

**02. Transformation de la matière**

Fiche en construction.

**Transformations de la matière**

- Il existe différents types de transformations affectant la matière :
  - Les transformations nucléaires : il y a changement d'élément chimique (fusion, fission, etc.).
  - Les transformations physiques : pas de changement des noyaux ni des structures électroniques. Il s'agit d'un changement d'état (fusion, condensation, etc.), d'une magnétisation, etc.
  - Les transformations chimiques : les éléments sont conservés, mais des liaisons sont créées et rompues, impliquant un changement au niveau des électrons. Par exemple,  $4\text{Fe(s)} + 3\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{(s)}$ .

**Les transformations physiques**

- Une transformation physique, ou changement d'état, est la modification de l'état physique de la matière sans en altérer les espèces chimiques.
- L'état gazeux est un état totalement désordonné. Un corps à l'état gazeux n'a ni volume ni forme propres et s'adapte au contenant. Les interactions entre particules sont quasi nulles. Le modèle du gaz parfait, dont l'équation d'état est la suivante, est souvent utilisé :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- L'état liquide est un état partiellement désordonné. Le volume est quasi fixe, rendant les liquides peu compressibles. Ils n'ont pas de forme propre, et des interactions existent entre les particules.
- L'état solide est un état très ordonné. Le volume et la forme sont quasi fixes. On le classe en trois catégories :
  - Solide cristallin : les éléments constitutifs se rangent selon une position géométrique régulière (ex :  $\text{NaCl(s)}$ ).
  - Solide amorphe : il n'a pas d'organisation interne régulière (ex : le verre).
  - Solide semi-cristallin : état intermédiaire où des zones cristallines coexistent avec des zones amorphes (ex : polymères).
- Une transformation allotropique est le passage d'un état solide à un autre (ex :  $\text{C(graphite)} \longrightarrow \text{C(diamant)}$ ).

**Notion de phase**

- Une phase est une zone de l'espace dans laquelle les paramètres physiques (masse volumique, température, etc.) varient de façon continue.
- Une phase est dite homogène si sa composition et son état physique sont identiques en tout point. Par exemple, un mélange d'eau et d'huile constitue deux phases distinctes non miscibles.
- Pour chaque espèce, la phase est notée par une lettre entre parenthèses : (s) pour solide, (l) pour liquide pur, (g) pour gaz, et (aq) pour une espèce en solution aqueuse.

## Les transformations chimiques

- Au cours d’une transformation chimique, il y a réorganisation des atomes au sein des molécules, avec rupture et formation de nouvelles liaisons. Les éléments sont conservés.
- Les grandes familles de réactions rencontrées sont les dissolutions et précipitations, les réactions acido-basiques et les réactions d’oxydoréduction.

## Le système chimique

### Description d’un système

- Un système est l’objet ou l’ensemble d’objets étudié. Tout ce qui n’en fait pas partie constitue le milieu extérieur.
- La description macroscopique d’un système chimique se fait à l’aide de paramètres d’état : la nature et la quantité des espèces, leur état physique ou phase, la température  $T$  et la pression  $P$ .
- Un constituant physico-chimique est une espèce chimique caractérisée par sa formule et son état physique (ex :  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ,  $\text{CO}_2(\text{g})$ ).

### La mole et les grandeurs molaires

- La mole est l’unité de quantité de matière. Elle correspond au nombre d’atomes de carbone dans 12 g de carbone 12. Ce nombre est le nombre d’Avogadro :

$$\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

- La masse molaire  $M$  (en g/mol) d’un nucléide, d’un élément ou d’une molécule correspond à la masse d’une mole de cette entité.
- Le volume molaire  $V_m$  (en L/mol) est le volume occupé par une mole, une grandeur particulièrement utile pour les gaz.
- La charge molaire est la charge électrique d’une mole d’électrons en valeur absolue. Son unité est le faraday (F) :

$$1 \text{ F} = \mathcal{N}_A \times e = 96,5 \times 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

### Corps purs, mélanges et concentrations

- Un corps pur est un constituant unique. Il est dit simple s’il est composé d’un seul type d’élément ( $\text{Fe}(\text{s})$ ) ou composé s’il en contient plusieurs ( $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ). Un mélange est constitué de plusieurs espèces chimiques.
- La concentration molaire d’une espèce X en solution, notée  $[X]$ , est donnée par :

$$C_X = [X] = \frac{n_X}{V}$$

Où  $n_X$  est la quantité de matière de X et  $V$  le volume total de la solution.

- Dans un mélange de gaz, on utilise la fraction molaire  $x_X$  et la pression partielle  $P_X$  :

$$x_X = \frac{n_X}{n_T}; \quad P_X = x_X \cdot P_T$$

Où  $n_T$  et  $P_T$  sont la quantité de matière et la pression totales du mélange.

## Avancement d'un système chimique

### L'équation chimique et le tableau d'avancement

- Une transformation chimique est modélisée par une équation chimique bilan de la forme : réactifs  $\rightleftharpoons$  produits. L'équation doit être équilibrée en éléments et en charges.
- Le nombre stœchiométrique algébrique  $\nu_X$  est le coefficient de l'espèce X dans l'équation. Il est négatif pour un réactif et positif pour un produit.
- L'avancement molaire  $\xi$  (en mol) est une grandeur qui permet de suivre l'évolution de la composition du système. Il est nul à l'état initial. La quantité de matière d'une espèce X à un instant  $t$  est :

$$n_X(t) = n_{X,0} + \nu_X \cdot \xi(t)$$

- Le tableau d'avancement est un outil qui synthétise la composition du système à l'état initial, en cours de transformation et à l'état final.

Équation	a A + b B		c C + d D	
État initial	$n_{A,0}$	$n_{B,0}$	$n_{C,0}$	$n_{D,0}$
En cours ( $t$ )	$n_{A,0} - a\xi$	$n_{B,0} - b\xi$	$n_{C,0} + c\xi$	$n_{D,0} + d\xi$
État final ( $f$ )	$n_{A,0} - a\xi_f$	$n_{B,0} - b\xi_f$	$n_{C,0} + c\xi_f$	$n_{D,0} + d\xi_f$

### Réactions totales et équilibrées

- Une réaction est dite totale si elle se poursuit jusqu'à l'épuisement d'au moins un des réactifs, appelé réactif limitant.
- L'avancement maximal  $\xi_{max}$  est la plus petite valeur de  $\xi$  qui annule la quantité de matière d'un des réactifs. Le réactif limitant est celui qui impose  $\xi_{max}$ .
- Si les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques, ils sont tous entièrement consommés à la fin d'une réaction totale.
- Une réaction est équilibrée si elle s'arrête avant la disparition totale de l'un des réactifs. Il y a alors coexistence des réactifs et des produits. L'état final est un état d'équilibre.
- On définit le taux d'avancement final  $\tau$  :

$$\tau = \frac{\xi_f}{\xi_{max}}$$

Si  $\tau = 1$ , la réaction est totale. Si  $\tau < 1$ , la réaction est équilibrée.

### Les dosages

- Un dosage (ou titrage) est la détermination de la concentration molaire d'une espèce en solution (le titré) à l'aide d'une autre espèce de concentration connue (le titrant).
- La réaction de dosage doit être univoque, totale et rapide.
- À l'équivalence, les réactifs titré et titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques. Ils sont alors intégralement consommés. Le repérage de l'équivalence peut se faire par changement de couleur, saut de pH, ou rupture de pente en conductimétrie.

## Évolution spontanée d'un système chimique

### Activité chimique et quotient de réaction

- L'activité chimique  $a(X)$  est une grandeur sans dimension qui dépend de l'état de l'espèce X.

- Pour un solvant (ex : l'eau) :  $a(\text{solvant}) = 1$ .
  - Pour un soluté X en solution diluée :  $a(X) = \frac{[X]}{C^\circ}$ , où  $C^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
  - Pour un gaz X parfait :  $a(X) = \frac{P_X}{P^\circ}$ , où  $P^\circ = 1 \text{ bar}$ .
  - Pour un solide ou un liquide pur (non miscible) :  $a(X) = 1$ .
- Le quotient de réaction  $Q_r$  est défini pour une équation chimique donnée. Pour  $\sum \nu_i X_i = 0$  :

$$Q_r = \prod_i [a(X_i)]^{\nu_i}$$

### Constante d'équilibre et critère d'évolution

- Tout système évolue de façon à ce que son quotient de réaction  $Q_r$  tende vers une valeur qui ne dépend que de la température, appelée constante d'équilibre  $K^\circ(T)$ . À l'équilibre, on a :

$$Q_{r,eq} = K^\circ(T)$$

- Le sens d'évolution spontanée du système est donné par la comparaison de  $Q_r$  à  $K^\circ$  :
  - Si  $Q_r < K^\circ$  : le système évolue dans le sens direct (formation des produits).
  - Si  $Q_r > K^\circ$  : le système évolue dans le sens indirect (formation des réactifs).
  - Si  $Q_r = K^\circ$  : le système est à l'équilibre et n'évolue plus macroscopiquement.
- Une réaction est considérée comme totale si  $K^\circ > 10^4$ . Elle est considérée comme nulle (n'a pas lieu) si  $K^\circ < 10^{-4}$ .

### Application à la conductimétrie

- La conductivité  $\sigma$  (en S/m) d'une solution contenant des ions est proportionnelle à la conductance  $G$ .
- Loi de Kohlrausch : la conductivité d'une solution diluée est la somme des contributions de chaque ion présent :

$$\sigma = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i]$$

Où  $\lambda_i$  est la conductivité ionique molaire de l'ion  $X_i$  et  $[X_i]$  sa concentration en mol/m<sup>3</sup>.

- La mesure de la conductivité permet de suivre les concentrations ioniques et ainsi de déterminer un avancement final  $\xi_f$  ou une constante d'équilibre  $K^\circ$ .