

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 bêcher 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 ?

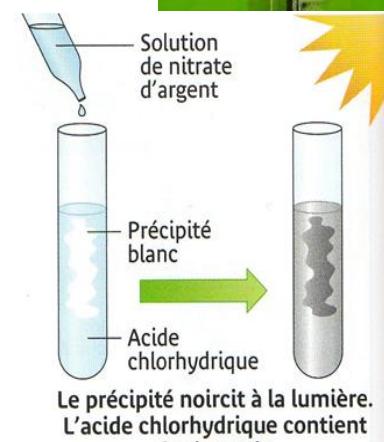
Puis que $pH < 7$, l'**acide chlorhydrique** possède un caractère **acide** ; cela signifie que la **solution** contient des **ions hydrogène** $H_{(aq)}^+$.



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**.



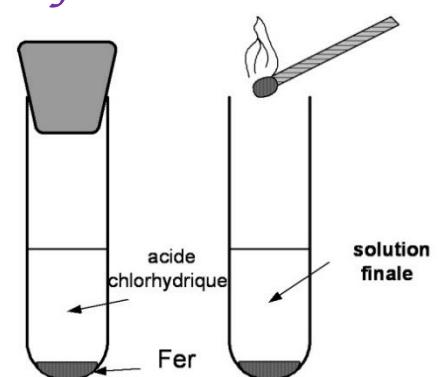
Conclusion : L'**acide chlorhydrique** contient des **ions hydrogène** $H_{(aq)}^+$ et des **ions chlorure** $Cl_{(aq)}^-$ en **solution** dans l'**eau**, de **formule chimique** $(H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-)$.

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 cm^3 d'**acide chlorhydrique**.

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

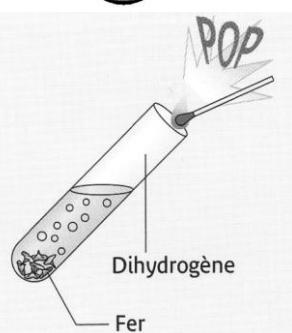
On observe une **effervescence** d'un gaz qui se forme et le **tube** devient **chaud**. Donc, le **fer** est attaqué par l'**acide chlorhydrique**. Alors, une **réaction chimique** se produit.



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 ?

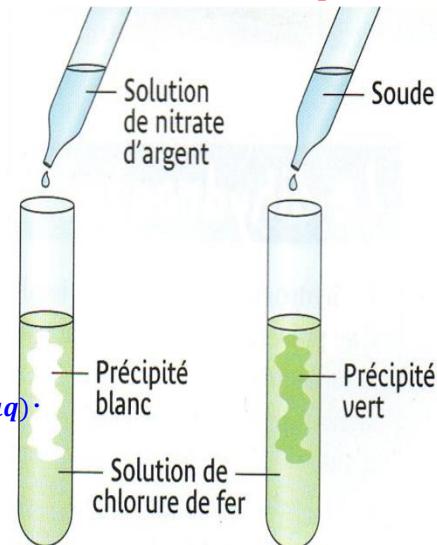
On observe la formation d'un précipité blanc (chlorure d'argent) ce qui indique la présence des ions chlorure $Cl_{(aq)}^-$.

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.

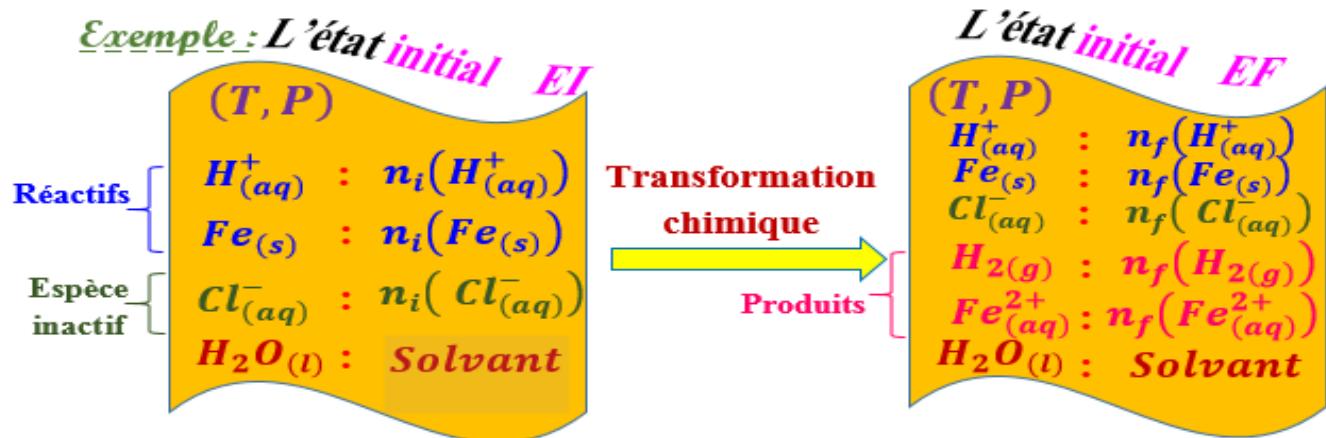
L'équation chimique est $Fe_{(s)} + 2 H_{(aq)}^+ \rightarrow Fe_{(aq)}^{2+} + H_{2(g)}$

2 – La transformation chimique :

- + Au cours d'une transformation chimique, de 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 **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 **$Cu^{2+}_{(aq)}$** 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		$\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D$			
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		$Cu_{(s)} + 2 Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2 Ag_{(s)}$			
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	$2 - x$	$2 - 2 \cdot x$	x	$2 \cdot x$
Etat final	x_{max}	$2 - x_{max}$	$2 - 2 \cdot x_{max}$	x_{max}	$2 \cdot x_{max}$

■ 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		$Cu_{(s)} + 2 Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2 Ag_{(s)}$			
bilan de la matière	$x_{max} = 1 \text{ mol}$	1 mol	0 mol	1 mol	2 mol

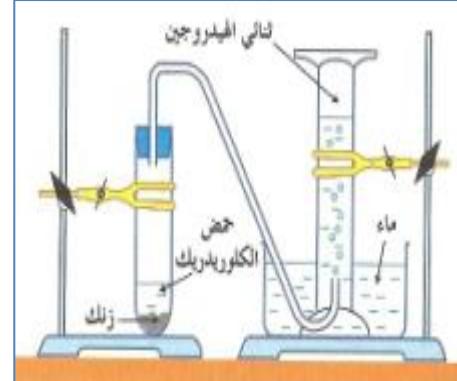
3 – Le mélange stœchiométrique (proportionnel) :

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 .

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

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

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	0
En cours	x	$3 - x$	$20 - 2x$	x	x	
Etat final	x_{max}	$3 - x_{max}$	$20 - 2x_{max}$	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.

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

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 .