

Professeur	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
Chapitre	Transformations chimique dans les deux sens (l'essentiel du cours + applications)
Niveaux	Bac français / 1 ^{ère} et 2 ^{ème} Bac International SM

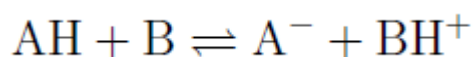
Les réactions acido-basiques (rappels):

Acide : Selon Bronsted, l'acide est toute espèce chimique capable de libérer un proton H^+ pendant une transformation chimique.

Base : Selon Bronsted, la base est toute espèce chimique capable de capter un proton H^+ pendant une transformation chimique.

L'acide AH et la base A^- forment un couple acide/base noté AH/ A^- , on dit que A^- est la base conjuguée de l'acide AH.

De même la base B et l'acide BH^+ forment le couple acide/base noté BH^+/B , on dit que BH^+ est l'acide conjugué de la base B.



Certaines espèces chimiques jouent le rôle d'une base et d'un acide à la fois, par exemple H_2O et NH_3 , on les appelle des ampholytes.

Le pH (potentiel Hydrogène) est la mesure de l'activité chimique des protons H^+ , qui sont présents souvent dans les solutions aqueuses sous forme des ions oxonium H_3O^+ . En effet, on peut calculer cette activité en utilisant la relation suivante :

$$pH = -\log[H_3O^+] \qquad [H_3O^+] = 10^{-pH}$$

L'avancement d'une transformation limitée

Avancement final et maximal

Avancement maximal $x_{\max}$ est l'avancement qui correspond à la disparition du réactif limitant.

. Avancement final est la valeur d'avancement qui correspond à l'état final d'une réaction limitée.

. Une transformation limitée est caractérisée par : $x_f < x_{\max}$.

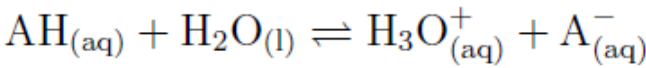
Le taux d'avancement final

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

. τ est toujours inférieure ou égale à 1.

. Si $\tau = 1$ alors la transformation est totale ($x_f = x_{\max}$).

. Si $\tau < 1$ alors la transformation est limitée ($x_f < x_{\max}$).



Équation chimique		$\text{AH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{A}^-_{(\text{aq})}$				
État	Avancement	Quantité de matière				
État initial	0	CV	Excès		0	0
État en cours	x	$CV - x$	Excès		x	x
État final	x_f	$CV - x_f$	Excès		x_f	x_f

Calculons le taux d'avancement final :

On sait que $\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$,

. Supposons que la transformation est totale, c'est-à-dire $x_f = x_{\text{max}}$
Donc $CV - x_f = 0 \iff CV - x_{\text{max}} = 0 \iff x_{\text{max}} = CV$.

D'où finalement, $x_{\text{max}} = CV$.

On a d'après le tableau

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{x_f}{V} \iff x_f = [\text{H}_3\text{O}^+].V$$
$$x_f = 10^{-\text{pH}}.V$$

Par suite : $x_{\text{max}} = CV$ et $x_f = 10^{-\text{pH}}.V$

Finalement :

$$\tau = \frac{10^{-\text{pH}}}{C}.$$

τ en fonction σ :

On pose $\lambda_{A^-} = \lambda_1$ et $\lambda_{H_3O^+} = \lambda_2$.

$$\begin{aligned}\sigma_f &= \sum \lambda_i [X_i] \\ &= \lambda_1 [A^-] + \lambda_2 [H_3O^+] \\ &= [H_3O^+] (\lambda_1 + \lambda_2) \\ &= \frac{x_f}{V} (\lambda_1 + \lambda_2)\end{aligned}$$

$$x_f = \frac{\sigma_f \cdot V}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

$$\tau = \frac{\sigma_f}{C(\lambda_1 + \lambda_2)}$$

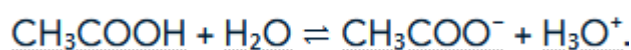
Remarque : Attention pour les unités, ici la concentration doit être exprimé en mol.m^{-3} ,
 $10^3 \text{ mol/m}^3 = 1 \text{ mol/L}$

Application 1

On introduit dans un bécher un volume $V=500\text{cm}^3$ d'eau distillée et on lui ajoute un volume $V=1\text{cm}^3$ d'une solution

d'acide éthanóique pure.

On mesure de le pH du mélange à l'aide d'un pH mètre et on obtient : $\text{pH}=3,1$. La réaction de l'acide éthanóique avec l'eau s'écrit:



La densité de l'acide éthanóique : $d=1,05$

$$\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

La masse molaire de la molécule d'acide éthanóique $M_{(\text{CH}_3\text{COOH})} = 60 \text{ g/mol}$

- 1) Déterminer la quantité de matière initiale de l'acide éthanóique.
- 2) Dresser le tableau d'avancement de la réaction puis déterminer la valeur de l'avancement maximal.
- 4) Déterminer la valeur de l'avancement final. Quelle est votre conclusion.
- 5) Calculer le taux d'avancement final de la réaction

Correction

1) La quantité de matière initiale de l'acide éthanóïque.

$$n_i = \frac{m_i}{M} = \frac{\rho_a \cdot V}{M} = \frac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V_a}{M} = \frac{1,05 \times 1 \text{ g/cm}^3 \times 1 \text{ cm}^3}{60} = 1,75 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

2) Tableau d'avancement de la réaction :

Equation de la réaction		$\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$			
Les états	avancement	$n(\text{CH}_3\text{COOH})$	$n(\text{H}_2\text{O})$	$n(\text{CH}_3\text{COO}^-)$	$n(\text{H}_3\text{O}^+)$
état initial	0	n_i	excès	0	0
état de transformation	x	$n_i - x$	excès	x	x
état final	x_f	$n_i - x_f$	excès	x_f	x_f

Or l'eau est utilisée en excès, CH_3COOH est le réactif limitant. $n_i - x_{\max} = 0$ donc : $x_{\max} = n_i = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

3) La stabilité du pH du mélange à $\text{pH}=3,1$ indique que la réaction a atteint son état final.

On a :
$$\begin{cases} [\text{H}_3\text{O}^+]_f = 10^{-\text{pH}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+]_f = \frac{x_f}{V_s} \end{cases} \quad \text{donc :} \quad \frac{x_f}{V_s} = 10^{-\text{pH}}$$

d'où : $x_f = V_s \cdot 10^{-\text{pH}} = (500+1) \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3,1} \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ donc : $x_f = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

On constate que l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal donc l'acide éthanóïque n'a pas complètement disparait à la fin de la réaction.

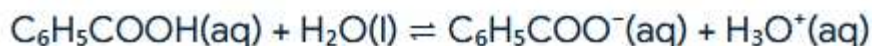
La quantité de matière de l'acide éthanóïque restante à la fin de la réaction est :

$$n_f(\text{CH}_3\text{COOH}) = n_i - n_f = 1,75 \times 10^{-2} - 4 \times 10^{-4} = 1,71 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

Par conséquence la réaction étudiée n'est pas totale, tous les réactifs et les produits sont présents à l'état final malgré que la réaction a cessé d'évoluer, donc la réaction est limitée.

Application 2

On considère une solution S d'acide benzoïque .L'équation de sa réaction avec l'eau s'écrit:



La mesure de sa conductivité a donné la valeur suivante: $\sigma = 36,1 \text{ mS/m}$

1) Dresser le remplissage du tableau d'avancement suivant:

2) Donner l'expression de la conductivité du mélange réactionnel en fonction de $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$, $\lambda_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-}$, du volume V de la solution et l'avancement final x_f .

3) Déterminer la valeur de l'avancement final de la dissociation de l'acide benzoïque dans l'eau $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35 \text{ mS.m}^2/\text{mol}$ et $\lambda_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-} = 3,23 \text{ mS.m}^2/\text{mol}$

Correction

$ \begin{array}{cccc} C_6H_5COOH & + & H_2O & \longrightarrow & C_6H_5COO^- & + & H_3O^+ \\ (aq) & & (l) & & (aq) & & (aq) \end{array} $			
$n(CH_3COOH)$	$n(H_2O)$	$n(CH_3COO^-)$	$n(H_3O^+)$
n_0	excès	0	0
$n_0 - x$	excès	x	x
$n_0 - x_f$	excès	x_f	x_f

2) Or la conductivité se mesure lorsque l'état final est atteint :

$$\sigma = \lambda_{C_6H_5COO^-} [C_6H_5COO^-]_f + \lambda_{H_3O^+} [H_3O^+]_f$$

D'après le tableau d'avancement on a:

$$n_f(H_3O^+) = n_f(C_6H_5COO^-) = x_f$$

donc: $[H_3O^+] = [C_6H_5COO^-] = \frac{x_f}{V} \Rightarrow \sigma = (\lambda_{C_6H_5COO^-} + \lambda_{H_3O^+}) \cdot \frac{x_f}{V}$

3) l'avancement final de la dissociation de l'acide benzoïque dans l'eau:

$$x_f = \frac{\sigma \cdot V}{\lambda_{C_6H_5COO^-} + \lambda_{H_3O^+}}$$

$$x_f = \frac{36,1 \cdot 10^{-3} S \cdot m^{-1} \cdot 50 \cdot 10^{-6} m^3}{(35 + 3,23) \cdot 10^{-3} S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}} = 4,72 \cdot 10^{-5} mol$$

$$4) [C_6H_5COO^-]_f = [H_3O^+]_f = \frac{x_f}{V} = \frac{4,72 \cdot 10^{-5} mol}{0,05 L} = 0,94 \cdot 10^{-3} mol/L$$

$$5) pH = -\log[H_3O^+]_f = -\log(0,94 \cdot 10^{-3}) = 3$$

$$6) \tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{x_f}{CV} = \frac{4,72 \times 10^{-5}}{1,18 \times 10^{-2} \times 50 \times 10^{-3}} = 0,08 = 8\% \quad \tau < 1 \Rightarrow \text{la réaction est limitée.}$$

Cela signifie que seulement 8 % des molécules d'acide benzoïque ont été transformées pour donner leur base conjuguée et H_3O^+ .