

Avancement chimique

Cours de sciences physiques - niveau 1re

Une bougie brûle, un clou rouille, un comprimé effervescent s'efface dans un verre : à chaque fois des espèces chimiques disparaissent et d'autres apparaissent. Mais jusqu'à quand ? Et quelle quantité de gaz va-t-on récupérer ? L'**avancement chimique** est l'outil qui permet de suivre une transformation de façon quantitative, de prévoir quel réactif s'épuise le premier et de calculer la composition finale du système.

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

L'avancement chimique d'une transformation

Un système chimique évolue d'un **état initial** (les réactifs sont mélangés, aucune transformation n'a eu lieu) vers un **état final** (la transformation s'est arrêtée). Entre les deux, on parle d'état intermédiaire. L'**équation de la réaction** traduit cette évolution : elle indique les réactifs consommés, les produits formés et, grâce aux **nombre stœchiométriques**, les proportions dans lesquelles les espèces réagissent.

Considérons la réaction d'équation $a A + b B \rightarrow c C + d D$, où a , b , c et d sont les nombres stœchiométriques. Ces nombres ne sont pas des quantités : ils donnent des **rapports**. Si 1 mol de A disparaît, alors b/a mol de B disparaît et c/a mol de C apparaît.

DÉFINITION

L'**avancement** x d'une réaction est une grandeur, exprimée en **mole (mol)**, qui décrit l'état d'avancement de la transformation. Il vaut 0 à l'état initial et augmente à mesure que la réaction a lieu. Il se définit de sorte que les quantités de matière varient de la façon suivante.

FORMULE À RETENIR

$$n(A) = n_0(A) - a \cdot x \quad n(B) = n_0(B) - b \cdot x \quad n(C) = n_0(C) + c \cdot x \quad n(D) = n_0(D) + d \cdot x$$

Les quantités n sont en mol, l'avancement x en mol, les nombres stœchiométriques sont sans unité.

Calculer des quantités de matière

Avant de dresser un bilan, on convertit les données de l'énoncé en quantités de matière. Trois relations suffisent au niveau de la première.

FORMULE À RETENIR

$$n = m \div M \quad n = C \times V \quad n = V_{\text{gaz}} \div V_m$$

m : masse (g) ; M : masse molaire (g/mol) ; C : concentration en quantité de matière (mol/L) ; V : volume de solution (L) ; V_{gaz} : volume du gaz (L) ; V_m : volume molaire (L/mol), de l'ordre de 24 L/mol à 20 °C et à la pression atmosphérique.

Attention aux unités : un volume donné en mL doit être converti en L avant d'être utilisé avec une concentration en mol/L. Une solution de 50,0 mL à 0,500 mol/L contient $n = 0,500 \times 50,0 \times 10^{-3} = 2,50 \times 10^{-2}$ mol de soluté.

Le tableau d'avancement

Le **tableau d'avancement** organise le raisonnement : une colonne par espèce, une ligne par état du système (initial, en cours de transformation, final). Il évite les erreurs et fournit directement le bilan de matière. Voici celui de la combustion du propane dans le dioxygène : $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$, avec $n_0(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,100$ mol et $n_0(\text{O}_2) = 0,300$ mol.

État du système	x (mol)	C_3H_8	5O_2	3CO_2	$4 \text{H}_2\text{O}$
État initial	0	0,100	0,300	0	0
En cours	x	$0,100 - x$	$0,300 - 5x$	3x	4x
État final	$x_{\text{max}} = 0,060$	0,040	0	0,180	0,240

Tableau d'avancement de la combustion du propane (quantités en mol) : le dioxygène est le réactif limitant, sa quantité finale est nulle.

Avancement maximal et réactif limitant

Une quantité de matière ne peut pas être négative. Chaque réactif impose donc une limite à l'avancement : pour A, $n_0(\text{A}) - a \cdot x \geq 0$, soit $x \leq n_0(\text{A}) \div a$. La réaction s'arrête lorsque le premier réactif est épuisé.

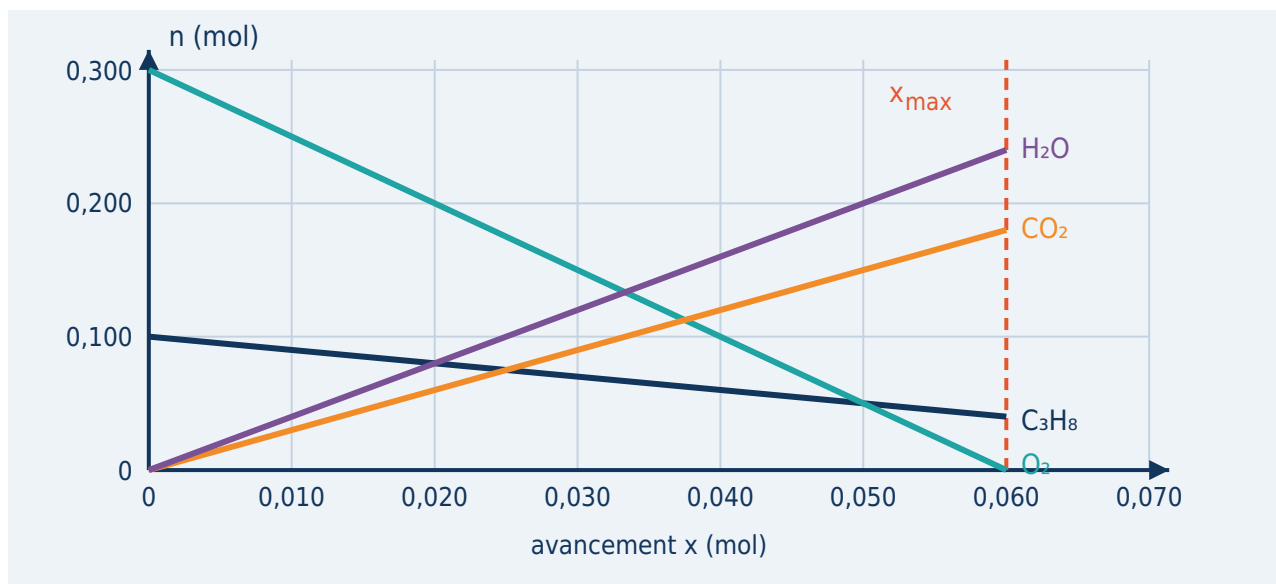
MÉTHODE

L'**avancement maximal** x_{max} est la plus petite des valeurs $n_0(\text{réactif}) \div \text{nombre}$

Fiche en ligne : sciences-physiques-pdf.fr/avancement-d-une-reaction-cours-sciences-premiere/ · Cours, exercices, TP et contrôles corrigés de sciences physiques sur sciences-physiques-pdf.fr · page 2/4

stœchiométrique. Le **réactif limitant** est celui qui donne cette plus petite valeur : il est entièrement consommé à l'état final. Les autres sont dits **en excès**. Si les deux valeurs sont égales, le mélange est **stœchiométrique** et tous les réactifs sont épuisés.

Pour le propane : $n_0(\text{C}_3\text{H}_8) \div 1 = 0,100 \text{ mol}$ et $n_0(\text{O}_2) \div 5 = 0,060 \text{ mol}$. Le plus petit est $0,060 \text{ mol}$: $x_{\text{max}} = 0,060 \text{ mol}$ et le dioxygène est le réactif limitant. Dans ce chapitre, la transformation est supposée **totale** : l'avancement final x_f est égal à x_{max} .



Évolution des quantités de matière avec l'avancement : les réactifs diminuent, les produits augmentent, tout s'arrête à x_{max} (trait pointillé) quand le dioxygène est épuisé.

Exemple résolu : zinc et acide chlorhydrique

On introduit une masse $m = 1,30 \text{ g}$ de zinc dans $V = 50,0 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C = 0,500 \text{ mol/L}$. Le zinc réagit avec les ions hydrogène : $\text{Zn(s)} + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$. Données : $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g/mol}$; $V_m = 24,0 \text{ L/mol}$.

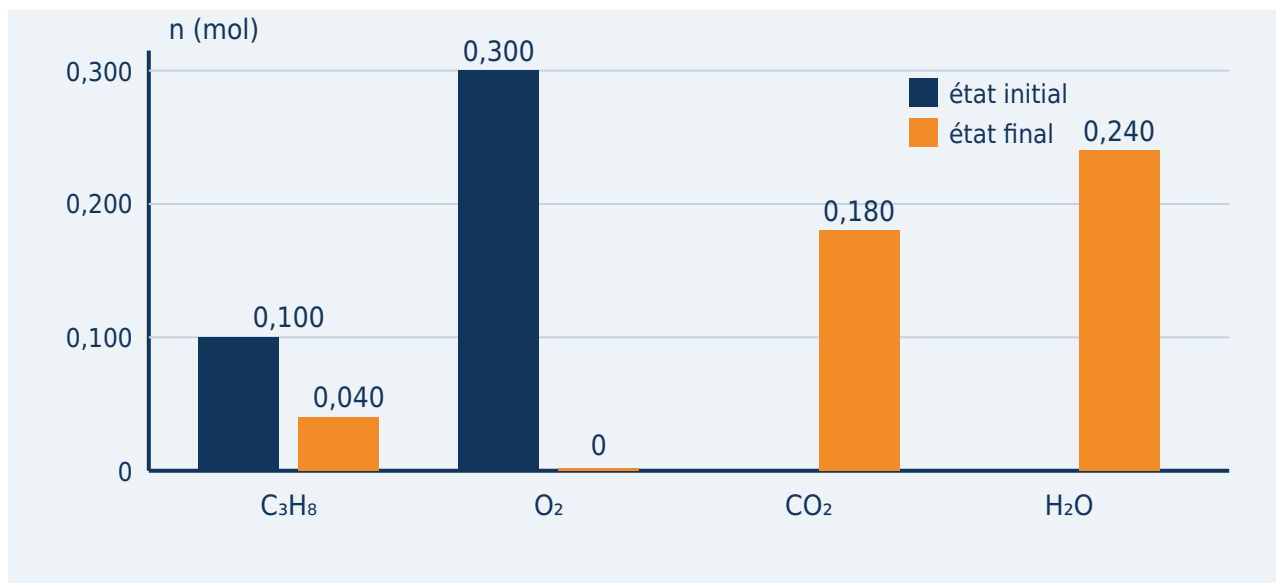
APPLICATION NUMÉRIQUE

- Quantités initiales.** $n_0(\text{Zn}) = 1,30 \div 65,4 = 1,99 \times 10^{-2} \text{ mol}$. $n_0(\text{H}^+) = 0,500 \times 50,0 \times 10^{-3} = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol}$.
- Avancement maximal.** Pour Zn : $1,99 \times 10^{-2} \div 1 = 1,99 \times 10^{-2} \text{ mol}$. Pour H^+ : $2,50 \times 10^{-2} \div 2 = 1,25 \times 10^{-2} \text{ mol}$. Le plus petit est le second : **$x_{\text{max}} = 1,25 \times 10^{-2} \text{ mol}$** , les ions H^+ sont le réactif limitant.
- État final.** $n(\text{Zn}) = 1,99 \times 10^{-2} - 1,25 \times 10^{-2} = 7,4 \times 10^{-3} \text{ mol}$ (zinc en excès, soit $0,48 \text{ g}$) ; $n(\text{H}^+) = 0$; $n(\text{Zn}^{2+}) = n(\text{H}_2) = 1,25 \times 10^{-2} \text{ mol}$.
- Volume de gaz.** $V(\text{H}_2) = 1,25 \times 10^{-2} \times 24,0 = \mathbf{0,300 \text{ L}}$.

Bilan de matière et conservation de la masse

La transformation se déroule sans échange de matière avec l'extérieur : la masse totale du

système se conserve, même si les quantités de matière de chaque espèce changent. On peut le vérifier sur le propane : à l'état initial, $m = 0,100 \times 44,0 + 0,300 \times 32,0 = 14,0 \text{ g}$; à l'état final, $m = 0,040 \times 44,0 + 0,180 \times 44,0 + 0,240 \times 18,0 = 14,0 \text{ g}$. C'est ce qui valide l'équation ajustée et le tableau d'avancement.



Histogramme du bilan de matière : le dioxygène disparaît entièrement, le propane subsiste en partie, 0,180 mol de dioxyde de carbone et 0,240 mol d'eau se forment.

ERREUR FRÉQUENTE

Le réactif limitant n'est **pas** celui dont la quantité initiale est la plus petite : il faut diviser par le nombre stœchiométrique. Dans le propane, 0,100 mol de C_3H_8 est inférieur à 0,300 mol de O_2 , et pourtant c'est O_2 qui est limitant. Autres pièges : oublier de convertir mL en L, ou écrire $n(\text{produit}) = x$ au lieu de $c \cdot x$.

L'essentiel à retenir

- L'avancement x (en mol) vaut 0 à l'état initial ; $n(\text{réactif}) = n_0 - (\text{coefficient}) \times x$ et $n(\text{produit}) = n_0 + (\text{coefficient}) \times x$.
- On calcule les quantités initiales avec $n = m \div M$, $n = C \times V$ ou $n = V \div V_m$.
- x_{max} est la plus petite valeur de $n_0 \div \text{coefficient}$; le réactif qui la donne est le réactif limitant.
- Dans un mélange stœchiométrique, les réactifs sont tous épuisés à l'état final.
- Le tableau d'avancement donne l'état final : on remplace x par x_{max} .
- La masse totale du système se conserve au cours de la transformation.