

# CH08 Evolution d'un système chimique

## 1. Transformation et réaction chimique

### Evolution d'un système chimique

On nomme transformation chimique le passage d'un système chimique d'un état initial à un état final.

À l'échelle macroscopique, l'évolution d'un système chimique est modélisée par une réaction chimique décrite par une équation chimique.

L'équation chimique traduit la loi de conservation des éléments chimiques et la loi de conservation des charges électriques. Les réactifs sont indiqués à gauche de la flèche (symbolisant le processus d'évolution) et les produits sont indiqués à droite de cette flèche.

### Stoechiométrie

On appelle stoechiométrie les relations de proportionnalité qui existent entre les quantités de matière consommées des réactifs et les quantités de matière obtenues des produits de la réaction.

Afin de respecter la conservation des éléments chimiques, on place des nombres appelés nombres stoechiométriques devant les formules chimiques des réactifs et/ou des produits dans l'équation chimique. Ces nombres doivent être entiers et les plus petits possible.

### Ecrire correctement une équation chimique

une bougie est constituée de cire moulée autour d'une mèche en coton. La cire est de la paraffine de formule chimique  $C_{25}H_{52}$ . Cette bougie brûle dans l'air avec une flamme éclairante. La combustion est totale.

réactifs : paraffine et dioxygène de l'air

produits : dioxyde de carbone et eau

On écrit l'équation chimique en plaçant les formules chimiques des réactifs à gauche de la flèche et les formules chimiques des produits à droite.

On ajuste les nombres stoechiométriques selon la méthode du tableau ci-dessous

Ecrire les réactifs et les produits sans les nombres stoechiométriques : remarquer la stoechiométrie des éléments Hydrogène, Carbone et Oxygène non ajustée.	$C_{25}H_{52} + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$
Ajuster les nombres stoechiométriques des éléments qui apparaissent une seule fois à droite et une seule fois à gauche. C'est le cas de l'élément carbone : on place alors 25 devant la formule du dioxyde de carbone.	$C_{25}H_{52} + O_2 \rightarrow H_2O + 25CO_2$
Ajuster les nombres stoechiométriques de l'élément hydrogène : on place alors 26 devant $H_2O$ .	$C_{25}H_{52} + O_2 \rightarrow 26H_2O + 25CO_2$
On ajuste ensuite les nombres stoechiométriques de l'élément oxygène : on place alors 38 devant la formule du dioxygène.	$C_{25}H_{52} + 38O_2 \rightarrow 26H_2O + 25CO_2$
On vérifie que tous les nombres stoechiométriques sont alors ajustés.	$H : 52 = 26 \times 2$ $C : 25 = 25$ $O : 38 \times 2 = 26 + 25 \times 2$
On vérifie la conservation des charges électriques :	À gauche : 0 À droite : 0
On précise les états physiques des réactifs et produits :	$C_{25}H_{52(g)} + 38O_{2(g)} \rightarrow 26H_{2(g)}O + 25CO_{2(g)}$

## 2. Etat final d'un système chimique

### Avancement

L'avancement  $x$  est une grandeur qui permet de suivre l'évolution des quantités de matière des réactifs et produits d'une transformation chimique. Cette grandeur correspond à une quantité de matière et s'exprime donc en mole.

On étudie l'action du proton sur un morceau de magnésium : il se forma du dihydrogène et des ions magnésium.  $2 H^+_{(aq)} + Mg_{(s)} \rightarrow H_{2(g)} + Mg^{2+}_{(aq)}$

L'interprétation macroscopique de cette équation chimique nous donne : 2 mole de protons réagissent avec une mole de magnésium pour conduire à la formation d'une mole de dihydrogène. Au cours de l'évolution si la quantité de matière de dihydrogène formée est  $x(\text{mol})$  alors il a disparu  $x(\text{mol})$  de  $Mg$  et  $2x(\text{mol})$  de protons.

### Avancement maximal et réactif limitant

On appelle réactif limitant le réactif entièrement consommé au cours de la transformation : il voit donc sa quantité de matière s'annuler à l'état final.

L'avancement maximal correspond à la valeur de l'avancement pour laquelle le réactif limitant est entièrement consommé.

### Tableau d'évolution (ou d'avancement)

Le tableau d'évolution (ou tableau d'avancement) décrit l'évolution des quantités de matière des réactifs et des produits de l'état initial à l'état final.

On considère que l'on part de deux moles de magnésium et de trois moles d'ions oxonium.

Equation		$2 H^+_{(aq)} + Mg_{(s)} \rightarrow H_{2(g)} + Mg^{2+}_{(aq)}$			
Etat du système	Avancement (x en mol)	$n_{H^+}$	$n_{Mg}$	$n_{H_2}$	$n_{Mg^{2+}}$
Initial	$x = 0$	3,0	2,0	0,0	0,0
Au cours de la transformation	$x$	$3,0 - 2x$	$2,0 - x$	$x$	$x$
Final	$X_{\max} = 1,5$	0,0	0,5	1,5	1,5

### Détermination de l'avancement maximal :

L'avancement maximal de la réaction,  $x_{\max}$ , est la **plus petite valeur de x pour laquelle la quantité de matière d'un des réactifs devient nulle**. Ce réactif est le **réactif limitant**.

Ici on résout :

$$3 - 2x = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x = \frac{3}{2} = 1,5 \quad \text{d'où } 0 < x < 1,5 \quad \Leftrightarrow \quad x_{\max} = 1,5 \text{ mol}$$

$$2 - x = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x = 2$$

C'est donc pour les ions  $H^+$  que la valeur de  $x$  est la plus petite, c'est donc **les ions  $H^+$  le réactif limitant**.

### État final :

Il n'y a plus d'ions  $H^+$ , ils constituent le réactif limitant. Il reste 0.5 moles de magnésium qui est un **réactif en excès**.

On a produit 1.5 moles de  $H_2$  et 1.5 moles de  $Mg^{2+}$

### Cas du mélange stoechiométrique

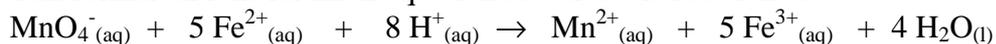
Dans le cas où tous les réactifs sont limitants, le mélange initial est dit stoechiométrique.

En reprenant notre exemple, pour que le mélange initial soit stoechiométrique il faut que la quantité de matière de protons soit deux fois plus grande que la quantité de matière de magnésium.

C'est-à-dire que  $\frac{n(H^+)}{2} = \frac{n(Mg)}{1} = x_{max}$

### Exemple à traiter

Les ions permanganates, violets, réagissent sur les ions fer II en milieu acide pour les transformer en ions fer III. L'équation associée à la réaction est :



Aux concentrations utilisées, seuls les ions permanganates sont notablement colorés.

Dans un bécher, on introduit  $v_1 = 10,0$  mL de solution de sulfate de fer II de concentration  $c_1 = 0,055 \text{ mol.L}^{-1}$  et  $v = 5,0$  mL d'acide sulfurique de concentration  $c = 0,50 \text{ mol.L}^{-1}$ . On ajoute  $v_2 = 4,0$  mL de solution de permanganate de potassium de concentration  $c_2 = 0,025 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Le mélange est incolore.

1. Faire le bilan des espèces présentes à l'état initial. Quel est le réactif limitant ?
2. Construire le tableau d'avancement de la réaction.

#### Résolution:

1) Bilan de matière à l'état initial :

**Ions permanganate :**

**Ions fer II :**

**Ions oxonium :**

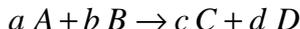
2) Réactif limitant :

A l'état final, la solution est incolore, donc l'ion permanganate n'est plus présent, c'est le réactif limitant.

Equation		$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{2+} (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$					
Etat du système	Avancement (x en mol)	$n_{\text{MnO}_4}$	$n_{\text{Fe}^{2+}}$	$n_{\text{H}^+}$	$n_{\text{Mn}^{2+}}$	$n_{\text{Fe}^{3+}}$	-
Initial							-
Au cours de la transformation							-
Final							-

## ÉTUDE DES TRANSFORMATIONS CHIMIQUES : METHODE GENERALE

Considérons, de façon générale, une transformation chimique dont l'équation de la réaction est :



A et B sont les deux réactifs. C et D sont les deux produits de la réaction.

a, b, c et d sont les nombres (ou coefficients) stœchiométriques.

### L'état initial (EI) :

Quantité initiale de A :  $n_A^i$

Quantité initiale de B :  $n_B^i$

Quantité initiale de C : 0 mol

Quantité initiale de D : 0 mol

Équation	$a A$	+	$b B$	→	$c C$	+	$d D$
EI (mol)	$n_A^i$		$n_B^i$		0		0

### Au cours de la transformation (état intermédiaire) :

On définit l'avancement  $x$  de la réaction.

Lorsqu'il se forme  $cx$  moles de C,

il se forme simultanément  $dx$  moles de D.

Sont consommées alors  $ax$  moles de A et  $bx$  moles de B.

Il reste donc :  $(n_A^i - ax)$  moles de A

et  $(n_B^i - bx)$  moles de B.

Équation	$a A$	+	$b B$	→	$c C$	+	$d D$
EI (mol)	$n_A^i$		$n_B^i$		0		0
Au cours de la transformation (mol)	$n_A^i - ax$		$n_B^i - bx$		$cx$		$dx$

### L'état final (EF) :

L'avancement est maximal ( $x_{\max}$ ).

Quantité de réactif limitant : 0 mol

Si le réactif limitant est A :

$$n_A^i - ax_{\max} = 0 \Leftrightarrow x_{\max} = \frac{n_A^i}{a}$$

$$n_B^f = n_B^i - bx_{\max} = n_B^i - \frac{b}{a} n_A^i$$

Or en déduit :

Équation	$a A$	+	$b B$	→	$c C$	+	$d D$
EI (mol)	$n_A^i$		$n_B^i$		0		0
Au cours de la transformation (mol)	$n_A^i - ax$		$n_B^i - bx$		$cx$		$dx$
Or en déduit : EF (mol)	0		$n_B^i - \frac{b}{a} n_A^i$		$\frac{c}{a} n_A^i$		$\frac{d}{a} n_A^i$

### Détermination du réactif limitant :

Le réactif limitant est celui qui s'épuise en premier. L'autre réactif n'est donc pas entièrement consommé, il en reste une fois que la réaction s'est arrêtée.

Les quantités des réactifs qui réagissent sont proportionnelles aux nombres stœchiométriques  $a$  et  $b$ .

Réaction dans les proportions stœchiométriques (aucun réactif en excès)  $x_{\max} = \frac{n_A^i}{a} = \frac{n_B^i}{b}$	A réactif limitant B réactif en excès  $x_{\max} = \frac{n_A^i}{a} < \frac{n_B^i}{b}$	B réactif limitant A réactif en excès  $\frac{n_A^i}{a} > \frac{n_B^i}{b} = x_{\max}$
---	--	--