

Évolution d'un système chimique

PREMIÈRE

1 Décrire un système chimique

Définition

Une **transformation chimique** fait passer un système d'un **état initial** (les réactifs, en quantités connues) à un **état final** (les produits formés et les réactifs restants).

Elle est modélisée par une **réaction chimique**, dont l'équation traduit la conservation des éléments et des charges.

Définition

L'**avancement** x est la quantité de matière, exprimée en mol, qui mesure le **degré d'évolution** de la transformation.

- à l'état initial : $x = 0$;
- pendant la transformation, x augmente ;
- à l'état final, il vaut x_f , l'**avancement final**.

Pour l'équation $a A + b B \longrightarrow c C + d D$, lorsque l'avancement vaut x , il a disparu $a x$ mole(s) de A et $b x$ mole(s) de B, et il s'est formé $c x$ mole(s) de C et $d x$ mole(s) de D.

2 Le tableau d'avancement

Méthode

Un tableau d'avancement se construit toujours en trois lignes :

État	Avancement	Quantités de matière (mol)			
		$a A$	$+ b B$	$\rightarrow c C$	$+ d D$
Initial	0	$n_0(A)$	$n_0(B)$	0	0
Intermédiaire	x	$n_0(A) - a x$	$n_0(B) - b x$	$c x$	$d x$
Final	x_f	$n_0(A) - a x_f$	$n_0(B) - b x_f$	$c x_f$	$d x_f$

Rappel

Les trois pièges à éviter :

- les coefficients stœchiométriques **multiplient** l'avancement : on écrit $n_0 - 3x$, pas $n_0 - x$, si le coefficient vaut 3 ;
- on soustrait pour les **réactifs**, on ajoute pour les **produits** ;
- l'eau en tant que **solvant** et les espèces **spectatrices** (par exemple K^+ , NO_3^-) n'apparaissent pas dans le tableau.

3 Réactif limitant et avancement maximal

Définition

Le **réactif limitant** est le réactif entièrement consommé à la fin d'une transformation totale. C'est lui qui **impose** la fin de la réaction.

L'**avancement maximal** $x_{\max}$ est la valeur de x pour laquelle le réactif limitant est épuisé.

Méthode

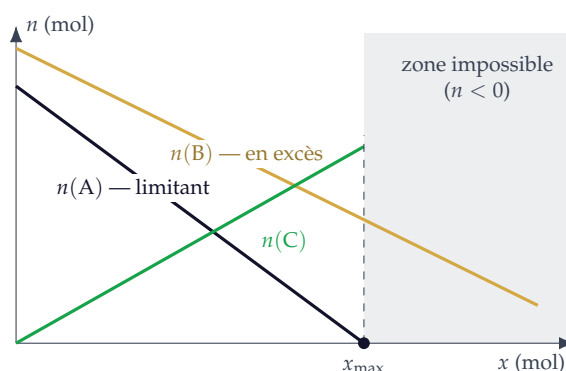
Déterminer le réactif limitant. On écrit qu'aucune quantité de matière ne peut être négative :

$$n_0(\text{A}) - a x \geq 0 \iff x \leq \frac{n_0(\text{A})}{a} \qquad n_0(\text{B}) - b x \geq 0 \iff x \leq \frac{n_0(\text{B})}{b}$$

L'avancement maximal est la **plus petite** des deux valeurs :

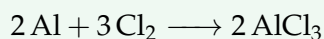
$$x_{\max} = \min\left(\frac{n_0(\text{A})}{a}; \frac{n_0(\text{B})}{b}\right)$$

Le réactif qui donne ce minimum est le **réactif limitant**. Si les deux valeurs sont **égales**, le mélange est dit **stœchiométrique** : les deux réactifs disparaissent simultanément.



Méthode

Exemple : On fait réagir $n_0(\text{Al}) = 0,40$ mol d'aluminium avec $n_0(\text{Cl}_2) = 0,50$ mol de dichlore selon :



$$\frac{n_0(\text{Al})}{2} = \frac{0,40}{2} = 0,20 \text{ mol} \qquad \frac{n_0(\text{Cl}_2)}{3} = \frac{0,50}{3} = 0,17 \text{ mol}$$

Le plus petit quotient est celui du dichlore : **Cl_2 est le réactif limitant** et $x_{\max} = 0,17$ mol.

4 Composition du système à l'état final

Propriété

Transformation totale : le réactif limitant est **entièrement consommé**, donc

$$x_f = x_{\max}$$

Transformation non totale : la réaction s'arrête avant l'épuisement du réactif limitant, et

$$x_f < x_{\max}$$

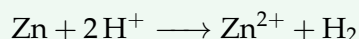
On définit alors le **taux d'avancement final** :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} \quad 0 \leq \tau \leq 1$$

$\tau = 1$ (ou 100 %) caractérise une transformation totale.

Méthode

Exemple : On verse $n_0(\text{HCl}) = 0,10 \text{ mol}$ de chlorure d'hydrogène sur $n_0(\text{Zn}) = 0,030 \text{ mol}$ de zinc :



État	x (mol)	Zn	$+ 2 \text{H}^+$	$\rightarrow \text{Zn}^{2+}$	$+ \text{H}_2$
Initial	0	0,030	0,10	0	0
Intermédiaire	x	$0,030 - x$	$0,10 - 2x$	x	x
Final	x_f	$0,030 - x_f$	$0,10 - 2x_f$	x_f	x_f

$$\frac{0,030}{1} = 0,030 \text{ mol}$$

$$\frac{0,10}{2} = 0,050 \text{ mol}$$

Le zinc est le réactif limitant et $x_{\max} = 0,030 \text{ mol}$. La transformation étant totale, $x_f = 0,030 \text{ mol}$ et l'état final est :

$$n(\text{Zn}) = 0 \text{ mol} \quad n(\text{H}^+) = 0,10 - 2 \times 0,030 = 0,040 \text{ mol} \quad n(\text{Zn}^{2+}) = n(\text{H}_2) = 0,030 \text{ mol}$$

Le volume de dihydrogène dégagé vaut alors $V = n \times V_m = 0,030 \times 24,0 = 0,72 \text{ L}$.

À retenir

Tableau d'avancement : réactifs en $n_0 - (\text{coeff}) \times x$, produits en $(\text{coeff}) \times x$.

Réactif limitant : celui qui donne le plus petit quotient $\frac{n_0}{\text{coefficient}}$ — ce quotient est $x_{\max}$.

Mélange stœchiométrique : tous les quotients sont égaux, tous les réactifs disparaissent ensemble.

Taux d'avancement : $\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$, égal à 1 pour une transformation totale.