

Première Partie :
La mesure en
chimie
 Unité 4
 4 H

Suivi d'une transformation
chimique
 تتبع تحول كيميائي



I – L'évolution d'un système au cours d'une transformation chimique :

1 – Activité :

Le **fer** n'a pas besoin d'être analysé : il est constitué de **fer** !

En revanche, il faut analyser l'**acide chlorhydrique**.

I – COMPOSITION DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

Manipulation 1 : On verse de l'**acide chlorhydrique** dans un **bécher** et on mesure son **pH** à l'aide d'un **pH-mètre stylo** : **pH = 2,35**.

a- Quel est le **caractère** de l'**acide chlorhydrique** ? Quels sont les **ions** qui sont présents en **quantité importante** dans **cette solution** ? Puis que **pH < 7**, l'**acide chlorhydrique** possède un caractère **acide** ; cela signifie que la **solution** contient des **ions hydrogène** $H^+_{(aq)}$.

Manipulation 2 : On verse **quelques gouttes** de **solution de nitrate d'argent** dans un peu d'**acide chlorhydrique** contenu dans un **tube à essais**.

b- Qu'**observez-vous** ? Que montre cette réaction ?

On observe la **formation** d'un **précipité blanc** (**chlorure d'argent**) qui **noircit** à la **lumière**, ce qui indique la **présence** des **ions chlorure** $Cl^-_{(aq)}$ dans l'**acide chlorhydrique**.

Conclusion : L'**acide chlorhydrique** contient des **ions hydrogène** $H^+_{(aq)}$ et des **ions chlorure** $Cl^-_{(aq)}$ en **solution** dans l'**eau**, de **formule chimique** ($H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$).

II – La réaction entre l'acide chlorhydrique et le fer

Manipulation 1 : Dans un **tube à essais grand modèle**, mettre environ $\frac{1}{2}$ de **spatule** de **fer (Fe)** en **poudre** ; puis ajouter environ **2 cm³** d'**acide chlorhydrique**.

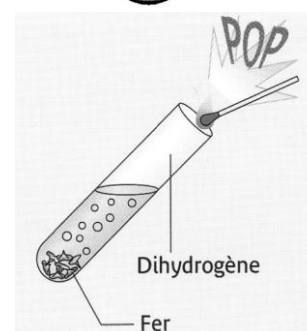
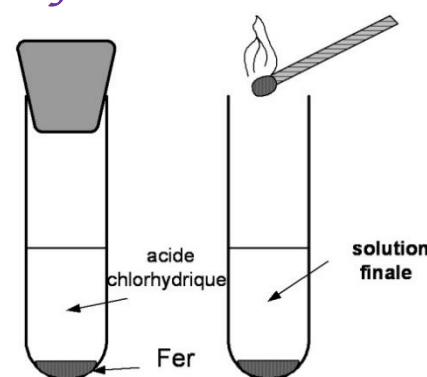
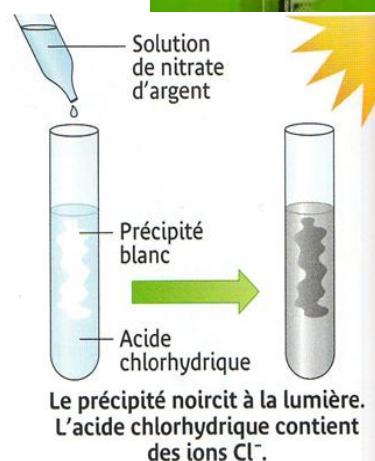
a- Qu'**observez-vous** ?

On observe une **effervescence** d'un gaz qui se forme et le **tube** devient **chaud**. Donc, le **fer** est attaqué par l'**acide chlorhydrique**. Alors, une **réaction chimique** se produit.

Manipulation 2 : Boucher le **tube** avec un **bouchon adapté**, attendre **quelques instants** pour que le **dégagement de gaz** soit **suffisant**, puis enlever le **bouchon** et approcher une **allumette enflammée** de l'ouverture du **tube légèrement incliné**.

b- Qu'**observez-vous** ? Que se produit-il ?

En présentant la **flamme**, on entend une **petite détonation** " un **bombe** " puis le **gaz brûle sans bruit** qui caractérise la présence du **gaz dihydrogène** $H_{2(g)}$.



Manipulation 3 : Lorsque la **réaction** entre le **fer** et l'**acide chlorhydrique** a eu lieu, ajouter de l'**eau distillée** dans le **tube à essais** jusqu'au $\frac{2}{3}$ environ, puis répartir la **solution S** obtenue dans **deux autres tubes** notés **1** et **2**.

Dans le tube 1, verser **quelques gouttes** d'une **solution de nitrate d'argent**.

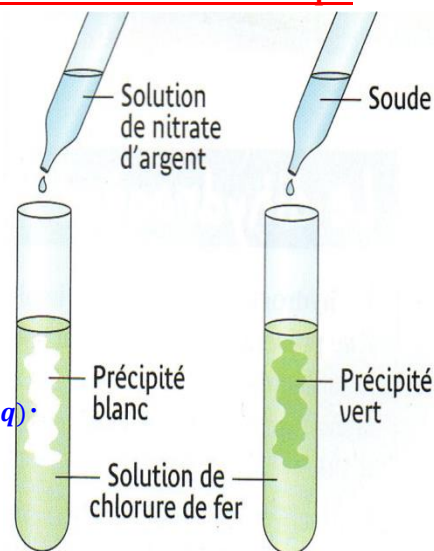
c- Qu'**observez-vous** ? Que montre ce test ?

On observe la **formation d'un précipité blanc (chlorure d'argent)** ce qui indique la **présence des ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$** .

Dans le tube 2, ajouter **goutte à goutte** de la **soude** jusqu'à ce qu'un **précipité apparaisse**.

d- Qu'**observez-vous** ? Que montre ce test ?

On observe la **formation d'un précipité vert (hydroxyde de fer II)** ce qui indique la **présence des ions fer II $Fe^{2+}_{(aq)}$** .



Conclusion : La **solution S** de **chlorure de fer (II)** contient des **ions fer II $Fe^{2+}_{(aq)}$** et des **ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$** en **solution** dans l'**eau**.

III - La transformation chimique

a-Déterminer les **espèces** trouvées dans le **tube à essais** avant le **début** de la **transformation**.

Le **système chimique** à l'**état initial** contient la **solution de l'acide chlorhydrique ($H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$)** et le **Fer $Fe_{(s)}$** .

b- Quelles **espèces chimiques** ont été **transformées** ?

On observe la **disparition** d'une partie du **fer** et que le **pH augmente** au cours de la **réaction** et le **dégagement** d'un **gaz** avec l'**apparition** de la **coloration verte** de la **solution**. Alors, les **réactifs $H^+_{(aq)}$ et $Fe_{(s)}$** se **transforment** aux **produits $H_{2(g)}$ et $Fe^{2+}_{(aq)}$** .

c- Quelles **espèces chimiques** n'ont pas **participés** à la **transformation** ?

Les **ions $Cl^-_{(aq)}$** n'ont pas **participés** à la **transformation** parce qu'ils sont des **ions inactifs**.

d-La **réaction** entre l'**acide chlorhydrique** et le **fer** est-elle une **transformation chimique** ?

Cette **réaction** est une **transformation chimique** car au moins un **produit apparaît** (le **gaz**) et au moins un **produit disparaît** (le **fer**).

f- Écris l'**équation chimique** associée à cette **transformation**.

L'**équation chimique** est $Fe_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

2 - La transformation chimique :

Au cours d'une **transformation chimique**, de nouveaux **espèces chimiques apparaissent** appelés **produits**, tandis que d'autres **espèces chimiques disparaissent** appelés **réactifs**, lorsque certaines **conditions** sont **disponibles**.

L'**ensemble** d'**espèces chimiques** constitué de **réactifs**, de **produits** et d'autres **espèces chimiques** qui **ne participent pas** à la **transformation** est appelé un **système chimique**.

L'**état** d'un **système chimique** est **défini** par la :

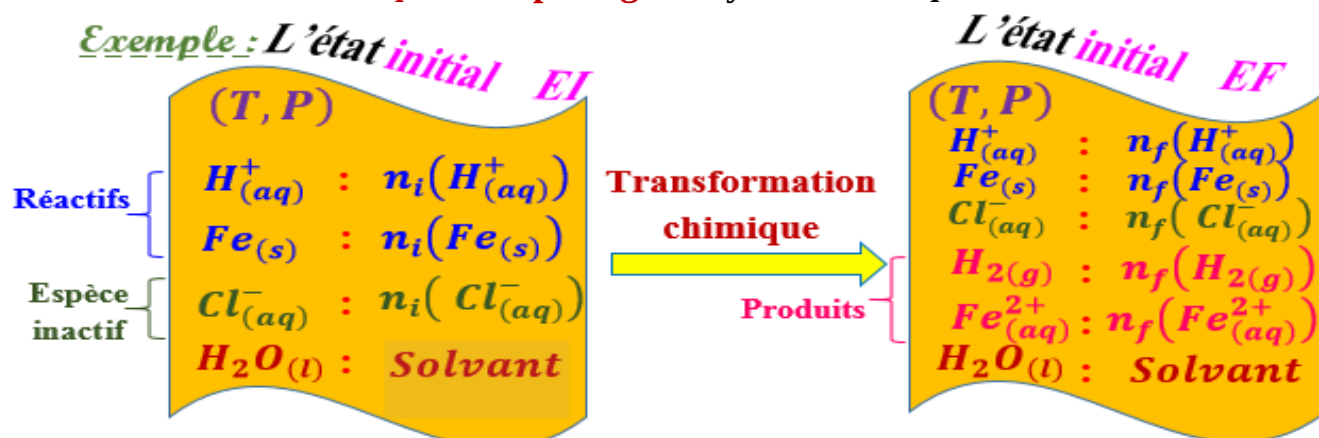
■ **Nature et état** (solide **s** - liquide **ℓ** - gaz **g** - aqueux **aq**) et **quantités de matière** pour les **espèces chimiques** constituant du **système**.

■ **T température** et **P pression** du **système**.

Lorsqu'on **mélange** les **différentes espèces chimiques** qui composent le **système chimique**, on dit que le **système** est à l'**état initial**, et la **transformation chimique**

commence avec la **disparition** des **réactifs** et l'**apparition** des **produits**, on dit que le système est **évolué**. Lorsque l'évolution du système s'**arrête**, on dit que le système est à l'**état final**.

✚ La **transformation chimique** est le **passage** du système chimique de l'**état initial** à l'**état final**.



3 – La réaction chimique :

La **réaction chimique** est un **modèle descriptif** de la **transformation chimique** qui se réfère **uniquement** aux **réactifs**, aux **produits** et à leurs **proportions**, et est exprimée par une **écriture symbolique** appelée l'**équation chimique**.

Au cours d'une **transformation chimique**, il y a **conservation** :

- des **éléments chimiques** : les **éléments présents** dans les **réactifs** et les **produits** sont **identiques**.
- de la **charge électrique** : la **somme des charges** des **réactifs** est **égale** à la **somme des charges** des **produits**.
- du **nombre** : le **nombre d'entités chimiques** (atomes ou ion) de chaque **élément** présents dans les **réactifs** est **identique** au **nombre d'entités chimiques** de chaque **élément** dans les **produits**.
- de la **masse** : la **masse** des **réactifs** est **égale** à la **masse** des **produits**.

Pour **obéir** à ces **lois de conservation**, il faudra **ajuster** l'**équation chimique** avec des **nombre entier** placés devant les **symboles**, appelés **coefficients stœchiométriques**.

En général, l'**équation chimique** s'écrit sous la forme : $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D$

Où **A**, **B**, **C** et **D** sont les **espèces chimiques** et les nombres α , β , γ et δ sont les **coefficients proportionnels**.

Exemple : $Cu_{(s)} + 2 Ag^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2 Ag_{(s)}$ et $Zn_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

II – L'évolution des quantités de matière des espèces chimiques au cours de la transformation chimique :

1 – L'avancement de la réaction :

Au cours de la **transformation**, les variations des **quantités de matière** des **réactifs** et des **produits** sont **proportionnelles** à une **grandeur** appelée l'**avancement de la réaction**, symbolisée par la lettre **x** et **exprimée** en **mol**. La **constante de proportionnalité** est le **coefficient proportionnel** des **réactifs** et des **produits**.

Exemple :

On considère la **transformation** suivante : $Cu_{(s)} + 2 Ag^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2 Ag_{(s)}$

Au cours de la **transformation**, elle **consomme** **x mol** de **Cu_(s)** et **2x mol** de **Ag⁺_(aq)** et elle **forme** **x mol** de **Cu²⁺_(aq)** et **2x mol** de **Ag_(s)**.

2 – Le tableau d'avancement de la réaction :

Afin de **suivre l'évolution** des **quantités de matière** des **espèces chimiques réactives** et **produits**, nous créons un **tableau d'avancement (descriptif)** de la **réaction**, où la **quantité de matière** est déterminée pour chaque **espèce chimique** en fonction de l'**avancement de la réaction x** .

Le **système chimique** atteint son **état final** par l'**expiration** de la **quantité de matière** pour au moins l'un des réactifs, appelé **réactif limitant**, et l'**avancement de la réaction x** prend sa **valeur maximale** appelée l'**avancement maximal x_{max}** .

L'équation de la réaction		αA	+	βB	$\rightarrow$	γC	+	δD
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mol)						
Etat initial	0	$n_i(A)$		$n_i(B)$		0		0
En cours	x	$n_i(A) - \alpha x$		$n_i(B) - \beta x$		γx		δx
Etat final	x_{max}	$n_i(A) - \alpha x_{max}$		$n_i(B) - \beta x_{max}$		γx_{max}		δx_{max}

Exemple :

L'équation de la réaction		$Cu_{(s)}$	+	$2 Ag_{(aq)}^+$	$\rightarrow$	$Cu_{(aq)}^{2+}$	+	$2 Ag_{(s)}$
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mol)						
Etat initial	0	$n_i(A) = 2$		$n_i(B) = 2$		0		0
En cours	x	$2 - x$		$2 - 2x$		x		$2x$
Etat final	x_{max}	$2 - x_{max}$		$2 - 2x_{max}$		x_{max}		$2x_{max}$

■ Si $Cu_{(s)}$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(Cu_{(s)}) = 2 - x_{max}(Cu_{(s)}) = 0$

d'où $x_{max}(Cu_{(s)}) = 2 \text{ mol}$

■ Si $Ag_{(aq)}^+$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(Ag_{(aq)}^+) = 2 - 2x_{max}(Ag_{(aq)}^+) = 0$

d'où $x_{max}(Ag_{(aq)}^+) = \frac{2}{2} = 1 \text{ mol}$

Puisque $x_{max}(Ag_{(aq)}^+) < x_{max}(Cu)$, alors le **réactif limitant** est $Ag_{(aq)}^+$ et l'**avancement maximal** est $x_{max} = 1 \text{ mol}$.

Rq : le savoir de l'**avancement maximal** permet de déterminer les **quantités de matière** de tous les **réactifs** et **produits** dans l'**état final**, ce qui est appelé le **bilan de la matière**.

Exemple : le **bilan de la matière** pour la réaction précédente est la **composition** du mélange à l'état final.

L'équation de la réaction		$Cu_{(s)}$	+	$2 Ag_{(aq)}^+$	$\rightarrow$	$Cu_{(aq)}^{2+}$	+	$2 Ag_{(s)}$
bilan de la matière	$x_{max} = 1 \text{ mol}$	1 mol		0 mol		1 mol		2 mol

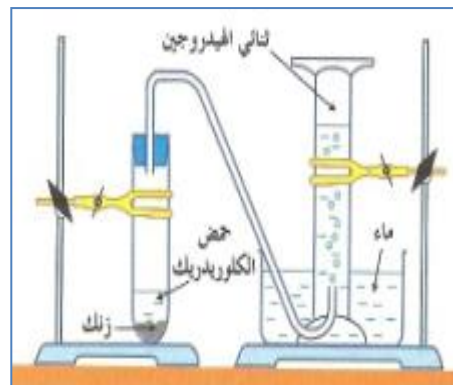
3 – Le mélange stœchiométrique (proportionnel) :

On dit que le **mélange** est **stœchiométrique** si les **quantités de matière initial** des **réactifs** sont **disponibles** selon les **coefficients proportionnels** des **réactifs** dans l'équation, alors les **réactifs disparaîtront complètement** à l'état final.

Pour la réaction suivante : $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D$. On peut dire que le **mélange** est **stœchiométrique** si la **condition** suivante $\frac{n_i(A)}{\alpha} = \frac{n_i(B)}{\beta}$ est **vérifiée**.

III – Application :

On introduit une **masse** $m = 0,2 \text{ g}$ de **fine grenaille** de **zinc** Zn dans un **tube à essai** et un **volume** $V = 10 \text{ ml}$ d'une **solution d'acide chlorhydrique** de **concentration** $C = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, puis on le **fermer immédiatement**. À l'aide du **montage ci-contre**, on mesure le **volume** de **dihydrogène dégagé** lors de cette réaction. A la fin de la réaction, on trouve que le **volume final** du gaz **dihydrogène dégagé** $V_f(\text{H}_2) = 74 \text{ mL}$.



On donne : $V_M = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

a- Déterminer la **quantité de matière** des **réactifs** dans l'état initial.

on a $n_i(\text{Zn}_{(s)}) = \frac{m}{M(\text{Zn}_{(s)})} = \frac{0,2}{65,4} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 3 \text{ mmol}$

et $n_i(\text{H}_{(aq)}^+) = C \cdot V = 2 \times 10 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 20 \text{ mmol}$.

b- Écrire l'équation de réaction et créer le tableau d'avancement.

L'équation de la réaction		$\text{Zn}_{(s)} + 2 \text{H}_{(aq)}^+ \rightarrow \text{Zn}_{(aq)}^{2+} + \text{H}_{2(g)}$			
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mmol)			
Etat initial	0	$n_i(\text{Zn}) = 3$	$n_i(\text{H}^+) = 20$	0	0
En cours	x	$3 - x$	$20 - 2 \cdot x$	x	x
Etat final	$x_{\max}$	$3 - x_{\max}$	$20 - 2 \cdot x_{\max}$	$x_{\max}$	$x_{\max}$

c- Déterminer le **réactif limitant** et la **valeur** de l'**avancement maximal** $x_{\max}$.

■ Si $\text{Zn}_{(s)}$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(\text{Zn}_{(s)}) = 3 - x_{\max}(\text{Zn}_{(s)}) = 0$

d'où $x_{\max}(\text{Zn}_{(s)}) = 3 \text{ mmol}$

■ Si $\text{H}_{(aq)}^+$ est le **réactif limitant**, alors $n_f(\text{H}_{(aq)}^+) = 20 - 2x_{\max}(\text{H}_{(aq)}^+) = 0$

d'où $x_{\max}(\text{H}_{(aq)}^+) = \frac{20}{2} = 10 \text{ mmol}$

Puisque $x_{\max}(\text{Zn}_{(s)}) < x_{\max}(\text{H}_{(aq)}^+)$, alors le **réactif limitant** est $\text{Zn}_{(s)}$ et l'**avancement maximal** est $x_{\max} = 3 \text{ mmol}$.

d- Déterminer le **volume final** attendu du **gaz dihydrogène** et le comparer avec la **valeur expérimentale**.

On a $V_f(\text{H}_2) = n_f(\text{H}_2) \cdot V_M = x_{\max} \cdot V_M = 3 \cdot 10^{-3} \times 24 = 72 \text{ mL}$

On remarque que la **valeur attendue** égale presque la **valeur expérimentale**.

Conclusion

L'utilisation d'un **tableau d'avancement** permet de déterminer le **bilan de la matière**, en **quantité de matière**, au cours de la **transformation** et dans l'état final.

L'utilisation des **grandeurs** liées à la **quantité de matière** permet de **prévoir** : la **masse**, la **concentration**, la **pression** ou le **volume** des **réactifs** ou des **produits**.