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.

Exemples : $CH\_{4 (g)}+ O\_{2 (g)} \rightarrow CO\_{2 (g)}+ H\_{2}O\_{(g)}$ $Pb^{2+}\_{(aq)}+ I^{-}\_{(aq)}\rightarrow PbI\_{2 (s)}$

 $Ag^{+}\_{(aq)}+Cu\_{(s)}\rightarrow Ag\_{(s)}+Cu^{2+}\_{(aq)}$ $Fe\_{2}O\_{3 (s)}+CO\_{(g)}\rightarrow Fe\_{3}O\_{4 (s)}+CO\_{2 (g)}$

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.**

*Exemple* : combustion du méthane : CH4(g) + 2 O2(g) $\rightarrow $CO2(g) + 2 H2O(l)
Au cours de la réaction : Il disparait ***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 ni(CH4), alors la quantité de CH4 qui reste est ................................

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

1. 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 : $a A+b B \rightarrow c C+d D$ où a, b, c, d sont des nombres stœchiométriques et A, B, C, D les formules des réactifs et des produits.



Pour calculer les quantités de matière des réactifs restants éventuellement et des produits formés à l’état final, il faut calculer l’avancement maximal xmax.

**Pour déterminer la valeur de l’avancement maximal xmax, 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 xmax.
Le réactif qui lui est associé est le réactif limitant.**

**Pour déterminer xmax, il faut donc faire autant d’hypothèses qu’il y a de réactifs :**

 **\* Hypothèse 1 : si A est le réactif limitant, alors ni(A) – a xmax = 0. Donc :**

 **\* Hypothèse 2 : si B est le réactif limitant, alors ni(B) – b xmax = 0. Donc :**

**On choisit la plus** .................................... **valeur des deux pour xmax.**

*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.

1. 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, xmax 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.

1. 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 xmax n’est pas toujours atteint.**

**Pour une transformation limitée (ou équilibre chimique), l’avancement final xfinal déterminé expérimentalement est inférieur à l’avancement maximal xmax (théorique) calculé dans le tableau.**

**✓ Si xfinal = xmax alors la transformation est** .............................. **✓ Si xfinal** $< $**xmax 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 mol.L-1.
La solution, initialement bleue turquoise, se décolore, selon l’équation : $Cu^{2+}\_{(aq)}+Zn\_{(s)}\rightarrow Cu\_{(s)}+ Zn^{2+}\_{(aq)}$

1) Calculer les quantités de matière des réactifs à l’état initial (appelé́ bilan de matière). M(Zn) = 65,4 g.mol-1

\* Ions cuivre : ni(Cu2+) =

\* Zinc métallique : ni(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 | xmax |  |  |  |  |

3) Calculer l’avancement maximal xmax de la réaction.
\* *Hypothèse 1* : Cu2+ réactif limitant.
On a alors à l’état final : Cela donne *x*max1 =

\* *Hypothèse 2* : Zn réactif limitant.
On a alors à l’état final : Cela donne *x*max2 =
L’avancement maximal à garder est le plus faible, soit ***x*max = .** est le réactif limitant.

4) Calculer les quantités de matière des réactifs et des produits dans l’état final.
\* Ions cuivre : nf(Cu2+) = 5,00.10-3 - *x*max = 5,00.10-3 – 5,00.10-3 = **0 mol** (réactif limitant).

\* Zinc métallique : nf(Zn) =

\* Cuivre métallique : nf(Cu) =

\* Ions zinc : nf(Zn2+) =

1. Réaction de combustion du propane

Le propane de formule C3H8 brule dans le dioxygène de l’air en produisant du dioxyde de carbone et de l’eau. Tous les composés sont à l’état gazeux.

A 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 | xmax |  |  |  |  |

2) Calculer l’avancement maximal xmax de la réaction.
\* *Hypothèse 1* : C3H8 réactif limitant.
On a alors à l’état final : Cela donne *x*max1 =

\* *Hypothèse 2* : O2 réactif limitant.
On a alors à l’état final : Cela donne *x*max2 =

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 : nf(C3H8) = 2,5 – *x*max =

\* Dioxygène : nf(O2) =

\* Dioxyde de carbone : nf(CO2) =
\* Eau : nf(H2O) =

1. 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 apparait.

Les quantités de matières initiales sont : ni($Cu^{2+}$) = 3,0.10-3 mol et ni($HO^{-}$) = 2,0.10-3 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 | xmax |  |  |  |  |

2) Calculer l’avancement maximal xmax de la réaction.

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

4) Calculer la masse de précipité́ obtenu. M(Cu(OH)2) = 97,5 g.mol–1.

1. Réaction entre le diazote et le dihydrogène

On mélange 24 mL de diazote gazeux de formule N2 et 72 mL de dihydrogène gazeux de formule H2. Il se forme de l’ammoniac gazeux de formule NH3. Volume molaire des gaz : Vm = 24 L.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 | xmax |  |  |  |  |

3) Calculer l’avancement maximal xmax 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.