

Suivi d'une transformation chimique

I)- Transformation chimique et réaction chimique :

1- Système chimique :

Un système chimique est constitué par l'ensemble des espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles.

Pour décrire un système chimique, il faut préciser :

- La nature, la quantité de matière et l'état physique (solide liquide ou gazeux) des différentes espèces chimiques qui constituent le système.
- Les conditions de température T et de pression P.
- Un système chimique peut évoluer et subir une transformation chimique qui modifie son état.

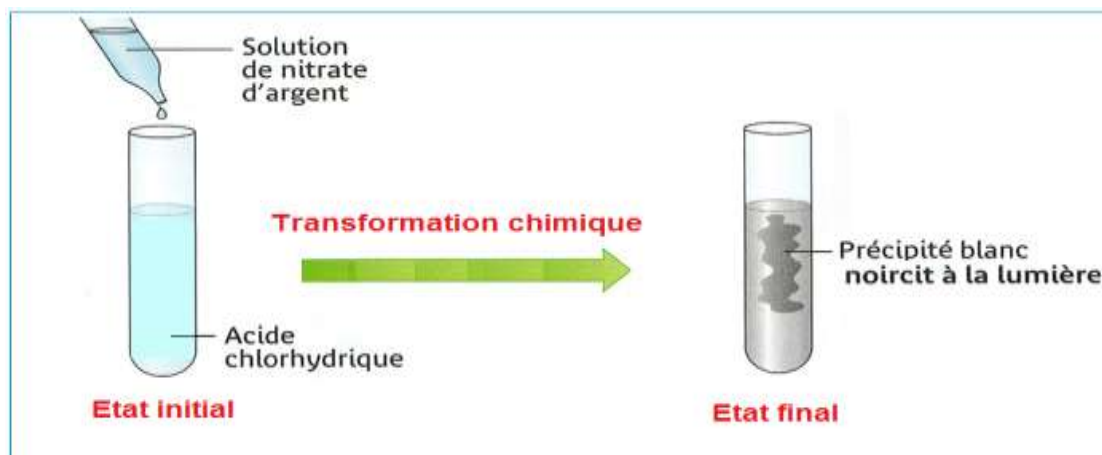
2- Transformation chimique :

Un système chimique subit une transformation chimique, la nature et la quantité de matière des espèces chimiques sont différentes à l'état initial et à l'état final.

Les espèces introduites sont appelées « réactifs », les espèces obtenues après la transformation, à l'état final sont appelées « produits ».

Exemple :

On verse quelques gouttes de solution de nitrate d'argent dans l'acide chlorhydrique.



3- Réaction chimique :

La réaction chimique rend compte, à l'échelle macroscopique de l'évolution d'un système subissant une transformation.

On présente la réaction par une équation, entre les réactifs et les produits, une flèche indique le sens de révolution du système.



Exemple :



Au cours d'une transformation chimique il y a conservation :

- Les éléments chimiques : les éléments présents dans les réactifs et les produits sont les mêmes.
- La masse des réactifs est égale à la masse des produits.
- La charge électrique : la somme des charges des réactifs est égale à la somme des charges des produits.

Il faut ajuster les nombres stœchiométriques pour respecter les lois de conservations.

I- Evolution d'un système au cours d'une transformation chimique :

Comment décrire l'évolution d'un système chimique ?

1- Activité expérimentale :

On verse dans un verre un volume $V_1 = 15 \text{ mL}$ d'une solution de nitrate de calcium

$\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + \text{NO}^-_{(aq)}$ de concentration $C_1 = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$. 

On y ajoute un volume $V_2 = 20 \text{ mL}$ d'une solution de phosphate de sodium $3\text{Na}^+_{(aq)} +$

$\text{PO}^{3-}_{(aq)}$ de concentration $C_2 = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$. 

Il se produit une réaction chimique et se forme un précipité de phosphate de calcium $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. 

L'équation de la réaction chimique :



2- Le tableau d'avancement :

Pour suivre l'évolution de la quantité de matière des réactifs et des produits au cours d'une transformation chimique, on construit un tableau descriptif utilisant l'avancement.

Quantités de matière initiales dans l'activité expérimentale :

$$n_i(\text{Ca}^{2+}) = C_1 \cdot V_1 = 0,2 \times 150 \times 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 3 \text{ mmol}$$

$$n_i(\text{PO}_4^{3-}) = C_2 \cdot V_2 = 0,2 \times 20 \times 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 4 \text{ mmol}$$

Equation chimique		3Ca^{2+}	$+ 2\text{PO}_4^{3-}$	\rightarrow	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Etat du système	Avancement	$n(\text{Ca}^{2+})(\text{mmol})$	$n(\text{PO}_4^{3-})(\text{mmol})$		$n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)(\text{mmol})$
Etat initiale	0	3	4		0
En cours de transformation	x	$3 - 3x$	$4 - 2x$		x
Etat final	x_{\max}	$3 - 3x_{\max}$	$4 - 2x_{\max}$		x_{\max}

3- L'avancement maximal et le réactif limitant :

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint, lorsque la quantité de matière d'au moins un des réactifs devient nulle.

Le réactif qui disparaît (sa quantité de matière s'annule) est appelé réactif limitant.

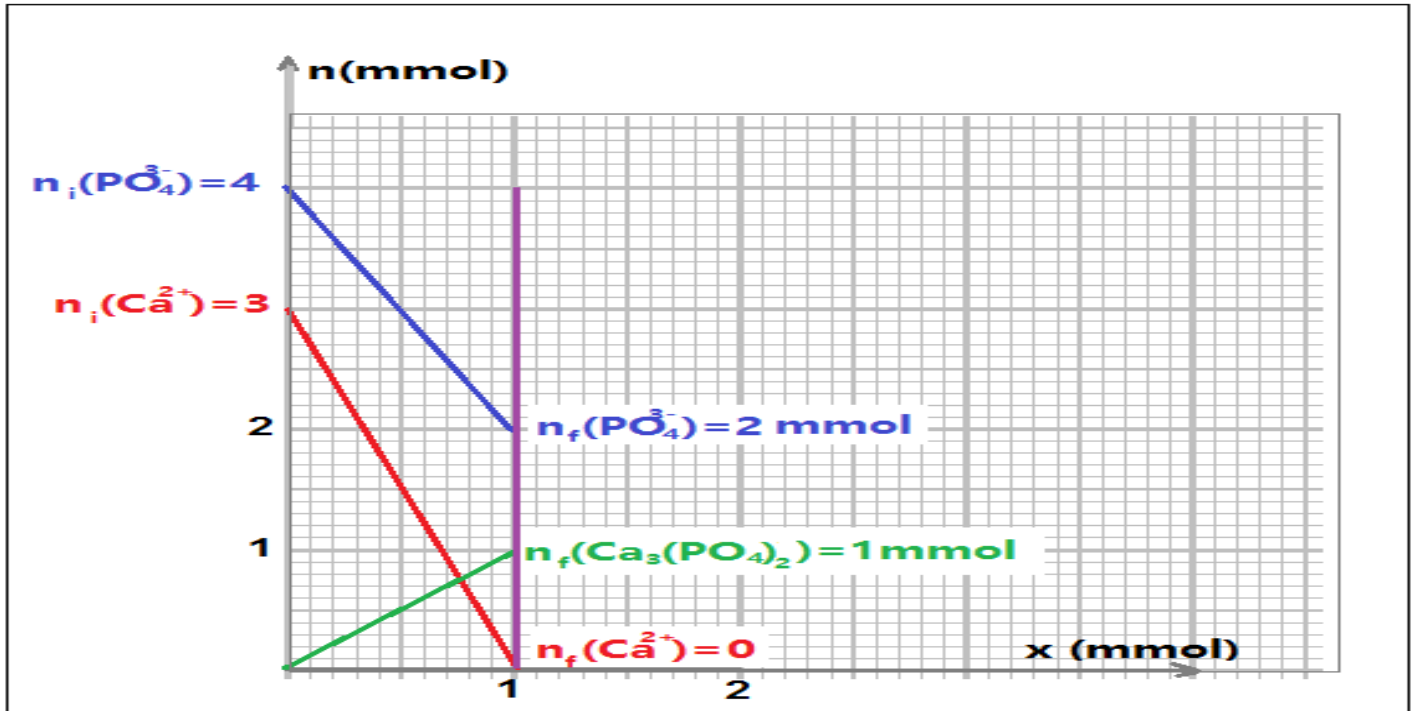
Exemple :

- Si le réactif limitant est Ca^{2+} : $n_f(\text{Ca}^{2+}) = 0$
 $3 - 3x_{\max 2} = 0$ soit : $x_{\max 2} = \frac{3}{3} = 1 \text{ mmol}$
- Si le réactif limitant est PO_4^{3-} : $n_f(\text{PO}_4^{3-}) = 0$
 $4 - 2x_{\max 2} = 0$ soit : $x_{\max 2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mmol}$

Le réactif limitant est celui pour lequel x_{max} est le plus petit.

- l'avancement maximal est $x_{max} = 1 \text{ mmol}$
- les ions calcium Ca^{2+} est le réactif limitant.

4- Quantité de matière en fonction de l'avancement :



5- Bilan de matière à l'état final :

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint lorsque la quantité de matière d'un des réactifs est nulle, celle du réactif limitant.

$$n_f(Ca^{2+}) = 0$$

$$n_f(PO_4^{3-}) = 4 - 2x_{max} = 4 - 2 \times 1 = 2 \text{ mmol}$$

$$n_f(Ca_3(PO_4)_2) = x_{max} = 1 \text{ mmol}$$

6- Le mélange stœchiométrique :

Un mélange est stœchiométrique si les quantités de matière initiales sont proportionnelles aux coefficients stœchiométriques de l'équation chimique. Dans l'état final les réactifs disparaissent complètement.

Application :

Calculant le volume de la solution de phosphate de sodium nécessaire pour que le mélange précédent soit stœchiométrique ?

$$\frac{n_1(\text{Ca}^{2+})}{3} = \frac{n'_i(\text{PO}_4^{3-})}{2}$$
$$n'_i(\text{PO}_4^{3-}) = \frac{2}{3} \cdot n_i(\text{Ca}^{2+})$$

$$n'_i(\text{PO}_4^{3-}) = \frac{2}{3} \times 3 = 2 \text{ mmol}$$

$$n'_i(\text{PO}_4^{3-}) = C \cdot V' \Rightarrow V' = \frac{n'_i(\text{PO}_4^{3-})}{C} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 10^{-2} \text{ L}$$

$$V' = 10 \text{ mL}$$

II- Détermination de la pression d'un gaz :

Comment déterminer la pression d'un gaz ?

1- Activité expérimentale :

Dans les conditions de l'expérience, à la température $\theta = 20^\circ\text{C}$ et sous une pression $P_{atm} = 1013 \text{ hPa}$, on introduit dans un ballon de volume 500 mL , qui contient 10 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, un morceau de zinc de masse $m = 32,7 \text{ mg}$.

On ferme le ballon et on mesure la pression $P = P_{\text{H}_2} + P_{atm}$ de dihydrogène formé dans le ballon.

Comment peut-on prévoir la pression finale du gaz dans le ballon ?

1^{ère} Méthode :

Expérimentalement en mesurant la pression par un manomètre, dans l'état final, la pression est :

$$P_f = 1038 \text{ hPa.}$$

2^{ème} Méthode :

L'utilisation des grandeurs liées aux quantités de matière permet de prévoir la pression du dihydrogène formé.

Composition des réactifs à l'état initial :

$$n_i(\text{Zn}) = \frac{m}{M(\text{Zn})} = \frac{32,7 \cdot 10^{-3}}{65,4} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,5 \text{ mmol}$$

$$n_i(\text{H}^+) = C \cdot V = 0,5 \times 10 \times 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 5 \text{ mmol}$$

Construction du tableau d'avancement :

Equation chimique		$\text{Zn}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$				
Etat du système	Avancement	Quantité de matière en (mol)				
Etat initial	0	0,5	5	--	0	0
Etat intermédiaire	x	$0,5 - x$	$5 - 2x$	--	x	x
Etat final	x_{max}	$0,5 - x_{max}$	$5 - 2x_{max}$	--	x_{max}	x_{max}

- Si le réactif limitant est Zn : $n_f(\text{Zn}) = 0$

$$0,5 - x_{max1} = 0 \quad \text{soit : } x_{max1} = 0,5 \text{ mmol}$$

- Si le réactif limitant est H^+ : $n_f(\text{H}^+) = 0$

$$5 - 2x_{max2} = 0 \quad \text{soit : } x_{max2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ mmol}$$

L'avancement maximal correspond à la plus petite des deux valeurs :

- l'avancement maximal est $x_{max} = 0,5 \text{ mmol}$

D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière de H_2 dans l'état final est :

$$n_f(H_2) = x_{max} = 0,5 \text{ mmol}$$

On appliquant l'équation des gaz parfait on peut déterminer la pression de H_2 dans le ballon :

$$P_{H_2} \cdot V = n_f(H_2) \cdot R \cdot T$$

$$P_{H_2} = \frac{n_f(H_2) \cdot R \cdot T}{V} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \times 8,314 \times (20 + 273)}{(500 - 10) \times 10^{-6}} = 2485,7 \text{ Pa} \approx 25 \text{ hPa}$$

La pression finale dans le ballon :

$$P_f = P_{H_2} + P_{atm} = 1013 + 25 = 1038 \text{ hPa}$$

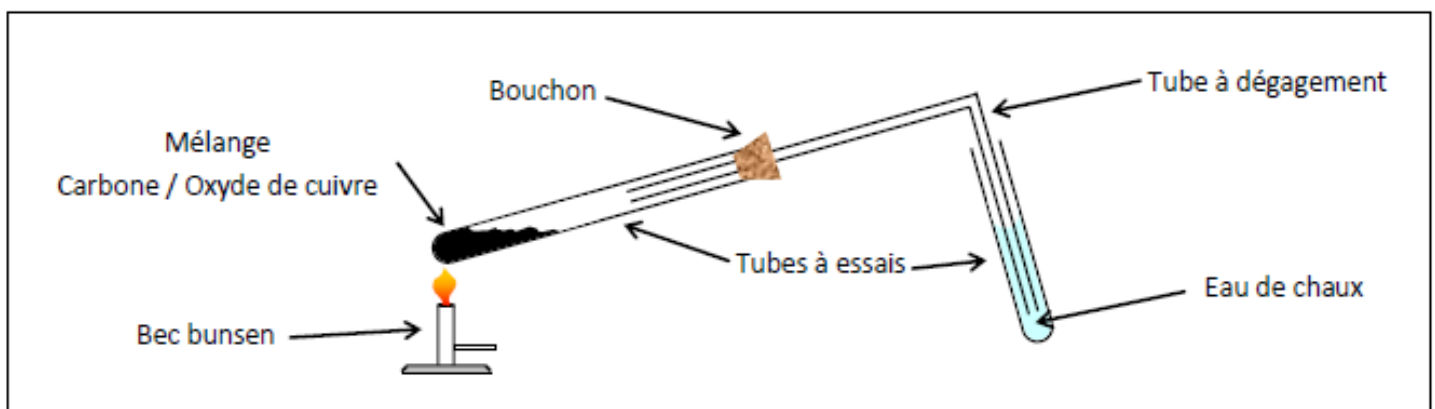
2- Prévoir l'état final :

L'utilisation des grandeurs liées aux quantités de matière permet de prévoir la masse, la pression et le volume des réactifs et des produits.

Exercice d'application :

Etude de la réaction entre le carbone et l'oxyde de cuivre.

- Schéma du montage :



On mélange $1,00 \text{ g}$ d'oxyde de cuivre et 120 mg de carbone.

Les observations montrent que du cuivre métallique (Cu) se forme au fond du tube à essais et du dioxyde de carbone (CO₂) s'échappe du tube à dégagement (eau de chaux troublée).

- 1- calculer la quantité de matière initiale des réactifs.
- 2- Ecrire l'équation de la réaction et construire le tableau d'avancement.
- 3- Préciser le réactif limitant et déterminer l'avancement de la réaction.
- 5-Déterminer la composition du système dans l'état final.
- 4- tracer le graphe $n = f(x)$ la quantité de matière en fonction de l'avancement des réactifs et des produits.

Corrigé :

1- La quantité de matière initiale d'oxyde de cuivre utilisée est :

$$n_0(\text{CuO}) = \frac{m(\text{CuO})}{M(\text{CuO})}$$

Avec $M(\text{CuO}) = M(\text{Cu}) + M(\text{C}) = 63,5 + 16,0 = 79,5 \text{ g. mol}^{-1}$

$$n_0(\text{CuO}) = \frac{1,00}{79,5} = 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 12,6 \text{ mmol}$$

-La quantité de matière initiale de carbone utilisée est :

$$n_0(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})}$$

A.N :

$$n_0(\text{C}) = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{12} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 10 \text{ mmol}$$

$n_0(\text{Cu}) = 0$ et $n_0(\text{CO}_2) = 0$

2- L'équation de la réaction et le tableau d'avancement :

Equation chimique		$2 \text{CuO}_{(s)} + \text{C}_{(s)} \rightarrow 2\text{Cu}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$				
Etat	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)				
Initial	0	$n_0(\text{CuO})$	$n_0(\text{C})$	--	0	0
Intermédiaire	x	$n_0(\text{CuO}) - 2x$	$n_0(\text{C}) - x$	--	x	x
Final	x_{\max}	$n_0(\text{CuO}) - 2x_{\max}$	$n_0(\text{C}) - x_{\max}$	--	x_{\max}	x_{\max}

3- Détermination de réaction limitant :

- Lorsque l'oxyde de carbone CuO s'épuise : $n_f(CuO) = 0$

$$n_0(CuO) - 2x_{max2} = 0 \quad \text{soit : } x_{max2} = \frac{n_0(CuO)}{2} = \frac{1,26 \cdot 10^{-2}}{2} = 6,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

- Lorsque le carbone C s'épuise :

$$n_0(C) - x_{max1} = 0 \quad \text{soit : } x_{max1} = n_0(C) = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Le réactif limitant est celui pour lequel x_{max} est le plus petit.

- Puisque $x_{max2} < x_{max1}$ alors l'oxyde de cuivre II est un réactif limitant, l'avancement maximal est $x_{max2} = 6,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

5- Composition du système à l'état final :

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint lorsque la quantité de matière d'un des réactifs est nulle, celle du réactif limitant.

$$n_f(CuO) = 0 \quad n_f(C) = n_0(C) - x_{max} = 1,00 \cdot 10^{-2} - 6,30 \cdot 10^{-3} = 3,70 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_f(Cu) = 2x_{max} = 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \quad n_f(CO_2) = x_{max} = 6,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

4- Quantité de matière en fonction de l'avancement :

