Deuxième Partie : Transformations limitées d'un système chimique Unité 3 6 H	Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens التحولات الكيميائية التي تحدث في المنحيين	بسم الله الرحمن الرحيم الإسلام عليكم ورحمة الله وبركاته 2éme Bac Sciences Chimie

I – Les réactions Acido–Basiques :

1– Les couples *acide / base* :

- Un **acide** $(HA\ ;\ BH^+)$, selon **Bronsted**, est toute **espèce chimique capable** de **libérer** le **proton** $H^+_{(aq)}$ au cours d'une **transformation chimique**.
- Une **base** $(A^-;\ B)$, selon **Bronsted**, est toute **espèce chimique capable** d'**acquérir** le **proton** $H^+_{(aq)}$ au cours d'une **transformation chimique**.
- L'**acide** $(HA\ ;\ BH^+)$ et la **base** $(A^-;\ B)$ **forment** un **couple** $acide/base$, noté HA/A^- ou BH^+/B , si elles sont **conjugués**. Le **couple** $acide/base$ peut être **défini** par une **demi-équation** : $HA \rightleftharpoons A^- + H^+$ ou $BH^+ \rightleftharpoons B + H^+$.
- Un **ampholyte** est une **espèce chimique** qui **joue** le **rôle** d'**acide** dans un **couple** et de **base** dans un **autre couple** selon les **conditions expérimentales**. Les **solutions correspondantes** sont dites "*amphotères*".

Exemple:

- L'**eau** $H_2O_{(l)}$ est considérée comme **ampholyte** car il joue le **rôle** d'une **base** dans $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$ et le **rôle** d'un **acide** dans $H_2O_{(l)}/HO^-_{(aq)}$.
- L'**ion hydrogénocarbonate** $HCO_3^-{}_{(aq)}$ est un **ampholyte** car il joue le **rôle** d'une **base** dans $CO_{2(aq)}, H_2O/HCO_3^-{}_{(aq)}$ et le **rôle** d'un **acide** dans $HCO_3^-{}_{(aq)}/CO_3^{2-}{}_{(aq)}$.

2– Les réactions Acido–Basiques :

La **réaction acido-basique** est un **échange** de **proton** $H^+_{(aq)}$ entre l'**acide** HA_1 d'un **couple** HA_1/A_1^- et la **base** A_2^- d'un **autre couple** HA_2/A_2^- , selon l'**équation** suivante : $HA_1 + A_2^- \rightarrow A_1^- + HA_2$.

Exemple:

- les **couples** intervenants dans **cette réaction sont :** $NH_4^+{}_{(aq)}/NH_3{}_{(aq)}$ et $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$. L'**équation bilan** : $H_3O^+_{(aq)} + NH_3{}_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + NH_4^+{}_{(aq)}$.
- les **couples** intervenants dans **cette réaction sont :** $HCO_3^-{}_{(aq)}/CO_3^{2-}{}_{(aq)}$ et $H_2O_{(l)}/HO^-_{(aq)}$. L'**équation bilan** : $HCO_3^-{}_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightarrow CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$.

II – Définition et mesure de pH d'une solution aqueuse :

1– Définitions :

1-1– *Les solutions aqueuses :*

La **solution aqueuse** est un **mélange homogène** **obtenue** par la **dissolution** d'une **espèce chimique** (appelée **soluté**) dans l'**eau** (appelée **solvant**).

Exemple :

- L'équation **de la réaction** associée à la **dissolution** du **chlorure de sodium solide** dans l'**eau** est : $NaCl_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$
- L'équation **de la réaction** associée à la **dissolution** de l'**acide sulfurique liquide** dans l'**eau** est : $H_2SO_4{}_{(l)} \rightarrow 2H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$
- L'équation **de la réaction** associée à la **dissolution** du **chlorure d'hydrogène gazeux** dans l'**eau** est : $HCl_{(g)} \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

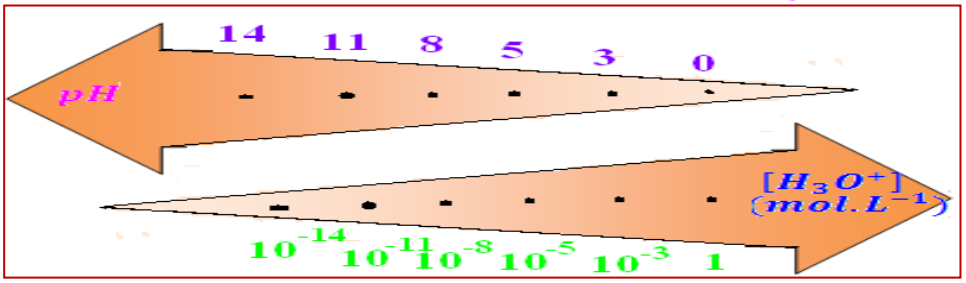
دروس - تمارين - امتحانات TelmidTice.com Soutien Scolaire الدعم المدرسي اضغط هنا لتحميل المزيد

Remarque :

- Lorsque la **solution obtenue** contient des **ions**, nous disons que c'est une *solution ionique*, et puisqu'elle **conduit** le **courant électrique**, on dit que c'est une *solution électrolytique.*
- Dans les *solutions aqueuse*, on peut remplacer $H^+_{(aq)}$ par $H_3O^+_{(aq)}$.

1-2- pH d'une solution aqueuse :

Pour des **solutions aqueuses diluées** ($[H_3O^+] \leq 5.10^{-2} mol.L^{-1}$) , le pH d'une **solution aqueuse** est définie par : $pH = -log[H_3O^+]$ avec $[H_3O^+]$ est la **valeur numérique** de la **concentration** en **ions oxonium** exprimée en $mol.L^{-1}$.
Inversement, on peut remonter, à partir du pH d'une **solution aqueuse** à la **concentration** en **ions oxonium** en effectuant : $[H_3O^+] = 10^{-pH} mol.L^{-1}$.



$log 10 = 1$
$log 1 = 0$
$log\, xy = log\, x + log\, y$
$log \frac{x}{y} = log\, x - log\, y$
$log\, 10^a = a$
$log\, y = x \rightleftharpoons y = 10^x$

2– Mesure du pH d'une solution aqueuse :

Le pH d'une **solution aqueuse** est **très utile** car il permet de **déterminer** la **concentration** en **ions oxonium** $[H_3O^+]$, ainsi que l'**état final** d'une **réaction chimique**.



On peut simplement avoir une **indication** de la **valeur** du pH en utilisant un **papier** pH qui prend une **couleur plus ou moins rougeâtre** selon l'**acidité** de la **solution**.



Pour être **plus précis**, on utilise un pH-**mètre**. Celui-ci est un **millivoltmètre** relié à **deux électrodes** (ou une **combinée**) : une **électrode de verre** et une **électrode de référence**. Le **millivoltmètre** mesure la **différence de potentiel** entre les **deux électrodes**. *Il nous donne une précision au dixième de degré pH près.*

III – Les transformations totales et non totales :

1– Mise en évidence la transformation totale :

1-1- Activité :

On verse, dans un **bécher**, un **volume** $V = 100\ mL$ de **solution** d'**acide chlorhydrique** $(H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$ de **concentration** $C = 3,5.10^{-2} mol.L^{-1}$, puis on immerge l'**électrode** de pH dans cette **solution** et on attend que le pH se **stabilise**.



On donne : $HCl_{(g)}/Cl^-_{(aq)}$ et $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$

a- Écrire l'**équation** de **réaction acido-basique** entre le **chlorure d'hydrogène** et l'**eau**.

L'**équation bilan** : $HCl_{(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

b- Calculer la **quantité de matière initiale** du **chlorure d'hydrogène**.

On a $n_i(HCl) = C.V = 3,5.10^{-2} \times 100.10^{-3} = 3,5.10^{-3} mol$

دروس - تمارين - امتحانات TelmidTice.com Soutien Scolaire الدعم المدرسي اضغط هنا لتحميل المزيد

c- Crée le **tableau d'avancement** de cette **réaction**.

L'équation de la réaction		$HCl_{(g)}$ + $H_2O_{(l)}$ → $Cl^-_{(aq)}$ + $H_3O^+_{(aq)}$			
L'état	L'avancement	La quantité de matière en (mol)			
Etat initial	0	$n_1 = C.V$	en excès	0	0
En cours	x	$C.V - x$		x	x
Etat final	x_f	$C.V - x_f$		x_f	x_f

d- Déterminer le **valeur** de pH de **solution** et déduire la **valeur** de l'**avancement final** x_f .

L'**appareil** de $pH - mètre$ indique la **valeur** $1,45$, alors $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ donc $[H_3O^+] = 10^{-1,45} = 3,5.10^{-2} mol.L^{-1}$.

D'après le **tableau d'avancement**, on trouve que $[H_3O^+] = \frac{n_f(H_3O^+)}{V} = \frac{x_f}{V}$.

Donc $x_f = [H_3O^+].V = 3,5.10^{-2} \times 0,1 = 3,5.10^{-3} mol$.

e- Déterminer la **valeur** de l'**avancement maximal** x_{max} et la comparer avec x_f , que **concluez**-vous ?

Puisque l'**eau** est **en excès**, alors le **réactif limitant** est $HCl_{(g)}$, d'où :

$x_{max} = n_i(HCl) = 3,5.10^{-3} mol$. on remarque que $x_{max} = x_f$, alors on déduit que $HCl_{(g)}$ est **consommé totalement** et on dit que la **réaction** est **totale** .

1-2- Définition :

Transformation totale est une **transformation** dont **leur évolution** s'**arrête** par la **disparition totale** d'**au moins** un des **réactifs** du **système chimique**.

Pour une **transformation totale** : $x_{max} = x_f$.

2- Mise en évidence la transformation limitée:

2-1- Activité :



Dans un **bécher**, on introduit un **volume** $V_0 = 500\ mL$ d'**eau distillée** et on ajoute $V = 1\ mL$ d'**acide éthanoïque**.

Après **homogénéisation** de la **solution obtenue**, le $pH - mètre$ est immergé dans la **solution obtenue** et on attend que le pH se **stabilise**.

On donne : $CH_3COOH_{(aq)}/CH_3COO^-_{(aq)}$ et $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$

a- Écrire l'**équation** de **réaction acido-basique** entre l'**acide éthanoïque** et l'**eau**.

L'**équation bilan** : $CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

b- Calculer la **quantité de matière initiale** de l'**acide éthanoïque**.

On a $n_i(CH_3COOH) = \frac{m}{M} = \frac{\rho.V}{M} = \frac{d.V.\rho_e}{M}.p = \frac{1,05\times10^3\times10^{-3}}{60} \times 0,995 = 1,75.10^{-2} mol$

c- Crée le **tableau d'avancement** de cette **réaction**.

L'équation de la réaction		$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
L'état	L'avancement	La quantité de matière en (mol)			
Etat initial	0	n_0	en excès	0	0
En cours	x	$n_0 - x$		x	x
Etat final	x_f	$n_0 - x_f$		x_f	x_f

دروس - تمارين - امتحانات TelmidTice.com Soutien Scolaire الدعم المدرسي اضغط هنا لتحميل المزيد

d- Déterminer le **valeur** de pH de **solution** et déduire la **valeur** de l'**avancement final** x_f .

L'**appareil** de $pH-mètre$ indique la **valeur** $3,10$, alors $[H_3O^+]=10^{-pH}$ donc $[H_3O^+]=10^{-3,10}=7,9.10^{-4}mol.L^{-1}$.

D'après le **tableau d'avancement**, on trouve que $[H_3O^+]=\frac{n_f(H_3O^+)}{V}=\frac{x_f}{V}$.

Donc $x_f=[H_3O^+].V=7,9.10^{-4}\times 0,5\approx 4.10^{-4}\,mol$.

e- Déterminer la **valeur** de l'**avancement maximal** x_{max} et la comparer avec x_f , que **concluez**-vous ?

Puisque l'**eau** est **en excès**, alors le **réactif limitant** est l'**acide éthanoïque** CH_3COOH, d'où : $x_{max}=n_i(CH_3COOH)=1,75.10^{-2}mol$.

on remarque que $x_f<x_{max}$, alors on déduit que CH_3COOH n'est pas **consommé totalement** et on dit que la **réaction** n'est pas **totale** ou **limitée**.

2-2- Définition :

Transformation non totale ou limitée est une **transformation** dont **leur évolution** s'**arrête** sans la **disparition totale** de tout **réactif** du **système chimique**.

Pour une **transformation limitée** : $x_f<x_{max}$.

3– Le taux d'avancement final d'une réaction chimique :

Le **taux d'avancement final** τ d'une **réaction chimique** est égal au **quotient** de l'**avancement final** x_f par l'**avancement final** x_{max} de cette **réaction** : $\tau=\frac{x_f}{x_{max}}$ où τ est une **grandeur sans unité** et $0\leq\tau\leq 1$ et peut être exprimée en **pourcentage**.

4– Les deux sens de l'évolution d'une transformation chimique :

4-1- Activité :

On prépare une **solution aqueuse** (S) de l'**acide éthanoïque** avec une **concentration molaire** de $C=1,0.10^{-2}mol.L^{-1}$.

Puis on mesure le pH de la **solution** (S), et on trouve : $pH=3,40$.

On verse, dans les **béchers** A et B , le même **volume** $V_0=20\,mL$ de la **solution** (S).

↳ On ajoute, dans le **bécher** A , **quelques gouttes** de l'**acide éthanoïque pur** CH_3COOH , et on remarque que le pH prend la **valeur** $pH_A=2,60$.

↳ On ajoute, dans le **bécher** B , des **cristaux d'éthanoate de sodium** CH_3COONa , et on remarque que le pH prend la **valeur** $pH_B=5,10$.

a- Écrire l'**équation** de la **réaction acido-basique** qui se fait pendant la **préparation** de la **solution** (S) .

L'**équation bilan** : $CH_3COOH_{(aq)}+H_2O_{(l)}\rightarrow CH_3COO^-_{(aq)}+H_3O^+_{(aq)}$

b- Déterminer le **sens** de l'**évolution** du **système chimique** dans le **bécher** A .

En ajoutant **quelques gouttes** de l'**acide éthanoïque pur** à la **solution** (S), et on observe une **diminution** du pH c-à-d une **augmentation** de $[H_3O^+]$. Puisque le **volume** de la **solution** ne change pas, alors l'**augmentation** de $[H_3O^+]$ est due à l'**augmentation** de la **quantité de matière** d'**ions** H_3O^+ formés lors de la **transformation chimique**.

Le **système chimique** a évolué dans le **sens** de **formation** des **ions** H_3O^+ , c'est-à-dire dans le **sens direct** de l'**équation** de la **réaction**.

$$CH_3COOH_{(aq)}+H_2O_{(l)}\xrightarrow{sens\ direct}CH_3COO^-_{(aq)}+H_3O^+_{(aq)}$$

دروس - تمارين - امتحانات TelmidTice.com Soutien Scolaire الدعم المدرسي اضغط هنا لتحميل المزيد

c- Déterminer le **sens** de l'**évolution** du **système chimique** dans le **bécher** B .

En ajoutant des **cristaux d'éthanoate de sodium** à la **solution** (S), et on observe une **augmentation** du pH c-à-d une **diminution** de $[H_3O^+]$. Puisque le **volume** de la **solution** ne change pas, alors la **diminution** de $[H_3O^+]$ est due à la **diminution** de la **quantité de matière** d'**ions** H_3O^+ formés lors de la **transformation**.

Le **système chimique** a évolué dans le **sens** de la **disparition** des **ions** H_3O^+ , c'est-à-dire dans le **sens indirect** de l'**équation** de la **réaction**.

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \xrightarrow{sens\ indirect} CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

d- Comparer les **deux sens** de l'**évolution** .

Par conséquent, la **réaction** peut **se produire** dans les **deux sens** c-à-d c'une **réaction limitée**, et pour cette **raison**, on la **modélise** avec l'utilisation du **signe** ⇌ comme suit : $CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

4-2- Résumé :

Au cours de chaque **transformation chimique non totale**, une **réaction** se produite dans les **deux sens** (le **sens direct** et le **sens indirect** de l'**équation** de la **réaction**). On l'exprime par l'**équation** de la **réaction** suivante : $\alpha\ A + \beta\ B \rightleftharpoons \gamma\ C + \delta\ D$

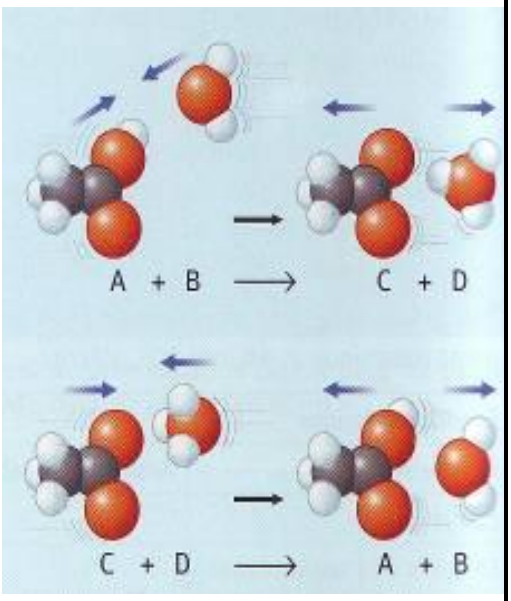
5– L'état d'équilibre d'un système chimique :

A l'**état final** d'une **transformation non totale** (**limitée**), le **système chimique** **cesse** de **s'évoluer** et se caractérise par la **présence** de **tous les réactifs** et **produits** à des **proportions fixes** (**sans modification** de la **quantité de matière** au **niveau macroscopique**) au cours du **temps**. Cet **état** s'appelle : **état d'équilibre dynamique**.

Interprétation microscopique :

Considérons un **système chimique** siège d'une **transformation limitée** modélisé par la **réaction** :

$$A + B \rightleftharpoons C + D$$



Nous avons dit que dans l'**état d'équilibre**, le **système** ne présentait plus de **modification** des « **grandeurs observables** » $(T°, pH, couleur, conductance)$

Mais l'**agitation thermique** **demeure** et il est **logique** de penser que des **chocs efficaces** se produisent entre A **et** B, mais aussi entre C **et** D .

A l'**équilibre coexistent les deux réactions** :

$$A + B \rightarrow C + D \quad \text{et} \quad C + D \rightarrow A + B$$

Il y aura donc autant de **A consommés** que de **A formés** (de même pour B, C **et** D).

L'équilibre est dynamique.

دروس - تمارين - امتحانات TelmidTice.com Soutien Scolaire الدعم المدرسي اضغط هنا لتحميل المزيد