

**Première Partie :**  
**La mesure en**  
**chimie**  
**Unité 4**  
**4 H**

*Suivi d'une transformation*  
*chimique*

تتبع تحول كيميائي



1<sup>er</sup> Bac Sciences

Chimie

**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** .

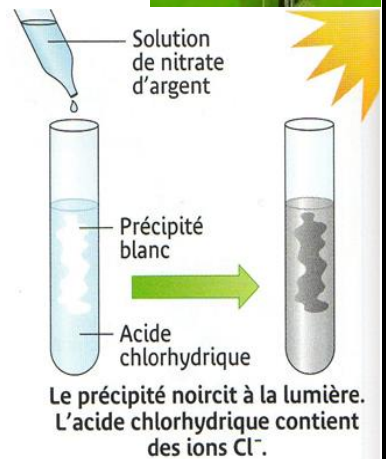
a- Quel est le **caractère** de l'**acide chlorhydrique** ? Quels sont les **ions** qui sont présents en **quantité importante** dans **cette solution** ? Puis que **pH < 7** , l'**acide chlorhydrique** possède un caractère **acide** ; cela signifie que la **solution** contient des **ions hydrogène**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

**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 cm<sup>3</sup>** d'**acide chlorhydrique**.

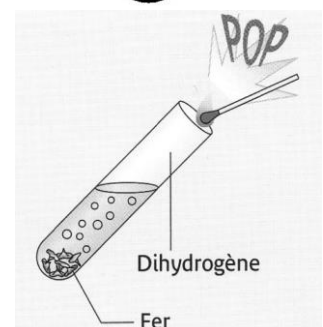
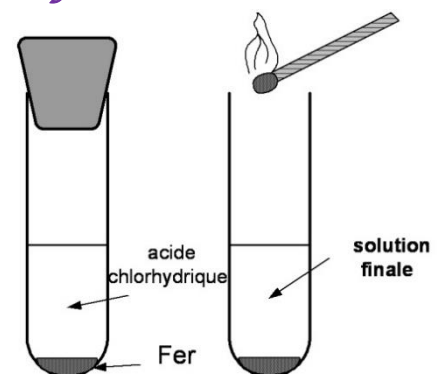
a- Qu'**observez-vous** ?

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**.

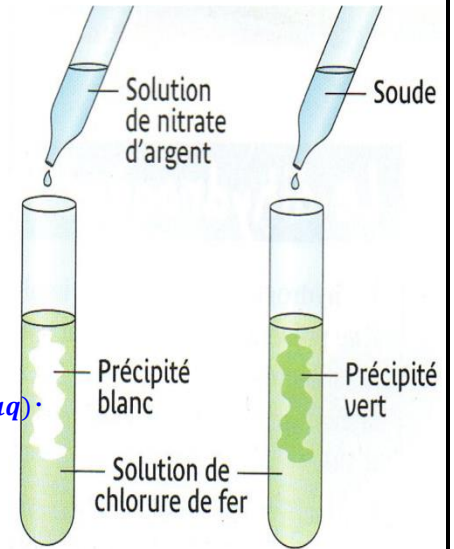
c- Qu'observez-vous ? Que montre ce test ?

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 apparait** (le **gaz**) et au moins un **produit disparaît** (le **fer**).

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

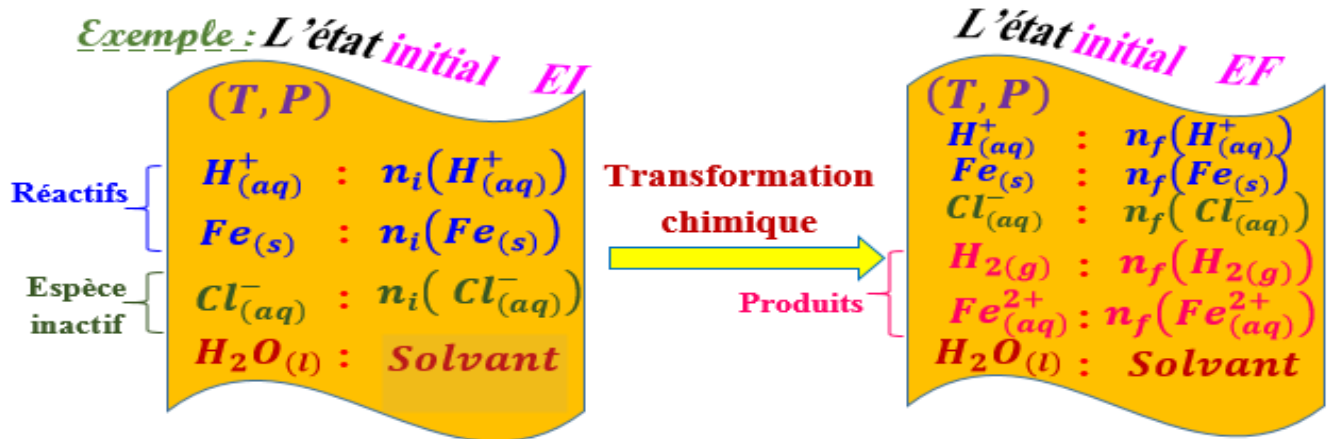
L'**équation chimique** est  $Fe_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

### 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 **nombre**  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$  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<sub>(s)</sub>** et **2x mol** de **Ag<sup>+</sup><sub>(aq)</sub>** et elle **forme** **x mol** de **Cu<sup>2+</sup><sub>(aq)</sub>** et **2x mol** de **Ag<sub>(s)</sub>** .

## 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	$x$	$n_i(A) - \alpha x$	$n_i(B) - \beta x$	$\gamma x$	$\delta x$
Etat final	$x_{max}$	$n_i(A) - \alpha x_{max}$	$n_i(B) - \beta x_{max}$	$\gamma x_{max}$	$\delta x_{max}$

### 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

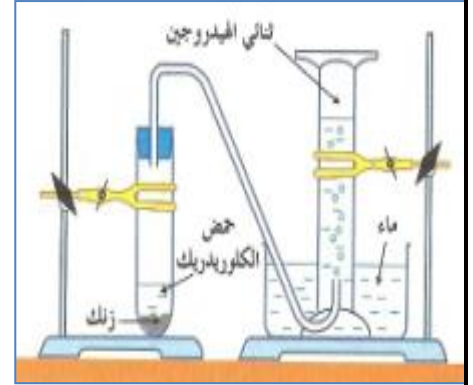
## 3 – Le mélange stœchiométrique (proportionnel) :

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**  $C = 2 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ , 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**  $V_f(H_2) = 74 \text{ mL}$ .



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

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

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

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

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

L'équation de la réaction		$Zn_{(s)} + 2 H^+_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$			
L'état du système	L'avancement de la réaction	La quantité de matière en (mmol)			
Etat initial	0	$n_i(Zn) = 3$	$n_i(H^+) = 20$	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  $Zn_{(s)}$  est le **réactif limitant**, alors  $n_f(Zn_{(s)}) = 3 - x_{max}(Zn_{(s)}) = 0$

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

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

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

Puisque  $x_{max}(Zn_{(s)}) < x_{max}(H^+_{(aq)})$ , alors le **réactif limitant** est  $Zn_{(s)}$  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**.

$$\text{On a } V_f(H_2) = n_f(H_2) \cdot V_M = x_{max} \cdot V_M = 3 \cdot 10^{-3} \times 24 = 72 \text{ mL}$$

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**.