





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

La quantité de matière de l'acide éthanoïque 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 conséquent 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.**

4) Le taux d'avancement final de cette réaction est:

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{4 \times 10^{-4}}{1,75 \times 10^{-2}} = 2,3 \times 10^{-2} = 2,3\% \quad \tau < 1 \quad \text{donc la réaction est limitée.}$$

Cela signifie que seulement 2,3 % des molécules d'acide éthanoïque ont été transformées pour donner leur base conjuguée et  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

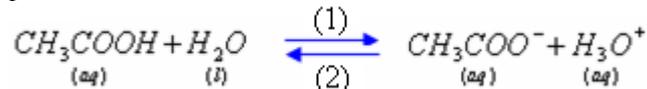
## IV-Equilibre chimique d'un système chimique:

### 1) Notion d'équilibre dynamique

Les ions éthanoate  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  réagissent avec les ions oxoniums  $\text{H}_3\text{O}^+$  et cette réaction est aussi une réaction limitée.



C'est la réaction inverse de celle de l'acide éthanoïque avec l'eau. Ces deux réactions se produisent en même temps et conduisent à un équilibre chimique qu'on symbolise par deux flèches:



Lorsque l'équilibre chimique est atteint, les quantités de matière des réactifs et des produits ne varient pas et le système n'évolue plus. C'est ce qu'on appelle un état **d'équilibre dynamique.**

On constate ceci à partir du tableau d'avancement.

Equation de la réaction		$\underset{\text{(aq)}}{\text{CH}_3\text{COOH}} + \underset{\text{(l)}}{\text{H}_2\text{O}} \rightleftharpoons \underset{\text{(aq)}}{\text{CH}_3\text{COO}^-} + \underset{\text{(aq)}}{\text{H}_3\text{O}^+}$			
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	$1,75 \times 10^{-2} \text{ mol}$	excès	0	0
état de transformation	x	$n_i - x$	excès	x	x
état final	$x_f = 4 \times 10^{-4} \text{ mol}$	$n_i - x_f = 1,71 \times 10^{-2}$	excès	$4 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$

Lorsque l'équilibre dynamique est atteint la réaction apparait comme s'elle n'évolue plus.

Pour toute transformation limitée, l'écriture de l'équation chimique s'écrit avec deux flèches:



Car la transformation est décrite microscopiquement par deux réactions inverses l'une de l'autre.

### 2) Interpretation microscopique de l'état d'équilibre d'un système :

On considère le système chimique:  $A + B \begin{matrix} \xrightarrow{(1)} \\ \xleftarrow{(2)} \end{matrix} C + D$

A l'état initial le système contient les espèces chimiques A et B, la réaction se produit dans le sens (1) avec la vitesse  $v_1$ .

Au cours du temps l'avancement augmente, par conséquent :

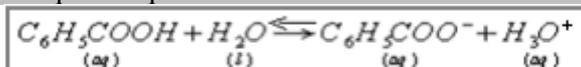
- Les quantités des espèces A et B ainsi que les chocs entre elles diminuent donc diminution de  $v_1$ .
- Les espèces C et D apparaissent et la réaction se produit dans le sens (2) avec la vitesse  $v_2$  leur quantité ainsi que les chocs entre elles augmentent donc augmentation de  $v_2$ .

Lorsque les deux vitesses  $v_1$  et  $v_2$  s'égalisent: le système n'évolue plus. C'est **l'état d'équilibre dynamique.**

Au niveau macroscopique le système ne semble pas évoluer

### 3) Exercice d'application:

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  $\sigma$  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.

On donne:  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35 \text{ mS.m}^2 / \text{mol}$  et  $\lambda_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-} = 3,23 \text{ mS.m}^2 / \text{mol}$

- 4) En déduire les concentrations molaires finales de  $H_3O^+$  et  $C_6H_5COO^-$ .  
 5) Calculer le pH de la solution obtenue.  
 6) Déterminer le taux d'avancement final sachant que la concentration de la solution est :  $c=1,18 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$

-----Réponses-----

1) tableau d'avancement:

Equation de la réaction		$C_6H_5COOH + H_2O \longrightarrow C_6H_5COO^- + H_3O^+$			
		$(aq)$	$(l)$	$(aq)$	$(aq)$
Les états	avancement	$n(CH_3COOH)$	$n(H_2O)$	$n(CH_3COO^-)$	$n(H_3O^+)$
état initial	0	$n_0$	excès	0	0
état de transformation	$x$	$n_0 - x$	excès	$x$	$x$
état final	$x_f$	$n_0 - x_f$	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)  $[C_6H_5COO^-]_f = [H_3O^+]_f = \frac{x_f}{V} = \frac{4,72 \cdot 10^{-5} mol}{0,05L} = 0,94 \cdot 10^{-3} mol/L$

5)  $pH = -\log[H_3O^+]_f = -\log(0,94 \cdot 10^{-3}) = 3$  car le pH se mesure lorsque l'état final est atteint

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

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

.....