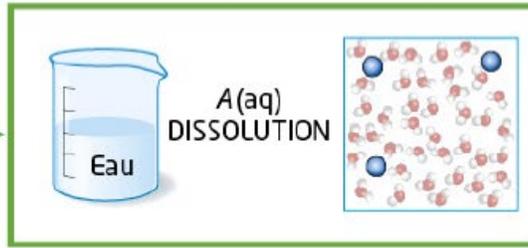
$$\begin{aligned}\ell \times m &= \frac{Q}{m} \times m \\ \ell \times m &= Q \\ Q &= m \times \ell.\end{aligned}$$

Synthèse en images

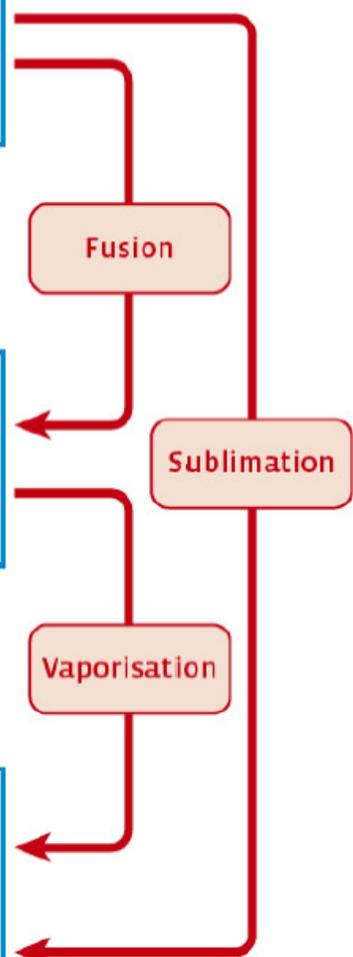
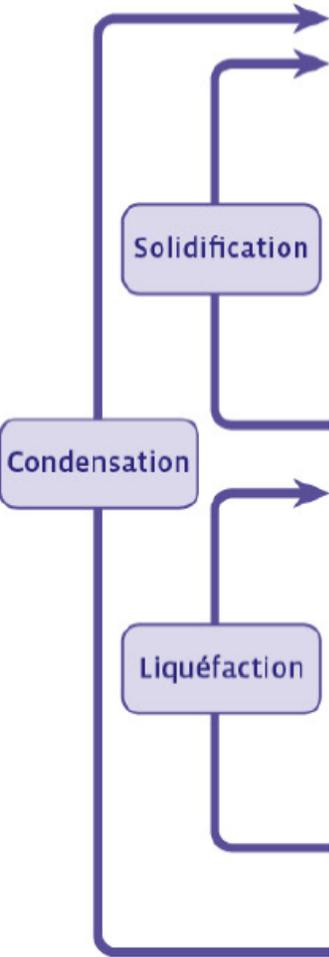
SOLIDE
ou
LIQUIDE
ou
GAZ

+ H₂O

Dissolution



TRANSFORMATIONS EXOTHERMIQUES :
énergie cédée par le système par transfert thermique Q



TRANSFORMATIONS ENDOTHERMIQUES :
énergie reçue par le système par transfert thermique Q

Transfert thermique Q

Unités SI

Énergie massique
de changement d'état ℓ

$$Q = m \times \ell$$

Q en J

m en kg

ℓ en J·kg⁻¹

$$\ell = \frac{Q}{m}$$

1 Réaction chimique

1.1 Modèle de la réaction chimique

Au cours d'une transformation chimique, il y a une redistribution des atomes des réactifs pour former des produits (doc. 1).

La réaction chimique est la modélisation, à l'échelle macroscopique, d'une transformation chimique.

L'écriture symbolique d'une réaction chimique est appelée **équation de réaction**. Afin de respecter les lois de conservation des éléments et de la charge, il faut **ajuster** l'équation de réaction.

Ajuster une équation de réaction (→ Fiche méthode 11) consiste à faire précéder chaque formule chimique par un nombre, appelé **nombre stœchiométrique**. [→ Activité 1]

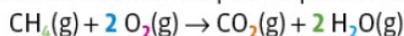
Les nombres stœchiométriques permettent d'avoir :

- le même nombre d'éléments pour chaque élément chimique présent dans les réactifs et les produits ;
- la même charge électrique de part et d'autre de la flèche.

REMARQUES

- Lorsque le nombre stœchiométrique est 1, on ne l'écrit pas.
- Par convention, les nombres stœchiométriques sont des entiers positifs les plus petits possibles.

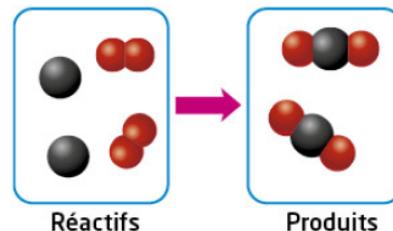
EXEMPLE La combustion du méthane a pour équation de réaction :



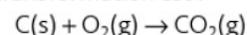
Élément	Nombre d'éléments dans les réactifs	Nombre d'éléments dans les produits
Carbone (C)	1 élément C dans la molécule de méthane	1 élément C dans la molécule de dioxyde de carbone
Oxygène (O)	$2 \times 2 = 4$ dans les molécules de dioxygène	$1 \times 2 + 2 \times 1 = 4$ 1 : nombre stœchiométrique devant CO_2 (sous-entendu) 1 : nombre d'éléments O dans la molécule d'eau (sous-entendu)
Hydrogène (H)	$1 \times 4 = 4$ 1 : nombre stœchiométrique devant CH_4 (sous-entendu)	$2 \times 2 = 4$ dans les molécules d'eau

Les espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel mais qui ne participent pas à la transformation chimique sont des espèces **spectatrices**. Elles n'apparaissent pas dans l'équation de réaction (doc. 2).

Exemple de transformation chimique	Équation de la réaction
Combustion du carbone	$\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$
Combustion du méthane	$\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\ell)$
Corrosion d'un métal par un acide	$\text{Fe}(\text{s}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$
Action de l'acide sur le calcaire	$\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$
Réaction entre l'acide chlorhydrique (H^+ , Cl^-) et l'hydroxyde de sodium (Na^+ , HO^-)	$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\ell)$



1. Le dioxyde de carbone est le produit de la combustion du carbone dans le dioxygène.
L'équation de réaction modélisant cette transformation est :



ÉTYMOLOGIE

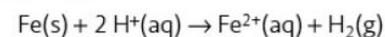
Stœchiométrie est un mot issu du grec ancien : *stoikheion* (« élément ») et *métron* (« mesure »).

VOCABULAIRE

(s) signifie « solide », (ℓ) « liquide », (g) « gaz » et (aq) « dissous en solution aqueuse ».



2. La réaction entre le fer et l'acide chlorhydrique, contenant des ions H^+ et des ions Cl^- , a pour équation de réaction :



Les ions Cl^- sont des ions spectateurs.

1.2 Stœchiométrie et réactif limitant

La **stœchiométrie** est l'étude des relations de proportionnalité qui existent entre les quantités des réactifs consommés.

Un réactif qui est entièrement consommé à la fin d'une transformation chimique totale est appelé **réactif limitant**. [→ Activités 2 et 3]

L'identification du réactif limitant peut se faire à partir de l'équation de réaction et de l'état initial, c'est-à-dire des quantités de matière initiales des réactifs.

Pour une réaction d'équation $aA + bB \rightarrow \text{produits}$, les quantités de matière initiales des réactifs A et B sont respectivement notées $n_{A,i}$ et $n_{B,i}$.

Si $\frac{n_{A,i}}{n_{B,i}} > \frac{a}{b}$ alors le réactif B est limitant ; si $\frac{n_{A,i}}{n_{B,i}} < \frac{a}{b}$ alors le réactif A est limitant.

2 Effet thermique d'une transformation

Comme pour les transformations physiques (→ Chapitre 6) la plupart des transformations chimiques s'accompagnent d'une variation d'énergie du système chimique.

Une transformation chimique réalisée dans un récipient empêchant le transfert thermique d'énergie peut s'accompagner d'une variation de température du système chimique. [→ Activité 4]

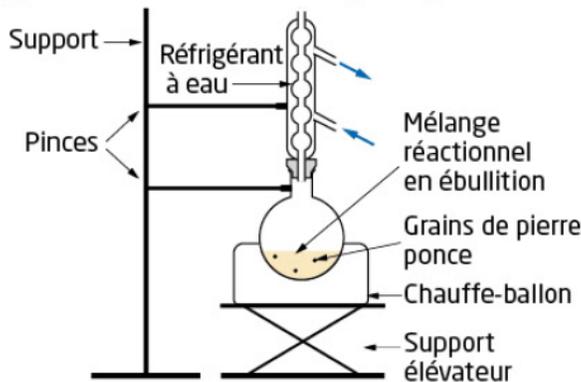
- Si la transformation est **exothermique**, alors la température du système chimique augmente (**doc. 3**).
- Si la transformation est **endothermique**, alors la température du système chimique diminue.

Toutes choses égales par ailleurs, la variation de température observée est d'autant plus importante que la quantité de réactif limitant est grande.

3 Synthèse d'une espèce chimique

● Réaliser la synthèse d'une espèce chimique consiste à la produire en laboratoire par une transformation chimique, puis à l'isoler des autres espèces produites et éventuellement à la purifier.

● Chauffer un milieu réactionnel dans un montage à reflux (**doc. 4**) permet de diminuer la durée d'une transformation chimique. Le système chimique est maintenu à ébullition et les vapeurs formées sont **liquéfiées sans perte de matière** grâce au réfrigérant à eau. [→ Activité 5]



4. Schéma d'un montage à reflux.

La chromatographie sur couche mince (CCM) (→ Fiche méthode 10 et **doc. 5**) permet, par exemple, de vérifier qu'une espèce chimique synthétisée en laboratoire est identique à une espèce chimique présente dans la nature. [→ Activité 6]

VOCABULAIRE

Si $\frac{n_{A,i}}{n_{B,i}} = \frac{a}{b}$, les réactifs A et B sont

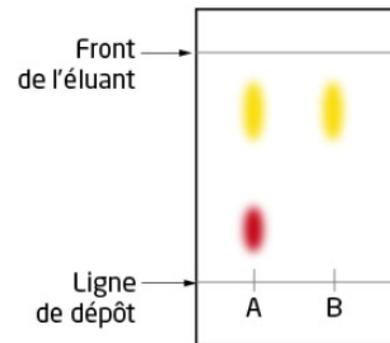
tous les deux limitants. Le mélange initial est alors dit « dans les proportions stœchiométriques ».



3. Lors d'un feu d'artifice, la transformation chimique entre la poudre et le dioxygène est exothermique. Elle produit aussi de la lumière.

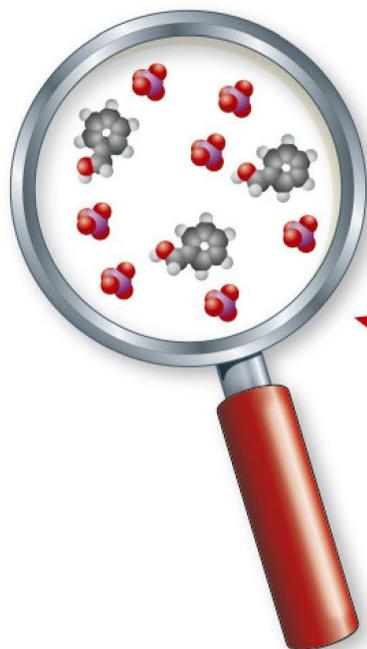
VOCABULAIRE

Le milieu réactionnel est l'ensemble des espèces chimiques présentes dans le milieu où se produit la transformation chimique : réactifs, produits, espèces spectatrices, solvant, etc.

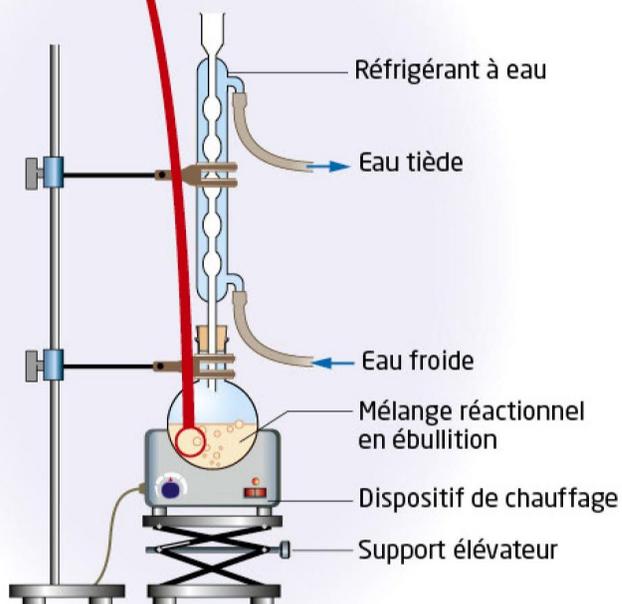
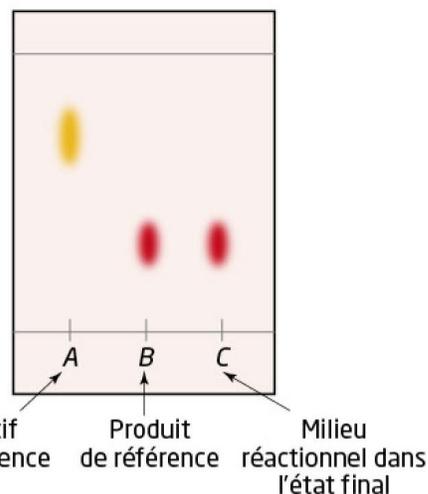


5. Exemple de chromatogramme obtenu par une CCM. Le mélange déposé en (A) contient l'espèce chimique déposée en (B), ainsi qu'au moins une autre espèce.

Synthèse en images



Analyse



Quantités dans l'état initial
 $n_i(\text{C}_7\text{H}_8\text{O})$
 $n_i(\text{MnO}_4^-)$

$\frac{n_i(\text{C}_7\text{H}_8\text{O})}{n_i(\text{MnO}_4^-)} < \frac{3}{4}$	$\frac{n_i(\text{C}_7\text{H}_8\text{O})}{n_i(\text{MnO}_4^-)} > \frac{3}{4}$
Réactif limitant : $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	Réactif limitant : MnO_4^-

TRANSFORMATION CHIMIQUE

Modélisation

RÉACTION CHIMIQUE

Équation de réaction



Nombres stœchiométriques déterminés par la conservation

- des éléments
- de la charge

1 Noyaux isotopes

Deux noyaux sont **isotopes** s'ils ont le même nombre de protons mais n'ont pas le même nombre de neutrons. Ils appartiennent au même élément chimique mais n'ont pas la même masse. [→ Activité 1]

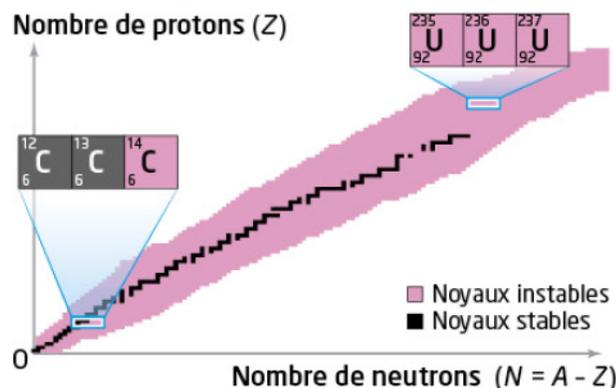
La découverte des isotopes revient au physicien britannique Sir Joseph John Thomson (1856-1940), qui en 1892 découvre, à la suite d'une expérience, que deux atomes d'un même élément peuvent avoir des masses différentes. En pratique, un isotope est désigné par le nom de l'élément chimique auquel il appartient et par le nombre de nucléons présents dans son noyau.

EXEMPLE Le carbone-14 ^{14}C et le carbone-12 ^{12}C sont des isotopes de l'élément carbone, de numéro atomique $Z = 6$. Ils contiennent donc 6 protons chacun et respectivement $14 - 6 = 8$ neutrons et $12 - 6 = 6$ neutrons.

REMARQUE Plus de 2 800 noyaux différents sont connus aujourd'hui, dont seuls 256 sont stables (doc. 1). Les autres peuvent se transformer spontanément (désintégration) pour former un autre noyau. Le carbone-12 et le carbone-13 sont des noyaux stables. Le carbone-14 possède trop de neutrons : c'est un isotope instable de l'élément carbone. Aucun des isotopes de l'élément uranium n'est stable.

RAPPEL

Un noyau appartenant à l'élément chimique X est symbolisé par la notation $^A_Z X$, où A est le nombre de nucléons et Z le nombre de protons (Z est appelé « numéro atomique »). En physique nucléaire, cette notation est souvent abrégée sous la forme $^A X$, la connaissance de l'élément donnant immédiatement l'information sur son numéro atomique.

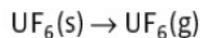


2 Transformations nucléaires

2.1 Différents types de transformations

● Lors d'une transformation **physique** il y a conservation des espèces chimiques et modification de l'état physique.

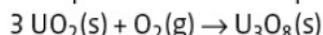
EXEMPLE Lors de l'élaboration du combustible nucléaire à base d'uranium, l'hexafluorure d'uranium subit une sublimation d'équation de réaction :



L'espèce chimique UF_6 est conservée.

● Lors d'une transformation **chimique**, il y a conservation des éléments chimiques et modification des espèces chimiques.

EXEMPLE Lors de l'élaboration du combustible nucléaire, le dioxyde d'uranium réagit avec le dioxygène pour former une espèce couramment appelée « yellow cake ». La transformation chimique est modélisée par l'équation de réaction :



Les éléments sont conservés : pour l'uranium, 3 fois l'élément uranium dans le membre de gauche et 3 fois l'élément uranium dans le membre de droite ; pour l'oxygène, $3 \times 2 + 2 = 8$ fois l'élément oxygène dans le membre de gauche et 8 fois l'élément oxygène dans le membre de droite. Le charge (ici nulle) est conservée entre les deux membres de l'équation de la réaction.

● Lors d'une transformation **nucléaire**, il y a modification de la composition des noyaux.

ÉTYMOLOGIE

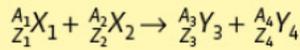
- **Isotope** : du grec *iso*, « même », et *topos*, « lieu ». Des isotopes sont appelés ainsi car ils occupent la même place dans le tableau périodique des éléments.
- **Nucléaire** : du latin *nucleus*, noyau. Une transformation nucléaire est liée à la transformation de noyaux atomiques.

SCIENCE ET HISTOIRE

En 1934, les physiciens français Irène et Frédéric Joliot-Curie produisent en laboratoire un isotope de l'élément phosphore qui n'existe pas dans la nature. Cet isotope n'est pas stable et se transforme très rapidement en noyau de silicium.

2.2 Écriture symbolique d'une réaction nucléaire

Une transformation nucléaire est modélisée par une réaction nucléaire, à laquelle est associée une équation de réaction de la forme :



$$\text{Règles de conservation : } \begin{cases} A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \\ Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \end{cases}$$

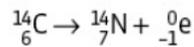
[→ Activités 1, 2 et 3]

Cette réaction peut être :

- spontanée : un noyau instable X_1 se transforme pour former un noyau Y_3 et une particule Y_4 (doc. 2). Dans ce cas, il n'y a pas de X_2 ;
- provoquée : la collision entre un noyau et un autre noyau (ou une particule) forme un ou plusieurs noyaux (ou particules).

EXEMPLES

- Le carbone-14 se désintègre spontanément pour former un noyau d'azote-14 et un électron :



- Dans les centrales nucléaires, les noyaux d'uranium-235 sont percutés par des neutrons. Une équation de réaction associée à cette transformation est :



3 Énergie et transformation nucléaire

3.1 Énergie libérée lors d'une transformation

Toute transformation de la matière s'accompagne d'un transfert d'énergie. Dans le cas des transformations nucléaires, l'énergie mise en jeu est beaucoup plus grande que pour des transformations chimiques ou physiques à masses comparables.

EXEMPLES

- La liquéfaction d'1 g d'eau libère une énergie d'environ 2 kJ.
- La combustion d'1 g de butane libère une énergie d'environ 50 kJ.
- La fission d'1 g d'uranium-235 libère une énergie d'environ 80 millions de kJ.
- La fusion d'1 g de deutérium et tritium libère environ 400 millions de kJ.

3.2 Applications

- L'énergie libérée lors de la fission de l'uranium est convertie en énergie électrique dans les centrales nucléaires (doc. 3). [→ Activité 3]
- L'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire à l'intérieur d'une étoile la maintient à une température très élevée (doc. 4). Une partie de cette énergie est également libérée sous forme de rayonnements. [→ Activité 1]

Le projet ITER (réacteur thermonucléaire expérimental international) vise à reproduire ces réactions de fusion pour récupérer et convertir cette énergie dans de nouvelles centrales nucléaires.

	A	Nombre de charge	Notation
Proton	1	1	${}^1_1\text{p}$
Électron	0	-1	${}^0_{-1}\text{e}$
Neutron	1	0	${}^1_0\text{n}$
Positron	0	1	${}^0_1\text{e}$

2. Principales particules intervenant dans les réactions nucléaires.

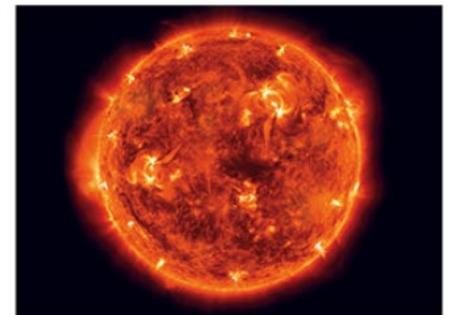
VOCABULAIRE

Fusion : transformation nucléaire au cours de laquelle deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd.

Fission : transformation nucléaire au cours de laquelle un noyau instable se transforme en deux noyaux plus légers et quelques particules.



3. Une centrale nucléaire. L'énergie libérée par la transformation nucléaire de l'uranium est convertie en énergie électrique.



4. Au cœur du Soleil l'hydrogène est transformé en hélium avec une importante libération d'énergie. Lorsqu'il n'y aura plus d'hydrogène en son cœur, le Soleil deviendra une géante rouge dans laquelle l'hélium sera transformé en carbone.

COMMENT IDENTIFIER LA NATURE D'UNE TRANSFORMATION ?

Y a-t'il conservation de l'espèce chimique ?

OUI

Il y a modification de l'état physique

TRANSFORMATION PHYSIQUE



NON

Y a-t'il conservation de l'élément chimique ?

OUI

TRANSFORMATION CHIMIQUE



NON

Y a-t'il modification des noyaux

OUI

TRANSFORMATION NUCLÉAIRE

Dans les étoiles

Dans les centrales

