

## I- Quelques rappels de seconde...

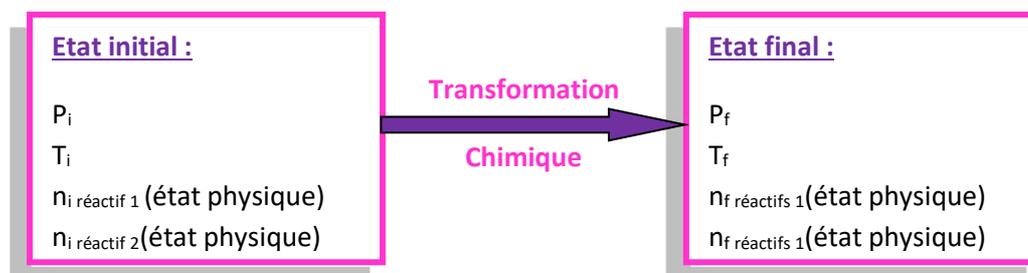
La transformation chimique est le passage d'un système de son état initial à son état final.



L'état initial est l'état du système au moment de la mise en contact des espèces chimiques. L'état final est l'état du système lorsqu'il cesse d'évoluer.

Durant une transformation chimique, des espèces sont consommées (réactifs) et d'autres apparaissent (produits).

Chaque état est défini selon des paramètres précis (Températures, Pressions, quantités de matière, états physiques) :



L'équation de la réaction est l'écriture symbolique de la réaction. Les formules des réactifs sont placées à gauche et les formules des produits sont placées à droite d'une flèche orientée de gauche à droite.

Lors d'une réaction chimique, on appelle stœchiométrie les relations de proportionnalité entre les quantités de matière consommée des réactifs et les quantités de matière formée des produits.

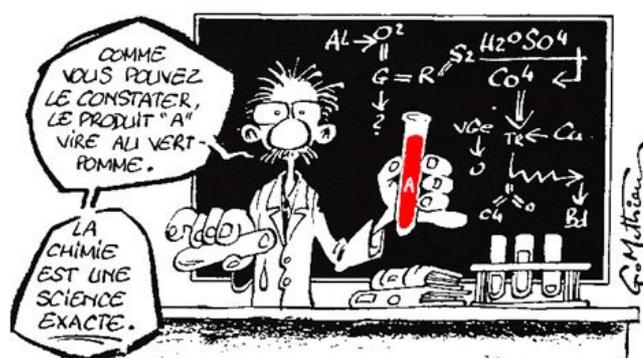
Les quantités de matière des réactifs consommés  $n_{\text{conso}}$  et les quantités de produits formés  $n_{\text{formé}}$  sont reliés par un bilan de matière.

**Exemple :**  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HO}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$

Une mole de  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  réagit avec 2 moles de  $\text{HO}^{-}(\text{aq})$  pour former 1 mole de  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$

A chaque fois qu'une mole de  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  disparaît, alors il disparaît 2 moles de  $\text{HO}^{-}(\text{aq})$ .

## II- Comment suivre une transformation chimique ?



**1- Avancement d'une transformation chimique**  
L'avancement est une grandeur, souvent notée  $x$  et exprimée en mole qui permet de décrire l'état d'un système au cours d'une transformation chimique.

**Exemple :** Reprenons l'exemple précédent.

**1** mole de  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  réagit avec **2** moles de  $\text{HO}^{-}(\text{aq})$  pour former **1** mole de  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ .

Les réactifs réagissent toujours dans les mêmes proportions, on peut donc écrire que :

De manière plus générale, on peut écrire :

**1x** mole de  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  réagit avec **2x** moles de  $\text{HO}^{-}(\text{aq})$  pour former **1x** mole de  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ .

## 2- Le tableau d'avancement

Il permet de décrire l'évolution des quantités de matière d'un système chimique de l'état initial à l'état final, en fonction de l'avancement  $x$  de la réaction.

**Exemple :**  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HO}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$

☑ A l'état initial :  $x = x_i = 0$

Quantité en ion  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  introduite initialement :  $n_i(\text{Cu}^{2+}) = 9.10^{-4}$  mol

Quantité en ion  $\text{HO}^{-}(\text{aq})$  introduite initialement :  $n_i(\text{HO}^{-}) = 1.10^{-3}$  mol

On considère qu'au départ, il n'y a pas de  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$  :  $n_i(\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})) = 0$

☑ A l'état final :  $x = x_f$

Voici le tableau d'avancement de la réaction correspondante :

	Avancement (mol)	$\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + 2 \text{HO}_{(\text{aq})}^{-} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{s})}$		
Etat initial	0	$n_i(\text{Cu}^{2+})$	$n_i(\text{HO}^{-})$	0
Etat intermédiaire	$x$	$n_i(\text{Cu}^{2+}) - x$	$n_i(\text{HO}^{-}) - 2x$	$x$
Etat final	$x_{\text{final}}$	$n_i(\text{Cu}^{2+}) - x_{\text{final}}$	$n_i(\text{HO}^{-}) - 2x_{\text{final}}$	$x_{\text{final}}$

## III- Transformation totale ou non totale ?

### 1- Transformation totale

L'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  correspond à la plus petite valeur de l'avancement pour laquelle la quantité finale de l'un au moins des réactifs est nulle. Ce réactif est appelé limitant.

**Exemple :**  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HO}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$

On cherche à déterminer la valeur de  $x_{\text{max}}$  afin de réaliser le bilan de matière à l'état final, c'est-à-dire de calculer les quantités de matière de toutes les espèces chimiques à l'état final. Faisons deux hypothèses :

#### Hypothèse 1 :

✓ Si  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  est le réactif limitant alors, à l'état final :

$$n_i(\text{Cu}^{2+}) - x_{\text{max}} = 0 \text{ donc } x_{\text{max}} = n_i(\text{Cu}^{2+}) = 9.10^{-4} \text{ mol.}$$

L'avancement serait  $x_{\text{max}} = 9.10^{-4}$  mol

#### Hypothèse 2 :

✓ Si  $\text{HO}^{-}(\text{aq})$  est le réactif limitant alors, à l'état final :

$$n_i(\text{HO}^{-}) - 2x_{\text{max}} = 0 \text{ donc } x_{\text{max}} = \frac{n_i(\text{HO}^{-})}{2} = \frac{1.10^{-3}}{2} = 5.10^{-4} \text{ mol.}$$

L'avancement serait  $x_{\text{max}} = 5.10^{-4}$  mol

La plus petite valeur des deux est l'avancement maximal :  $x_{\text{max}} = 5.10^{-4}$  mol. Le réactif limitant est l'ion hydroxyde.

Si  $x_f = x_{max}$ , alors la transformation est totale.

	Avancement (mol)	$Cu^{2+}_{(aq)} + 2 HO^{-}_{(aq)} \rightarrow Cu(OH)_{2(s)}$		
Etat initial	0	$n_i(Cu^{2+})$	$n_i(HO^-)$	0
Etat intermédiaire	x	$n_i(Cu^{2+}) - x$	$n_i(HO^-) - 2x$	x
Etat final	$x_{max}$	$n_i(Cu^{2+}) - x_{max}$	$n_i(HO^-) - 2x_{max}$	$x_{max}$

Dans le tableau d'avancement, on peut remplacer à l'état final  $x_f$  par  $x_{max}$ .

Réalisons le bilan de matière :

Le réactif limitant est l'ion hydroxyde donc :

$$n_f(HO^-) = 0$$

$$n_f(Cu^{2+}) = n_i(Cu^{2+}) - x_{max} = 9 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_f(Cu(OH)_2) = x_{max} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

A l'état final, il n'y a plus d'ions hydroxyde  $HO^-$ , il reste  $4 \cdot 10^{-4}$  mol d'ion cuivre  $Cu^{2+}$  et  $5 \cdot 10^{-4}$  mol de précipité d'hydroxyde de cuivre  $Cu(OH)_2$  ont été formées.

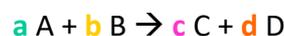
## 2- Transformation non totale

Si  $x_f < x_{max}$ , alors la transformation n'est pas totale, on dit quelle est limitée.

Pour une transformation non totale, il faut connaître la valeur de l'avancement  $x_f$  pour effectuer le bilan de matière à l'état final.

## IV- Qu'est ce qu'un mélange stœchiométrique ?

Soit la réaction d'équation :



Où  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  sont les coefficients stœchiométriques de l'équation.

Le mélange initial est dit stœchiométrique si les quantités initiales des réactifs sont dans les proportions des nombres stœchiométriques de l'équation de réaction.

$$\frac{n_{i(A)}}{a} = \frac{n_{i(B)}}{b}$$

Dans le cas de la réaction totale, les quantités finales des réactifs sont égales et nulles. Seuls les produits de la réaction et éventuellement les espèces spectatrices sont présents à l'état final.

Exemple:  $4 Al (s) + 3 O_2 \rightarrow 2 Al_2O_3 (s)$

En chimie	Avancement (mol)	Nombres stœchiométriques		
		$4 Al_{(s)}$	$+ 3 O_{2(g)}$	$\rightarrow 2 Al_2O_{3(s)}$
Etat initial	0	$n_i(Al)$	$n_i(O_2)$	0
Etat final	$x_{max}$	$n_i(Al) - 4 x_{max}$	$n_i(O_2) - 3 x_{max}$	$2 x_{max}$

Pour avoir un mélange stœchiométrique il faut que la quantité de matière des réactifs soit nulle à l'état final donc :

$$\begin{cases} n_i(\text{Al}) - 4x_{\max} = 0 \\ n_i(\text{O}_2) - 3x_{\max} = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} x_{\max} = \frac{n_i(\text{Al})}{4} \\ x_{\max} = \frac{n_i(\text{O}_2)}{3} \end{cases}$$

Les deux conditions doivent être respectées donc :

$$\frac{n_i(\text{Al})}{4} = \frac{n_i(\text{O}_2)}{3}$$