

Cours 1 : **Avancement d'une réaction chimique**

Prof : ARYANI Ahmed

Plan du cours

- I- Evolution d'un système chimique :
 - II- Notion d'avancement :
 - III- Transformation totale et transformation limitée :
 - IV- Taux d'avancement final d'une réaction chimique :
-

I- Evolution d'un système chimique :

1- Notion du système chimique :

Un système chimique est défini par les espèces chimiques présentes à un instant donné et leurs quantités en mole dans des conditions de température et pression données. Lorsque des espèces chimiques réagissent entre elles, le système chimique évolue entre un état initial et un état final au cours d'une transformation chimique. La transformation chimique est modélisée par une réaction chimique décrite par son équation chimique.

2- Exemple de système chimique :

Réaliser les trois systèmes chimiques suivants :

- S₁ obtenu en mélangeant du soufre avec du fer en poudre ;
- S₂ obtenu en versant une solution aqueuse de nitrate d'argent dans un tube à essais contenant une solution aqueuse de chlorure de sodium ;
- S₃ obtenu en introduisant dans un ballon, initialement rempli de dioxygène O₂, du monoxyde d'azote NO.

Les constituants de chacun des trois systèmes sont consignés dans le tableau suivant :

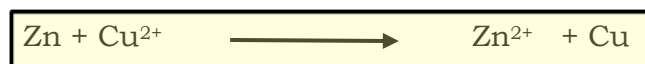
Système chimique	Constituants du système
S ₁	fer et soufre
S ₂	solution aqueuse de nitrate d'argent Ag ⁺ + NO ₃ ⁻ et solution aqueuse de chlorure de sodium Na ⁺ + Cl ⁻
S ₃	Monoxyde d'azote NO et dioxygène O ₂

3- Evolution d'un système chimique :

Système (S) : le zinc et la solution de sulfate de cuivre



Pour le système (S), l'apparition de dépôt de cuivre et l'atténuation de la couleur de la solution prouve que le système a évolué selon la réaction :



Les espèces chimiques qui constituent un système peuvent réagir entre elles. Le système peut donc évoluer au cours du temps. Cette évolution peut s'observer ou être invisible. Lorsqu'un système évolue au cours du temps, il passe d'un état initial noté t₀ à un état final noté t_f. On parle d'état final lorsque le système n'évolue plus. Si la composition chimique de l'état final est différente de celle de l'état initial, on dit qu'il y a eu une transformation chimique.

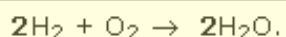
4- Transformation chimique :

Une transformation chimique est tout processus au cours duquel sont modifiées les quantités de matière de certains ou de tous les constituants du système où elle se déroule, donnant lieu ainsi à l'apparition de nouveaux constituants.

Une transformation chimique peut être modélisée (ou représentée) par une réaction chimique (réaction d'oxydoréduction, réaction acido-basique, réaction de précipitation, réaction de complexation, etc.) qu'on symbolise par une équation chimique.

II- Notion d'avancement :

Si je considère la formation d'eau à partir de la réaction entre le dihydrogène et le dioxygène :



Cette équation signifie que lorsque **2 moles** de dihydrogène réagissent avec **1 mole** de dioxygène, **2 moles** d'eau apparaissent.

Il est cependant plus explicite de **coefficients** ce bilan en introduisant une inconnue **x**, soit : lorsque **2x** moles de dihydrogène réagissent avec **x** moles de dioxygène, il apparaît **2x** moles d'eau.

Cette formulation permet de décrire la composition du système à tout instant.

Dans la formulation précédente, **x** sera appelé **avancement de la réaction** : x varie au cours de la réaction chimique. Comme on peut le constater, **l'unité de l'avancement est la mole** (ce qui implique de faire un bilan de matière en moles également).

- Dans l'**état initial**, l'**avancement est nul** donc : **x = 0** mol (la réaction n'a pas commencé) ;
- **En cours de réaction**, l'**avancement x augmente de plus en plus**. En effet, plus la réaction « avance », plus on consomme de réactif et plus on fabrique de produit.
- Dans l'**état final**, l'**avancement est maximal** : **x = x_{max}** (la réaction n'avance plus).

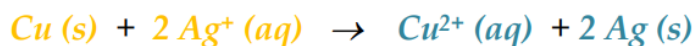
1- Définition :

L'avancement d'une réaction, noté x, est le nombre de fois que la réaction a marché depuis l'état initial. L'avancement x est exprimé en mole.

2- Tableau d'avancement :

a- Exemple :

On considère la réaction suivante :



Le tableau d'avancement ou tableau descriptif d'un système chimique est un tableau qui contient, autant de colonnes qu'il y a de réactifs et de produits, auxquelles s'ajoutent deux colonnes de présentation. Il permet de décrire l'état d'un système chimique à tout instant de la transformation chimique.

Pour la transformation précédente, le tableau d'avancement est le suivant :

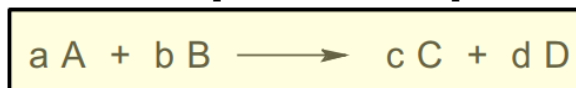
Equation :		$1 \text{Cu (s)} + 2 \text{Ag}^+ (\text{aq}) \rightarrow 1 \text{Cu}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{Ag (s)}$			
État du système	Avancement	Quantités de matières (mol).			
initial	0	$n_{\text{Cu}_i} = 3 \text{ mol}$	$n_{\text{Ag}_i} = 8 \text{ mol}$	$n_{\text{Cu}_i} = 0 \text{ mol}$	$n_{\text{Ag}_i} = 0 \text{ mol}$
en cours	x	$3 - 1x$	$8 - 2x$	$0 + 1x$	$0 + 2x$
final	x_f	$3 - 1 x_f$	$8 - 2 x_f$	$1 x_f$	$2 x_f$

$$\text{Quantité de matière initiale} + \text{coefficient stœchiométrique} \times \text{avancement } x$$

↗ Si c'est un produit car il apparaît : il y a plus au cours du temps
↘ Si c'est un réactif car il disparaît : il y a moins au cours du temps

b- Généralisation :

Considérons un système chimique constitué, à un instant $t = 0$, de $n_i(\text{A})$ moles de réactif A et $n_i(\text{B})$ moles de réactif B. Le système évolue au cours du temps pour donner les produits C et D. La réaction se produit selon l'équation suivante :



Equation de la réaction		$a \text{A} + b \text{B} \longrightarrow c \text{C} + d \text{D}$			
Etat du système	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)			
Initial	0	$n_i(\text{A})$	$n_i(\text{B})$	0	0
Intermédiaire	x	$n_i(\text{A}) - a.x$	$n_i(\text{B}) - b.x$	c.x	d.x
Final	x_f	$n_i(\text{A}) - a.x_f$	$n_i(\text{B}) - b.x_f$	c.x _f	d.x _f

Remarques :

- Si la transformation se produit à volume V constant, dans un système constitué d'une seule phase, il convient d'utiliser l'avancement volumique **y** qui est égal au quotient de l'avancement **x** exprimé en mole par le volume V de la solution : $y = x / V$

L'avancement volumique s'exprime en **mol.L⁻¹**.

- Pour une réaction totale, un réactif est dit réactif limitant si sa quantité de matière devient nulle à l'état final de la transformation.

III- Transformation totale et transformation limitée :

1- Notion d'avancement maximal :

L'avancement maximal d'une réaction chimique, noté x_{\max} , est la valeur de son avancement final x_f si le système chimique où elle se déroule évolue jusqu'à la disparition du réactif limitant.

2- Activité : *L'avancement final est-il toujours maximal ?*

Dans une fiole jaugée de **0,5 Litre**, partiellement remplie d'eau distillée, verser **1 mL** d'acide éthanoïque pur, prélevé à l'aide d'une pipette, puis compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée, homogénéiser la solution obtenue et mesurer son pH.

1. Sachant que la densité de l'acide éthanoïque est **d = 1,05**, sa masse molaire **M = 60,05 g.mol⁻¹** déterminer la quantité de matière initiale d'acide éthanoïque.

1. La quantité de matière initiale d'acide éthanoïque est $n = m / M$, avec m masse d'acide éthanoïque dans le volume prélevé $v = 1 \text{ mL}$, $m = \rho v = 1,05 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 1,05 \text{ g}$. Ce qui donne $n = 1,05 / 60,05 = 0,0175 \text{ mol}$

3- Ecrire l'équation chimique de la réaction qui se produit entre l'acide éthanoïque et l'eau.

2. L'équation chimique de la réaction qui se produit entre l'acide éthanoïque et l'eau est une réaction acide base qui met en jeu les couples $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} / \text{CH}_3\text{CO}_2^-$ et $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$, elle s'écrit :



4- Déterminer l'avancement maximal de la réaction.

3. L'avancement maximal est obtenu lorsque le réactif limitant a entièrement disparu. L'eau est l'un des réactifs mais aussi le solvant, c'est donc le réactif en excès. L'acide éthanoïque est alors le réactif limitant, donc l'avancement maximal est $x_M = 0,0175 \text{ mol}$.

5- A l'aide du pH mesuré, déterminer l'avancement final de la réaction.

4. Dressons le tableau d'avancement :

Equation de la réaction		$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CO}_2^- + \text{H}_3\text{O}^+$			
Etat du système	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)			
Initial	0	n_i	excès	0	0
Intermédiaire	x	$n_i - x$	excès	x	x
Final	x_f	$n_i - x_f$	excès	x_f	x_f

La mesure du pH de la solution aqueuse d'acide éthanoïque réalisée donne $\text{pH} = 3,1$. La concentration finale en ions H_3O^+ est $[\text{H}_3\text{O}^+]_f = 10^{-3,1} = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$, or $[\text{H}_3\text{O}^+]_f = x_f / V$ donc $x_f = [\text{H}_3\text{O}^+]_f V = 7,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

6- Comparer les avancements maximal et final.

5. L'avancement final $4 \cdot 10^{-4}$ mol est inférieur à l'avancement maximal $175 \cdot 10^{-4}$ mol.

A l'état final, la quantité de matière d'acide éthanoïque présente dans le milieu réactionnel est $175 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4} = 171 \cdot 10^{-4}$ mol. Le réactif limitant n'a pas entièrement réagi. On en déduit que **la transformation étudiée n'est pas totale**. Les réactifs et les produits coexistent dans l'état final.

IV- Taux d'avancement final d'une réaction :

Définition :

Le taux d'avancement final, noté τ_f , d'une réaction chimique est le rapport de l'avancement final x_f à l'avancement maximal x_{\max}

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

Le taux d'avancement final d'une réaction est une grandeur sans dimension.

Une réaction est totale lorsque son taux d'avancement final est égal à l'unité.

$$\tau_f = 1$$

Une réaction est limitée lorsque son taux d'avancement final est inférieur à l'unité.

$$\tau_f < 1$$