

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** .

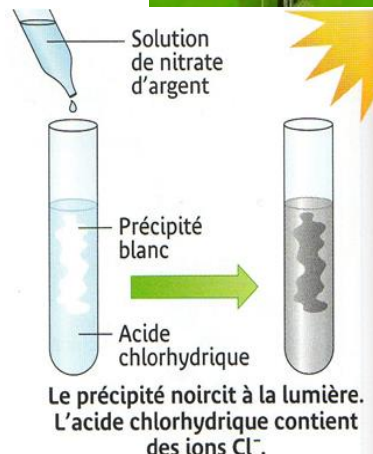
a- Quel est le **caractère** de l'**acide chlorhydrique** ? Quels sont les **ions** qui sont présents en **quantité importante** dans **cette solution** ? Puis que **pH < 7** , l'**acide chlorhydrique** possède un caractère **acide** ; cela signifie que la **solution** contient des **ions hydrogène**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

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**.

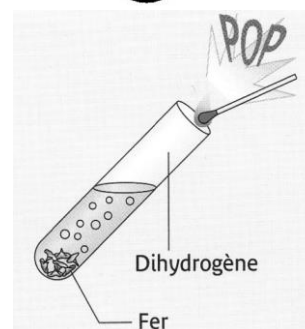
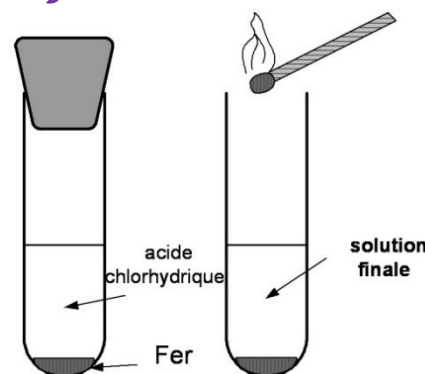
a- Qu'**observez-vous** ?

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** $H_{2(g)}$.



Physique - chimie

Chimie

Suivi d'une transformation chimique

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.

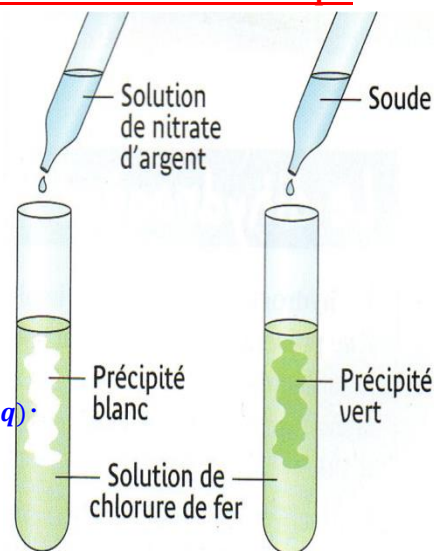
c- Qu'observez-vous ? Que montre ce test ?

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 $Fe_{(aq)}^{2+}$.



Conclusion : La solution S de chlorure de fer (II) contient des ions fer II $Fe_{(aq)}^{2+}$ 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 $Fe_{(aq)}^{2+}$.

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

Les ions $Cl_{(aq)}^-$ n'ont pas participé 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 $Fe_{(s)} + 2 H_{(aq)}^+ \rightarrow Fe_{(aq)}^{2+} + H_{2(g)}$

2 - La transformation chimique :

Au cours d'une transformation chimique, de nouvelles espèces chimiques apparaissent appelées produits, tandis que d'autres espèces chimiques disparaissent appelées 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 :

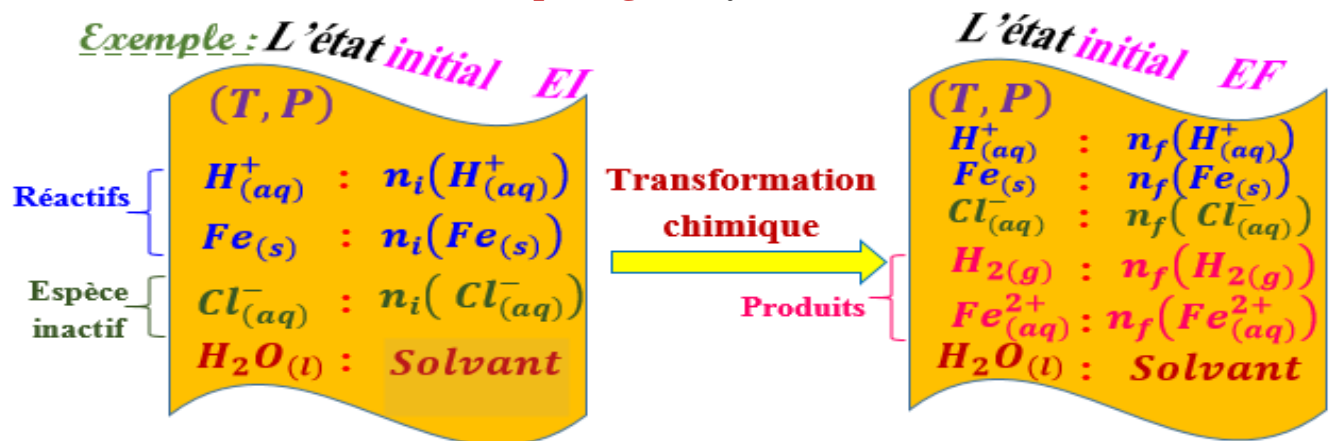
■ Nature et état (solide s - liquide l - gaz g - aqueux aq) et quantités de matière pour les espèces chimiques constituant du système.

■ 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 **nombres 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

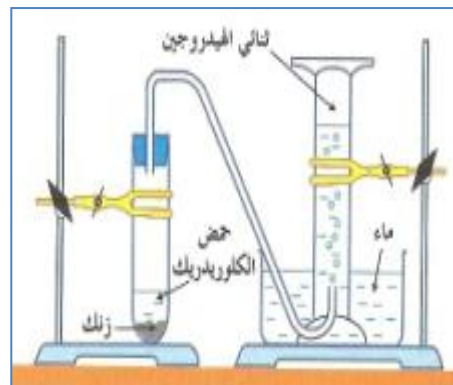
3 – Le mélange stœchiométrique (proportionnel) :

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**.