

Composition d'un système chimique à l'état final

Lien vers la vidéo : <https://youtu.be/13nnCpInzdQ?si=MJD68Uhw4TW3s2QE>

Pages du livre : 52 à 55

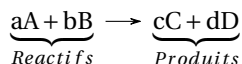
On n'oublie pas la carte mentale!



1 Évolution des quantités de matière lors d'une transformation

1.1 La transformation chimique

Soit une équation de réaction qui modélise une transformation chimique entre deux réactifs A et B et qui forme deux produits C et D. Les **coefficients stœchiométriques** sont notés a, b, c et d.



- Les quantités de matière des **réactifs diminue** au cours de la réaction chimique
- Les quantités de matière des **produits augmente** au cours de la réaction chimique

1.2 Évolution des quantités de matière lors d'une transformation

Une transformation chimique peut être :

- **totale**, si au moins un des réactifs **disparaît totalement** à la fin de la réaction : il y a présence d'un **réactif limitant**
- **non totale**, si à la fin de la réaction, **tous les réactifs et produits sont présents** en solution, il n'y a **pas de réactif limitant**

Afin de suivre l'évolution d'une transformation chimique, on définit l'avancement de la réaction comme la quantité de matière de réactif affecté d'un coefficient stœchiométrique de 1 qui disparaît au cours de la réaction. L'avancement se note « x » et s'exprime en moles (mol).

- L'**avancement est maximal** si la transformation est **totale**, il se note x_{max}
- On parle d'**avancement final** si la transformation est **non totale**, on le note x_f

1.3 Comment établir un tableau d'avancement ?

Un **tableau d'avancement**, ou tableau d'évolution du système, permet de connaître la **composition du système à l'état initial, final** et à n'importe quelle date t que l'on nomme l'**état intermédiaire**. La composition du système à l'**état initial** correspond à la composition du système à $t = 0$, **avant que la réaction ne commence**.

Exemple pour une réaction totale entre le cuivre solide et les ions argent :

		Cu (s) + 2Ag ⁺ (aq) → 2Ag (s) + Cu ²⁺ (aq)			
État initial	$x = 0$	$n_0(\text{Cu})$	$n_0(\text{Ag}^+)$	0	0
État intermédiaire	$x = x$	$n_0(\text{Cu}) - x$	$n_0(\text{Ag}^+) - 2x$	$0 + 2x$	$0 + x$
État final	$x = x_{max}$	$n_f(\text{Cu}) = n_0(\text{Cu}) - x_{max}$	$n_f(\text{Ag}^+) = n_0(\text{Ag}^+) - 2x_{max}$	$2x_{max}$	x_{max}

2 État final d'un système chimique

Un tableau d'avancement se complète avec les **quantités de matières** de chaque espèce chimique. Il est donc possible, si l'on connaît la valeur de l'avancement maximal x_{max} , de déterminer la **composition du système à l'état final**, c'est à dire les quantités de matières de chaque espèce chimique à l'état final.

Exemple : À l'aide du tableau d'avancement précédent, déterminer la composition du système à l'état final sachant qu'initialement une quantité de matière de cuivre solide de $n_0(\text{Cu}) = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$ était immergé dans $V = 50 \text{ mL}$ d'une solution contenant des ions argent à la concentration $C = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Méthode générale à retenir

- Trouver les demi équations ainsi que l'équation globale de la réaction
- Calculer les quantités de matière initiales
- Dresser le tableau d'avancement du système
- Identifier le réactif limitant et en déduire la valeur de $x_{\max}$
- Déterminer la composition finale du système

3 État final d'un d'un système chimique

Identification du réactif limitant

		$\text{Cu (s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Ag (s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$			
État final	$x = x_{\max}$	$n_f(\text{Cu}) = n_0(\text{Cu}) - x_{\max}$	$n_f(\text{Ag}^+) = n_0(\text{Ag}^+) - 2x_{\max}$	$2x_{\max}$	$x_{\max}$

- Si le cuivre est le réactif limitant, alors il disparaît totalement à l'état final, donc

$$n_f(\text{Cu}) = n_0(\text{Cu}) - x_{\max} = 0$$

d'où

$$x_{\max} = n_0(\text{Cu}) = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Si les ions argent sont limitants, alors

$$n_f(\text{Ag}^+) = n_0(\text{Ag}^+) - 2x_{\max} = 0$$

d'où

$$x_{\max} = \frac{n_0(\text{Ag}^+)}{2} = \frac{CV}{2} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

L'avancement maximal correspond à la valeur de $x_{\max}$ **la plus petite**, c'est donc le cuivre qui est **réactif limitant** et l'avancement maximal vaut

$$x_{\max} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

Remarque : Prendre la valeur de $x_{\max}$ la plus grande reviendrait à obtenir des quantités de matière négatives à l'état final, ce qui n'est bien sûr pas possible.

La composition du système à l'état final est donc :

		$\text{Cu (s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Ag (s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$			
État final	$x = x_{\max}$	$n_f(\text{Cu}) = n_0(\text{Cu}) - x_{\max} = 0$	$n_f(\text{Ag}^+) = n_0(\text{Ag}^+) - 2x_{\max} = 5,0 \times 10^{-2} - 2 \times 1,5 \times 10^{-2} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$

Définition

Un mélange est qualifié de stœchiométrique si les deux réactifs sont limitants, c'est à dire si à l'état final les deux réactifs ont totalement disparus.

		aA + bB → cC + dD			
État initial	$x = 0$	$n_0(A)$	$n_0(B)$	0	0
État final	$x = x_{max}$	$n_0(A) - ax_{max}$	$n_0(B) - bx_{max}$	cx_{max}	dx_{max}

Si les deux réactifs sont limitants, alors

$$n_0(A) - ax_{max} = 0$$

donc

$$x_{max} = \frac{n_0(A)}{a}$$

et de même pour B on obtient

$$x_{max} = \frac{n_0(B)}{b}$$

4 Le mélange stœchiométrique

Important

Si les **réactifs** sont introduits en **proportion stœchiométrique**, alors les quantités de matières initiales sont liées par la relation

$$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$$

On rappelle (vu en seconde) une méthode rapide pour identifier le réactif limitant :

Si A est réactif limitant, alors

$$\frac{n_0(A)}{a} < \frac{n_0(B)}{b}$$

Si B est réactif limitant, alors

$$\frac{n_0(A)}{a} > \frac{n_0(B)}{b}$$

5 Cas d'une réaction non totale

Réaction de l'acide fluorhydrique HF avec l'eau

		HF (aq) + H ₂ O (l) ⇌ F ⁻ (aq) + H ₃ O ⁺ (aq)			
État initial	$x = 0$	$n_0(HF)$	$n_0(H_2O)$	0	0
État intermédiaire	$x = x$	$n_0(HF) - x$	$n_0(H_2O) - x$	x	x
État final	$x = x_f$	$n_f(HF) = n_0(HF) - x_f$	$n_f(H_2O) = n_0(H_2O) - x_f$	x_f	x_f

Contrairement au cas d'une réaction totale, il n'y a **pas de réactif limitant** dans ce cas. Il n'est donc **pas possible de déterminer la valeur de x_f** sans information supplémentaire. En général, on détermine x_f à l'aide d'une **mesure à l'état final**, par exemple une mesure d'**absorbance** si la solution est colorée afin d'en déduire la quantité de matière d'un des produits formé pour en déduire x_f .

Il est possible de comparer la valeur réelle de x_f à une valeur théorique de x_{max} en supposant que la réaction soit totale.

- Si $x_f = x_{max}$ alors la réaction est totale
- Si $x_f < x_{max}$ alors la réaction est non totale