

## 6.1 Transformation physique

### 6.1.1 États de la matière

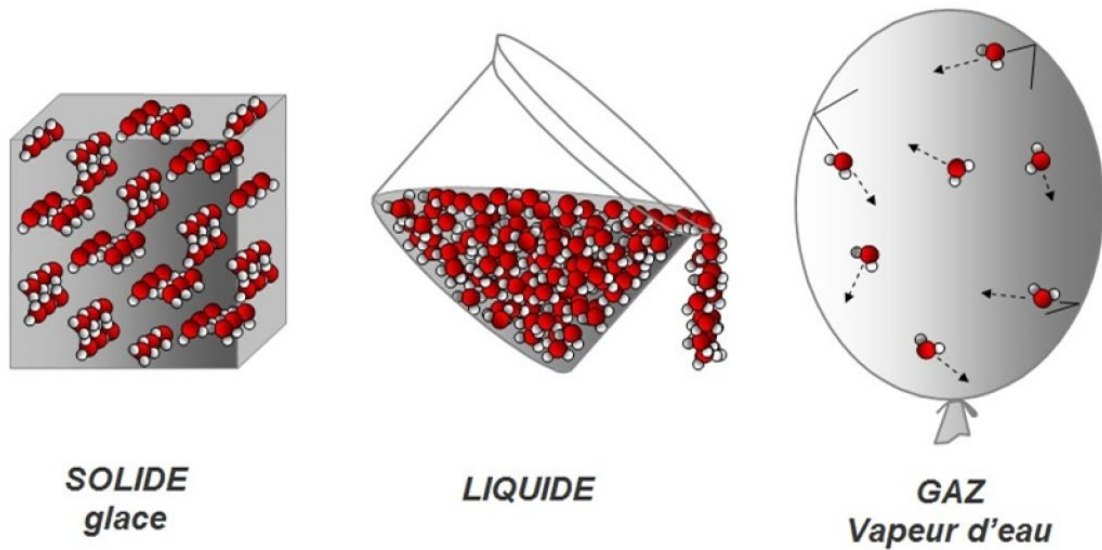


Figure 6.1 – Représentation schématique des états de la matière avec l'exemple de l'eau (Source).

Dans un **solide**, les particules sont très proches les unes des autres et les interactions entre elles sont fortes. Si l'on déplace une particule, toutes les autres se déplacent de la même manière. En revanche, il reste une légère liberté de mouvement de ces particules qui peuvent vibrer autour de leur position d'équilibre.

Dans un **liquide**, les particules sont proches les unes des autres mais les interactions sont plus faibles que dans les solides, ce qui leur laisse la liberté de se déplacer les unes par rapport aux autres.

Enfin dans un **gaz**, les particules sont loin les unes des autres, les interactions entre elles sont très faibles et elles peuvent donc se déplacer librement dans l'espace qu'elles occupent.

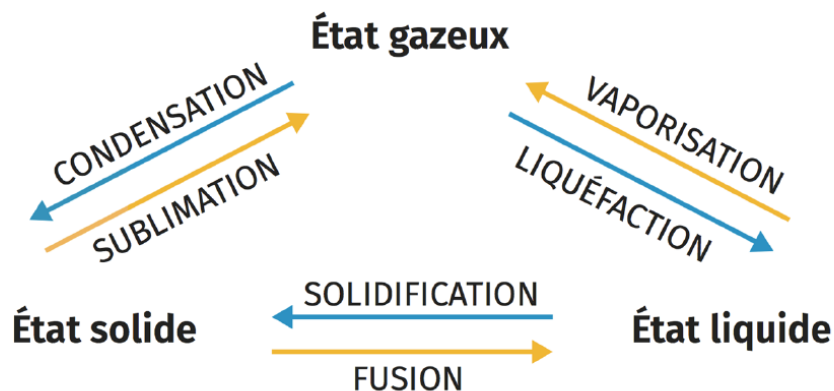
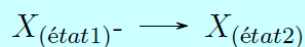


Figure 6.2 – Représentation schématique des différents changements d'état de la matière possibles (Source).

## 6.1.2 Changement d'état

### Changement d'état

Durant un changement d'état, à une pression  $P$  donnée, la température  $T$  reste constante, et les interactions entre les entités chimiques sont modifiées. Pour une espèce  $X$  donnée, on représente un changement d'état de la manière suivante :



On note  $(s)$  pour solide,  $(l)$  pour liquide,  $(g)$  pour gazeux.

**Exemple** : Le changement d'état de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$  lorsqu'elle passe de l'état solide à l'état liquide :  
 $\text{H}_2\text{O}_{(s)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)}$ .

## 6.1.3 Différence entre fusion et dissolution

Lors de la fusion, la matière passe de l'état solide à l'état liquide, donc d'un état compact et ordonné à un état compact mais désordonné.

Lors d'une dissolution, les entités constituant un solide se répartissent dans un volume de solvant liquide. Les molécules du solvant viennent isoler les particules du solide.

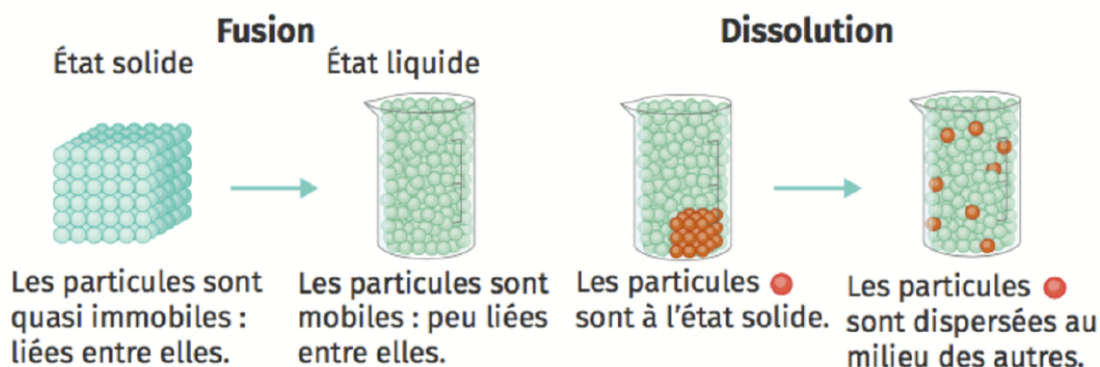


Figure 6.3 – Représentation schématique de la différence entre fusion et dissolution (Source).

## 7.1 Généralités sur les transformations chimiques

### 7.1.1 Transformation chimique

#### Transformation chimique

Une **transformation chimique** est l'évolution d'un système chimique, composé d'une ou plusieurs espèces chimiques, d'un état initial vers un état final. Les espèces présentes à l'**état initial** sont appelées les **réactifs**, et celles présentes à l'**état final** sont les **produits**.

**Exemple :** Une réaction chimique a lieu lorsqu'on mélange de l'acide éthanóique  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (vinaigre) avec des ions hydroxyde  $\text{HO}^-$  (présents dans la soude) pour former des ions éthanoate  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  et de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ . L'acide éthanóique et les ions hydroxyde sont les réactifs et les ions éthanoate et l'eau sont les produits.

### 7.1.2 Lois de conservation d'une réaction chimique

*« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».*

#### Lois de conservation

Au cours d'une transformation chimique, il y a **conservation de la matière et de la charge** :

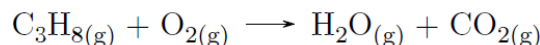
- Tous les atomes présents dans les réactifs doivent être présents dans produits.
- La somme des charges électriques des réactifs doit être égale à celle des produits.
- La masse des réactifs doit être égale à celle des produits.

### 7.1.3 Équation bilan d'une réaction chimique

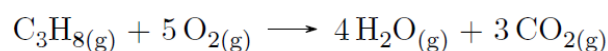
#### Équation bilan

Afin de représenter une transformation chimique en tenant compte des lois de conservation, on écrit une **équation bilan**. Il s'agit d'une équation dans laquelle on écrit à **gauche les formules des réactifs**, à **droite celles des produits**, séparés par une **flèche**. Pour faire respecter les règles de conservation, il faut **équilibrer** l'équation bilan à l'aide de **coefficients stoechiométriques**. On indique également, pour chaque espèce chimique, son état :  $(aq)$  si l'espèce est en solution aqueuse,  $(l)$  pour un liquide,  $(s)$  pour un solide, et  $(g)$  pour un gaz.

**Exemple :** La réaction de combustion complète du propane  $\text{C}_3\text{H}_{8(g)}$  en phase gazeuse par le dioxygène  $\text{O}_{2(g)}$  donne comme produits du dioxyde de carbone  $\text{CO}_{2(g)}$  et de l'eau  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ . L'équation bilan de cette réaction s'écrit dans un premier temps comme ceci :



Dans cet exemple, on s'aperçoit qu'il n'y a pas conservation des atomes : 3 carbones à gauche et 1 seul à droite, 8 hydrogènes à gauche et seulement 2 à droite, ainsi que 2 oxygènes à gauche et 3 à droite. Il faut donc équilibrer cette équation grâce à des coefficients stoechiométriques, ce qui va donner :



### 7.1.4 Espèce spectatrice

#### Espèce spectatrice

Lors d'une réaction chimique, si une espèce chimique présente dans le milieu est toujours présente en même quantité à la fin, c'est qu'elle n'a pas participé à la réaction chimique et **elle n'apparaît pas dans l'équation bilan**. On dit qu'une telle espèce est **spectatrice**.

### 7.1.5 Réactif limitant d'une réaction chimique

#### Réactif limitant

Lors d'une transformation chimique, le **réactif limitant** est celui qui disparaît en premier, et qui met donc fin à la réaction.

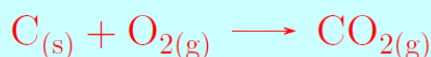
**Remarque** : Pour déterminer le réactif limitant, il faut tenir compte de la **stoechiométrie de la réaction**.

## 7.2 Exemples de transformations chimiques

### 7.2.1 Combustion du carbone

#### Combustion du carbone

La combustion complète du carbone solide est représentée par l'équation bilan suivante :



### 7.2.2 Combustion du méthane

#### Combustion du méthane

La combustion complète du méthane gazeux est représentée par l'équation bilan suivante :



### 7.2.3 Corrosion d'un métal par un acide

#### Corrosion du fer par l'acide chlorhydrique

La corrosion du fer solide par l'acide chlorhydrique est représentée par l'équation bilan suivante :

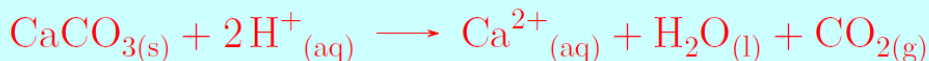


**Remarque** : Au cours de cette transformation, les ions chlorures  $\text{Cl}^{-}$  présents sont spectateurs.

## 7.2.4 Action d'un acide sur du calcaire

### Action d'un acide sur du calcaire

L'action de l'acide chlorhydrique sur le calcaire est représentée par l'équation bilan suivante :

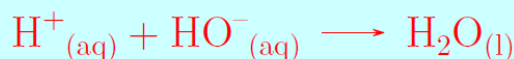


**Remarque :** Au cours de cette transformation, les ions chlorures  $\text{Cl}^-$  présents sont spectateurs.

## 7.2.5 Action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium

### Action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium

L'action de l'acide chlorhydrique  $\text{HCl}$  sur l'hydroxyde de sodium  $\text{NaOH}$  est représentée par l'équation bilan suivante :



**Remarque :** Au cours de cette transformation, les ions chlorures  $\text{Cl}^-$  et les ions sodium  $\text{Na}^+$  présents sont spectateurs.

## 8. Transformations nucléaires

**LES transformations nucléaires** sont à l'origine du fonctionnement des étoiles, mais aussi des centrales nucléaires. L'objet de ce chapitre est de présenter les différents types de réactions nucléaires et la manière dont on peut les modéliser. L'aspect énergétique de ces transformations sera également abordé.

### 9.1 Définitions

#### 9.1.1 Isotopes

Les différents éléments chimiques de la classification périodique existent en réalité sous plusieurs formes appelés **isotopes**. La proportion de ces isotopes est variable et l'élément inscrit dans la classification périodique est celui dont la forme est prépondérante dans la nature.

#### Isotopes

Deux **isotopes** ont le **même nombre de protons** (numéro atomique  $Z$ ), mais **pas le même nombre de neutrons** et donc de nucléons (nombre de masse  $A$ ).

**Exemple :** Le carbone  $\text{C}$  possède 15 isotopes connus à ce jour. Le plus abondant est le carbone 12,  $^{12}_6\text{C}$ , présent à 98,93% dans la nature. Ce noyau est stable.

L'un des isotopes les plus connus est le carbone 14,  $^{14}_6\text{C}$ , qui est radioactif et dont on se sert pour effectuer de la datation de tissus biologiques sur plusieurs milliers d'années (ossements retrouvés etc.).



### 9.1.2 Écriture symbolique d'une transformation nucléaire

#### Écriture symbolique

Une **transformation nucléaire** est représentée par une équation qui vérifie la **conservation du nombre de nucléons et de la charge électrique**.



- Conservation du nombre de nucléons :  $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$
- Conservation de la charge électrique :  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

### 9.1.3 Énergie échangée lors d'une transformation nucléaire

#### Énergie nucléaire

Lors d'une transformation nucléaire, de **l'énergie est libérée sous forme de rayonnement**. Les transformations spontanées (voir plus bas) ne fournissent qu'une petite quantité d'énergie, alors que les réactions de fission et de fusion (voir plus bas) fournissent une grande quantité d'énergie.

## 9.2 Transformations nucléaires spontanées

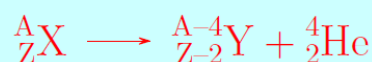
Certains isotopes sont dits **instables**, c'est-à-dire qu'ils ont la **capacité à se transformer spontanément en un autre noyau, avec émission d'une particule et d'énergie**. Il existe trois processus de **désintégration radioactive spontanée** :

- **Radioactivité  $\alpha$**  : émission d'un noyau d'hélium (particule  $\alpha$ )
- **Radioactivité  $\beta^-$**  : émission d'un électron (particule  $\beta^-$ )
- **Radioactivité  $\beta^+$**  : émission d'un positon (particule  $\beta^+$ )

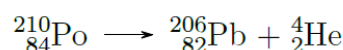
### Radioactivité $\alpha$

#### Désintégration $\alpha$

Lors d'une **désintégration  $\alpha$** , un noyau radioactif  ${}_Z^AX$  se désintègre en émettant un noyau d'hélium  ${}_2^4\text{He}$  (appelé ici particule  $\alpha$ ), pour donner un noyau fils  ${}_{Z-2}^{A-4}Y$  :



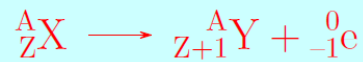
**Exemple** : L'atome de polonium 210 se transforme, par désintégration  $\alpha$ , en plomb 206 :



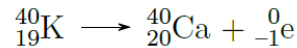
## Radioactivité $\beta^-$

### Désintégration $\beta^-$

Lors d'une **désintégration  $\beta^-$** , un noyau radioactif  ${}^A_ZX$  se désintègre en émettant un électron  ${}^0_{-1}e$  (appelé ici particule  $\beta^-$ ), pour donner un noyau fils  ${}^A_{Z+1}Y$  :



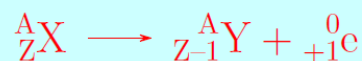
**Exemple :** L'atome de potassium 40 se transforme, par désintégration  $\beta^-$ , en calcium 40 :



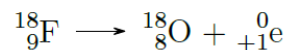
## Radioactivité $\beta^+$

### Désintégration $\beta^+$

Lors d'une **désintégration  $\beta^+$** , un noyau radioactif  ${}^A_ZX$  se désintègre en émettant un positron  ${}^0_{+1}e$  (appelé ici particule  $\beta^+$ , antiparticule de l'électron), pour donner un noyau fils  ${}^A_{Z-1}Y$  :



**Exemple :** Le fluor 18 se transforme, par désintégration  $\beta^+$ , en oxygène 18 :



## 9.3 Transformation nucléaire forcée

Il est possible de déclencher de manière forcée la désintégration d'un noyau radioactif. Il existe deux procédés pour réaliser cette désintégration forcée :

- **Fission nucléaire** : Un noyau radioactif lourd se transforme en deux noyaux fils plus légers. La fission peut être forcée par l'impact d'un neutron sur le noyau lourd. Cette transformation libère également des neutrons.
- **Fusion nucléaire** : Deux atomes légers fusionnent pour donner un atome plus lourd. Un ou plusieurs neutrons peuvent également être libérés au cours d'une fusion.

A noter que la fission peut survenir de manière spontanée.

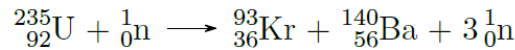
### 9.3.1 Fission nucléaire

#### Fission nucléaire

Lors d'une **fission nucléaire**, un noyau radioactif lourd se transforme en deux noyaux fils plus légers. Cette réaction peut être déclenchée par l'action d'un neutron, et plusieurs neutrons sont alors libérés. Les neutrons seront notés  ${}^1_0n$ .

**Remarque :** Les réactions de fission nucléaire sont utilisées pour faire fonctionner les centrales nucléaires. L'énergie libérée par ces réactions est convertie sous forme d'énergie électrique. Une autre triste utilisation de ces réactions est la bombe atomique.

**Exemple :** La fission de l'uranium  $^{235}_{92}\text{U}$  peut donner naissance à un atome de krypton  $^{93}_{36}\text{Kr}$  et un atome de baryum  $^{140}_{56}\text{Ba}$  selon l'équation suivante :



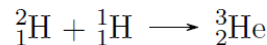
### 9.3.2 Fusion nucléaire

#### Fusion nucléaire

Lors d'une **fusion nucléaire**, deux atomes légers fusionnent pour donner un atome plus lourd. Un ou plusieurs neutrons peuvent également être libérés au cours d'une fusion. Les neutrons seront notés  ${}^1_0\text{n}$ .

**Remarque :** Les réactions de fusion nucléaire sont responsables de l'incroyable énergie libérée sous forme de rayonnement par les étoiles. De nombreuses études sont à l'épreuve en laboratoire sur Terre pour reproduire ces transformations car elles offriraient une source gigantesque d'énergie non polluante et non fossile. Mais les conditions nécessaires au développement de la fusion à l'échelle d'une centrale restent très compliquées à ce jour car il faut atteindre entre autre des températures de plusieurs millions de degrés.

**Exemple :** La réaction de fusion nucléaire entre le deutérium  ${}^2_1\text{H}$  et l'hydrogène  ${}^1_1\text{H}$  donne de l'hélium  ${}^3_2\text{He}$  :



## 9.4 Transformations nucléaires, physiques et chimiques

#### Différences transformations nucléaire-physique-chimique

Il est important de savoir reconnaître et différencier une transformation nucléaire d'une transformation physique ou chimique :

- **Transformation nucléaire :** Les éléments chimiques sont différents entre l'état initial et l'état final.
- **Transformation physique :** L'espèce chimique est la même au début et à la fin, seul son état est modifié.
- **Transformation chimique :** Les espèces chimiques sont modifiées mais les éléments chimiques (atomes) sont conservés.

En revanche, le point commun est la **conservation de la masse et de la charge**.