

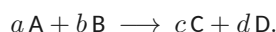
Fiche de cours Avancement d'une réaction

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 AVANCEMENT D'UNE TRANSFORMATION

Définition. On décrit une transformation chimique en donnant la composition du système à l'**état initial** (avant), au cours de la transformation et à l'**état final** (quand le système n'évolue plus). La réaction est modélisée par une équation **ajustée**, ici



Définition. L'**avancement** x , exprimé en mol, est la grandeur qui mesure le degré d'évolution du système : lorsque l'avancement vaut x , il a disparu ax mole de A et bx mole de B, et il s'est formé cx mole de C et dx mole de D. À l'état initial, $x = 0$.

Notation. Les nombres stœchiométriques imposent les proportions : x est commun à toutes les espèces, ce sont les coefficients a , b , c , d qui diffèrent.

2 LE TABLEAU D'AVANCEMENT

Méthode — construire le tableau. écrire l'équation ajustée en en-tête ; calculer les quantités de matière initiales ($n = m/M$, $n = cV$, $n = V/V_m$) ; exprimer chaque quantité en fonction de x .

Équation de la réaction		aA	+	bB	$\longrightarrow$	cC	+	dD
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)						
initial	$x = 0$	n_A		n_B		0		0
en cours	x	$n_A - ax$		$n_B - bx$		cx		dx
final	$x = x_f$	$n_A - ax_f$		$n_B - bx_f$		cx_f		dx_f

Remarque. Les espèces *spectatrices* et le solvant ne figurent pas dans le tableau : leur quantité ne varie pas.

3 AVANCEMENT MAXIMAL ET RÉACTIF LIMITANT

Définition. L'**avancement maximal** $x_{\max}$ est la plus grande valeur que peut prendre x : au-delà, une quantité de matière deviendrait négative. Le **réactif limitant** est celui qui s'annule pour $x = x_{\max}$; les autres sont **en excès**.

Propriété. Pour la réaction $aA + bB \rightarrow$ produits :

$$x_{\max} = \min\left(\frac{n_A}{a} ; \frac{n_B}{b}\right).$$

On annule successivement chaque quantité de réactif ($n_A - ax = 0$ donne $x = n_A/a$) et l'on retient la *plus petite* valeur.

Définition. Si $\frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b}$, le mélange initial est **stœchiométrique** : les deux réactifs disparaissent simultanément et sont tous deux limitants.

4 ÉTAT FINAL : TRANSFORMATION TOTALE OU NON TOTALE

Définition. La transformation est **totale** lorsque le réactif limitant a entièrement disparu à l'état final : $x_f = x_{\max}$. Elle est **non totale** lorsque le système cesse d'évoluer alors qu'il reste tous les réactifs : $x_f < x_{\max}$.

Méthode — déterminer x_f à partir de l'état final. mesurer à l'état final la quantité d'une espèce (masse d'un solide, volume d'un gaz, concentration par spectrophotométrie), puis reporter cette valeur dans la ligne « final » du tableau et résoudre l'équation obtenue.

Méthode — composition finale, transformation totale. un programme en Python détermine $x_{\max}$ et l'état final :

```

1  nA, nB = 0.40, 0.45          # quantites initiales, en mol
2  a, b = 4, 3                  # nombres stoechiometriques des reactifs
3  xmax = min(nA / a, nB / b)
4  print("x_max =", xmax, "mol")
5  print("n(A) final =", nA - a * xmax, "  n(B) final =", nB - b * xmax)

```

■ FORMULAIRE

$$n = \frac{m}{M} \text{ (solide)} \quad n = cV \text{ (soluté)} \quad n = \frac{V}{V_m} \text{ (gaz)} \quad n = \frac{\rho V}{M} \text{ (liquide)}$$

$$x_{\max} = \min\left(\frac{n_A}{a}; \frac{n_B}{b}\right) \quad \text{mélange stœchiométrique : } \frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b}; \quad \text{transformation totale : } x_f = x_{\max}$$

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Ajuster une équation de réaction et calculer les quantités de matière initiales.
- Établir le tableau d'avancement d'une transformation et exprimer les quantités en fonction de x .
- Déterminer l'avancement maximal et le réactif limitant; reconnaître un mélange stœchiométrique.
- Donner la composition du système à l'état final pour une transformation totale, puis en déduire une masse ou un volume de gaz.
- Déterminer x_f à partir d'une mesure faite sur l'état final et conclure sur le caractère total ou non de la transformation.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — avancement maximal et état final

On fait réagir $n_1 = 0,40$ mol d'aluminium et $n_2 = 0,45$ mol de dioxygène selon $4\text{Al(s)} + 3\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3\text{(s)}$. On compare $\frac{0,40}{4} = 0,10$ mol et $\frac{0,45}{3} = 0,15$ mol : $x_{\max} = 0,10$ mol et l'aluminium est limitant. À l'état final il reste $0,45 - 3 \times 0,10 = 0,15$ mol de O_2 et il s'est formé $2 \times 0,10 = 0,20$ mol d'alumine ($M = 102,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$), soit $m = 0,20 \times 102,0 \approx 20$ g (deux chiffres significatifs, comme les données).

★ EXEMPLE — mélange stœchiométrique

Pour $\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+\text{(aq)} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}\text{(aq)} + 2\text{Ag(s)}$ avec $n(\text{Ag}^+) = 1,0 \times 10^{-2}$ mol, le mélange est stœchiométrique si $\frac{n(\text{Cu})}{1} = \frac{1,0 \times 10^{-2}}{2}$, soit $n(\text{Cu}) = 5,0 \times 10^{-3}$ mol : il faut peser $m = 5,0 \times 10^{-3} \times 63,5 = 0,32$ g de cuivre ($M = 63,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

★ EXEMPLE — transformation non totale

Deux réactifs A et B, introduits à 1,00 mol chacun, réagissent mole à mole selon $\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$: le mélange est stœchiométrique et $x_{\max} = 1,00$ mol. Or on mesure, à l'état final, qu'il reste 0,33 mol de A : $1,00 - x_f = 0,33$, donc $x_f = 0,67$ mol. Comme $x_f < x_{\max}$, la transformation n'est pas totale.

✗ PIÈGES

- Oublier d'ajuster l'équation avant de construire le tableau : tous les coefficients a, b, c, d en dépendent.
- Comparer directement n_A et n_B pour trouver le limitant : il faut diviser chaque quantité par son coefficient.
- Écrire $n_A - x$ au lieu de $n_A - ax$: l'avancement est multiplié par le nombre stœchiométrique de l'espèce.
- Raisonner sur des masses ou des volumes dans le tableau : les lignes contiennent des *quantités de matière*, en mol.
- Confondre $x_{\max}$ (calculé à partir des quantités initiales) et x_f (mesuré à l'état final) : égaux seulement si la transformation est totale.
- Prendre pour limitant le réactif dont la *masse* est la plus faible, ou oublier que dans un mélange stœchiométrique les deux réactifs disparaissent ensemble.