



CHAPITRE 3 : ÉVOLUTION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

Au cours d'une transformation chimique, des espèces chimiques sont modifiées :

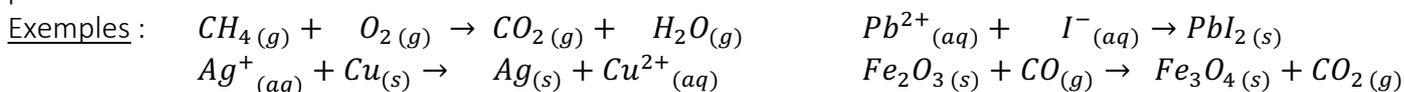
✓ Des **réactifs** sont et leurs quantités de matière

✓ Des **produits** sont et leurs quantités de matière

L'équation de la réaction qui lui est associée rend compte des dans lesquelles les réactifs sont consommés et les produits se forment.

L'écriture d'une équation de réaction respecte la **loi de conservation des éléments chimiques et de la charge électrique**.

Pour cela, les doivent être tels que l'on retrouve autant d'atomes de chaque élément chimique dans les réactifs et dans les produits. En présence d'ions, il faut veiller à ce que la charge totale du côté des réactifs soit égale à la charge totale du côté des produits.



LE TABLEAU D'AVANCEMENT

1. Notion d'avancement

L'avancement noté « x » est une grandeur qui permet de suivre l'évolution des quantités de matière des réactifs et des produits au cours de la réaction chimique. Il s'exprime en mole.

A l'état initial, il est égal à 0 et augmente au cours de la réaction pour atteindre sa valeur finale quand la réaction est terminée.



Au cours de la réaction : Il disparaît x moles de CH₄ et moles de O₂.

Il se forme x mol de dioxyde de carbone et moles d'eau.

Si la quantité de matière initiale de CH₄ est n_i(CH₄), alors la quantité de CH₄ qui reste est

Si la quantité de matière initiale de O₂ est n_i(O₂), alors la quantité de O₂ qui reste est :

2. Le tableau d'avancement dans le cas général

Pour noter l'évolution des quantités de matière des réactifs et des produits, on utilise un tableau qui réalise, sur chaque ligne, le **bilan de matière** (composition en mol du système).

L'équation générale d'une réaction s'écrit : **a A + b B → c C + d D**

où a, b, c, d sont des nombres stœchiométriques et A, B, C, D les formules des réactifs et des produits.

Equation de la réaction		a A + b B → c C + d D			
Etat du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)			
Etat initial	x = 0	n _{iA}	n _{iB}	0	0
En cours	x	n _{iA} - a x	n _{iB} - b x	c x	d x
Etat final	x _{max}	n _{iA} - a x _{max}	n _{iB} - b x _{max}	c x _{max}	d x _{max}

Pour calculer les quantités de matière des réactifs restants éventuellement et des produits formés à l'état final, il faut calculer l'avancement maximal x_{\max} .

Pour déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{\max} , on calcule les valeurs des avancements qui annulent les quantités de matière de chacun des réactifs.

La plus petite de ces valeurs fournit l'avancement maximal x_{\max} .

Le réactif qui lui est associé est le réactif limitant.

Pour déterminer x_{\max} , il faut donc faire autant d'hypothèses qu'il y a de réactifs :

* Hypothèse 1 : si A est le réactif limitant, alors $n_i(A) - a x_{\max} = 0$. Donc :

* Hypothèse 2 : si B est le réactif limitant, alors $n_i(B) - b x_{\max} = 0$. Donc :

On choisit la plus valeur des deux pour x_{\max} .

Quelques remarques importantes :

➤ Il faut bien prendre le temps, en ayant pris soin d'identifier les réactifs et les produits concernés. Certaines espèces, par exemple, peuvent être spectatrices.

➤ Souvent, les quantités de matière des réactifs à l'état initial ne sont pas données : il faut les

Le calcul des quantités de matière à l'état initial n'a rien à voir avec les coefficients stœchiométriques !

➤ Les calculs effectués doivent être clairement écrits en dessous du tableau.

➤ Certains réactifs sont parfois en très grande quantité. Dans ce cas, il est souvent inutile de remplir les colonnes correspondantes. On se contente d'écrire dans la colonne de ce réactif.

➤ Ce n'est pas parce que l'un des réactifs est en plus petite quantité à l'état initial qu'il est nécessairement le réactif limitant ! Cela n'est vrai que si les réactifs ont le même coefficient stœchiométrique.

3. Cas particulier du mélange stœchiométrique

Lorsque les réactifs s'épuisent tous en, on dit qu'ils ont été introduits dans les proportions stœchiométriques. Dans ce cas, x_{\max} a la même valeur pour les deux hypothèses.

Cela implique que :

Pour un mélange stœchiométrique, les quantités de matière finales des réactifs sont nulles. Seuls les produits de la réaction sont présents à l'état final.

4. Transformation totale et non totale

De façon implicite, on s'attend à vérifier qu'à l'état final, on aura bien atteint l'avancement maximal x_{\max} calculé dans le tableau d'avancement.

L'avancement maximal x_{\max} n'est pas toujours atteint.

Pour une transformation limitée (ou équilibre chimique), l'avancement final x_{final} déterminé expérimentalement est inférieur à l'avancement maximal x_{\max} (théorique) calculé dans le tableau.

✓ Si $x_{\text{final}} = x_{\max}$ alors la transformation est

✓ Si $x_{\text{final}} < x_{\max}$ alors la transformation est un

Une réaction non totale s'arrête avant d'avoir consommé tous ses réactifs. Le reste des réactifs et les produits formés coexistent et forment un équilibre.

EXEMPLES D'APPLICATION

1. Réaction entre le zinc et les ions cuivre

On verse dans un tube 500 mg de poudre de zinc, ainsi que 50,0 mL de solution de sulfate de cuivre de concentration $c = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$.

La solution, initialement bleue turquoise, se décolore, selon l'équation : $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{Zn}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})} + \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$

1) Calculer les quantités de matière des réactifs à l'état initial (appelé bilan de matière). $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$

* Ions cuivre : $n_i(\text{Cu}^{2+}) =$

* Zinc métallique : $n_i(\text{Zn}) =$

2) Compléter le tableau suivant de manière littérale :

Équation de la réaction					
État du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)			
État initial	$x = 0$				
En cours	x				
État final	x_{max}				

3) Calculer l'avancement maximal x_{max} de la réaction.

* Hypothèse 1 : Cu^{2+} réactif limitant.

On a alors à l'état final :

Cela donne $x_{\text{max}1} =$

* Hypothèse 2 : Zn réactif limitant.

On a alors à l'état final :

Cela donne $x_{\text{max}2} =$

L'avancement maximal à garder est le plus faible, soit $x_{\text{max}} =$. est le réactif limitant.

4) Calculer les quantités de matière des réactifs et des produits dans l'état final.

* Ions cuivre : $n_f(\text{Cu}^{2+}) = 5,00 \cdot 10^{-3} - x_{\text{max}} = 5,00 \cdot 10^{-3} - 5,00 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0 \text{ mol}}$ (réactif limitant).

* Zinc métallique : $n_f(\text{Zn}) =$

* Cuivre métallique : $n_f(\text{Cu}) =$

* Ions zinc : $n_f(\text{Zn}^{2+}) =$

2. Réaction de combustion du propane

Le propane de formule C_3H_8 brûle dans le dioxygène de l'air en produisant du dioxyde de carbone et de l'eau. Tous les composés sont à l'état gazeux.

À l'état initial, on a 2,5 mol de propane et 8,0 mol de dioxygène.

1) Compléter le tableau suivant de manière littérale :

Équation de la réaction					
État du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)			
État initial	$x = 0$				
En cours	x				
État final	x_{max}				

2) Calculer l'avancement maximal x_{\max} de la réaction.

* Hypothèse 1 : C_3H_8 réactif limitant.

On a alors à l'état final : Cela donne $x_{\max 1} =$

* Hypothèse 2 : O_2 réactif limitant.

On a alors à l'état final : Cela donne $x_{\max 2} =$

L'avancement maximal à garder est le plus faible, soit _____ et _____ est le réactif limitant.

3) Calculer les quantités de matière des réactifs et des produits dans l'état final.

* Propane : $n_f(C_3H_8) = 2,5 - x_{\max} =$

* Dioxygène : $n_f(O_2) =$

* Dioxyde de carbone : $n_f(CO_2) =$

* Eau : $n_f(H_2O) =$

3. Réaction entre les ions cuivre et les ions hydroxyde

On ajoute quelques gouttes de soude (hydroxyde de sodium) contenant des ions hydroxyde HO^- à une solution contenant des ions cuivre II Cu^{2+} . Un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre II $Cu(OH)_2$ apparaît. Les quantités de matières initiales sont : $n_i(Cu^{2+}) = 3,0 \cdot 10^{-3}$ mol et $n_i(HO^-) = 2,0 \cdot 10^{-3}$ mol.

1) Compléter le tableau suivant de manière littérale :

Équation de la réaction					
État du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)			
État initial	$x = 0$				
En cours	x				
État final	x_{\max}				

2) Calculer l'avancement maximal x_{\max} de la réaction.

3) Calculer les quantités de matière des réactifs restants et des produits formés.

4) Calculer la masse de précipité obtenu. $M(Cu(OH)_2) = 97,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

4. Réaction entre le diazote et le dihydrogène

On mélange 24 mL de diazote gazeux de formule N_2 et 72 mL de dihydrogène gazeux de formule H_2 . Il se forme de l'ammoniac gazeux de formule NH_3 . Volume molaire des gaz : $V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$
 En utilisant le tableau d'avancement ci-dessous, calculer le volume d'ammoniac que l'on peut récupérer.

1) Calculer les quantités de matière des réactifs à l'état initial.

2) Compléter le tableau suivant de manière littérale :

Équation de la réaction					
État du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)			
État initial	$x = 0$				
En cours	x				
État final	x_{\max}				

3) Calculer l'avancement maximal x_{\max} de la réaction.

Les deux hypothèses conduisent à la d'avancement. Les réactifs sont donc **en proportions** Ils s'épuisent en même temps. A l'état final, il n'y a que le produit formé.

4) Calculer la quantité de matière et du volume d'ammoniac formé.