

## 2- Grandeurs physiques liées aux quantités de matière

### C- Applications au suivi d'une réaction chimique :

#### I- La transformation chimique :

##### 1)- Description d'un système chimique.

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  $p$ .

**Définition :** un système subit une transformation chimique si la nature et (ou) la quantité de matière des espèces chimiques sont différentes à l'état initial et à l'état final.

**Exemple :** Une solution d'acide chlorhydrique ( $H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$ ) réagit avec le magnésium métal. On observe un dégagement gazeux de dihydrogène ( $H_2$ ) et il se forme des ions  $Mg^{2+}_{(aq)}$ .

	État initial (E.I)	Transformation chimique	État final (E.F)
Espèces chimiques	$p = 1013 \text{ hPa}$ $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	→	$p = 1013 \text{ hPa}$ $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
$H^+_{(aq)}$	$n_i(H^+) =$		$n_f(H^+) = ?$
$Mg_{(s)}$	$n_i(Mg) =$		$n_f(Mg) = ?$
$n_f(H_2)$	$n_i(H_2) = 0 \text{ mol}$		$n_f(H_2) = ?$
$Mg^{2+}_{(aq)}$	$n_i(Mg^{2+}) = 0 \text{ mol}$		$n_f(Mg^{2+}) = ?$
$Cl^-_{(aq)}$	$n_i(Cl^-)$		$n_f(Cl^-) = n_i(Cl^-)$
$H_2O_{(l)}$	Large excès : Solvant		Solvant

Lors de la réaction, les ions chlorure sont des ions spectateurs, il ne participe pas à la réaction. D'autre part, l'eau est le solvant, il est en large excès. On ne fera pas de calcul sur l'eau.

##### 2)- La réaction chimique et son équation.

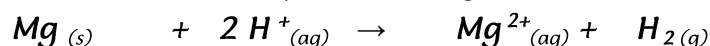
La réaction chimique rend compte, à l'échelle macroscopique de l'évolution d'un système subissant une transformation :

- On représente la réaction chimique par une équation.
- On note à gauche la formule des réactifs et à droite la formule des produits.

➤ Entre les réactifs et les produits, une flèche indique le sens d'évolution du système.

Réactifs → Produits

Exemple : Réaction entre l'acide chlorhydrique et le magnésium :



- Le coefficient placé devant chaque espèce chimique est appelé : nombre stœchiométrique.
- Il faut ajuster les nombres stœchiométriques afin de respecter la conservation des éléments chimiques et la conservation de la charge électrique.
- Par convention, on n'écrit pas le nombre stœchiométrique 1.
- Les nombres stœchiométriques nous renseignent sur les proportions en quantités de matière.

## II- Évolution des quantités de matière au cours d'une transformation chimique :

1)- Bilan de matière et volume du gaz formé :

Exemple : La combustion complète du propane  $\text{C}_3\text{H}_8$  dans le dioxygène .

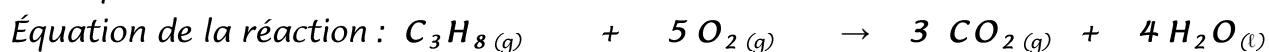
On fait brûler  $n_1 = 1,0$  mole de propane dans  $n_2 = 3,0$  moles de dioxygène. Les conditions de températures et de pression sont les suivantes :  $p = 1013 \text{ hPa}$  et  $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  .

- Donner l'état initial du système chimique.
- Donner l'état final du système chimique obtenu lorsque la réaction est finie.

a) État initial du système :

$p = 1013 \text{ hPa}$ $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$n_i(\text{C}_3\text{H}_8) = n_1$ $= 1,0 \text{ mol}$	$n_i(\text{O}_2) = n_2$ $= 3,0 \text{ mol}$	$n_i(\text{CO}_2) = 0,0 \text{ mol}$	$n_i(\text{H}_2\text{O}) = 0,0 \text{ mol}$
--	--	--	--------------------------------------	---

Pour donner l'état final du système chimique, il faut utiliser l'équation de la transformation chimique et réaliser un tableau d'avancement de la réaction.



b) Avancement d'une réaction chimique  $x$  (mol) :

L'avancement  $x$  d'une transformation chimique est une grandeur exprimée en mole qui permet de décrire l'état du système au cours de la transformation.

Il permet d'exprimer les quantités de matière de réactifs et de produits présents dans le système chimique à chaque instant.

L'avancement  $x$  est une quantité de matière. Elle s'exprime en mol :

- Dans l'état initial,  $x = 0$ ,
- Au cours de la transformation,  $0 \leq x \leq x_{\text{max}}$
- À l'état final :  $x = x_{\text{max}}$

c) Tableau d'avancement de la réaction :

Équation		$C_3H_8(g) + 5 O_2(g) \rightarrow 3 CO_2(g) + 4 H_2O(l)$				
État u système	Avancement					
État initial (mol)	$x = 0$	$n_1 = 1,0 \text{ mol}$	$n_2 = 3,0 \text{ mol}$		0,0	0,0
Au cours de la transformation	$x$	$1,0 - x$	$3,0 - 5x$		$3x$	$4x$
État final (mol)	$x = x_{max}$	$1,0 - x_{max}$	$3,0 - 5x_{max}$		$3x_{max}$	$4x_{max}$

**d) Réactif limitant et avancement maximal :**

L'avancement maximal  $x_{max}$  s'obtient en écrivant que les quantités de matière des réactifs restent positives ou nulles. Il permet de déterminer l'état final de la transformation.

En général, la réaction s'arrête lorsque l'un des réactifs a été totalement consommé.

À l'état final, la quantité de matière du réactif limitant est nulle.

Il se peut que lorsque la réaction s'arrête, tous les réactifs soient entièrement consommés. On dit qu'initialement, les réactifs étaient dans les proportions stœchiométriques.

➤ **Détermination de la valeur maximale de  $x_{max}$  :**

En fin de réaction, la quantité de matière de chaque réactif est soit positive, soit nulle. En conséquence, on peut écrire deux inéquations :

$x \geq 0$	<b>donc</b>	<b>et</b>	<b>Soit alors</b>	$0,6 \geq x \geq 0$	
$1 - x \geq 0$					$1 \geq x \geq 0$
$3 - 5x \geq 0$					$3 \geq 5x \geq 0$

En conséquence, l'avancement  $x$  peut varier entre 0 et 0,6 mol. L'avancement maximal :

$$x_{max} = 0,6 \text{ mol.}$$

Le réactif limitant est celui qui disparaît totalement c'est-à-dire celui dont la quantité de matière s'annule pour la plus faible valeur de  $x$ .

L'avancement est maximal lorsque le réactif limitant a totalement disparu :  $x_{max}$  est la plus petite valeur de  $x$  pour laquelle la quantité de matière de l'un des réactifs devient nulle.

Lorsque la valeur de  $x_{max}$  est connue, on peut déterminer les quantités de matière des différentes espèces chimiques dans l'état final du système ( bilan de matière ).

Remarque : À partir de ces quantités de matière, on peut calculer des masses, des concentrations des volumes, des pressions.

<b>État Final du système (E.F)</b>
$p = 1013 \text{ hPa}$ et $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
$n_f(C_3H_8) = 0,40 \text{ mol}$

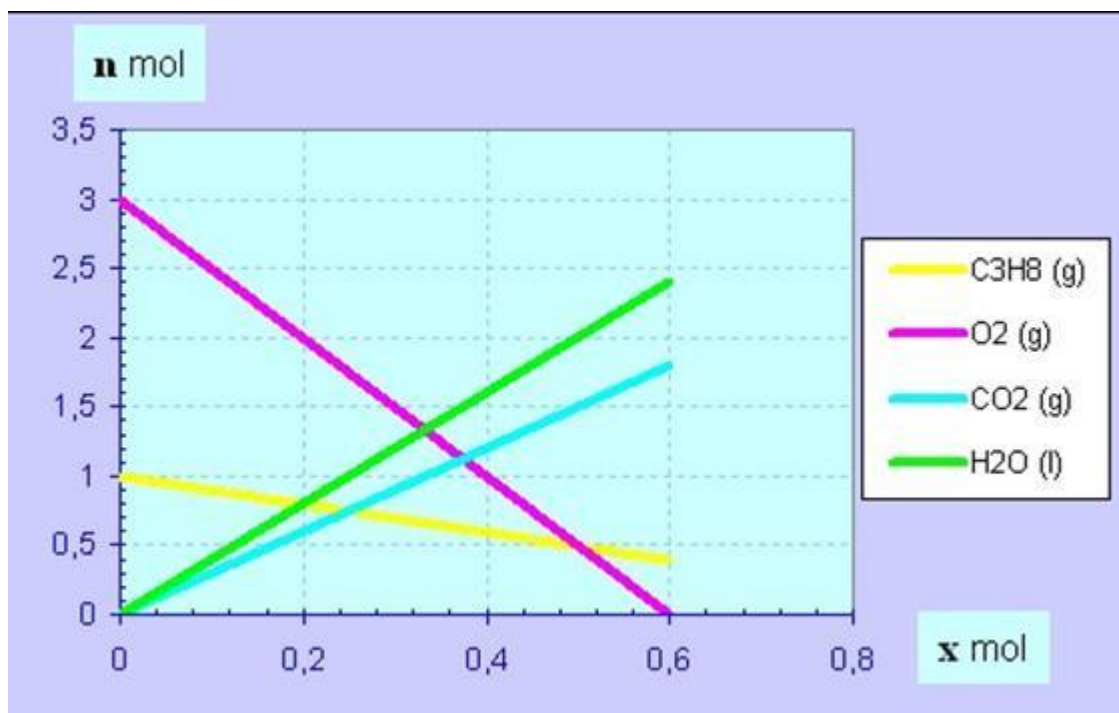
$n_f(O_2) = 0,0 \text{ mol}$
$n_f(CO_2) = 1,8 \text{ mol}$
$n_f(H_2O) = 2,4 \text{ mol}$

➤ Détermination graphique de la valeur de  $x_{max}$  :

On peut déterminer  $x_{max}$  en traçant les droites représentant les variations des quantités de matière des réactifs en fonction de l'avancement  $x$  de la réaction.

Dans le cas précédent :  $n(C_3H_8) = 1 - x$  et  $n_f(O_2) = 3 - 5x$

Les deux droites coupent l'axe horizontal et  $x_{max}$  est égal à la plus petite abscisse des deux points d'intersection.



e)- Cas particulier : Le mélange stœchiométrique :

Dans certains cas, à la fin de la réaction, tous les réactifs ont été entièrement consommés. On dit que dans l'état initial, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : le mélange est stœchiométrique.

**Application 1 :** Le zinc réagit avec l'acide chlorhydrique pour donner un dégagement gazeux de dihydrogène et des ions  $Zn^{2+}_{(aq)}$  en solution aqueuse.

On fait réagir un volume  $V_1 = 20,0 \text{ mL}$  d'acide chlorhydrique de concentration  $C_1 = 5,00 \text{ mol.L}^{-1}$  avec une masse  $m = 0,11 \text{ g}$  de zinc solide. Faire un bilan de matière et calculer le volume  $V$  de dihydrogène obtenu.

On précise que les ions chlorure sont des ions spectateurs et que dans les conditions de l'expérience, le volume molaire  $V_m = 24,3 \text{ L.mol}^{-1}$  et la masse molaire du zinc  $M(Zn) = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$ .