

# Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens

madariss.fr

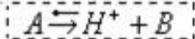
## I-Réactions acide -base :

### 1) Définition de Bronsted :

On appelle acide de Bronsted toute espèce chimique capable de céder un proton  $H^+$  pendant une transformation chimique.  
On appelle base de Bronsted toute espèce chimique capable de capter un proton  $H^+$  pendant une transformation chimique.

### 2) Notion de couple acide-base :

Un couple acide base (noté A/B) est constitué d'un acide A et de sa base conjuguée B qui sont généralement liés par la demi-équation :



**Exemple:** l'acide  $CH_3COOH$  peut céder un proton  $H^+$  pour se transformer à la base  $CH_3COO^-$ .  
la base  $CH_3COO^-$  peut capter un proton  $H^+$  pour se transformer à l'acide  $CH_3COOH$ .

L'acide  $CH_3COOH$  et sa base conjuguée  $CH_3COO^-$  sont liés par la demi-équation :  $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$

Le couple acide-base correspondant est :  $CH_3COOH / CH_3COO^-$

### 3) Exemples de quelques couples acide-base :

On donne dans le tableau suivant l'exemple de quelques couples acide-base.

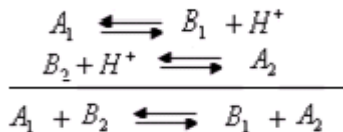
Le couple acide/base	l'acide	la base conjuguée	la demi-équation de la réaction acide-base
$CH_3COOH / CH_3COO^-$	$CH_3COOH$	$CH_3COO^-$	$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$
$NH_4^+ / NH_3$	$NH_4^+$	$NH_3$	$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$
$H_3O^+ / H_2O$	$H_3O^+$	$H_2O$	$H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O + H^+$

**Remarque :** Certaines espèces chimiques se comportent tantôt comme un acide et tantôt comme une base, on les appelle des **ampholytes**.

**Exemple:**  $H_2O$  est un ampholyte car dans le couple  $H_2O/HO^-$  il joue le rôle d'un acide.  
alors que dans le couple  $H_3O^+/H_2O$ , il joue le rôle d'une base.

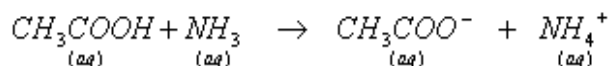
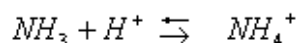
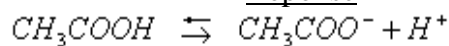
### 4) Réactions acide-base :

Au cours d'une réaction acido-basique il y'a échange d'un proton  $H^+$  entre deux couples acide-base :  $A_1/B_1$  et  $A_2/B_2$ .  
L'équation de la réaction entre l'acide  $A_1$  du 1<sup>er</sup> couple et la base  $B_2$  du 2<sup>ème</sup> couple s'écrit :



**Exemple :** Ecrire l'équation de la réaction acide-base entre l'acide du couple  $CH_3COOH/CH_3COO^-$  et la base du couple  $NH_4^+/NH_3$ .

Réponse



## II-Définition du pH d'une solution aqueuse:

### 1) Définition du pH :

Les propriétés acido-basique d'une solution aqueuse dépendent de la concentration des ions oxonium  $H_3O^+$  liée au pH de la solution par la relation suivante :

$$\boxed{pH = -\log [H_3O^+]} \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{[H_3O^+] = 10^{-pH}}$$

Le pH est une grandeur sans unité.

$[H_3O^+]$  est exprimée en mol/L dans la relation de pH.

**Rappel sur la fonction logarithme décimale:**

$$f(x) = \log x \quad \text{son domaine de définition est : } ]0, +\infty[$$

$$\log 1 = 0$$

$$\log 10 = 1$$

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

$$\log x^n = n \log x$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

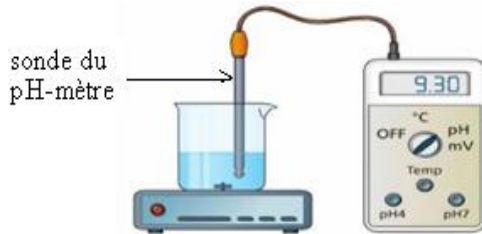
$$\log \frac{1}{a} = -\log a$$

Les deux fonctions  $\log x$  et  $10^x$  sont des fonctions inverses l'une de l'autre. Et on sait que  $f^{-1}[f(x)] = x$

donc on a :  $\log 10^x = x$  et  $10^{\log x} = x$

### 2) Mesure du pH :

Pour mesurer le pH d'une solution on utilise le pH-mètre qui se compose d'une sonde de mesure reliée à un voltmètre électronique gradué en unité de pH. On doit étalonner le pH-mètre avant toute mesure.



### III- Avancement d'une réaction chimique:

#### 1) Avancement final et l'avancement maximal :

L'avancement d'une réaction est la quantité de matière  $x$  des réactifs qui disparaît ou des produits qui se forme selon les coefficients stœchiométriques.

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

L'avancement final  $x_f$  est la valeur de l'avancement qui correspond à l'état final d'une réaction limitée.

#### 2) Le taux d'avancement final d'une réaction chimique:

Le taux d'avancement finale d'une réaction chimique est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal.

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

$$0 \leq \tau \leq 1$$

Pour cette raison on l'exprime souvent en pourcentage %.

Le taux d'avancement est une grandeur sans unité.

• Si :  $\tau = 1 \Rightarrow x_f = x_{max}$  donc la réaction est totale.

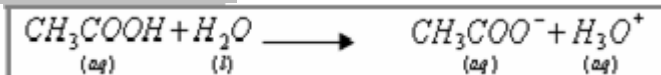
• Si :  $\tau < 1 \Rightarrow x_f < x_{max}$  la réaction est limitée.

#### 3) Détermination expérimentale du taux d'avancement final :

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 :  $d=1,05$

La masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1\text{g/cm}^3$

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

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

-----réponses-----

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

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

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,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  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 éthanóique n'a pas complètement disparait à la fin de la réaction.

La quantité de matière de l'acide éthanóique 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 éthanóique ont été transformées pour donner leur base conjuguée et  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

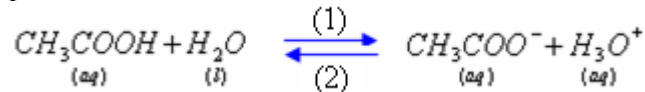
## IV-Equilibre chimique d'un système chimique:

### 1) Notion d'équilibre dynamique

Les ions éthanóate  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  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 éthanóique 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		$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$			
		$\underset{\text{(aq)}}{\text{CH}_3\text{COOH}}$	$\underset{\text{(l)}}{\text{H}_2\text{O}}$	$\underset{\text{(aq)}}{\text{CH}_3\text{COO}^-}$	$\underset{\text{(aq)}}{\text{H}_3\text{O}^+}$
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 :

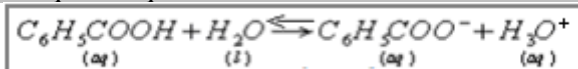
- Les quantités des espèces A et B ainsi que les chocs entre elles diminuent donc diminution de  $v_1$ .
- Les espèces C et D apparaissent et la réaction se produit dans le sens (2) avec la vitesse  $v_2$  leur quantité ainsi que les chocs entre elles augmentent donc augmentation de  $v_2$ .

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:  $\sigma = 36,1 \text{ mS} / \text{m}$

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

- 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 :  $c=1,18.10^{-2}mol/L$

-----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  $H_3O^+$ .

.....

+

SBIRO Abdelkrim  
 pour toute observation contacter moi.  
 adresse électronique: sbiabdou@yahoo.fr