

C3 : Évolution des quantités de matière lors d'une transformation

Dans ce chapitre nous allons apprendre à utiliser un outil important appelé **tableau d'avancement** qui permet de prévoir la composition chimique d'un mélange après une transformation totale.

1 Avancement d'une transformation chimique.

Lors d'une transformation chimique, les quantités des matières des espèces chimiques varient

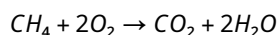
- celles des réactifs **augmentent**
- celles des produits **diminuent**

Définition Avancement d'une réaction

L'avancement, noté x , est une quantité **de matière** permettant de **suivre** l'évolution d'une transformation chimique.

À un instant donné, sa valeur est égale à la quantité de matière formée par un produit dont le coefficient stœchiométrique est égal à 1.

Exemple : Dans la transformation



s'il se forme x moles de CO_2 alors en même temps :

- il se forme aussi $2x$ moles de H_2O
- x moles de CH_4 a été consommé ainsi que $2x$ moles de O_2

2 Le tableau d'avancement.

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

A. Construction.

Le tableau présente généralement 4 lignes :

- 1ère ligne : l'équation de la réaction
- 2ème ligne : les **quantités de matière** en début de transformation (ou état initial).
- 3ème ligne : les quantités de matière **en cours** de réaction pour un avancement x .
- 4ème ligne : les quantités de matière à l'état maximal

Exemple : On fait brûler 3,7 mol de CH_4 avec 9,3 mol de O_2 . Compléter les 4 lignes du tableau suivant :

		CH_4	$+2\text{O}_2 \rightarrow$	CO_2	$+2\text{H}_2\text{O}$
Etat initial	$x = 0$	3,7	9,3	0	0
En cours	$x > 0$	$3,7-x$	$9,7-2x$	x	$2x$
état maximal	x_{max}	$3,7-x_{\text{max}}$	$9,7-2x_{\text{max}}$	x_{max}	$2x_{\text{max}}$

B. Avancement maximum x_{max} .

- La valeur de l'avancement x augmente au cours du temps, jusqu'à ce que la quantité de matière de l'un des réactifs (au moins) arrive à 0. Celui-ci est appelé **réactif limitant**.

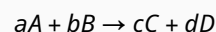
- À ce moment, la réaction est terminée et l'avancement a atteint sa valeur maximale x_{max}

Comment trouver la valeur de x_{max} ?

- La quantité de matière de CH_4 ne peut pas être négative donc $3,7 - x \geq 0$ donc $x_{\text{max}} \leq 3,7$ mol
- La quantité de matière de O_2 ne peut pas être négative donc $9,3 - 2x \geq 0$ donc $x_{\text{max}} \leq 4,7$ mol
- Comme les deux conditions doivent être valables en même temps on a $x_{\text{max}} = 3,7$ mol et le réactif limitant est CH_4

Définition Avancement maximal

Pour une transformation chimique, d'équation



Où A et B sont les espèces chimiques de quantités de matière initiales $n_i(A)$ et $n_i(B)$, et a et b sont les coefficients stœchiométriques :

l'avancement maximum x_{max} est la plus petite des valeurs entre :

$$\frac{n_i(A)}{a} \text{ et } \frac{n_i(B)}{b}$$

3 Application et utilisation du tableau d'avancement.

A. Transformation totale ou non.

Une réaction qui s'arrête avant que l'avancement n'arrive à sa valeur maximale est appelée **réaction limitée** (ou non totale).

Si la réaction est limitée, il n'y a plus de réactif limitant et on a donc l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal.

B. Mélanges stœchiométriques.

Définition Mélange stœchiométrique

Un mélange est dit stœchiométrique si les réactifs sont mis en présence dans les proportions des coefficients stœchiométriques.

- Pour une transformation d'équation : $aA + bB \rightarrow cC + dD$ le mélange est stœchiométrique si :

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

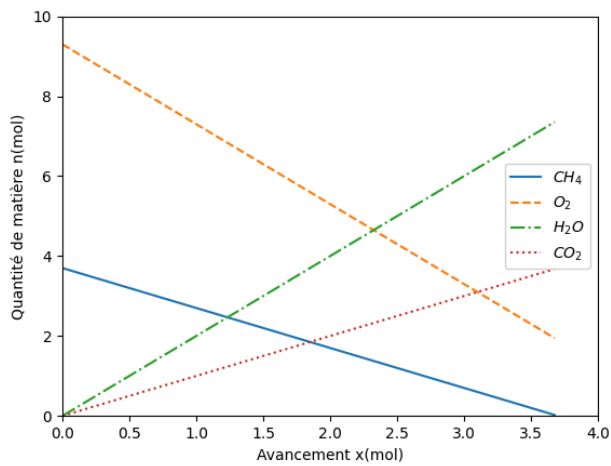
- Pour une réaction totale, tous les réactifs sont épuisés lorsque $x = x_{\text{max}}$

C. Courbes d'évolutions.

On représente **graphiquement** les quantités de matières des différentes espèces (réactifs, produits) en fonction de l'avancement x .

Ce sont des fonctions:

- affines pour les réactifs
- linéaire pour les produits



Courbe d'évolution de la transformation
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Ce qu'il faut savoir faire ↓

- ✓ Décrire qualitativement l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors d'une transformation.
- ✓ Établir le tableau d'avancement d'une transformation chimique à partir de l'équation de la réaction et des quantités de matière initiales des espèces chimiques.
- ✓ Déterminer la composition du système dans l'état final en fonction de sa composition initiale pour une transformation considérée comme totale.
- ✓ Déterminer l'avancement final d'une réaction à partir de la description de l'état final et comparer à l'avancement maximal.

C3 : Activité et exercices

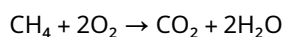
⚠ Méthode de travail à suivre :

- **Lire** la partie cours et suivre les **explications** du professeur.
- **Rédiger** les réponses aux questions Q1.. sur une feuille de travail. Ne pas attendre la correction pour commencer !
- **Réaliser** une carte mentale (ou un résumé) du cours
- **Faire les exercices** dans l'ordre (sur une feuille)

- Q1.** Quelle notation utilise-t-on pour l'avancement ? Quelle est son unité ?
- Q2.** Lors d'une transformation chimique, qu'est-ce qu'un réactif limitant ?
- Q3.** Après avoir lu la méthode de construction des tableaux d'avancement compléter le tableau suivant.

		CH ₄ +	2O ₂ →	CO ₂ +	2H ₂ O
Etat initial	x = 0	10	5	0	0
en cours	x > 0				
Etat final	x _{max}				

- Q4.** Montrer que, comme la quantité de matière de CH₄ est forcément positive (ou nulle) on a x < 10 mol
- Q5.** De la même façon montrer que x < 2,5 mol
- Q6.** Dédurre des deux réponses précédentes la plus grande valeur possible de l'avancement noté x_{max}
- Q7.** Un enfant prépare de petits sachets de cadeaux pour remercier ses amis d'être venu à son anniversaire. Dans chaque sachet il y a :
- 2 autocollants,
 - 5 bonbons,
 - 1 petit jouet
 - 3 chewing-gums.
- L'enfant a 22 autocollants, 40 bonbons, 10 jouets et 27 chewing-gums. Combien d'amis peut-il inviter ? Rédiger la réponse.
- Q8.** En s'inspirant de l'exemple précédent retrouver la valeur de l'avancement maximum de la question Q6.
- Q9.** Donner un exemple de mélange stœchiométrique de votre choix pour la transformation



- Q10.** Compléter les tableaux suivants et donner la valeur de l'avancement final et la composition finale du mélange:

Exercice 1: Compléter un tableau d'avancement

On étudie la réaction d'oxydation du fer par l'acide chlorhydrique dont l'équation de réaction est notée dans le tableau d'avancement.

- 1) Compléter le tableau d'avancement

		Fe +	2H ⁺ →	Fe ²⁺ +	H ₂
Etat initial	x = 0	7.4	16.8	0	0
en cours	x > 0				
Etat final	x _{max}				

- 2) Déterminer l'avancement maximal en expliquant la méthode utilisée.
- 3) Donner la composition complète du mélange à l'état final.

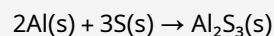
Faire de même pour les tableaux suivants:

		2KClO ₃ →	2 KCl +	3O ₂
Etat initial	x = 0	5	3	0
En cours	x > 0			
Etat final	x = x _{max}			

		2 Mg +	O ₂ →	2 MgO
Etat initial	x = 0	0.5	0.25	0.5
En cours	x > 0			
Etat final	x = x _{max}			

Exercice 2: Évolution d'une transformation.

On réalise un mélange de 3,2 g de poudre de soufre S(s) et 4,0 g de poudre d'aluminium Al(s), on déclenche la transformation en chauffant avec un bec à gaz. Il se forme alors du sulfure d'aluminium Al₂S₃(s) après refroidissement. L'équation de la transformation est :



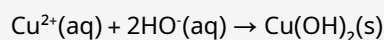
Données : M(Al) = 27,0 g.mol⁻¹ ; M(S) = 32,0 g.mol⁻¹

- 1) Calculer les quantités de matière des deux réactifs à l'état initial.
- 2) Établir le tableau d'avancement de la transformation et calculer l'avancement maximum.
- 3) Donner la composition du système à l'état final pour une réaction totale.
- 4) En déduire la masse de sulfure d'aluminium formée.

Exercice 3: Précipitation de l'hydroxyde de cuivre.

On dispose de V₁=100 mL de solution de sulfate de cuivre Cu²⁺(aq) + SO₄²⁻(aq) de concentration c₁ = 2,5.10⁻² mol.L⁻¹ dans laquelle on verse V₂=50 mL de la soude Na⁺(aq) + HO⁻(aq) de concentration c₂ = 5,0.10⁻² mol.L⁻¹. Il se forme un précipité d'hydroxyde de cuivre Cu(OH)₂(s).

Données : L'équation de la transformation est :



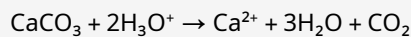
Les ions Cu²⁺(aq) sont de couleur bleue.

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

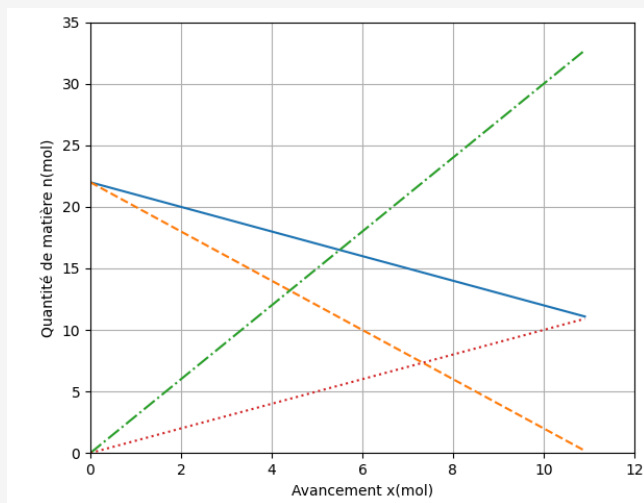
- 2) Établir le tableau d'avancement de la transformation et calculer l'avancement maximum.
- 3) Donner la composition du système à l'état final pour une réaction totale.
- 4) La solution est-elle colorée en fin de réaction ?
- 5) Quel volume de soude faudrait-il verser pour que le mélange initial soit stœchiométrique ?

Exercice 4: Courbe d'évolution.

On fait réagir du carbonate de calcium CaCO_3 (calcaire) avec de l'acide chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ il se forme du dioxyde de carbone CO_2 et de l'eau H_2O . L'équation de réaction est :



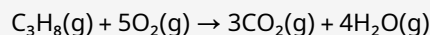
On a tracé les courbes d'évolution de la transformation.



- 1) Identifier chaque espèce sur le graphique en expliquant la méthode utilisée.
- 2) Indiquer qui est le réactif limitant.
- 3) Donner la valeur de l'avancement maximal.

Exercice 5: Combustion du propane.

On met en présence 7,5 L de butane $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ avec 28 L de dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$. Le mélange se transforme selon la réaction :



Données: Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire est de $24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$

- 1) Calculer les quantités de matière des deux réactifs à l'état initial.
- 2) Établir le tableau d'avancement de la transformation et calculer l'avancement maximum.
- 3) Donner la composition du système à l'état final pour une réaction totale.
- 4) En déduire le volume de dioxyde de carbone formé.

Exercice 6: Réaction entre l'acide éthanóïque et l'eau

On verse $1,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$ d'acide éthanóïque $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ dans 1,0 L d'eau, il se forme alors des ions éthanóate $\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$ et des ions oxonium $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$.

Données : L'équation de la transformation est : $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$

L'eau est en excès.

- 1) Sans faire de calcul, mais en justifiant, dire quel est le réactif limitant.
- 2) Calculer la valeur de l'avancement maximal.
- 3) On mesure que la quantité de matière des ions oxonium à l'état final est de $7,0 \times 10^{-6} \text{ mol}$. La réaction est-elle totale ou limitée ? (Justifier)

Exercice 7: Tableau inversé

Compléter les cases manquantes:

		2 Na	+Cl ₂ →	2NaCl
Etat initial	x = 0			0
En cours	x > 0			
Etat final	x > 0	3	0	4