

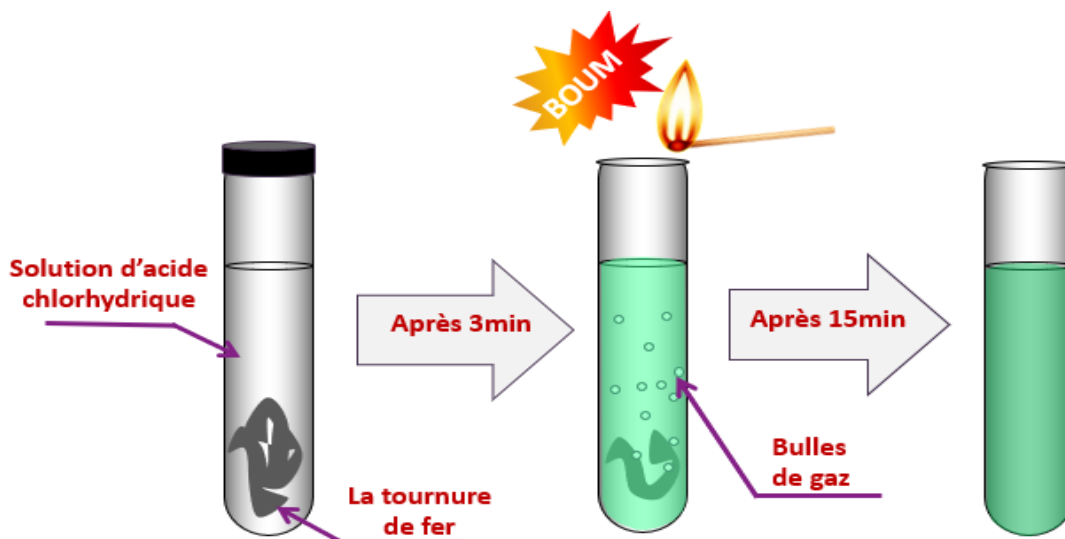
## Leçon 4 : Suivi d'une transformation chimique

### 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 présentes 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 :

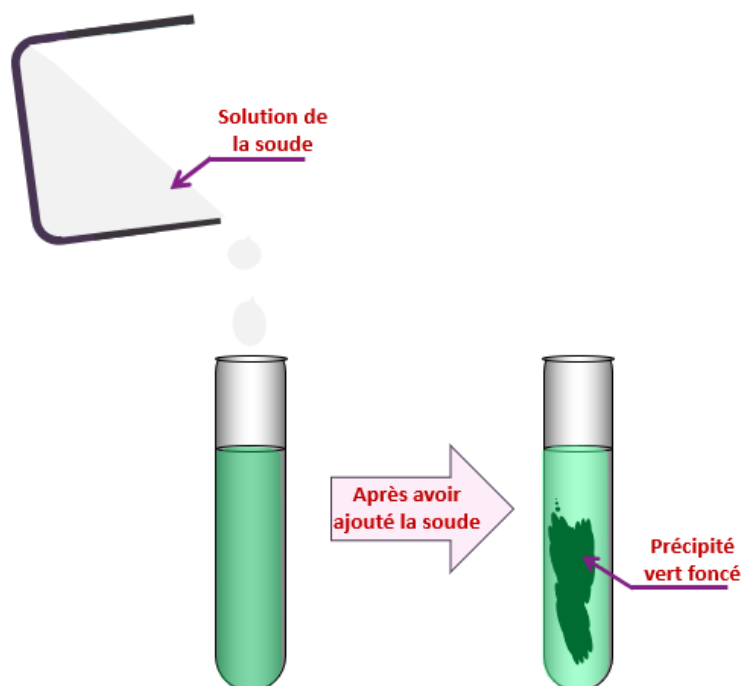
- Le mélange se colore progressivement en vert.
- L'apparition d'un gaz qui donne une détonation en présence de feu.

- 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.

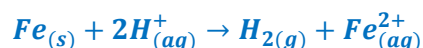


**Correction :**

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

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

❸ 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'ensemble 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 stœchiométriques.
  - $A$  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 :  $6H_{(aq)}^+ + 2Al_{(s)} \rightarrow 2Al_{(aq)}^{3+} + 3H_{2(s)}$

## 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 :  $6H_{(aq)}^+ + 2Al_{(s)} \rightarrow 2Al_{(aq)}^{3+} + 3H_{2(s)}$

Pendant cette réaction il se consomme  $6x$  de  $H^+$  et  $2x$  de  $Al$  tandis qu'il se forme  $2x$  de  $Al^{3+}$  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		$aA + bB \rightarrow cC + dD$				
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		$Fe_{(s)} + 2Ag_{(aq)}^+ \rightarrow Fe_{(aq)}^{2+} + 2Ag_{(s)}$				
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 :

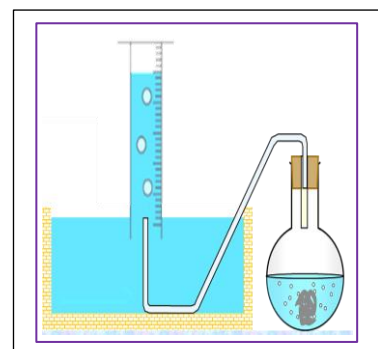
$$\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_i(B)}{b}$$

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  $C_A = 4 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ .

À l'aide du montage expérimental 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 :  $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

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

Correction :

❶ Les quantités de matière initiales des réactifs.

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

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

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

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

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

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

❷ Les espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial sont :  $\text{H}^+$  ;  $\text{Cl}^-$  ;  $\text{Zn}$  ;  $\text{H}_2\text{O}$

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

❹ Voir le tableau suivant :

Équation		$\text{Zn}_{(s)} + 2\text{H}_{(aq)}^+ \rightarrow \text{Zn}_{(aq)}^{2+} + \text{H}_{2(g)}$				
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)				
Initial	0	$5 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$		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 :  $5 \times 10^{-2} - x_{\max 1} = 0$

Donc :  $x_{\max 1} = 5 \times 10^{-2} \text{ mol}$

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

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

- Puisque  $x_{\max 2} < x_{\max 1}$ , donc le réactif limitant est les ions d'argent  $\text{H}^+$  et

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

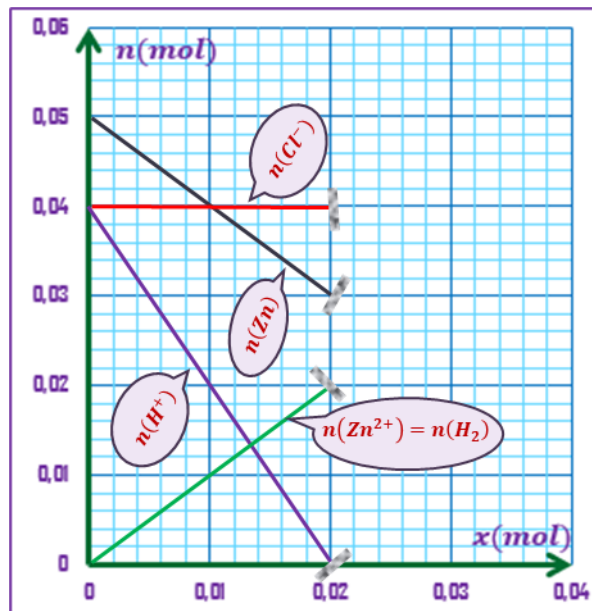
❻ Déterminons le bilan de la quantité de matière à l'état final.

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

❼ On a  $n_f(\text{H}_2) = \frac{V_f(\text{H}_2)}{V_m}$  A.N :  $V_f(\text{H}_2) = 2 \times 10^{-2} \times 24$

On trouve :  $V_f(\text{H}_2) = 0,48 \text{ L}$ . On constate que la valeur attendue est quasiment égale à la valeur expérimentale.

❽ 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.