

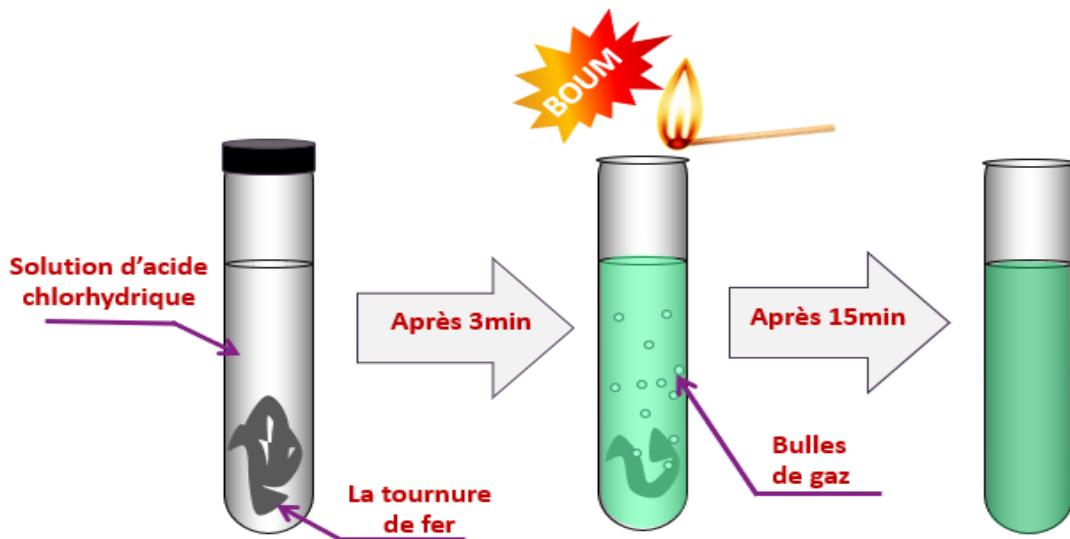
✎ Leçon 4 : Suivi d'une transformation chimique

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

1) Activité

a) Manipulation 1

- On introduit une tournure de fer dans un tube à essais contenant une solution de l'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$), puis on ferme le tube à l'aide d'un bouchant adapter.
- Après quelques minutes, on retire le bouchant et on rapproche une allumette enflammée à l'ouverture du tube.



❶ Quelles sont les espèces chimiques présentes dans le mélange du tube à l'état initial ?

❷ Qu'arrive-t-il au mélange avec le temps ?

❸ Quel est le gaz qui donne une détonation en présence du feu dans cette expérience ?

Correction :

❶ Les espèces chimiques présentent dans le mélange de tube à l'état initial sont :

L'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$), le fer $Fe_{(s)}$ et l'eau H_2O (solvant)

❷ On constate que :

- Le mélange se colore progressivement en vert.
- L'apparition d'un gaz qui donne une détonation en présence de feu.

❸ Le gaz qui donne une détonation en présence du feu dans cette expérience est dihydrogène.

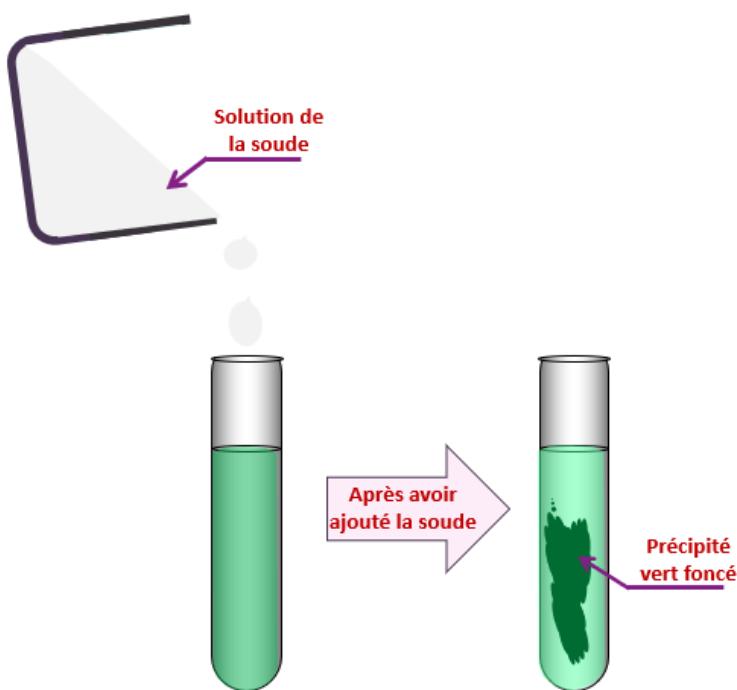
a) Manipulation 2

Lorsque la réaction est terminée on verse quelques gouttes de la soude ($Na_{(aq)}^+ + HO_{(aq)}^-$) dans le tube à essais.

❶ Quel est le nom du précipité formé dans le tube après avoir ajouté la soude.

❷ Quel est le nom de l'espèce chimique détectée par ce test.

❸ En se basant sur les résultats des deux manipulations, Écrire l'équation de la réaction modélisant l'action de l'acide chlorhydrique sur le fer.



Correction :

① Le précipité formé dans le tube après avoir ajouté la soude est l'hydroxyde de fer II sa formule chimique est : $Fe(OH)_2$

② Ce test montre que la solution du tube à essai contient les ions de fer $Fe^{2+}_{(aq)}$.

③ L'équation de la réaction modélisant l'action de l'acide chlorhydrique sur le fer est :



2) Définitions

- La transformation chimique est une transformation dans laquelle des corps disparaissent appelés réactifs et des nouveaux corps apparaissent appelés produits.
- On appelle système chimique l'ensembles des espèces chimiques qui s'existent dans le milieu réactionnel.
- Pour décrire un système chimique à un état donné, on doit préciser :
 - La quantité de matière, l'état physique (solide, liquide, gaz ou aqueux) de chaque espèce chimique de ce système.
 - Les conditions de pression P et de température T.
- L'état initial est l'état du système au moment où on mélange les réactifs.
- L'état de la transformation est l'état du système à un instant donné.
- L'état final est l'état du système lorsque la réaction est terminée.

3) Modélisation d'une transformation

- La réaction chimique est une modélisation simple de la transformation chimique dans laquelle on utilise une équation appelée équation de la réaction (bilan de réaction).
- L'équation de la réaction est obtenue en écrivant les formules des réactifs à gauche de la flèche et les formules des produits à droite de la flèche.
- Au cours d'une réaction chimique il y a conservation des éléments chimiques et de la charge électrique.
- L'équation d'une réaction chimique s'écrit sous la forme suivante : $aA + bB \rightarrow cC + dD$ tel que :
 - a, b et c sont les coefficients stoechiométriques.
 - A et B sont les formules chimiques des réactifs.
 - C et D sont les formules chimiques des produits.

Exemple : L'équation de la réaction chimique modélisant l'action de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium : $6H_{(qa)}^+ + 2Al_{(s)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(qa)} + 3H_2_{(s)}$

II. L'évolution des quantités de matière des espèces chimiques au cours d'une transformation chimique

1) L'avancement de la réaction

- Lors d'une transformation chimique, les variations des quantités de matière des réactifs et des produits sont proportionnelles à une grandeur appelée avancement de la réaction.
- L'avancement de la réaction notée x est une grandeur positive s'exprime en mol.

Exemple : On considère la réaction suivante : $6H_{(qa)}^+ + 2Al_{(s)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(qa)} + 3H_2_{(s)}$

Pendant cette réaction il se consomme $6x$ de H^+ et $2x$ de Al tandis qu'il se forme $2x$ de Al^+ et $3x$ de H_2

2) L'avancement maximale et le réactif limitant

- L'avancement maximal x_{max} est la valeur que prend l'avancement de la réaction lorsque la réaction est terminée.
- Le réactif limitant est l'espèce chimique qui se consomme totalement à la fin de la réaction.

3) Le tableau d'avancement

- Pour suivre l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors d'une réaction chimique on construit un tableau descriptif appelé tableau d'avancement.
- On trace le tableau d'avancement d'une transformation chimique de la manière suivante :

| Équation | | aA | + | bB | → | cC | + | dD |
|---------------|------------|--|---|---------------------|---|------------|---|------------|
| État | Avancement | Les quantités de matière en mole (mol) | | | | | | |
| Initial | 0 | $n_i(A)$ | | $n_i(B)$ | | 0 | | 0 |
| Intermédiaire | x | $n_i(A) - ax$ | | $n_i(B) - bx$ | | cx | | dx |
| Final | x_{max} | $n_i(A) - ax_{max}$ | | $n_i(B) - bx_{max}$ | | cx_{max} | | dx_{max} |

Application

On considère le tableau d'avancement associé à la réaction de fer Fe et les ions d'argent Ag^+

| Équation | | $Fe_{(s)}$ | $+ 2Ag^+_{(aq)}$ | → | $Fe^{2+}_{(aq)}$ | $+ 2Ag_{(s)}$ |
|---------------|------------|--|------------------|---|------------------|---------------|
| État | Avancement | Les quantités de matière en mole (mol) | | | | |
| Initial | 0 | 1,5 | 2 | | 0 | 0 |
| Intermédiaire | x | $1,5 - x$ | $2 - 2x$ | | x | $2x$ |
| Final | x_{max} | $1,5 - x_{max}$ | $2 - 2x_{max}$ | | x_{max} | $2x_{max}$ |

❶ Compléter le tableau d'avancement ci-dessus.

❷ Déterminer l'avancement maximal et le réactif limitant.

❸ Déterminer le bilan de matière à l'état final

Correction :

❶ Voir le tableau d'avancement

❷ Déterminons l'avancement maximal et le réactif limitant.

- Si Fe est le réactif limitant, on aura : $1,5 - x_{max1} = 0$

Donc : $x_{max1} = 1,5 \text{ mol}$

- Si Ag^+ est le réactif limitant, on aura : $2 - 2x_{max2} = 0$

Donc : $x_{max2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mol}$

- Puisque $x_{max2} < x_{max1}$, donc le réactif limitant est les ions d'argent Ag^+ et

$x_{max} = x_{max2} = 1 \text{ mol}$

❸ Déterminons le bilan de matière à l'état final

| Équation | | $Fe_{(s)} + 2Ag_{(aq)}^+ \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$ | | | | |
|----------|------------|--|---|--|---|---|
| État | Avancement | Les quantités de matière en mole (mol) | | | | |
| Final | x_{max} | 0,5 | 0 | | 1 | 2 |

4) Le mélange stœchiométrique

- On dit qu'un mélange est stœchiométrique si tous les réactifs sont complètement consommés à l'état final.
 - On considère l'équation chimique suivante : $aA + bB \rightarrow cC + dD$, le mélange est stœchiométrique, donc :
- $$\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_i(B)}{b}$$

Application

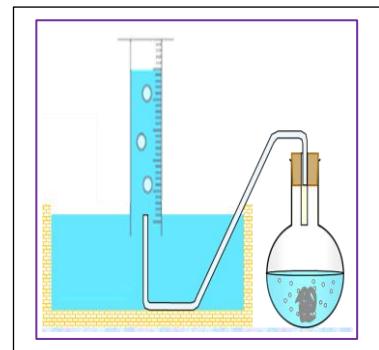
Pour étudier la réaction de l'acide chlorhydrique avec le zinc, on introduit dans un ballon, une tournure de zinc $Zn_{(s)}$ de masse $m = 3,27 \text{ g}$ et on y verse à un volume $V_A = 10 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$) de concentration $C_A = 4 \text{ mol. L}^{-1}$.

À l'aide du montage expérimentale schématisé ci-contre, on mesure le volume de dihydrogène H_2 formé à l'état final et on trouve : $V_f(H_2) = 438 \text{ mL}$

- ❶ Calculer les quantités de matière initiales des réactifs.
- ❷ Faire le bilan des espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial.
- ❸ Écrire l'équation de la réaction chimique de l'acide chlorhydrique et le zinc, sachant qu'il se produit les ions $Zn_{(aq)}^+$ et le dihydrogène gazeux lors de cette transformation.
- ❹ Compléter le tableau d'avancement associé à cette réaction.
- ❺ Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal de cette réaction.
- ❻ Déterminer le bilan de la quantité de matière du système à l'état final.
- ❼ Calculer le volume de H_2 formé à la fin de la réaction et la comparer avec celle mesurer expérimentalement.
- ❽ Représenter sur la figure ci-contre les courbes représentant les variations des quantités de matière des espèces chimiques qui se trouvent dans le mélange en fonction de l'avancement x de la réaction.

Données :

- Le volume molaire : $V_m = 24 \text{ L. mol}^{-1}$



- La masse molaire de zinc : $M(Zn) = 65,4 \text{ g/mol}$

Correction :

❶ Les quantités de matière initiales des réactifs.

$$\text{On a : } n_i(H^+) = C_A \cdot V_A$$

$$\text{A.N: } n_i(H^+) = 4 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$\text{On trouve : } n_i(H^+) = 4 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{On a : } n_i(Zn) = \frac{m}{M(Zn)}$$

$$\text{A.N: } n_i(Zn) = \frac{3,27}{65,4}$$

$$\text{On trouve : } n_i(Zn) = 5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

❷ Les espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial sont : H^+ ; Cl^- ; Zn ; H_2O

❸ L'équation de réaction chimique de l'acide chlorhydrique et le zinc est : $Zn_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + Zn^{2+}_{(aq)}$

❹ Voir le tableau suivant :

| Équation | | $Zn_{(s)}$ | $+ 2H^+_{(aq)}$ | \rightarrow | $Zn^{2+}_{(aq)}$ | $+ H_{2(g)}$ |
|---------------|------------|--|-------------------------------|---------------|------------------|--------------|
| État | Avancement | Les quantités de matière en mole (mol) | | | | |
| Initial | 0 | 5×10^{-2} | 4×10^{-2} | | 0 | 0 |
| Intermédiaire | x | $5 \times 10^{-2} - x$ | $4 \times 10^{-2} - 2x$ | | x | x |
| Final | x_{max} | $5 \times 10^{-2} - x_{max}$ | $4 \times 10^{-2} - 2x_{max}$ | | x_{max} | x_{max} |

❺ Déterminons l'avancement maximal et le réactif limitant.

- Si Zn est le réactif limitant, on aura : $5 \times 10^{-2} - x_{max1} = 0$

$$\text{Donc : } x_{max1} = 5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Si H^+ est le réactif limitant, on aura : $4 \times 10^{-2} - 2x_{max2} = 0$

$$\text{Donc : } x_{max2} = \frac{4 \times 10^{-2}}{2} = 2 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Puisque $x_{max2} < x_{max1}$, donc le réactif limitant est les ions d'argent H^+ et

$$x_{max} = x_{max2} = 2 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

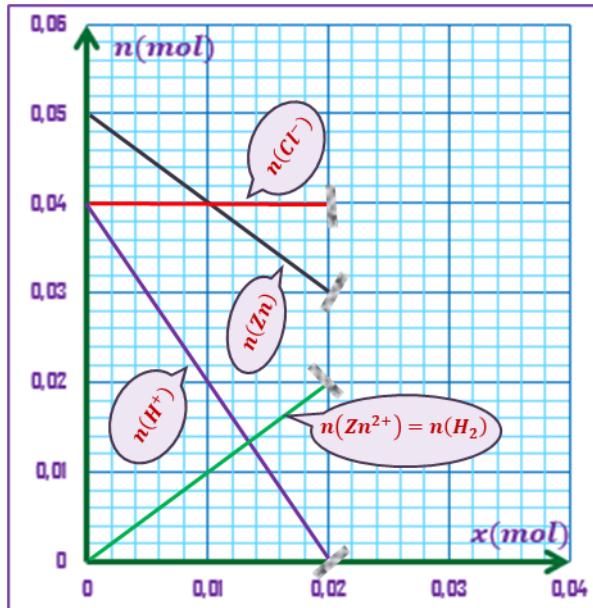
❻ Déterminons le bilan de la quantité de matière à l'état final.

| Équation | | $Zn_{(s)}$ | $+ 2H^+_{(aq)}$ | \rightarrow | $Zn^{2+}_{(aq)}$ | $+ H_{2(g)}$ |
|----------|--------------------|--|-----------------|---------------|--------------------|--------------------|
| État | Avancement | Les quantités de matière en mole (mol) | | | | |
| Final | 2×10^{-2} | 3×10^{-2} | 0 | | 2×10^{-2} | 2×10^{-2} |

$$\text{❽ On a } n_f(H_2) = \frac{V_f(H_2)}{V_m} \quad \text{A.N : } V_f(H_2) = 2 \times 10^{-2} \times 24$$

On trouve : $V_f(H_2) = 0,48 \text{ L}$. On constate que la valeur attendue est quasiment égale à la valeur expérimentale.

❾ Voir le graphe suivant :



Résumé : En s'appuyant sur le tableau d'avancement de la réaction, on peut prédire la composition du système à l'état final.