

## Suivi d'une transformation chimique-Tableau d'avancement

### Situation déclenchante:

La transformation des phosphates sous l'effet de l'acide sulfurique donne l'acide phosphorique qu'on utilise dans la fertilisation, les produits pharmaceutiques et les détergents ..... En outre on peut extraire l'uranium à partir de l'acide phosphorique pour l'utiliser dans les stations d'énergie électronucléaire.

Que est ce qu'une transformation chimique ? Comment le modélise ? Et comment faire le suivi de son évolution ?

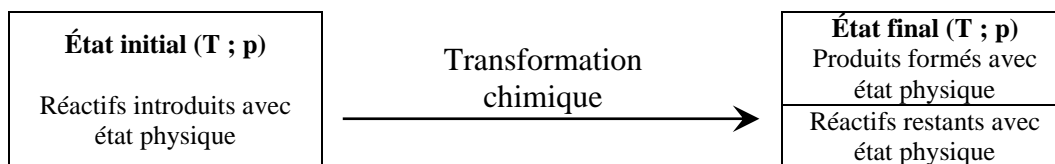
### Bilan :

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

### 1- Système, transformation, réaction et équation chimique

Un système chimique est décrit par les différentes espèces chimiques qui le composent, leurs quantités de matière, leurs états physiques et les conditions de température et de pression. La composition d'un système chimique évolue au cours du temps

Le passage d'un système chimique d'un état initial à un état final est appelé transformation chimique. Au cours d'une transformation chimique, les espèces chimiques initialement présentes (les réactifs) disparaissent en totalité ou partiellement, il se forme de nouvelles espèces chimiques (les produits). A l'échelle macroscopique cette transformation est modélisée par une réaction chimique. La réaction chimique est traduite par une équation chimique. On peut schématiser une transformation chimique par :



### 2- Équation d'une réaction chimique

L'**équation chimique** est l'écriture symbolique de cette réaction (elle doit traduire la conservation des éléments chimiques et de la charge électrique).

Les espèces chimiques sont représentées par leurs formules en précisant leur état (s pour solide, l pour liquide et g pour gazeux). Pour les espèces dissoutes, elles sont en solution aqueuse cela est noté aq.

L'équation chimique doit être équilibrée afin de vérifier la conservation des éléments chimique et la conservation de la charge totale.

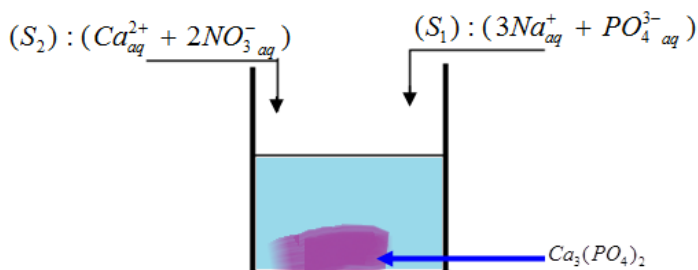
Lorsque des ions n'interviennent pas dans la réaction (les ions spectateurs), ils ne sont pas indiqués dans l'équation chimique, mais il ne faut pas oublier leur présence dans le milieu réactionnel.

## II- Avancement d'une réaction chimique-tableau descriptif et bilan de matière

### 1- Avancement d'une réaction chimique : Activité expérimentale

On verse dans un verre un volume  $V_1 = 20\text{ ml}$  d'une solution  $S_1$  de nitrate de calcium ( $\text{Ca}_{aq}^{2+} + 2\text{NO}_3^-_{aq}$ ) de concentration  $C_1 = 0.2\text{ mol/l}$

On y'ajoute un volume  $V_2 = 15\text{ ml}$  d'une solution  $S_2$  de phosphate de sodium ( $3\text{Na}_{aq}^+ + \text{PO}_4^{3-}_{aq}$ ) de concentration  $C_2 = 0.2\text{ mol/l}$ .



On observe un précipité blanc de phosphate de calcium  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

On conclut que le système formé de  $S_1$  et  $S_2$  a évolué, il a subi une transformation chimique.

### Exploitation

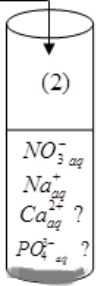
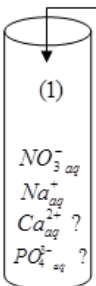
- i) faire le bilan des espèces chimiques existantes dans le système après et avant l'apparition du précipité.
- ii) Déterminer les espèces actifs et passifs.

- iii) Calculer la quantité de matière des réactifs au état initial.  
 iv) Ecrire l'équation de la réaction. Est-ce que le mélange est stœchiométrique ?  
 v) Comment confirmé que les ions actifs sont encore dans la solution ou non ?

### Réponse

### Manipulation

On filtre le mélange et on verse le filtrat dans deux tubes à essai T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> ;

	
Ajout de $CO_3^{2-}$ au T <sub>1</sub>	Ajout de $Ag^+$ au T <sub>2</sub>
Apparition d'un précipité blanc qui caractérise les carbonates de calcium	On n'observe pas l'apparition d'un précipité jaune qui caractérise les phosphates d'argent
.....	.....

**Conclusion :** .....

## 2- Bilan de matière

### Qu'est-ce qu'un bilan de matière

Faire un bilan de matière consiste à déterminer les quantités de matière de toutes les espèces chimiques présentes dans l'état initial et dans l'état final d'un système chimique.

Ce bilan de l'état final permet de calculer les masses, les volumes, les concentrations des espèces dissoutes et la pression (pour les gaz seulement).

#### Méthode :

- i) Commencer par faire le bilan des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel à l'état initial.
- ii) Identifier les réactifs, les ions spectateurs et rechercher l'équation associée à la réaction.
- iii) Calculer les quantités de matière directement accessibles à partir des données du problème.
- iv) Regrouper vos résultats dans un tableau.
- v) Déterminer l'avancement maximal et l'état final du système.

### 3- Avancement d'une réaction chimique

L'avancement d'une réaction chimique est une variable, notée  $x$ , qui permet de déterminer les quantités de matière de réactifs transformés et de produits formés. L'avancement  $x$  est une quantité de matière qui s'exprime donc en mol.

A l'état initial, l'avancement est nul et à l'état final l'avancement est maximal (noté  $x_{max}$ ). Au cours de la transformation  $0 < x < x_{max}$ .

**4- tableau descriptif**

Le tableau descriptif de l'évolution de la transformation est donné pour une réaction entre des espèces A et B donnant C et D (a, b, c et d représentent les coefficients stœchiométriques). Toutes les valeurs sont données en mol, puisqu'il s'agit de quantités de matière.

Equation de réaction		$a A + b B \longrightarrow c C + d D$			
L'état	L'avancement	Quantités de matières en mole (mol)			
Etat initial	.....	.....	.....	.....	.....
Etat intermédiaire	.....	.....	.....	.....	.....
Etat final	.....	.....	.....	.....	.....

**5- L'avancement maximal et le réactif limitant**

L'état final d'un système chimique en évolution est atteint lorsque les quantités de matières des réactifs n'évoluent plus. L'avancement vaut alors  $x_{max}$ .

L'avancement maximal est la plus petite valeur de l'avancement pour laquelle la quantité de matière d'un des réactifs est nulle. Ce réactif qui a été entièrement consommé lors de la transformation chimique est appelé **réactif limitant**.

**Remarques:**

- .....;
- .....;
- .....;

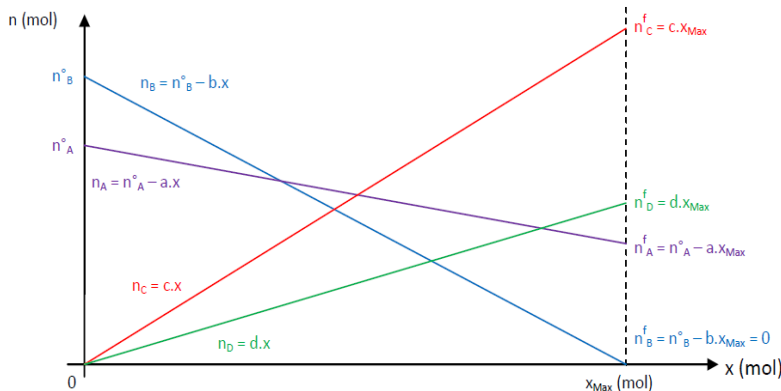
**6- Représentation graphique de l'évolution des quantités de matière**

Considérons la réaction d'équation chimique ci-dessus:  $a A + b B \longrightarrow c C + d D$

**a) Cas de la présence d'un réactif limitant**

**Supposons que B est le réactif limitant :**

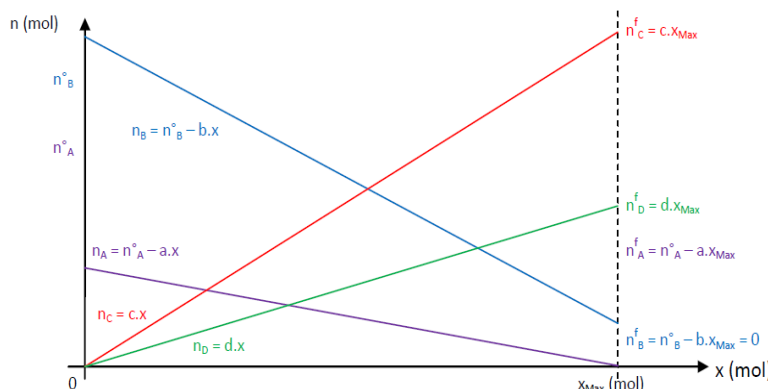
**Remarque :**  $n_B = n_B^0 - b x$ ,  $n_A = n_A^0 - a x$ ,  $n_C = c x$  et  $n_D = d x$  correspondent aux équations (de la forme  $y = a.x + b$ ) des quatre droites tracées.



**Supposons que A est le réactif limitant :**

**Remarque 1 :** Les deux droites d'équation  $n_B = n_B^0 - b x$  et  $n_A = n_A^0 - a x$  possèdent le même coefficient directeur, respectivement  $- b$  et  $- a$ , (donc la même pente négative) que dans le paragraphe précédent.

**Remarque 2 :** Les deux droites d'équation  $n_C = c.x$  et  $n_D = d.x$  possèdent la même équation que dans le paragraphe précédent.



**b) Cas où A et B sont des réactifs en proportions stœchiométriques :**

Les deux réactifs A et B ont été mis en proportions stœchiométriques lorsqu'ils ne sont plus présents à l'état final.

On écrit donc 
$$n_A^i - a x_{\max} = 0 \Leftrightarrow x_{\max} = \frac{n_A^i}{a}$$

$$n_B^i - b x_{\max} = 0 \Leftrightarrow x_{\max} = \frac{n_B^i}{b}$$

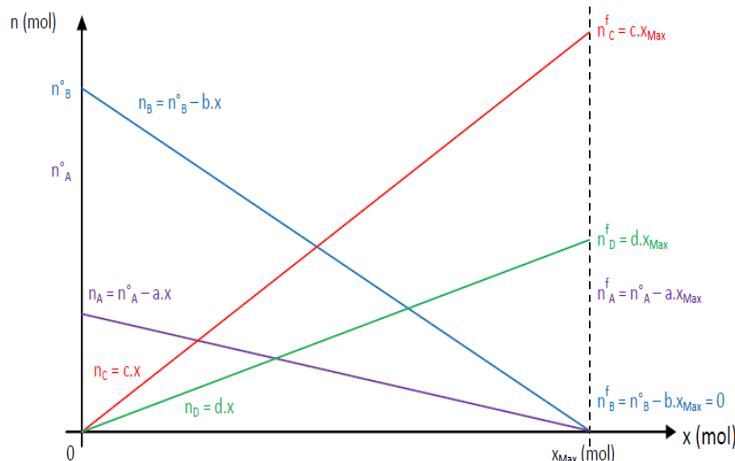
Donc  $x_{\max} = \frac{n_A^i}{a} = \frac{n_B^i}{b}$  : Les quantités de matière  $n_B$

et  $n_A$  s'annulent pour la même valeur d'avancement final  $x_{\max}$ .

les réactifs A et B sont dans les proportions

stœchiométriques lorsque  $\frac{n_A^i}{a} = \frac{n_B^i}{b}$ .

On a également  $\frac{n_A^i}{a} = \frac{n_B^i}{b} = \frac{n_C^i}{c} = \frac{n_D^i}{d}$



**Conclusion :**

**Exemple d'application**

On introduit 810 mg d'aluminium dans un flacon contenant 540 mL de dioxygène, il se forme de l'alumine  $Al_2O_3$  lors de la combustion.

- i) Ecrire l'équation bilan de la réaction et l'équilibrer.
- ii) Dresser la tableau d'avancement.
- iii) Y a t'il un réactif limitant ? Justifier.
- iv) Déterminer la masse d'alumine formée ?

**Données :**  $M(Al) = 27,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $V_m = 24,0 \text{ L.mol}^{-1}$

**CORRECTION**

**b) résumé :**

B réactif limitant A en excès	A réactif limitant B en excès	Disparition des réactifs dans la phase finale
$x_{\max} = \frac{n_B^i}{b} < \frac{n_A^i}{a}$	$x_{\max} = \frac{n_A^i}{a} < \frac{n_B^i}{b}$	$x_{\max} = \frac{n_A^i}{a} = \frac{n_B^i}{b}$ : Le mélange est stœchiométrique

**7- Détermination de la pression d'un gaz**

**i) Réaction réalisée à V ou P constant**

Le sodium métallique Na réagit violemment avec l'eau : la réaction produit du dihydrogène, des ions  $Na^+$  et des ions  $HO^-$ .

**A- Etude théorique**

On mesure  $V = 50,0\text{mL}$  d'eau et  $m = 0,23\text{g}$  de sodium métallique.

**Données :**  $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$   $M(Na) = 23,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

- i) Déterminer les quantités de matière initiales des réactifs.
- ii) Ecrire l'équation chimique de la réaction.
- iii) Dresser le tableau d'avancement de la réaction et déterminer le réactif limitant.

iv) Quelle sera la quantité de matière de dihydrogène produite par la réaction ?

### CORRECTION

### B- Réaction réalisée à volume constant

On réalise l'expérience dans un flacon de 300 mL (ce flacon contient 50mL d'eau).

- Déterminer la quantité de matière d'air initialement présente dans le flacon en tenant compte du volume occupé par l'eau sachant que la pression de l'air est  $P_0 = 1,00 \cdot 10^5$  Pa et la température  $\theta = 20^\circ\text{C}$ .
- En déduire la quantité de matière totale  $n_{\text{tot}}$  de gaz (air + dihydrogène) présente dans le flacon après l'expérience.
- Calculer la valeur de la pression  $P$  du mélange gazeux dans le flacon en fin d'expérience. On admet pour cela, que le volume de la solution et la température n'ont pas varié pendant l'expérience.

Donnée :  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

### CORRECTION

### C- Réaction réalisée à pression constante

On réalise à nouveau la même réaction chimique, mais maintenant, le dihydrogène produit est recueilli sur une cuve à eau, dans une éprouvette graduée de 250 mL.

Déterminer le volume  $V_{\text{gaz}}$  du gaz formé (on considère que dans les conditions de l'expérience,  $V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$ ).

## III- Application

### Exercice : Action d'un acide sur du calcaire

On réalise une attaque acide sur 3,2 g de carbonate de calcium solide  $\text{CaCO}_3$  avec  $V = 200 \text{ mL}$  d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

La réaction a pour équation bilan :  $\dots \text{CaCO}_{3(s)} + \dots \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} \rightarrow \dots \text{CO}_{2(g)} + \dots \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 1 \text{Ca}^{\dots}_{(aq)}$

- Recopier cette équation bilan en l'équilibrant et en n'oubliant pas de préciser la charge de l'ion calcium.
- Quel nom donne-t-on aux ions chlorure dans le cadre de cette réaction ?
- A l'aide d'un tableau d'avancement, déterminer le réactif limitant.
- Suivant le cas, déterminer la masse de  $\text{CaCO}_3$  restante ou la concentration finale des ions hydroxyde.
- Déterminer le volume de dioxyde de carbone qui se dégage sachant que la réaction se produit dans une salle où la température est de  $25^\circ\text{C}$  et la pression de  $976 \text{ hPa}$ . On donne  $R = 8,314 \text{ S.I.}$
- Quelle est la concentration des ions chlorure après la réaction ? Justifier la réponse.

Données :  $M_C = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M_{\text{Ca}} = 40,1 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$