



CH 3 EVOLUTION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

(Chapitre 3 du livre p 49)

(THÈME 1 : CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE)

I – Transformation chimique

1. Système chimique

Un système chimique est un ensemble d'espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles.
Un système chimique peut évoluer et subir une transformation chimique qui modifie son état.

2. Etat d'un système chimique

L'état du système chimique considéré est caractérisé, d'une part, par la température T et la pression P et, d'autre part, par la nature, l'état physique (solide, liquide ou gazeux) et la quantité de matière des différentes espèces chimiques qui le constituent.

3. Etat initial et état final d'un système chimique

Lors d'une transformation chimique, un système chimique (un ensemble d'espèces chimiques) passe d'un état initial à un état final de composition différente.

II – Réaction chimique

1. Modèle de la réaction chimique

Lors d'une transformation chimique, seuls les réactifs réagissent pour former un ou plusieurs produits. D'autres espèces initialement présentes ne réagissent pas. Elles sont appelées « espèces spectatrices ».
La transformation chimique est modélisée par une réaction chimique entre les réactifs pour former certains produits.

2. Lois de conservation

Lors d'une transformation chimique, il y a conservation des éléments chimiques, c'est-à-dire qu'on retrouve les mêmes éléments dans les réactifs et dans les produits mais recombinaison de manière différente.

Lavoisier a montré au 18^{ème} siècle que la somme des masses des réactifs disparus est égale à la somme des masses des produits formés.

Il y a aussi conservation de la charge électrique au cours d'une transformation chimique.

3. Équation chimique d'une réaction

Pour représenter simplement une réaction chimique, on écrit une équation chimique ou équation de la réaction. Les espèces chimiques y sont représentées par leurs formules brutes. Les réactifs (espèces initialement présentes) sont écrits dans le membre de gauche tandis que les produits (espèces formées) sont écrits dans le membre de droite. Entre les réactifs et les produits, on place une flèche pour indiquer dans quel sens le système évolue.

Remarque : Les espèces spectatrices, qui ne réagissent pas, ne doivent pas apparaître dans l'équation de la réaction.

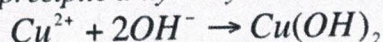
4. Coefficients (nombres) stoechiométriques

L'équation de la réaction chimique doit vérifier les lois de conservation citées précédemment.

On vérifie la conservation des éléments et de la charge électrique en écrivant si nécessaire un nombre appelé coefficient (ou nombre) stoechiométrique devant les formules des espèces chimiques (on équilibre l'équation).

Ces coefficients indiquent les proportions dans lesquelles les réactifs disparaissent et les produits se forment.

Exemple : Équation de la réaction chimique entre les ions cuivre (II) et hydroxyde aboutissant à la formation d'un précipité d'hydroxyde de cuivre (II).



Lorsqu'il disparaît une mole d'ions cuivre II, deux moles d'ions hydroxyde disparaissent aussi. Il se forme alors une mole d'hydroxyde de cuivre (II).

On peut donc prévoir la quantité de matière de produit qui sera obtenue en fonction des quantités de matière des réactifs. Ou bien calculer les quantités de matière nécessaires des réactifs pour obtenir une quantité voulue de produit.

III – Détermination de l'état final d'un système – Avancement

1. Avancement d'une transformation chimique

Une transformation chimique étant plus ou moins lente, on définit une grandeur, l'avancement x, qui permet de décrire l'état du système étudié au cours de la transformation chimique.

Ainsi, il permet de déterminer les quantités de matière des réactifs consommés et des produits formés quel que soit l'état du système.

L'avancement, exprimé en mol, est égal à la quantité de matière formée pour un produit dont le nombre stoechiométrique vaut 1.

* Unité de l'avancement : la mole (mol)

(On dit ainsi qu'une transformation a avancé de 0,1 mol si $x = 0,1 \text{ mol}$)

* Dans l'état initial (EI) : $x = 0 \text{ mol}$

* Plus l'avancement x est grand, plus on a transformé de réactifs.

* L'avancement augmente depuis 0 mol dans l'état initial jusqu'à sa valeur final x_f , nommée avancement final, dans l'état final. Dans son état final, le système n'évolue plus.

2. Transformation totale ou non totale - Avancement final et avancement maximal

a. transformation totale

* Une transformation totale est une transformation chimique qui s'arrête du fait de la consommation totale de l'un de ses réactifs.

* L'avancement final x_f est alors égal à une valeur maximale x_{max} , nommée avancement maximal.

* Le réactif limitant (ou en défaut) est le réactif qui est totalement consommé. Dans l'état final, la quantité de matière de réactif limitant est nulle.

* Les autres réactifs, qui n'ont pas été entièrement consommés, sont dits en excès. Ils seront présents dans l'état final.

b. transformation non totale ou limitée

* Une transformation non totale est une transformation chimique qui s'arrête alors qu'aucun des réactifs n'a été entièrement consommé.

* L'avancement final x_f est alors inférieur à l'avancement maximal $x_{\max}$.

3. Tableau d'avancement

Le tableau d'avancement est un outil permettant de comprendre l'évolution d'un système chimique.

Ce tableau permet simplement de déterminer la composition de l'état final (EF) d'un système subissant une transformation chimique en s'appuyant sur la notion d'avancement.

Il se présente (dans le cas de 2 réactifs et de 2 produits) sous la forme générale suivante :

Equation chimique		a Réactif1 + b Réactif2 $\longrightarrow$ c Produit1 + d Produit2			
	Avancement (mol)				
Quantité de matière dans l'état initial (mol)	0	$n_0(R1)$	$n_0(R2)$	0	0
Quantité de matière au cours de la transformation (mol)	x	$n_0(R1) - ax$	$n_0(R2) - bx$	cx	dx
Quantité de matière dans l'état final (mol)	x_f	$n_0(R1) - ax_f$	$n_0(R2) - bx_f$	cx_f	dx_f

4. Etat final d'un système au cours d'une transformation totale

Pour décrire l'état final d'un système au cours d'une transformation totale à l'aide du tableau d'avancement, il faut procéder de la façon suivante :

- Écrire l'équation de la réaction chimique sur la première ligne ;
- Calculer les quantités de matière initiales des réactifs et compléter la deuxième ligne du tableau ;
- Exprimer les quantités de matière des différentes espèces (réactifs et produits) pour un état intermédiaire de la transformation en fonction de l'avancement x et compléter la troisième ligne du tableau ;
- **Calculer l'avancement maximal $x_{\max}$ et déterminer le réactif limitant**
L'avancement maximal $x_{\max}$ est obtenu lorsque le réactif limitant est entièrement consommé.
Pour chaque réactif, déterminer la valeur de $x_{\max}$ obtenue en supposant que ce réactif est le réactif limitant.
C'est donc la plus petite valeur de x pour laquelle la quantité de matière finale de l'un des réactifs est nulle.
Dans le cas de 2 réactifs, on a 2 équations à résoudre : $n_0(R1) - ax_{\max} = 0$ et $n_0(R2) - bx_{\max} = 0$
Chaque équation donne une valeur pour $x_{\max}$. La bonne valeur est la plus faible des 2 !
- Compléter la dernière ligne du tableau afin d'obtenir la composition du système dans l'état final.

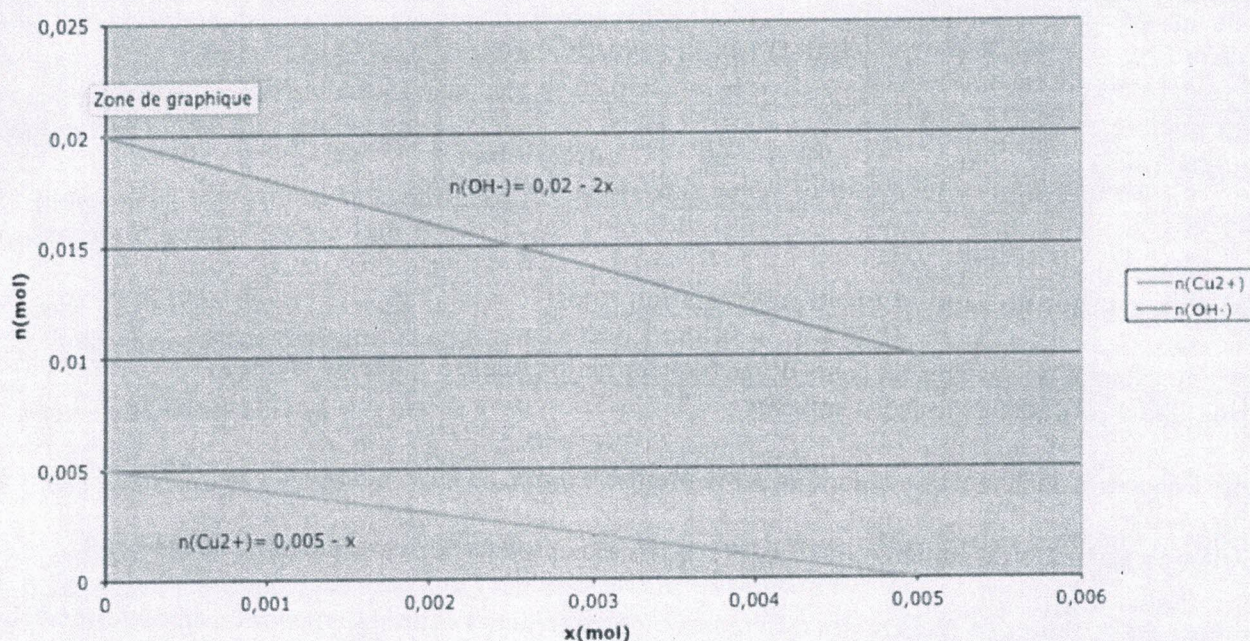
Exemple : Réaction entre les ions cuivre (II) et hydroxyde : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$

Mélange d'une solution de sulfate de cuivre (II) contenant 0,0050 mol d'ion Cu^{2+} et d'une solution d'hydroxyde de sodium contenant 0,020 mol d'ions OH^- .

Équation chimique		$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$		
	Avancement (mol)	Cu^{2+}	$+ 2\text{OH}^-$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
Quantité de matière dans l'état initial (mol)	0	0,0050	0,020	0
Quantité de matière au cours de la transformation (mol)	x	$0,0050 - x$	$0,020 - 2x$	x
Quantité de matière dans l'état final (mol)	x _{max}	$0,0050 - x_{\text{max}}$	$0,020 - 2x_{\text{max}}$	x _{max}

Cu^{2+} est le réactif limitant et $x_{\text{max}} = 0,0050$ mol

Évolution des quantités de matière de réactifs en fonction de l'avancement x - Réactif limitant : Ion cuivre (II)



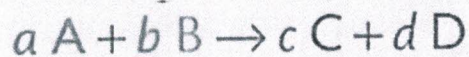
5. Cas particulier du mélange stoechiométrique dans le cas d'une transformation totale

Si, dans l'état initial d'un système subissant une transformation chimique, les réactifs sont mélangés dans les proportions des coefficients (nombres) stoechiométriques de l'équation de la réaction alors la transformation les consomme entièrement.

L'état final ne comporte que des produits de la réaction chimique et $x_{\text{max}} (\text{Réactif 1}) = x_{\text{max}} (\text{Réactif 2})$

On dit que le système dans son état initial correspond à un mélange stoechiométrique ou que les réactifs ont été mélangés dans les proportions stoechiométriques.

Pour une équation de réaction telle que :



Les réactifs A et B sont mélangés dans les proportions stoechiométriques, si :

$$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$$

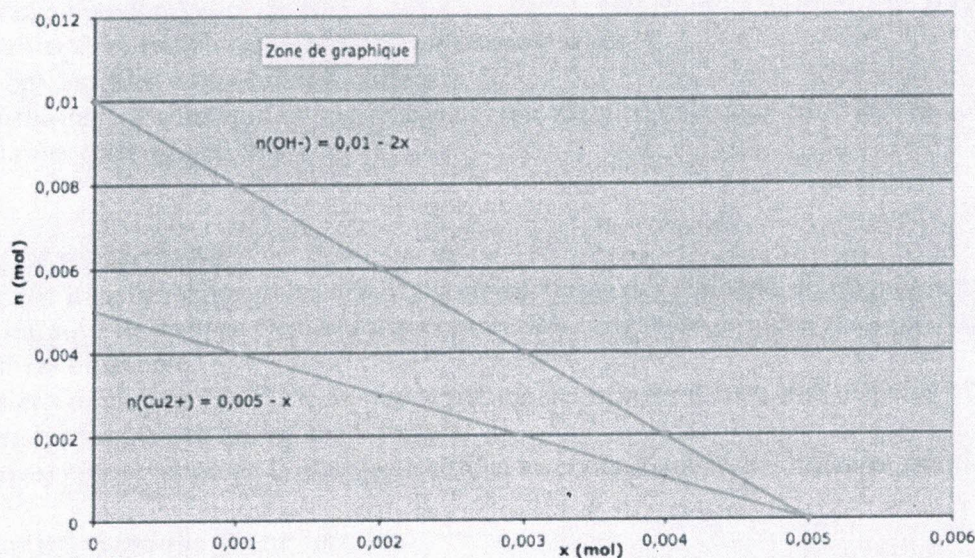
Exemple : Réaction entre les ions cuivre (II) et hydroxyde : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$

Mélange d'une solution de sulfate de cuivre (II) contenant 0,0050 mol d'ion Cu^{2+} et d'une solution d'hydroxyde de sodium contenant 0,010 mol d'ions OH^- .

Équation chimique		$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$		
	Avancement (mol)			
Quantité de matière dans l'état initial (mol)	0	0,0050	0,010	0
Quantité de matière au cours de la transformation (mol)	x	0,0050 - x	0,010 - 2x	x
Quantité de matière dans l'état final (mol)	x _{max}	0,0050 - x _{max}	0,010 - 2x _{max}	x _{max}

$$x_{\text{max}} = 0,0050 \text{ mol}$$

Évolution des quantités de matière de réactifs en fonction de l'avancement - Mélange stoechiométrique



6. Etat final d'un système au cours d'une transformation non totale ou limitée

L'état final d'un système subissant une transformation chimique non totale contient des produits mais aussi des réactifs. On a : $x_f < x_{\text{max}}$.