



# CHAPITRE 3 : ÉVOLUTION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

## ÉVOLUTION D'UNE TRANSFORMATION CHIMIQUE

### 1) Évolution des quantités de matière

On appelle **système chimique** l'ensemble des espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles.

Le saviez-vous ?



Dans un système chimique, on distingue trois catégories d'espèces chimiques :

- Les **réactifs** : ce sont les espèces chimiques qui sont consommées. Leurs quantités de matière diminuent au cours du temps.
- Les **produits** : ce sont les espèces chimiques qui sont formées. Leurs quantités de matière augmentent au cours du temps.
- Les **espèces spectatrices** : elles ne sont pas affectées par la réaction. Leurs quantités de matière sont constantes au cours du temps.

Même si les quantités de matière varient au cours du temps, la masse globale du système, elle, reste constante.

On appelle **nombres stœchiométriques** les coefficients qui permettent d'ajuster une équation bilan.

### 2) Notion d'avancement

L'avancement de la réaction, noté  $x$ , est une quantité de matière proportionnel au nombre de fois que la réaction se produit, exprimé en moles (mol). Il augmente de 0 mol dans l'état initial à sa valeur finale  $x_f$  dans l'état final.

Exemple : Pour la réaction de précipitation de l'hydroxyde de cuivre :  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2 \text{HO}^{-}_{(aq)} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$

Lorsque l'avancement est  $x$ ,

- la quantité de matière de  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  consommé est  $x$
- la quantité de matière de  $\text{HO}^{-}_{(aq)}$  consommé est  $2x$
- la quantité de matière de  $\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$  formé est  $x$

Il est important de différencier **avancement final** et **avancement maximal**.

- **Transformation totale** : On dit qu'une transformation est totale lorsqu'elle s'arrête quand un réactif vient à manquer (comme les combustions). On appelle **réactif limitant** le réactif qui est entièrement consommé. L'avancement final est alors égal à une valeur maximale :  $x_f = x_{max}$ . C'est l'**avancement maximal**.
- **Transformation limitée** : On dit qu'une transformation est limitée (ou équilibrée) quand elle s'arrête alors qu'aucun réactif n'a été entièrement consommé. L'avancement final  $x_f$  est alors inférieur à l'avancement maximal  $x_{max}$  (l'avancement si la transformation avait été totale) :  $x_f < x_{max}$ .

## COMPOSITION DU SYSTÈME À L'ÉTAT FINAL

Déterminer la composition d'un système chimique correspond à donner les quantités de matière de toutes les espèces chimiques présentes. Pour cela, on peut s'aider d'un **tableau d'avancement**, qui décrit l'évolution des quantités de matières au sein du système chimique entre son état initial et son état final.

### 1) Travail préliminaire

Avant de dresser un tableau d'avancement, il faut connaître :

- l'**équation de la réaction** étudiée
- si possible, les **quantités de matières apportées** des différentes espèces qui apparaissent dans l'équation (cependant certains exercices font faire le travail « à l'envers » en donnant les quantités de matières formées et en demandant les quantités de matière initiales).

### 2) Construction du tableau d'avancement

Exemple : Reprenons la réaction de précipitation de l'hydroxyde de cuivre :



		$\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	+	$2 \text{HO}^{-}_{(aq)}$	→	$\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$
État initial	$x = 0$	$n_i(\text{Cu}^{2+})$		$n_i(\text{HO}^-)$		0
En cours	$x$	$n_i(\text{Cu}^{2+}) - x$		$n_i(\text{HO}^-) - 2x$		$x$
État final	$x = x_f$	$n_i(\text{Cu}^{2+}) - x_f$		$n_i(\text{HO}^-) - 2x_f$		$x_f$

Quantités de matière apportées

Quantités de matière en fonction de  $x$

Remplacer  $x$  par  $x_f$  et faire les calculs

Remarque : la quantité de matière initiale d'un produit n'est pas toujours nulle. Attention à bien lire les énoncés avant de remplir la première ligne du tableau.

### 3) État final pour une transformation totale

- ① Pour chaque réactif, déterminer la **valeur de  $x_{max}$**  obtenue en supposant que ce réactif est le réactif limitant.
- ② **Comparer** les valeurs obtenues. La plus petite valeur de  $x_{max}$  ne peut être dépassée (au-delà, la quantité de matière du réactif associé sera négative, ce qui est impossible). Ce réactif est donc le **réactif limitant**.
- ③ La composition finale du système chimique s'obtient en remplaçant  $x_{max}$  par la valeur trouvée à l'étape précédente dans la **dernière ligne** du tableau d'avancement.

Exemple : Reprenons la réaction de précipitation de l'hydroxyde de cuivre avec  $n_i(\text{Cu}^{2+}) = 2,0 \text{ mol}$  et  $n_i(\text{HO}^-) = 2,6 \text{ mol}$ .

① - si  $\text{Cu}^{2+}$  est le réactif limitant,  $n_i(\text{Cu}^{2+}) - x_{max} = 0$  soit  $x_{max} = n_i(\text{Cu}^{2+}) = 2,0 \text{ mol}$

- si  $\text{HO}^-$  est le réactif limitant,  $n_i(\text{HO}^-) - 2 x_{max} = 0$  soit  $x_{max} = \frac{n_i(\text{HO}^-)}{2} = \frac{2,6}{2} = 1,3 \text{ mol}$

② La plus petite valeur de  $x_{max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{max} = 1,3 \text{ mol}$  et  $\text{HO}^-$  est le réactif limitant.

③ Il reste donc  $n_f(\text{Cu}^{2+}) = n_i(\text{Cu}^{2+}) - x_{max} = 2,0 - 1,3 = 0,7 \text{ mol}$ .

Il a été formé  $n_f(\text{Cu}(\text{OH})_2) = x_{max} = 1,3 \text{ mol}$

On peut remplir le tableau d'avancement ainsi :

		$\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	+	$2 \text{HO}^-_{(aq)}$	→	$\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$
État initial	$x = 0$	2,0		2,6		0
En cours	$x$	$2,0 - x$		$2,6 - 2x$		$x$
État final	$x = x_f$	$2,0 - x_f = 0,7$		$2,6 - 2x_f = 0$		1,3

### 4) Proportions stœchiométriques

Un mélange est **stœchiométrique** si tous les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques, c'est-à-dire les proportions indiquées par l'équation de réaction.

Il n'y a alors pas de réactif en excès : pour une transformation totale, les quantités de matières finales de tous les réactifs sont nulles.

Exemple : Reprenons la réaction de précipitation de l'hydroxyde de cuivre avec  $n_i(\text{Cu}^{2+}) = 2,0 \text{ mol}$  et  $n_i(\text{HO}^-) = 4,0 \text{ mol}$ .

		$\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	+	$2 \text{HO}^-_{(aq)}$	→	$\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$
État initial	$x = 0$	2,0		4,0		0
En cours	$x$	$2,0 - x$		$4,0 - 2x$		$x$
État final	$x = x_f$	$2,0 - x_f = 0$		$4,0 - 2x_f = 0$		2,0

### 5) État final pour une transformation limitée

Dans l'état final d'une réaction limitée, le réactif limitant n'est pas consommé entièrement. La connaissance d'une de leurs quantités de matière finales et des quantités de matière initiales permet de déterminer l'avancement final et donc la composition du système à l'état final.

### 6) Pour résumer

Pour une réaction  $aA + bB \rightarrow cC + dD$ , on peut déterminer l'avancement final et le réactif limitant ainsi :

- Si  $\frac{n_i(A)}{a} < \frac{n_i(B)}{b}$  : A est le réactif limitant et  $x_f = \frac{n_i(A)}{a}$
- Si  $\frac{n_i(B)}{b} < \frac{n_i(A)}{a}$  : B est le réactif limitant et  $x_f = \frac{n_i(B)}{b}$
- Si  $\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_i(B)}{b}$  les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.

On a alors  $n_i(A) - ax_f = n_i(B) - bx_f = 0$ .

Ex : 13, 16, 18, 19, 26, 28, 31, 34, 36 p 57 → 64

Ex supplémentaires : 15, 20, (22, 23 ou 24), 25, 29, 30, 35, 38 p 57 → 64