



Avancement et bilan de matière

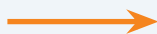
Suivre une transformation. Identifier le réactif limitant.

Déterminer la composition finale.

Un même avancement pour toutes les espèces

Au départ

4 mmol de cuivre
6 mmol d'ions argent



À la fin

Plus d'ions argent
Du cuivre reste



Une mole de cuivre consomme deux moles d'ions argent.
Le premier réactif épuisé fixe la limite de la transformation totale.

- I **Cours et savoir-faire** Les notions, les choix et les étapes.
- II **Exercices** 32 énoncés originaux et progressifs.
- III **Corrections détaillées** Les raisons, les calculs et les contrôles.

MODE D'EMPLOI

Apprendre, puis s'entraîner

Comprendre une méthode permet de l'adapter à une situation nouvelle.

Accès directs : cours p. 3; exercices p. 16; corrections p. 35.

Comment avancer dans ce chapitre

Lis une notion, puis refais l'exemple sans regarder les lignes suivantes. Les questions « À toi de jouer » servent à vérifier immédiatement une idée. Leurs réponses sont données juste après : masque-les le temps de chercher.

**DÉFINITION** Comprendre les mots

Les définitions nomment les objets et donnent le sens des symboles.

**SAVOIR-FAIRE** Choisir une démarche

Les savoir-faire montrent comment reconnaître la situation, choisir un outil et terminer le calcul.

**POINT DE VIGILANCE** Repérer une confusion

Une erreur expliquée est plus utile qu'une règle mémorisée sans condition.



Vérifier. Une valeur cohérente, une unité correcte ou une vérification par substitution aide à détecter une erreur. Ce contrôle complète le raisonnement.

Les trois temps de l'entraînement

Les exercices 1 à 10 installent les bases; 11 à 24 demandent de choisir et combiner les méthodes; 25 à 32 proposent des problèmes, des lectures critiques et une synthèse. Travaille sur un cahier à côté du document.



Le déclic. Lorsque tu corriges un exercice, explique à voix haute pourquoi chaque étape est possible. Refaire seulement les nombres ne suffit pas à comprendre la méthode.

I · PRÉREQUIS

Passer des données aux moles

Un tableau d'avancement contient des quantités de matière.

Les chapitres précédents ont permis de déterminer la composition initiale d'un système et d'écrire une réaction d'oxydoréduction. Nous allons maintenant relier cette réaction aux quantités *consommées*, *formées* et *restantes*.



PROPRIÉTÉ Trois portes d'entrée vers une quantité

$$n = \frac{m}{M}, \quad n = cV, \quad n = \frac{V_{\text{gaz}}}{V_m}$$

Unités et sens : n en mol; m en g; M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et V en L. Pour un gaz, V_{gaz} en L et V_m en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$, dans les mêmes conditions de température et de pression.



SAVOIR-FAIRE Une masse et une solution

Une lame contient 0,254 g de cuivre, de masse molaire $63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Donc $n_0(\text{Cu}) = 0,254/63,5 = 4,00 \times 10^{-3} \text{ mol} = 4,00 \text{ mmol}$.

Une solution contient des ions argent à $c = 0,120 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ dans $V = 50,0 \text{ mL} = 0,0500 \text{ L}$. Leur quantité est $n_0(\text{Ag}^+) = cV = 0,120 \times 0,0500 = 6,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$.



POINT DE VIGILANCE Ne pas comparer des grandeurs différentes

Une masse en grammes ne se place pas sous une quantité en moles. Convertis d'abord. Tu peux ensuite travailler entièrement en mmol : l'avancement devra lui aussi être en mmol.

Lire les indices

n_0 désigne la quantité initiale, $n(x)$ la quantité à l'avancement x et n_f la quantité finale. Le symbole n seul doit toujours être associé à une espèce et à un état clairement identifiés.



À TOI DE JOUER Préparer les données

Combien de mmol de soluté contient 25,0 mL d'une solution à $0,0800 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$?

Réponse pour te vérifier : $n = cV = 0,0800 \times 0,0250 = 0,00200 \text{ mol} = 2,00 \text{ mmol}$.

I • COMPRENDRE

Une réaction impose des proportions

Les coefficients décrivent ce qui se transforme ensemble.

Prenons le bilan déjà rencontré :



Il signifie que, pour une mole de cuivre **consommée**, deux moles d'ions argent sont consommées, une mole d'ions cuivre(II) est formée et deux moles d'argent sont formées.



DÉFINITION Avancement x

L'**avancement** est une quantité, exprimée en mol, qui mesure la progression d'une réaction écrite avec des coefficients fixés. On choisit $x = 0$ dans l'état initial.

Quand l'avancement augmente de x , la variation de quantité de chaque espèce est égale à son coefficient multiplié par x , avec un signe moins pour un réactif et plus pour un produit.

Pour notre réaction, à partir de l'état initial :

$$\Delta n(\text{Cu}) = -x, \quad \Delta n(\text{Ag}^+) = -2x, \quad \Delta n(\text{Cu}^{2+}) = x, \quad \Delta n(\text{Ag}) = 2x.$$

Unités et sens : $\Delta n = n(x) - n_0$ et x dans la même unité, mol ou mmol; coefficients sans dimension.

Ce que $x = 1,0$ mmol veut dire

Il s'est consommé 1,0 mmol de cuivre et 2,0 mmol d'ions argent. Il s'est formé 1,0 mmol d'ions cuivre(II) et 2,0 mmol d'argent. Cela *ne dit pas* combien il en reste : il faut encore connaître le départ.



POINT DE VIGILANCE Proportions consommées, pas nécessairement proportions initiales

On peut introduire trop de cuivre ou trop d'ions argent. La réaction impose le rapport des quantités **consommées**, pas celui des quantités versées au départ.



À TOI DE JOUER Un autre coefficient

Pour $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, combien de mol de dioxygène sont consommées quand 0,30 mol de dihydrogène réagissent ?

Réponse pour te vérifier : $x = 0,30/2 = 0,15$ mol; le dioxygène consommé vaut $x = 0,15$ mol.

I • SAVOIR-FAIRE 1

Construire le tableau d'avancement

État initial, état en cours, état final : trois lectures d'un même bilan.

Pour une réaction $aA + bB \rightarrow cC + dD$, on écrit :

État	Avanc.	A	B	C	D
Initial	0	$n_{A,0}$	$n_{B,0}$	$n_{C,0}$	$n_{D,0}$
En cours	x	$n_{A,0} - ax$	$n_{B,0} - bx$	$n_{C,0} + cx$	$n_{D,0} + dx$
Final	x_f	$n_{A,0} - ax_f$	$n_{B,0} - bx_f$	$n_{C,0} + cx_f$	$n_{D,0} + dx_f$

Unités et sens : Quantités n et avancements x, x_f en mol. Les coefficients a, b, c, d sont sans dimension.



SAVOIR-FAIRE Remplir sans mémoriser chaque case

1. Recopie et vérifie l'équation équilibrée, avec les états physiques connus.
2. Calcule les quantités initiales. Mets 0 pour un produit *seulement s'il est absent au départ*.
3. Pour chaque réactif, retire « coefficient $\times x$ ». Pour chaque produit, ajoute cette quantité.
4. Écris la ligne finale en remplaçant x par x_f . Il reste à déterminer cet avancement final.

Une ligne ne décrit pas une nouvelle réaction

Les colonnes sont les mêmes espèces tout au long de la transformation. La ligne « en cours » décrit toutes les compositions possibles dans le modèle, grâce à une seule variable x .



POINT DE VIGILANCE L'avancement n'est pas le temps

x en mol ne se mesure pas en secondes. Un tableau ne précise pas combien de temps la transformation prend. Il décrit les quantités associées à une progression donnée.



À TOI DE JOUER Un produit déjà présent

Pour $A \rightarrow 2B$, on a $n_{A,0} = 5$ mmol et $n_{B,0} = 1$ mmol. Écris les quantités en cours.

Réponse pour te vérifier : $n_A = 5 - x$ et $n_B = 1 + 2x$, avec n_A, n_B, x en mmol. Le 1 initial reste présent.

I · SAVOIR-FAIRE 2

Calculer l'avancement maximal

Aucune quantité de matière ne peut devenir négative.

Reprenons $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Ag}$ avec 4,0 mmol de cuivre et 6,0 mmol d'ions argent. Les produits sont initialement absents.



SAVOIR-FAIRE Tester séparément les épuisements

1 • Si le cuivre s'épuisait. $4,0 - x = 0$, donc $x = 4,0$ mmol.

2 • Si les ions argent s'épuisaient. $6,0 - 2x = 0$, donc $x = 3,0$ mmol.

3 • Retenir la première limite. À 3,0 mmol, il n'y a déjà plus d'ions argent. Continuer jusqu'à 4,0 mmol donnerait $6,0 - 8,0 = -2,0$ mmol d'ions argent, ce qui est impossible. Donc $x_{\max} = 3,0$ mmol.



DÉFINITION Réactif limitant

Un réactif limitant est un réactif dont la quantité s'annule lorsque $x = x_{\max}$. Il fixe la quantité maximale de transformation permise par les stocks initiaux. Ici, ce sont les ions argent.



PROPRIÉTÉ Deux réactifs disponibles en quantités finies

Pour $aA + bB \rightarrow \dots$:

$$x_{\max} = \min \left(\frac{n_{A,0}}{a}; \frac{n_{B,0}}{b} \right).$$

Unités et sens : $x_{\max}$ et n_0 en mol ; coefficients a, b sans dimension.



POINT DE VIGILANCE Le plus petit stock n'est pas forcément limitant

Ici $4 < 6$, pourtant le cuivre n'est pas limitant. On compare $4/1$ et $6/2$, car les ions argent sont consommés deux fois plus vite *par unité d'avancement*.



À TOI DE JOUER Changer le stock

Avec 2,0 mmol de cuivre et 6,0 mmol d'ions argent, que vaut $x_{\max}$?

Réponse pour te vérifier : $\min(2,0; 3,0) = 2,0$ mmol ; le cuivre devient limitant.

I · SAVOIR-FAIRE 3

Établir le bilan final

La totalité permet de remplacer x_f par $x_{\max}$.



DÉFINITION Transformation totale

Une transformation est considérée comme **totale** lorsque son avancement final atteint l'avancement maximal : $x_f = x_{\max}$, les deux grandeurs étant en mol. Au moins un réactif est alors épuisé dans le modèle.

Dans l'exemple cuivre/ions argent, on suppose la transformation totale. Donc $x_f = 3,0$ mmol. Toutes les cases du tableau suivant sont en mmol, y compris x .

État	x	Cu	Ag^+	Cu^{2+}	Ag
Initial	0	4,0	6,0	0	0
En cours	x	$4,0 - x$	$6,0 - 2x$	x	$2x$
Final	3,0	1,0	0	3,0	6,0

Lire la dernière ligne en phrases

Il reste 1,0 mmol de cuivre et aucun ion argent. Il s'est formé 3,0 mmol d'ions cuivre(II) et 6,0 mmol d'argent. Le cuivre est **en excès** : il participe à la réaction, mais il en reste.



SAVOIR-FAIRE Contrôler la conservation

Fermer le bilan sur l'élément cuivre : $4,0 = 1,0 + 3,0$ mmol d'atomes Cu. Pour l'élément argent : $6,0 = 0 + 6,0$ mmol d'atomes Ag. Aucune quantité finale n'est négative.



POINT DE VIGILANCE Toutes les espèces ne sont pas dans l'équation

La solution de nitrate d'argent contient aussi des ions nitrate. Ils restent en solution : ce sont des ions spectateurs pour cette réaction. Le solvant eau est présent en grande quantité. Si la question demande la composition de *toute* la solution, pense aussi à ces espèces.



À TOI DE JOUER Une formule qui parle

Pourquoi la quantité finale d'argent vaut-elle $2x_f$ et non x_f ?

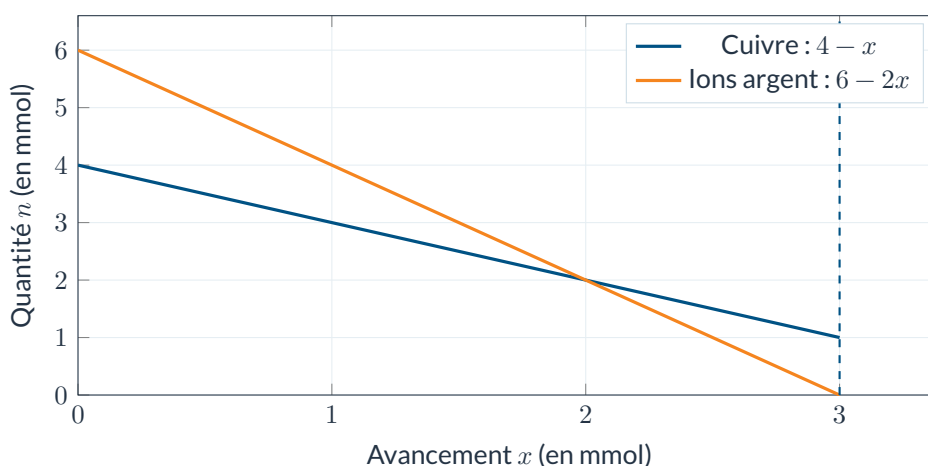
Réponse pour te vérifier : Son coefficient vaut 2 et il n'y en avait pas au départ : $n_f(\text{Ag}) = 0 + 2x_f$.

I · SAVOIR-FAIRE 4

Lire le bilan sur un graphique

Chaque pente traduit un coefficient de l'équation.

Le graphique reprend les réactifs de l'exemple. Les expressions numériques utilisent les mmol pour n et x : $n(\text{Cu}) = 4 - x$ et $n(\text{Ag}^+) = 6 - 2x$.



1 · Lire les stocks initiaux. À $x = 0$, la droite bleue indique 4 mmol et l'orange 6 mmol.

2 · Lire les quantités restantes. À $x = 2$ mmol, on lit 2 mmol pour chaque réactif. Ce n'est pas un mélange initial stœchiométrique : on lit des *restes*.

3 · Lire la première annulation. La droite orange atteint 0 à $x = 3$ mmol. C'est l'avancement maximal. Le trait vertical matérialise cette frontière.

Pourquoi l'orange descend-elle davantage ?

Quand x augmente de 1 mmol, la quantité de cuivre diminue de 1 mmol et celle d'ions argent de 2 mmol. Les pentes sont donc -1 et -2 : elles traduisent les coefficients de consommation, avec les mêmes unités sur les deux axes.



POINT DE VIGILANCE Ne pas prolonger la réaction au-delà de la limite

Le dessin des droites peut être prolongé mathématiquement, mais la partie où une quantité serait négative n'a pas de sens physique.



À TOI DE JOUER Ajouter un produit

Quelle serait l'ordonnée finale de la droite $n(\text{Ag}) = 2x$?

Réponse pour te vérifier : $2 \times 3 = 6$ mmol, atteinte à $x_f = 3$ mmol si la transformation est totale.

I • COMPRENDRE

Un mélange stœchiométrique

Les réactifs peuvent être épuisés ensemble.



DÉFINITION Proportions stœchiométriques

Pour $aA + bB \rightarrow \dots$, le mélange initial est stœchiométrique lorsque

$$\frac{n_{A,0}}{a} = \frac{n_{B,0}}{b}.$$

Unités et sens : n_0 en mol ; coefficients sans dimension ; chaque rapport est un avancement possible en mol. Si la transformation est totale, les deux réactifs s'épuisent simultanément.



SAVOIR-FAIRE Prévoir la quantité à introduire

Pour $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \dots$, on dispose de 2,50 mmol de cuivre. Il faut $n_0(\text{Ag}^+) = 2n_0(\text{Cu}) = 5,00$ mmol d'ions argent pour les proportions stœchiométriques.

Si leur solution est à $c = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, le volume requis est

$$V = \frac{n}{c} = \frac{5,00 \times 10^{-3}}{0,100} = 0,0500 \text{ L} = 50,0 \text{ mL}.$$

Unités et sens : V en L, n en mol, c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Ne pas confondre égalité et proportion

Pour $2A + 3B \rightarrow \dots$, des quantités égales de A et B ne sont pas stœchiométriques. Il faut $n_{A,0}/2 = n_{B,0}/3$. Par exemple 4 mmol de A et 6 mmol de B conviennent.



POINT DE VIGILANCE Stœchiométrique ne veut pas dire totale

La composition initiale et l'état final sont deux informations distinctes. Un mélange stœchiométrique peut subir une transformation non totale : il restera alors les deux réactifs.



À TOI DE JOUER Rechercher un rapport

Pour $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$, combien de mol de dihydrogène faut-il pour 0,40 mol de diazote en proportions stœchiométriques ?

Réponse pour te vérifier : 1,20 mol. Cela ne préjuge pas de la totalité réelle de la transformation.

I · SAVOIR-FAIRE 5

Distinguer final et maximal

La limite du stock n'est pas toujours atteinte.



DÉFINITION Transformation non totale

Une transformation est non totale lorsque $x_f < x_{\max}$, avec les deux avancements dans la même unité. Les réactifs ne sont pas épuisés dans le bilan de la réaction considérée.

Un modèle avec un état final mesuré

On étudie $A(aq) + B(aq) \rightarrow C(aq) + D(aq)$, représentation d'un bilan dans le sens étudié. Initialement : 10,0 mmol de A, 15,0 mmol de B, aucun produit. À l'état final établi expérimentalement, il y a 6,0 mmol de C.



SAVOIR-FAIRE Partir du produit mesuré

- 1 • Déterminer la limite théorique. $x_{\max} = \min(10,0; 15,0) = 10,0$ mmol.
- 2 • Déduire l'avancement final. $n_f(C) = 0 + x_f$, donc $x_f = 6,0$ mmol.
- 3 • Comparer. $6,0 < 10,0$: la transformation est non totale.
- 4 • Compléter le bilan. $n_f(A) = 4,0$ mmol, $n_f(B) = 9,0$ mmol, $n_f(C) = n_f(D) = 6,0$ mmol.

Une mesure en cours ne suffit pas

Si on mesure la même quantité de C après dix secondes sans savoir si la transformation est terminée, on connaît seulement $x(10\text{ s})$. On ne peut pas conclure qu'elle est non totale : elle peut encore évoluer.



POINT DE VIGILANCE Une limite ne se calcule pas à partir du produit seul

$x_{\max}$ vient des stocks de réactifs et de leurs coefficients. x_f vient de la totalité admise ou d'une information sur l'état final. Garde ces deux sources d'information séparées.



À TOI DE JOUER Un coefficient deux

Si $2A \rightarrow 3B$, avec $n_0(B) = 0$ et $n_f(B) = 9$ mmol, que vaut x_f ?

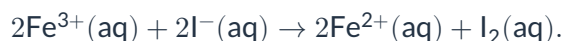
Réponse pour te vérifier : $n_f(B) = 3x_f$, donc $x_f = 3$ mmol.

I • SAVOIR-FAIRE 6

Mélanger deux solutions

Calculer les stocks avant de calculer les concentrations finales.

On mélange 30,0 mL d'iodure à $0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et 20,0 mL d'ions fer(III) à $0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La réaction considérée est totale :



1 • Avant le mélange. $n_0(\text{I}^{-}) = c_I V_I = 3,00 \text{ mmol}$ et $n_0(\text{Fe}^{3+}) = c_F V_F = 2,00 \text{ mmol}$.

Unités et sens : Dans $n = cV$, n en mol, c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, V en L ; chaque volume est celui de sa solution avant mélange.

2 • Comparer les épuisements. $x_{\max} = \min(3,00/2; 2,00/2) = 1,00 \text{ mmol}$. Les ions fer(III) sont limitants.

3 • Faire le bilan. On obtient $n_f(\text{I}^{-}) = 1,00 \text{ mmol}$, $n_f(\text{Fe}^{3+}) = 0$, $n_f(\text{Fe}^{2+}) = 2,00 \text{ mmol}$ et $n_f(\text{I}_2) = 1,00 \text{ mmol}$.

4 • Diviser par le volume final. On suppose les volumes additifs : $V_f = 50,0 \text{ mL} = 0,0500 \text{ L}$. Ainsi

$$[\text{Fe}^{2+}]_f = \frac{n_f(\text{Fe}^{2+})}{V_f} = \frac{2,00 \times 10^{-3}}{0,0500} = 0,0400 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Unités et sens : Dans $[X]_f = n_f(X)/V_f$, concentration en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, quantité en mol et volume du mélange final en L.



POINT DE VIGILANCE Deux volumes ont deux rôles

Pour les stocks initiaux, on utilise le volume de chaque solution versée. Pour une concentration finale, on utilise le volume final total. L'ancienne concentration d'une solution n'est pas celle du mélange après réaction.



À TOI DE JOUER Terminer le bilan

Calcule $[\text{I}^{-}]_f$ et $[\text{I}_2]_f$.

Réponse pour te vérifier : Les deux valent $1,00 \times 10^{-3}/0,0500 = 0,0200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

I · SAVOIR-FAIRE 7

Revenir à une masse ou à un volume

Le tableau donne des moles ; la question peut demander autre chose.



SAVOIR-FAIRE Masse de métal formé

Dans l'exemple cuivre/ions argent, $n_f(\text{Ag}) = 6,00 \text{ mmol}$. Avec $M(\text{Ag}) = 107,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$:

$$m(\text{Ag}) = n_f(\text{Ag})M(\text{Ag}) = 6,00 \times 10^{-3} \times 107,9 \simeq 0,647 \text{ g}.$$

Unités et sens : m en g, n_f en mol, M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Un gaz produit par détartrage

Le carbonate de calcium réagit avec les ions hydrogène selon



Pour $n_0(\text{CaCO}_3) = 5,00 \text{ mmol}$ et $n_0(\text{H}^+) = 8,00 \text{ mmol}$, on compare 5,00 et $8,00/2 = 4,00$. La transformation étant totale, $x_f = 4,00 \text{ mmol}$ et $n_f(\text{CO}_2) = 4,00 \text{ mmol}$ si le gaz est absent au départ.

$$V(\text{CO}_2) = n_f(\text{CO}_2)V_m = 4,00 \times 10^{-3} \times 24,0 = 0,0960 \text{ L}.$$

Unités et sens : V en L ; n_f en mol ; $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ aux conditions de l'énoncé. Le volume produit vaut 96,0 mL.



POINT DE VIGILANCE Un volume de gaz dépend des conditions

On ne prend pas automatiquement $24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$: cette valeur doit être donnée ou justifiée. Le gaz recueilli peut aussi différer du gaz produit si une partie se dissout ou s'échappe.



À TOI DE JOUER Retour au solide

Combien reste-t-il de carbonate de calcium ? Avec $M = 100,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, quelle masse cela représente-t-il ?

Réponse pour te vérifier : 1,00 mmol, donc $m = nM = 0,100 \text{ g}$.

I · SAVOIR-FAIRE 8

Retrouver une donnée inconnue

Faire le chemin du produit final vers l'état initial.

On étudie un échantillon de 0,800 g contenant du carbonate de calcium et des matières inertes. Il est mis en présence d'un acide en excès. À la fin, il a produit 168 mL de dioxyde de carbone. La réaction précédente est totale et tout le gaz produit est mesuré. On donne $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{CaCO}_3) = 100,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.



SAVOIR-FAIRE Une chaîne de grandeurs

1 · Du volume aux moles de gaz.

$$n_f(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{0,168}{24,0} = 7,00 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

V en L, V_m en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$, n_f en mol.

2 · Du gaz à l'avancement. Le coefficient de CO_2 vaut 1 : $x_f = n_f(\text{CO}_2) = 7,00 \text{ mmol}$.

3 · De l'avancement au réactif initial. L'acide est en excès et la réaction totale : tout le carbonate a réagi. Donc $n_0(\text{CaCO}_3) = x_f = 7,00 \text{ mmol}$.

4 · De la quantité à la teneur. La masse de carbonate vaut $m = nM = 0,00700 \times 100,0 = 0,700 \text{ g}$. La fraction massique est

$$w = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m_{\text{échantillon}}} = \frac{0,700}{0,800} = 0,875.$$

w est sans dimension ; les deux masses sont en g. La teneur est donc 87,5 %.



Vérifier. La masse de carbonate est inférieure à la masse totale : le résultat est admissible. Une teneur supérieure à 100 % signifierait une erreur ou des hypothèses inadaptées.



À TOI DE JOUER Identifier l'hypothèse utile

Quelle étape deviendrait fautive si l'acide était limitant ?

Réponse pour te vérifier : L'étape 3 : le carbonate n'aurait pas entièrement réagi ; le gaz ne renseignerait pas directement sur tout le carbonate initial.

I · SAVOIR-FAIRE 9

Dissolution et ions spectateurs

Les coefficients restent utiles même sans deux réactifs à comparer.

On dissout totalement du chlorure de calcium anhydre dans l'eau. L'équation est



Pour n_0 mol de solide et aucun de ces ions au départ : $n(\text{CaCl}_2) = n_0 - x$, $n(\text{Ca}^{2+}) = x$, $n(\text{Cl}^{-}) = 2x$. Toutes ces grandeurs sont en mol. Si la dissolution est totale, $x_f = n_0$. Dans un volume final V :

$$c_{\text{apportée}} = \frac{n_0}{V}, \quad [\text{Ca}^{2+}] = \frac{n_0}{V} = c_{\text{apportée}}, \quad [\text{Cl}^{-}] = \frac{2n_0}{V} = 2c_{\text{apportée}}.$$

Unités et sens : n_0 en mol, V en L, toutes les concentrations en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



SAVOIR-FAIRE Application numérique

Pour $n_0 = 5,00 \text{ mmol}$ et $V = 250 \text{ mL} = 0,250 \text{ L}$:

$$c_{\text{apportée}} = 0,0200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \quad [\text{Cl}^{-}] = 0,0400 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Les deux ions n'ont pas la même concentration : il y a deux fois plus d'ions chlorure que d'ions calcium.

Spectateur ne veut pas dire absent

Lors d'une réaction entre ions, les contre-ions présents dans les solutions peuvent ne pas être consommés. Leur quantité reste alors égale à la quantité introduite, mais leur concentration peut changer à cause du volume du mélange.



POINT DE VIGILANCE Ne pas généraliser la dissolution totale

Un solide peu soluble peut rester au fond. L'égalité $x_f = n_0$ exige la dissolution totale annoncée ou établie. Ce chapitre utilise cette situation comme réinvestissement ; l'étude détaillée de la dissolution viendra ensuite.



À TOI DE JOUER Un coefficient trois

Pour une dissolution totale de AlCl_3 à une concentration apportée $0,0100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, que vaut $[\text{Cl}^{-}]$ dans ce modèle ionique ?

Réponse pour te vérifier : $0,0300 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, avec trois ions chlorure par entité dissoute.

I · SAVOIR-FAIRE 10

Automatiser sans perdre le sens

Le programme doit appliquer un modèle que tu sais expliquer.

Pour $aA + bB \rightarrow pP$, transformation totale avec produit initialement absent :

```
def bilan_total(nA, a, nB, b, p):
    # Quantités et avancement en mol
    x = min(nA/a, nB/b)
    reste_A = nA - a*x
    reste_B = nB - b*x
    produit_P = p*x
    return x, reste_A, reste_B, produit_P

print(bilan_total(0.004, 1, 0.006, 2, 2))
```

Le programme retourne, à l'arrondi informatique près, (0,003; 0,001; 0; 0,006) en mol : avancement final, cuivre restant, ions argent restants, argent produit. Le coefficient $p = 2$ correspond ici à l'argent; le programme ne liste pas l'autre produit.



SAVOIR-FAIRE Trois tests qui ont un sens

1. Choisis A limitant : le reste de A doit être nul et celui de B positif.
2. Choisis B limitant : l'inverse doit se produire.
3. Choisis un mélange stœchiométrique : les deux restes doivent être nuls.



POINT DE VIGILANCE Les hypothèses ne sont pas vérifiées par la machine

Les quantités initiales doivent être positives ou nulles; les coefficients, strictement positifs. Le programme suppose la transformation totale. Il ne démontre ni l'équilibrage de l'équation ni la totalité.

La méthode complète en une phrase

Déterminer les stocks, écrire leurs évolutions, identifier la borne d'avancement, déterminer l'état final, puis répondre dans la grandeur demandée.



À TOI DE JOUER Détecter une faute

Pourquoi remplacer `min` par `max` donne-t-il généralement un résultat impossible?

Réponse pour te vérifier : On poursuit après le premier épuisement : au moins une quantité restante devient négative, sauf mélange exactement stœchiométrique.

II • EXERCICES

Installer les bases

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

1 Préparer les quantités

Bases

Calcule les quantités initiales.

1. 0,130 g de zinc, $M = 65,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
2. 40,0 mL d'une solution à $0,150 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
3. 120 mL d'un gaz, avec $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Exprime chaque réponse en mol puis en mmol.

[Correction 1](#)

2 Lire les coefficients

Bases

Pour $2\text{Al(s)} + 3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{Cu(s)}$, indique les quantités consommées et formées quand $x = 0,40 \text{ mmol}$. Contrôle les charges de l'équation.

[Correction 2](#)

3 Compléter une ligne

Bases

Pour le modèle $2\text{A} + \text{B} \rightarrow 3\text{C}$, les quantités initiales sont 8 mmol de A, 5 mmol de B et 0 de C. Écris les quantités à l'avancement x , puis calcule-les pour $x = 2 \text{ mmol}$.

[Correction 3](#)

4 Un produit au départ

Bases

Pour $\text{A} + 2\text{B} \rightarrow \text{C}$, on introduit 6 mmol de A, 10 mmol de B et 2 mmol de C. Écris le tableau littéral. Quelle quantité de C trouve-t-on pour $x = 3 \text{ mmol}$?

[Correction 4](#)

II · EXERCICES

Entraînement · 5 à 8

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

5 Le plus petit stock?

Limitant

On considère la transformation totale $2A + 3B \rightarrow C$, avec $n_{A,0} = 4,0 \text{ mmol}$, $n_{B,0} = 5,0 \text{ mmol}$ et C absent. Identifie le limitant et donne les quantités finales. Explique pourquoi comparer seulement 4 et 5 serait trompeur.

[Correction 5](#)

6 Tableau complet : cuivre et argent

Application

La réaction $\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$ est totale. Les stocks initiaux sont 3,00 mmol de cuivre et 8,00 mmol d'ions argent; les produits sont absents. Dresse le tableau complet et donne le bilan final.

[Correction 6](#)

7 Un mélange stœchiométrique

Application

Pour $\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$, on introduit 2,50 mmol de cuivre et 5,00 mmol d'ions argent, sans produits initialement présents. Justifie que le mélange est stœchiométrique, puis calcule le bilan si la réaction est totale.

[Correction 7](#)

8 Un tableau impossible

Diagnostic

Pour $A + 2B \rightarrow C$, les stocks initiaux sont 3 mmol et 4 mmol. Un élève choisit $x_f = 3 \text{ mmol}$ et obtient $n_{A,f} = 0$, $n_{B,f} = -2 \text{ mmol}$, $n_{C,f} = 3 \text{ mmol}$. Explique l'erreur et corrige si la transformation est totale et C absent au départ.

[Correction 8](#)

II • EXERCICES

Entraînement · 9 à 12

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

9 Avancement à partir d'un produit

Mesure

Pour $2A + B \rightarrow 3C$, C est absent initialement. Une mesure donne $n_C = 7,50$ mmol. Détermine l'avancement et les quantités consommées de A et B. Peut-on parler de x_f sans autre information?

[Correction 9](#)

10 Totale ou non totale?

Raisonner

Pour $A + B \rightarrow C$, on a initialement 8,00 mmol de A, 12,0 mmol de B et aucun C. À l'état final établi, $n_{C,f} = 5,00$ mmol. Détermine $x_{\max}$, x_f et les restes. Conclue.

[Correction 10](#)

11 Retrouver x_f à partir d'un reste

Inverse

Pour $2A + 3B \rightarrow C$, $n_{A,0} = 10,0$ mmol et $n_{B,0} = 18,0$ mmol. À la fin, il reste 4,00 mmol de A. C était absent. Détermine x_f , le bilan et la totalité ou non de la transformation.

[Correction 11](#)

12 Prévoir un volume à verser

Protocole

On veut faire réagir stœchiométriquement 0,127 g de cuivre avec une solution d'ions argent.

Sa concentration est $0,0800 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On donne $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et l'équation $\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$. Calcule le volume nécessaire.

[Correction 12](#)

II • EXERCICES

Entraînement · 13 à 16

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

13 Une masse de métal déposée

Application

La réaction totale $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$ met en jeu 0,260 g de zinc et 25,0 mL d'ions cuivre(II) à $0,120 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Calcule le limitant et la masse de cuivre formée. $M(\text{Zn}) = 65,0$, $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ en g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

[Correction 13](#)

14 Mélanger puis réagir

Application

On mélange 20,0 mL d'ions fer(III) à $0,150 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et 40,0 mL d'ions iodure à $0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Réaction totale : $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^{-} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$, espèces aqueuses. Détermine le bilan puis $[\text{Fe}^{2+}]_f$; volumes additifs.

[Correction 14](#)

15 Les ions spectateurs restent là

Raisonner

Dans l'exercice 14, les ions fer(III) proviennent de FeCl_3 et les iodures de KI, entièrement dissociés. Calcule les quantités et concentrations finales de Cl^{-} et K^{+} . Ces ions figurent-ils dans l'équation de réaction?

[Correction 15](#)

16 Trois réactifs à comparer

Approfondir

Pour $\text{MnO}_4^{-} + 5\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^{+} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 5\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$, les espèces dissoutes sont aqueuses et l'eau liquide. Les stocks sont respectivement 1,00, 4,00 et 20,0 mmol. Dans ce modèle supposé total, identifie le limitant et calcule les quantités finales des trois réactifs.

[Correction 16](#)

II · EXERCICES

Entraînement · 17 à 18

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

17 Un volume de gaz

Application

On fait réagir totalement 0,500 g de carbonate de calcium avec 8,00 mmol d'ions hydrogène : $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$. Calcule le volume de gaz produit, avec $M = 100,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

[Correction 17](#)**18** Combustion dans un modèle fermé

Application

La combustion complète du méthane est modélisée par $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$. On introduit 0,300 mol de méthane et 0,500 mol de dioxygène. Dans ce modèle total ne formant que les produits indiqués, détermine le bilan final.

[Correction 18](#)

II • EXERCICES

Entraînement · 19 à 22

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

19 Dissoudre un solide ionique

Réinvestir

On dissout totalement 1,11 g de $\text{CaCl}_2(\text{s})$ anhydre pour obtenir 200 mL de solution. $M = 111 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Écris l'équation, puis calcule les quantités et concentrations de chaque ion dans le modèle de dissociation totale.

[Correction 19](#)

20 Équation multipliée, même système

Raisonner

On décrit un même système par $\text{A} + 2\text{B} \rightarrow \text{C}$ ou par $2\text{A} + 4\text{B} \rightarrow 2\text{C}$. Avec 3 mmol de A et 8 mmol de B, compare les avancements maximaux et les bilans finaux des deux écritures, pour une transformation totale sans C initial.

[Correction 20](#)

21 Lire trois droites

Graphique

Les quantités d'un système suivent $n_A = 6 - 2x$, $n_B = 5 - x$, $n_C = 3x$, toutes en mmol. Identifie les coefficients de la réaction, les quantités initiales, le domaine physique de x et le bilan final si la transformation est totale. Trace les trois droites sur ce domaine.

[Correction 21](#)

22 Un dosage pour suivre la fin

Mesure

Pour un modèle $\text{A} \rightarrow \text{P}$, A et P sont dissous, P initialement absent. On dispose de $n_{\text{A},0} = 0,100 \text{ mmol}$ dans $V = 100 \text{ mL}$ constant. À l'état final, l'absorbance de P vaut 0,480. L'étalonnage donne $A = kc$ avec $k = 800 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Calcule x_f et conclus sur la totalité.

[Correction 22](#)

II • EXERCICES

Entraînement · 23 à 24

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

23 Un programme qui choisit mal

Python

Pour $2A + 3B \rightarrow C$, un code utilise $x = \max(nA/2, nB/3)$. Avec $nA=0.004$ et $nB=0.009$ en mol, calcule sa sortie et un reste. Corrige le code puis donne le vrai bilan total.

[Correction 23](#)**24** Comparer deux préparations

Choisir

Pour $A + 2B \rightarrow P$, transformation totale, on compare deux préparations : lot I, 6 mmol de A et 8 mmol de B ; lot II, 5 mmol de A et 12 mmol de B. P est absent. Quel lot forme le plus de produit ? Quel ajout minimal permet au lot I de consommer tout son A ?

[Correction 24](#)

II • EXERCICES

Entraînement · 25 à 26

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

25 Mesurer la pureté d'une poudre

Synthèse

Une poudre de 0,750 g contient du carbonate de calcium et un constituant inerte. Un acide en excès provoque une transformation totale et produit 144 mL de CO_2 . Tout le gaz produit est mesuré. Utilise l'équation de l'exercice 17, $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{CaCO}_3) = 100,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Retrouve la quantité initiale de carbonate.
2. Calcule sa fraction massique et la masse de constituant inerte.
3. Explique l'effet d'une perte de gaz sur la pureté calculée.

Correction 25

26 Une solution inconnue et un métal

Problème inverse

Une lame de cuivre en excès réagit totalement avec 25,0 mL d'une solution d'ions argent de concentration inconnue. On récupère et sèche 0,216 g d'argent, sans perte ni impureté. $M(\text{Ag}) = 108 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Écris le bilan de réaction.
2. Retrouve la concentration initiale en ions argent.
3. Calcule la quantité de cuivre consommée.
4. Pourquoi la mention « cuivre en excès » est-elle essentielle?

Correction 26

II · EXERCICES

Entraînement · 27 à 28

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

27 Après dilution puis réaction

Synthèse

Une solution mère d'ions fer(II) à $0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ est diluée dix fois. On prélève 25,0 mL de la solution fille et on ajoute 10,0 mL d'ions permanganate à $0,0150 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, en milieu suffisamment acide. On utilise la réaction de l'exercice 16, supposée totale; les ions hydrogène sont en excès.

1. Calcule les stocks des deux autres réactifs.
2. Fais leur bilan final.
3. Une coloration due au permanganate peut-elle subsister?

[Correction 27](#)**28** Produire une quantité imposée

Dimensionner

Dans le modèle $2A + 3B \rightarrow 2P$, la transformation est totale. On souhaite produire 8,00 mmol de P, initialement absent, sans reste de réactifs.

1. Détermine l'avancement final et les quantités initiales nécessaires.
2. A est un solide de masse molaire $50,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; B est en solution à $0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Calcule la masse de A et le volume de solution B.
3. Quel volume de solution B faudrait-il avec un excès de 10 % par rapport au besoin stœchiométrique?

[Correction 28](#)

II • EXERCICES

Entraînement · 29 à 30

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

29 Un produit récupéré en quantité trop faible

Audit expérimental

La réaction totale $A + B \rightarrow P$ part de 10,0 mmol de A et 15,0 mmol de B ; P est absent. On isole seulement 8,00 mmol de produit sec. Un élève conclut : « $x_f = 8,00$ mmol, donc la réaction n'était pas totale. » Explique pourquoi cette conclusion n'est pas justifiée et propose deux contrôles expérimentaux utiles.

[Correction 29](#)**30** Un calcul en mmol dans Python

Numérique

Écris une fonction Python donnant $(x_f, n_{A,f}, n_{B,f}, n_{P,f})$ pour $2A + B \rightarrow 3P$, transformation totale et produit absent. Toutes les entrées et sorties sont en mmol. Teste les stocks (6; 5), (8; 2) et (4; 2). Explique le rôle de chaque test.

[Correction 30](#)

II · EXERCICES

Entraînement · 31 à 32

Identifie les espèces, garde les coefficients et précise les unités.

31 Reconstituer les stocks

Problème inverse

Pour $A + 2B \rightarrow 3C$, C est absent au départ. À la fin d'une transformation totale, il y a 1,00 mmol de A, aucun B et 12,0 mmol de C.

1. Retrouve x_f et les stocks initiaux.
2. Vérifie le limitant par les rapports d'épuisement.
3. On recommence avec les mêmes stocks mais on ajoute 2,00 mmol de B avant la réaction. Donne le nouveau bilan total.

Correction 31

32 Bilan complet et contrôle qualité

Bilan

Une lame contient 0,325 g de zinc pur. On la plonge dans 40,0 mL de solution de sulfate de cuivre(II) à $0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La réaction $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$ est totale. Le volume reste 40,0 mL. On donne $M(\text{Zn}) = 65,0$ et $M(\text{Cu}) = 63,5$ en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Dresse le tableau et détermine le bilan final.
2. Calcule la masse de zinc restant et de cuivre produit.
3. Calcule $[\text{Zn}^{2+}]_f$ et $[\text{SO}_4^{2-}]_f$.
4. On récupère 0,240 g de dépôt sec annoncé comme du cuivre pur. Est-ce suffisant pour affirmer que la transformation n'était pas totale?

Correction 32

II · PROBLÈMES LONGS

Construire puis exploiter le tableau

Les données expérimentales deviennent d'abord des quantités initiales.

33 Zinc et ions cuivre(II) : du tableau au dépôt

Problème guidé · 9 questions

On plonge 0,325 g de zinc dans 40,0 mL d'une solution de sulfate de cuivre(II) à $0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On modélise la transformation, supposée totale, par $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$. Le volume reste 40,0 mL. Données : $M(\text{Zn}) = 65,0$ et $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Calcule les deux quantités initiales et nomme les ions spectateurs.
2. Dresse le tableau d'avancement complet.
3. Calcule les deux valeurs possibles d'épuisement et identifie le limitant.
4. Détermine x_{max} puis le bilan final.
5. Calcule la masse de zinc restante et la masse théorique de cuivre formée.
6. Calcule les concentrations finales de Zn^{2+} , Cu^{2+} et SO_4^{2-} .
7. Vérifie l'électroneutralité de la solution finale.
8. Le dépôt sec récupéré pèse 0,230 g. Calcule la proportion de la masse théorique récupérée.
9. Cette mesure suffit-elle à conclure que la transformation n'était pas totale? Propose deux vérifications.

Correction 33

34 Combustion d'une cartouche de propane

Problème guidé · 9 questions

Dans un modèle fermé, la combustion complète du propane est décrite par



On introduit 8,80 g de propane et 120 L de dioxygène. On donne $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44,0$, $M(\text{O}_2) = 32,0$, $M(\text{CO}_2) = 44,0$, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour les gaz dans les conditions étudiées.

1. Vérifie l'équilibrage de l'équation.
2. Calcule les quantités initiales de propane et de dioxygène.
3. Dresse le tableau d'avancement.
4. Compare les rapports d'épuisement et identifie le limitant.
5. Détermine l'état final dans le modèle total.
6. Calcule le volume et la masse de dioxyde de carbone formé.
7. Calcule la quantité et la masse d'eau formée.
8. Calcule la quantité et la masse de dioxygène restant.
9. Vérifie la conservation de la masse pour le système fermé, puis explique pourquoi cette vérification serait impossible avec la seule masse d'une cartouche brûlée à l'air libre.

Correction 34

II · PROBLÈMES LONGS

Mesurer un gaz pour remonter à un solide

La quantité recueillie n'est interprétable qu'avec l'équation et les hypothèses du montage.

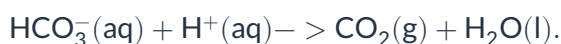
35 Déterminer la composition d'un comprimé effervescent

Problème inverse · 8 questions

Un comprimé de masse 2,50 g contient de l'hydrogénocarbonate de sodium NaHCO_3 et un constituant inerte. On le place dans 100,0 mL d'une solution d'ions hydrogène, de concentration

$$c(\text{H}^+) = 0,300 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

La transformation est supposée totale :



On recueille 480 mL de dioxyde de carbone. Tout le gaz formé est supposé recueilli. On donne $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{NaHCO}_3) = 84,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Calcule la quantité initiale d'ions hydrogène.
2. Convertis le volume de gaz en quantité de dioxyde de carbone.
3. Déduis l'avancement final et la quantité initiale d'hydrogénocarbonate.
4. Vérifie que les ions hydrogène étaient en excès.
5. Calcule la masse d'hydrogénocarbonate dans le comprimé.
6. Détermine sa fraction et son pourcentage massiques, puis la masse de constituant inerte.
7. Dresse le bilan final des espèces de l'équation.
8. Prévois le sens de l'erreur sur la fraction massique calculée si une partie du gaz s'échappe sans être recueillie.

Correction 35

36 Aluminium et solution de sulfate de cuivre

Mélange stœchiométrique · 8 questions

On introduit 0,270 g d'aluminium dans 50,0 mL d'une solution de sulfate de cuivre(II) à $0,300 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La transformation est totale et le volume reste constant : $2\text{Al(s)} + 3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{Cu(s)}$. Données : $M(\text{Al}) = 27,0$ et $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Calcule les quantités initiales d'aluminium et d'ions cuivre(II).
2. Dresse le tableau d'avancement.
3. Compare les rapports quantité/coefficient.
4. Caractérise le mélange initial et détermine x_{max} .
5. Calcule le bilan final.
6. Détermine la masse de cuivre formée et la masse d'aluminium restante.
7. Calcule les concentrations finales des ions aluminium et sulfate.
8. Vérifie l'électroneutralité et explique pourquoi les ions sulfate, bien que spectateurs, interviennent dans ce contrôle.

Correction 36

II · PROBLÈMES LONGS

Comparer trois réactifs et résoudre un problème inverse

Un même avancement modifie toutes les colonnes du tableau.

37 Permanganate, fer(II) et ions hydrogène

Trois réactifs · 8 questions

On étudie la transformation totale $\text{MnO}_4^- + 5\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 5\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$. Le mélange initial contient 2,00 mmol de permanganate, 8,00 mmol de fer(II) et 20,0 mmol d'ions hydrogène. Les produits sont absents.

1. Associe à chaque réactif l'expression de sa quantité en cours de transformation.
2. Calcule les trois rapports d'épuisement.
3. Identifie le limitant et détermine $x_{\max}$.
4. Calcule les quantités finales des trois réactifs.
5. Calcule les quantités formées d'ions manganèse(II), fer(III) et d'eau.
6. Vérifie que toutes les quantités finales sont positives ou nulles.
7. Si le volume de solution vaut 100,0 mL et reste constant, calcule les concentrations finales des quatre espèces ioniques redox du bilan.
8. Une couleur due au permanganate doit-elle subsister dans ce modèle? Justifie à partir du bilan, puis indique une limite d'une conclusion uniquement visuelle.

Correction 37

38 Reconstituer un état initial

Problème inverse · 8 questions

La transformation totale est modélisée par $2A + B \rightarrow 3C$. À l'état final, on mesure 2,00 mmol de A, aucun B et 18,0 mmol de C. Le mélange initial contenait déjà 3,00 mmol de C.

1. Écris les expressions littérales des quantités finales.
2. Utilise la quantité de C pour retrouver x_f .
3. Détermine les quantités initiales de A et B.
4. Vérifie le limitant par les rapports d'épuisement.
5. Dresse le tableau reconstitué et contrôle le bilan final.
6. On recommence avec les mêmes quantités initiales, mais on ajoute 3,00 mmol de B. Identifie le nouveau limitant.
7. Donne le nouveau bilan final, sans oublier le C initial.
8. Explique pourquoi la présence initiale d'un produit ne change pas les rapports d'épuisement des réactifs dans ce modèle, mais change sa quantité finale.

Correction 38

II · PROBLÈMES LONGS

Distinguer avancement final et maximal

Une mesure du produit peut montrer que l'état final n'atteint pas le maximum prévu.

39 Suivre une transformation par absorbance

Transformation non totale · 9 questions

Dans 100,0 mL de solution, on introduit 0,200 mmol d'une espèce A. Le produit coloré P est absent au départ et la transformation est modélisée par $A \rightarrow P$. Le volume reste constant. Pour P, $A_{\text{abs}} = k[P]$ avec $k = 500 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. L'absorbance se stabilise à 0,750.

1. Dresse le tableau d'avancement.
2. Détermine x_{max} dans le modèle.
3. Calcule la concentration finale de P à partir de l'absorbance.
4. Dédus la quantité finale de P et l'avancement final x_f .
5. Calcule les quantités finales de A et de P.
6. Compare x_f et x_{max} , puis calcule le taux d'avancement final x_f/x_{max} .
7. Quelle absorbance aurait-on obtenue si la transformation avait été totale dans les mêmes conditions?
8. Donne deux causes expérimentales d'une absorbance trop faible.
9. Quelle hypothèse permet de convertir directement cette mesure en avancement?

Correction 39

40 Contrôler la pureté d'une poudre calcaire

Bilan de chapitre · 10 questions

Une poudre de masse 1,00 g contient du carbonate de calcium CaCO_3 et une impureté inerte. On ajoute 60,0 mL d'une solution apportant $0,400 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ d'ions hydrogène. La transformation est supposée totale : $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$. On recueille 216 mL de dioxyde de carbone. Le montage est supposé étanche et tout le gaz formé est recueilli. Données : $M(\text{CaCO}_3) = 100,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Le cahier des charges exige au moins 92,0 % de carbonate.

1. Calcule la quantité initiale d'ions hydrogène.
2. Calcule la quantité de gaz recueillie.
3. Déduis x_f et la quantité initiale de carbonate dans les hypothèses données.
4. Calcule la masse et le pourcentage massique de carbonate.
5. Détermine la masse d'impureté.
6. Vérifie que les ions hydrogène étaient en excès.
7. Calcule les quantités finales de carbonate, d'ions hydrogène et d'ions calcium.
8. Calcule le volume de gaz qu'aurait fourni une poudre pure de même masse.
9. Statue sur le cahier des charges dans le cadre du modèle.
10. Explique comment une fuite de gaz modifierait le pourcentage calculé et pourquoi la conclusion commerciale exige aussi une évaluation des incertitudes.

Correction 40

III • CORRECTIONS

Des bilans expliqués

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.



SAVOIR-FAIRE Le fil à reproduire au contrôle

Vérifie l'équation, convertis les stocks initiaux dans une même unité puis écris la ligne $n_i + \nu_i x$. Compare tous les avancements d'épuisement : leur minimum donne $x_{\max}$. N'écris $x_f = x_{\max}$ que si la transformation est annoncée totale. Termine en contrôlant que chaque quantité finale est positive ou nulle et que les éléments sont conservés.

1 Préparer les quantités

Énoncé

- On utilise $n = m/M$, avec m en g, M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et n en mol : $n = 0,130/65,0 = 0,00200 \text{ mol} = 2,00 \text{ mmol}$.
- Dans $n = cV$, c est en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et V doit être en L. Donc $n = 0,150 \times 0,0400 = 0,00600 \text{ mol} = 6,00 \text{ mmol}$.
- Dans $n = V/V_m$, $V = 0,120 \text{ L}$. Ainsi $n = 0,120/24,0 = 0,00500 \text{ mol} = 5,00 \text{ mmol}$, pour les conditions de température et de pression données.

2 Lire les coefficients

Énoncé

Chaque variation vaut le coefficient multiplié par x , négativement pour les réactifs. Il est consommé $2x = 0,80 \text{ mmol}$ d'aluminium et $3x = 1,20 \text{ mmol}$ d'ions cuivre(II). Il se forme $2x = 0,80 \text{ mmol}$ d'ions aluminium et $3x = 1,20 \text{ mmol}$ de cuivre. L'avancement et les quantités sont ici en mmol. Ce sont des quantités transformées ; les quantités restantes exigeraient de connaître les stocks initiaux. La charge de gauche vaut $3 \times (+2) = +6$, celle de droite $2 \times (+3) = +6$, en unités de charge élémentaire pour le bilan d'entités. Les éléments sont aussi conservés.



Vérifier. Les quantités consommées et formées ne sont pas les stocks restants. Sans quantités initiales, on ne peut compléter que les variations, pas l'état final.

III • CORRECTIONS

Corrections · 3 et 4

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

3 Compléter une ligne

Énoncé

On retire le coefficient multiplié par x aux réactifs et on l'ajoute au produit : $n_A = 8 - 2x$, $n_B = 5 - x$, $n_C = 3x$, avec toutes les quantités et x en mmol. Pour $x = 2$ mmol : $n_A = 8 - 4 = 4$ mmol, $n_B = 5 - 2 = 3$ mmol, $n_C = 6$ mmol.



Vérifier. Aucun stock n'est négatif. Les 4 mmol de A consommées correspondent à deux fois les 2 mmol de B consommées, conformément à l'équation.

4 Un produit au départ

Énoncé

Le produit C n'est pas absent initialement. Il faut conserver ses 2 mmol et leur ajouter x .

État	x	A	B	C
Initial	0	6	10	2
En cours	x	$6 - x$	$10 - 2x$	$2 + x$
Final	x_f	$6 - x_f$	$10 - 2x_f$	$2 + x_f$

Toutes les cases sont en mmol. Pour $x = 3$ mmol, la quantité de C est $2 + 3 = 5$ mmol. On en a formé 3 mmol, mais la quantité présente est 5 mmol.

III • CORRECTIONS

Corrections · 5 et 6

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

5 Le plus petit stock?

Énoncé

L'épuisement de A demanderait $x = 4,0/2 = 2,0$ mmol. Celui de B demanderait $x = 5,0/3 \simeq 1,67$ mmol. Le premier épuisé est donc B, pourtant présent en quantité initiale plus grande. Comme la transformation est totale, $x_f = x_{\max} = 5/3$ mmol. Alors $n_{A,f} = 4 - 2(5/3) = 2/3$ mmol $\simeq 0,67$ mmol, $n_{B,f} = 0$ et $n_{C,f} = 5/3$ mmol $\simeq 1,67$ mmol. On compare les stocks *divisés par leurs coefficients*. Les calculs intermédiaires en fractions évitent un petit reste négatif dû à l'arrondi.

6 Tableau complet : cuivre et argent

Énoncé

Les avancements d'épuisement sont $3,00/1 = 3,00$ mmol et $8,00/2 = 4,00$ mmol. Le cuivre est limitant et $x_f = x_{\max} = 3,00$ mmol.

État	x	Cu	Ag^+	Cu^{2+}	Ag
Initial	0	3	8	0	0
En cours	x	$3 - x$	$8 - 2x$	x	$2x$
Final	3	0	2	3	6

Toutes les cases sont en mmol. Il reste 2,00 mmol d'ions argent; il s'est formé 3,00 mmol d'ions cuivre(II) et 6,00 mmol d'argent. Les 8 mmol d'élément Ag initiales se retrouvent dans $2 + 6 = 8$ mmol à la fin.

III • CORRECTIONS

Corrections · 7 et 8

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

7 Un mélange stœchiométrique

Énoncé

Les rapports sont $2,50/1 = 2,50$ mmol et $5,00/2 = 2,50$ mmol. Ils sont égaux : les quantités initiales sont dans les proportions stœchiométriques. La totalité donne $x_f = 2,50$ mmol. Le cuivre restant vaut $2,50 - x_f = 0$ et les ions argent restants $5,00 - 2x_f = 0$. Si les produits étaient absents initialement, on forme 2,50 mmol d'ions cuivre(II) et 5,00 mmol d'argent.



Vérifier. Les deux réactifs s'annulent pour le même avancement. Sans hypothèse de totalité, on ne pourrait pas conclure qu'ils sont entièrement consommés.

8 Un tableau impossible

Énoncé

La quantité négative de B révèle un avancement impossible. Il fallait comparer $3/1 = 3$ et $4/2 = 2$, et retenir le plus petit : $x_{\max} = 2$ mmol. Pour une transformation totale, $x_f = 2$ mmol. Donc $n_{A,f} = 3 - 2 = 1$ mmol, $n_{B,f} = 4 - 4 = 0$ et $n_{C,f} = 2$ mmol. L'élève a implicitement supposé A limitant, sans tester l'épuisement de B. Un tableau ne doit jamais contenir une quantité négative ; c'est un contrôle immédiat de cohérence.

III · CORRECTIONS

Corrections · 9 et 10

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

9 Avancement à partir d'un produit

Énoncé

La relation est $n_C = 3x$, avec n_C et x en mmol. Donc $x = 7,50/3 = 2,50$ mmol. A a été consommé à hauteur de $2x = 5,00$ mmol, B à hauteur de $x = 2,50$ mmol. On ne peut pas appeler cette valeur x_f tant qu'on ne sait pas que la mesure décrit l'état final. Elle peut avoir été faite en cours de transformation. Le résultat exprime une progression, pas automatiquement une fin de réaction.

10 Totale ou non totale?

Énoncé

Le maximum permis par les stocks vaut $x_{\max} = \min(8,00; 12,0) = 8,00$ mmol. Comme C est absent au départ et de coefficient 1, $x_f = n_{C,f} = 5,00$ mmol. On a $x_f < x_{\max}$: la transformation est non totale. Il reste $n_{A,f} = 8,00 - 5,00 = 3,00$ mmol et $n_{B,f} = 12,0 - 5,00 = 7,00$ mmol. Ces restes sont positifs; aucun des réactifs n'a été épuisé. La conclusion dépend du fait que l'état *final* est établi, et non seulement observé à un instant choisi.

III • CORRECTIONS

Corrections · 11 et 12

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

11 Retrouver x_f à partir d'un reste

Énoncé

La ligne de A donne $n_{A,f} = n_{A,0} - 2x_f$, avec quantités et avancement en mmol. Donc $4 = 10 - 2x_f$, puis $2x_f = 6$ et $x_f = 3,00$ mmol. Il reste $18 - 3 \times 3 = 9,00$ mmol de B et il s'est formé 3,00 mmol de C. Le maximum est $\min(10/2; 18/3) = \min(5; 6) = 5,00$ mmol. Comme $3 < 5$, la transformation est non totale. La donnée « il reste 4 » ne doit pas être confondue avec « il s'est consommé 4 ».

12 Prévoir un volume à verser

Énoncé

D'abord, $n(\text{Cu}) = m/M = 0,127/63,5 = 0,00200$ mol (masse en g, masse molaire en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$). Les proportions imposent $n(\text{Ag}^+) = 2n(\text{Cu}) = 0,00400$ mol. Dans $n = cV$, on isole $V = n/c$:

$$V = \frac{0,00400}{0,0800} = 0,0500 \text{ L} = 50,0 \text{ mL}.$$

Les unités sont mol pour n , $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pour c et L pour V . On doit introduire 50,0 mL de cette solution, et non 25,0 mL : le facteur 2 vient de l'équation.

III • CORRECTIONS

Corrections · 13 et 14

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

13 Une masse de métal déposée

Énoncé

On calcule les quantités avant de comparer : $n_0(\text{Zn}) = m/M = 0,260/65,0 = 4,00 \text{ mmol}$; $n_0(\text{Cu}^{2+}) = cV = 0,120 \times 0,0250 = 3,00 \text{ mmol}$. Dans ces relations, m est en g, M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, V en L, puis on convertit les mol en mmol. Les coefficients valent 1 : les ions cuivre sont limitants et $x_f = 3,00 \text{ mmol}$. Donc $n_f(\text{Cu}) = 3,00 \text{ mmol}$ et

$$m(\text{Cu}) = n_f M = 0,00300 \times 63,5 = 0,1905 \text{ g} \simeq 0,191 \text{ g}.$$

Il reste 1,00 mmol de zinc. Le produit métallique doit être distingué du zinc restant si l'on réalise une séparation expérimentale.

14 Mélanger puis réagir

Énoncé

Avec $n = cV$ (mol , $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, L), on obtient $n_{F,0} = 0,150 \times 0,0200 = 3,00 \text{ mmol}$ et $n_{I,0} = 0,100 \times 0,0400 = 4,00 \text{ mmol}$. L'avancement maximal est $\min(3,00/2; 4,00/2) = 1,50 \text{ mmol}$. Les ions fer(III) sont limitants. À la fin : $n(\text{Fe}^{3+}) = 0$, $n(\text{I}^-) = 1,00 \text{ mmol}$, $n(\text{Fe}^{2+}) = 3,00 \text{ mmol}$, $n(\text{I}_2) = 1,50 \text{ mmol}$. Le volume final est 0,0600 L. Donc $[\text{Fe}^{2+}]_f = n_f/V_f = 0,00300/0,0600 = 0,0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, avec n_f en mol et V_f en L.

III • CORRECTIONS

Corrections · 15 et 16

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

15 Les ions spectateurs restent là

Énoncé

Les ions chlorure et potassium ne sont ni consommés ni formés dans la réaction donnée. Leurs quantités restent celles introduites. Il y a trois chlorures par ion fer(III), donc $n(\text{Cl}^-) = 3 \times 3,00 = 9,00 \text{ mmol}$. Il y a un potassium par iodure, donc $n(\text{K}^+) = 4,00 \text{ mmol}$. Pour chaque ion, $[X]_f = n(X)/V_f$, avec quantité en mol, volume en L et concentration en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Ainsi $[\text{Cl}^-]_f = 0,00900/0,0600 = 0,150 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[\text{K}^+]_f = 0,00400/0,0600 \simeq 0,0667 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Ils n'apparaissent pas dans le bilan ionique de réaction, mais appartiennent bien à la composition finale de la solution.

16 Trois réactifs à comparer

Énoncé

Il faut comparer *trois* épuisements : $1,00/1 = 1,00$, $4,00/5 = 0,800$ et $20,0/8 = 2,50 \text{ mmol}$. Les ions fer(II) sont limitants et $x_f = 0,800 \text{ mmol}$. Les restes sont $n_f(\text{MnO}_4^-) = 1,00 - 0,800 = 0,200 \text{ mmol}$; $n_f(\text{Fe}^{2+}) = 4,00 - 5 \times 0,800 = 0$; $n_f(\text{H}^+) = 20,0 - 8 \times 0,800 = 13,6 \text{ mmol}$. Les ions hydrogène restent en excès : on l'a vérifié avec leur stock et leur coefficient. Il ne faut pas supprimer leur colonne simplement parce que le milieu est annoncé acide. Il se forme aussi $0,800 \text{ mmol}$ d'ions manganèse(II) et $4,00 \text{ mmol}$ d'ions fer(III), initialement absents.

III • CORRECTIONS

Corrections · 17 et 18

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

17 Un volume de gaz

Énoncé

Le stock de carbonate vaut $n_0 = m/M = 0,500/100,0 = 0,00500 \text{ mol} = 5,00 \text{ mmol}$, avec m en g et M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Les deux épuisements sont 5,00 et $8,00/2 = 4,00 \text{ mmol}$. L'acide limite la réaction : $x_f = 4,00 \text{ mmol}$, donc $n(\text{CO}_2) = 4,00 \text{ mmol}$. Le volume est $V = nV_m = 0,00400 \times 24,0 = 0,0960 \text{ L} = 96,0 \text{ mL}$. La quantité doit être en mol pour utiliser V_m en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Il reste 1,00 mmol de carbonate.

18 Combustion dans un modèle fermé

Énoncé

Le maximum est $x_{\max} = \min(0,300; 0,500/2) = 0,250 \text{ mol}$. Le dioxygène est limitant et $x_f = 0,250 \text{ mol}$. Les quantités finales valent : méthane $0,300 - 0,250 = 0,050 \text{ mol}$; dioxygène 0; dioxyde de carbone 0,250 mol; eau gazeuse $2 \times 0,250 = 0,500 \text{ mol}$, avec produits initialement absents.



Vérifier. Carbone : $0,300 = 0,050 + 0,250 \text{ mol}$ d'atomes. Une combustion réelle pauvre en dioxygène peut aussi donner d'autres produits : le résultat appartient au modèle imposé et ne décrit pas automatiquement toute combustion.

III · CORRECTIONS

Corrections · 19 et 20

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

19 Dissoudre un solide ionique

Énoncé

L'équation est $\text{CaCl}_2(\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$. Le solide introduit représente $n_0 = m/M = 1,11/111 = 0,0100 \text{ mol}$ (g, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, mol). La dissolution totale donne $x_f = n_0$. On obtient 0,0100 mol d'ions calcium et 0,0200 mol de chlorures. Chaque concentration vaut $[X] = n(X)/V$, avec $V = 0,200 \text{ L}$. Donc $[\text{Ca}^{2+}] = 0,0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[\text{Cl}^{-}] = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Les concentrations ne sont pas égales : les deux chlorures de la formule doivent être conservés jusqu'au calcul final.

20 Équation multipliée, même système

Énoncé

Avec la première écriture, $x_{\text{max}} = \min(3; 8/2) = 3 \text{ mmol}$. Le bilan final est $n_A = 0$, $n_B = 2 \text{ mmol}$, $n_C = 3 \text{ mmol}$. Avec la seconde, notons l'avancement y : $y_{\text{max}} = \min(3/2; 8/4) = 1,5 \text{ mmol}$. Les restes sont $3 - 2y = 0$ et $8 - 4y = 2 \text{ mmol}$; le produit vaut $2y = 3 \text{ mmol}$. Le bilan physique est identique, mais les valeurs des avancements sont différentes : $x = 2y$. L'avancement est défini relativement aux coefficients choisis. Il faut donc fixer l'écriture de l'équation avant de remplir le tableau.

III • CORRECTIONS

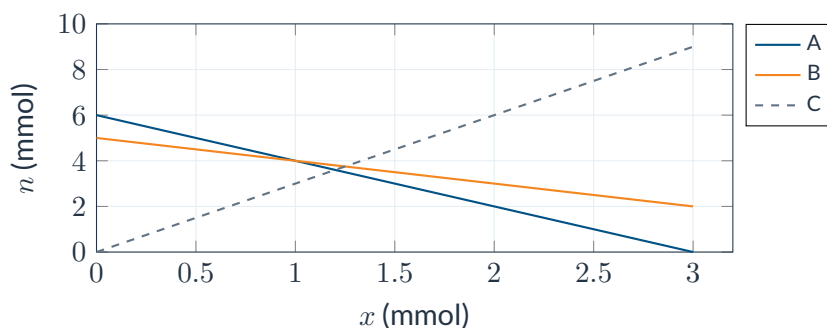
Corrections · 21 et 22

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

21 Lire trois droites

Énoncé

Les pentes donnent la réaction $2A + B \rightarrow 3C$. Les valeurs en $x = 0$ donnent 6, 5 et 0 mmol. Les contraintes $6 - 2x \geq 0$ et $5 - x \geq 0$ imposent $x \leq 3$ et $x \leq 5$. Comme $x \geq 0$ dans le sens étudié, le domaine physique est $[0; 3]$ mmol. À la fin totale : $x_f = 3$ mmol, $n_A = 0$, $n_B = 2$ mmol et $n_C = 9$ mmol.



22 Un dosage pour suivre la fin

Énoncé

On détermine d'abord la concentration : $c = A/k = 0,480/800 = 6,00 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. A est sans dimension et k en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Puis $n_{P,f} = cV = 6,00 \times 10^{-4} \times 0,100 = 6,00 \times 10^{-5} \text{ mol} = 0,0600 \text{ mmol}$, avec V en L. Comme P est absent au départ et de coefficient 1, $x_f = 0,0600 \text{ mmol}$. Le maximum est $x_{\max} = n_{A,0} = 0,100 \text{ mmol}$. On a $x_f < x_{\max}$: la transformation est non totale. Il reste 0,0400 mmol de A. La conclusion suppose que l'absorbance est bien celle du seul produit P dans les conditions de l'étalonnage.

III · CORRECTIONS

Corrections · 23 et 24

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

23 Un programme qui choisit mal

Énoncé

Le code prend $\max(0,004/2; 0,009/3) = \max(0,002; 0,003) = 0,003$ mol. Il donne $n_{A,f} = 0,004 - 2 \times 0,003 = -0,002$ mol, impossible. Il faut écrire :

```
x = min(nA/2, nB/3)
reste_A = nA - 2*x
reste_B = nB - 3*x
produit_C = x
```

Le résultat est $x_f = 0,002$ mol, A restant 0, B restant 0,003 mol et C formé 0,002 mol. Le choix du minimum traduit le premier épuisement.

24 Comparer deux préparations

Énoncé

Lot I : $x_f = \min(6; 8/2) = 4$ mmol, donc 4 mmol de P et 2 mmol de A restant. Lot II : $x_f = \min(5; 12/2) = 5$ mmol, donc 5 mmol de P et 2 mmol de B restant. Le lot II produit davantage, même s'il contient moins de A initialement. Pour consommer les 6 mmol de A du lot I, il faut au total 12 mmol de B. L'ajout minimal est $12 - 8 = 4$ mmol de B. Cette quantité complète exactement les proportions stœchiométriques.

III • CORRECTIONS

Corrections · 25

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

25 Mesurer la pureté d'une poudre

Énoncé

1 • Volume vers quantité de gaz. $n(\text{CO}_2) = V/V_m = 0,144/24,0 = 0,00600 \text{ mol}$. V en L et V_m en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ donnent n en mol.

2 • Quantité vers carbonate. Les coefficients du carbonate et du gaz sont tous deux 1. Le gaz est initialement absent, donc $x_f = 0,00600 \text{ mol}$. L'acide est en excès et la transformation totale : le carbonate est entièrement consommé, donc $n_0(\text{CaCO}_3) = x_f$.

3 • Masse et fraction. $m = nM = 0,00600 \times 100,0 = 0,600 \text{ g}$ ($\text{mol}, \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}, \text{g}$). La fraction massique vaut $w = m_{\text{carbonate}}/m_{\text{poudre}} = 0,600/0,750 = 0,800$, sans dimension. La teneur est 80,0 %. La masse inerte vaut $0,750 - 0,600 = 0,150 \text{ g}$.

4 • Évaluer une limite expérimentale. Si du gaz s'échappe, le volume mesuré est trop faible. On en déduit trop peu de carbonate : la pureté calculée est sous-estimée.



Vérifier. La fraction est comprise entre 0 et 1 ; les deux masses additionnées redonnent la masse totale.

III • CORRECTIONS

Corrections · 26

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

26 Une solution inconnue et un métal

Énoncé

1 • Réaction et produit mesuré. Le bilan est $\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$. La quantité d'argent récupéré vaut $n(\text{Ag}) = m/M = 0,216/108 = 0,00200 \text{ mol (g, g} \cdot \text{mol}^{-1}, \text{mol)}$.

2 • Identifier le stock épuisé. Le cuivre est en excès; les ions argent sont limitants et totalement consommés. Le produit a pour quantité $2x_f$, donc $x_f = 1,00 \text{ mmol}$. Le stock initial d'ions argent vaut $2x_f = 2,00 \text{ mmol}$.

3 • Retrouver la concentration.

$$c_0 = \frac{n_0(\text{Ag}^+)}{V_0} = \frac{0,00200}{0,0250} = 0,0800 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

n_0 en mol et V_0 en L donnent c_0 en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

4 • Cuivre consommé et hypothèse. Le coefficient du cuivre vaut 1 : il s'en consomme $x_f = 1,00 \text{ mmol}$. Si le cuivre était limitant, des ions argent pourraient rester : la masse déposée ne donnerait plus leur quantité initiale totale.

III • CORRECTIONS

Corrections · 27

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

27 Après dilution puis réaction

Énoncé

1 • Diluer avant de prélever. Le facteur $F = 10$ est sans dimension. La concentration fille vaut $c_f = c_m / F = 0,0200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le stock du prélèvement est $n_0(\text{Fe}^{2+}) = c_f V = 0,0200 \times 0,0250 = 0,500 \text{ mmol}$.

2 • Le second stock. $n_0(\text{MnO}_4^-) = cV = 0,0150 \times 0,0100 = 0,150 \text{ mmol}$. Dans les deux calculs, c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et V en L donnent n en mol, converties en mmol.

3 • Comparer les coefficients. Le coefficient du fer(II) est 5, celui du permanganate 1. Donc $x_f = \min(0,500/5; 0,150) = 0,100 \text{ mmol}$. Le fer(II) est limitant.

À la fin, $n(\text{Fe}^{2+}) = 0$ et $n(\text{MnO}_4^-) = 0,150 - 0,100 = 0,0500 \text{ mmol}$. Il se forme 0,100 mmol d'ions manganèse(II) et 0,500 mmol d'ions fer(III).

4 • Interpréter. Il reste du permanganate : sa coloration peut subsister. Une disparition totale de cette espèce serait incompatible avec ce bilan et ces hypothèses.

III • CORRECTIONS

Corrections · 28

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

28 Produire une quantité imposée

Énoncé

1 • Partir de la production voulue. $n_P = 2x_f$, avec quantité et avancement en mmol. Ainsi $x_f = 8,00/2 = 4,00$ mmol. Pour ne laisser aucun réactif, on introduit $n_{A,0} = 2x_f = 8,00$ mmol et $n_{B,0} = 3x_f = 12,0$ mmol.

2 • Traduire en grandeurs de préparation. $m_A = n_{A,0}M_A = 0,00800 \times 50,0 = 0,400$ g; n en mol et M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Pour B,

$$V_B = n_{B,0}/c_B = 0,0120/0,200 = 0,0600 \text{ L} = 60,0 \text{ mL}.$$

n en mol, c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, V en L.

3 • Prévoir l'excès. On multiplie le besoin de B par 1,10. Il faut 13,2 mmol de B, soit 66,0 mL de solution. A reste à 8,00 mmol, devient limitant et laisse 1,20 mmol de B en fin de réaction.



Vérifier. L'excès de B ne produit pas davantage de P si la quantité de A reste inchangée.

III • CORRECTIONS

Corrections · 29

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

29 Un produit récupéré en quantité trop faible

Énoncé

1 • Bilan du modèle total. $x_{\max} = \min(10,0; 15,0) = 10,0$ mmol; la totalité impose donc $x_f = 10,0$ mmol et 10,0 mmol de produit *formé*.

2 • Distinguer formé et récupéré. Le produit isolé peut avoir subi des pertes : solubilité dans le liquide, matière restée sur le matériel, perte pendant une filtration. Les 8,00 mmol récupérées ne mesurent donc pas nécessairement tout P présent en fin de transformation.

3 • Contrôler. On peut rechercher et quantifier A restant dans le mélange final : sa présence pourrait remettre en cause la totalité dans ce modèle. On peut aussi rechercher P dans les liquides de lavage ou le filtrat pour vérifier une perte à la récupération.

Le rapport $8,00/10,0 = 0,800$, sans dimension, signifie ici une récupération correspondant à 80,0 % de la production maximale. Il ne permet pas à lui seul d'attribuer l'écart à une réaction non totale.

 **Vérifier.** Une mesure n'autorise une conclusion que si l'on sait exactement quelle quantité elle mesure.

III • CORRECTIONS

Corrections · 30

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

30 Un calcul en mmol dans Python

Énoncé

Le maximum compare $n_{A,0}/2$ et $n_{B,0}$. Le code est :

```
def bilan(nA, nB):  
    x = min(nA/2, nB)  
    return x, nA-2*x, nB-x, 3*x  
  
for stocks in [(6, 5), (8, 2), (4, 2)]:  
    print(stocks, bilan(*stocks))
```

Pour (6; 5), on obtient (3; 0; 2; 9) en mmol : A est limitant. Pour (8; 2), on obtient (2; 4; 0; 6) : B est limitant. Pour (4; 2), on obtient (2; 0; 0; 6) : le mélange est stœchiométrique. Ces trois tests contrôlent les deux branches du choix du minimum et le cas d'égalité. Les quantités doivent être positives ou nulles, et le modèle total doit être justifié en dehors du programme.

III • CORRECTIONS

Corrections · 31

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

31 Reconstituer les stocks

Énoncé

1 • Remonter depuis C. $n_{C,f} = 3x_f$, donc $x_f = 12,0/3 = 4,00$ mmol. Pour A, $n_{A,f} = n_{A,0} - x_f$ donne $n_{A,0} = 1,00 + 4,00 = 5,00$ mmol. Pour B, $0 = n_{B,0} - 2x_f$ donne $n_{B,0} = 8,00$ mmol.

2 • Contrôler les rapports. $5,00/1 = 5,00$ mmol et $8,00/2 = 4,00$ mmol. B est bien limitant et le maximum correspond à l'avancement observé.

3 • Modifier le stock. Le nouvel état initial contient 5,00 mmol de A et 10,0 mmol de B. Les rapports valent tous deux 5,00 mmol : mélange stœchiométrique. La transformation totale donne $x_f = 5,00$ mmol, aucun reste de A ou B, et 15,0 mmol de C.



Vérifier. Les 2 mmol de B ajoutées permettent 1 mmol d'avancement supplémentaire, donc 3 mmol de C supplémentaires.

III · CORRECTIONS

Corrections · 32

Vérifie le choix du modèle avant de remplacer les symboles par les nombres.

32 Bilan complet et contrôle qualité

Énoncé

1 · Stocks et avancement. $n_0(\text{Zn}) = m/M = 0,325/65,0 = 5,00 \text{ mmol}$; $n_0(\text{Cu}^{2+}) = cV = 0,100 \times 0,0400 = 4,00 \text{ mmol}$. On utilise $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et L pour obtenir des mol, puis des mmol.

État	x	Zn	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cu
Initial	0	5	4	0	0
En cours	x	$5 - x$	$4 - x$	x	x
Final	4	1	0	4	4

Tout est en mmol. Le cuivre(II) est limitant et $x_f = x_{\text{max}} = 4,00 \text{ mmol}$.

2 · Masses. Avec $m = nM$ (mol , $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, g), le zinc restant vaut $0,00100 \times 65,0 = 0,0650 \text{ g}$ et le cuivre formé $0,00400 \times 63,5 = 0,254 \text{ g}$.

3 · Solution finale. Dans $[X] = n(X)/V_f$, $V_f = 0,0400 \text{ L}$. On obtient $[\text{Zn}^{2+}]_f = 0,00400/0,0400 = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Les sulfates spectateurs conservent leurs $4,00 \text{ mmol}$: leur concentration finale vaut aussi $0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

4 · Interpréter la mesure. La masse récupérée est inférieure de $0,014 \text{ g}$ à la masse théorique, soit environ $5,5 \%$. Des pertes de récupération sont possibles : cette mesure seule ne prouve pas une transformation non totale. Il faudrait examiner les espèces restant en solution et la récupération du dépôt.

III • CORRECTIONS 33 ET 34

Du tableau au bilan complet

Le réactif limitant fixe l'avancement; les autres résultats en découlent.

33 Zinc et ions cuivre(II) : du tableau au dépôt

Énoncé

1. $n_0(\text{Zn}) = 0,325/65,0 = 5,00 \text{ mmol}$. $n_0(\text{Cu}^{2+}) = 0,100 \times 0,0400 = 4,00 \text{ mmol}$. Les ions sulfate SO_4^{2-} sont spectateurs; il y en a initialement 4,00 mmol.

2.

État	x	Zn	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cu
Initial	0	5,00	4,00	0	0
En cours	x	$5,00 - x$	$4,00 - x$	x	x
Final	x_f	$5,00 - x_f$	$4,00 - x_f$	x_f	x_f

Toutes les quantités sont en mmol.

3. Le zinc s'épuiserait pour $x = 5,00 \text{ mmol}$ et le cuivre(II) pour $x = 4,00 \text{ mmol}$. Le cuivre(II) est limitant.

4. Dans le modèle total, $x_f = x_{\text{max}} = 4,00 \text{ mmol}$. Le bilan final est : Zn 1,00 mmol; Cu^{2+} 0; Zn^{2+} 4,00 mmol; Cu 4,00 mmol.

5. $m_f(\text{Zn}) = 0,00100 \times 65,0 = 0,0650 \text{ g}$ et $m_{\text{th}}(\text{Cu}) = 0,00400 \times 63,5 = 0,254 \text{ g}$.

6. Dans 0,0400 L : $[\text{Zn}^{2+}]_f = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $[\text{Cu}^{2+}]_f = 0$ et $[\text{SO}_4^{2-}]_f = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

7. La concentration en charges positives vaut $2[\text{Zn}^{2+}] = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ d'équivalents de charge; celle des charges négatives vaut $2[\text{SO}_4^{2-}] = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Elles sont égales.

8. La proportion récupérée est $0,230/0,254 = 0,906$, soit 90,6 %.

9. Non : du cuivre peut rester sur le matériel ou être perdu au rinçage. On peut rechercher des ions cuivre(II) dans la solution finale et améliorer puis contrôler la récupération du dépôt.

34 Combustion d'une cartouche de propane

Énoncé

1. L'équation comporte 3 C, 8 H et 10 O de chaque côté : elle est équilibrée.

2. $n_0(\text{C}_3\text{H}_8) = 8,80/44,0 = 0,200 \text{ mol}$. $n_0(\text{O}_2) = V/V_m = 120/24,0 = 5,00 \text{ mol}$.

3. À l'avancement x :

$$n(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,200 - x, \quad n(\text{O}_2) = 5,00 - 5x,$$

$$n(\text{CO}_2) = 3x, \quad n(\text{H}_2\text{O}) = 4x.$$

4. Les rapports d'épuisement valent $0,200/1 = 0,200 \text{ mol}$ et $5,00/5 = 1,00 \text{ mol}$. Le propane est limitant.

5. $x_f = x_{\text{max}} = 0,200 \text{ mol}$. Il reste 4,00 mol de dioxygène; il se forme 0,600 mol de CO_2 et 0,800 mol d'eau.

6. $V(\text{CO}_2) = 0,600 \times 24,0 = 14,4 \text{ L}$ et $m(\text{CO}_2) = 0,600 \times 44,0 = 26,4 \text{ g}$.

7. $m(\text{H}_2\text{O}) = 0,800 \times 18,0 = 14,4 \text{ g}$.

8. Il reste 4,00 mol de dioxygène, soit 128 g.

9. Masse initiale : $8,80 + 5,00 \times 32,0 = 168,8 \text{ g}$. Masse finale : $26,4 + 14,4 + 128 = 168,8 \text{ g}$. À l'air libre, la cartouche ne constitue pas à elle seule le système fermé : du dioxygène entre dans le bilan et des gaz s'échappent.

III • CORRECTIONS 35 ET 36

Mesure d'un gaz et mélange stoechiométrique

Une correspondance molaire doit précéder toute conversion en masse.

35 Déterminer la composition d'un comprimé effervescent

Énoncé

- $n_0(\text{H}^+) = 0,300 \times 0,1000 = 3,00 \times 10^{-2} \text{ mol} = 30,0 \text{ mmol}$.
- $480 \text{ mL} = 0,480 \text{ L}$, donc $n(\text{CO}_2) = 0,480/24,0 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$.
- Le coefficient du dioxyde de carbone vaut 1 : $x_f = 20,0 \text{ mmol}$. Sous les hypothèses de totalité et de recueil complet, la quantité initiale d'hydrogénocarbonate vaut aussi 20,0 mmol.
- La réaction consomme 20,0 mmol d'ions hydrogène; les 30,0 mmol disponibles suffisent. Il en reste 10,0 mmol.
- $m(\text{NaHCO}_3) = 0,0200 \times 84,0 = 1,68 \text{ g}$.
- La fraction massique vaut $1,68/2,50 = 0,672$, soit 67,2 %. La masse inerte vaut $2,50 - 1,68 = 0,82 \text{ g}$.
- À l'état final : hydrogénocarbonate 0; ions hydrogène 10,0 mmol; dioxyde de carbone formé 20,0 mmol; eau formée 20,0 mmol, en plus du solvant déjà présent.
- Une perte de gaz diminue le volume mesuré, donc la quantité de carbonate déduite. La fraction massique calculée serait sous-estimée.

36 Aluminium et solution de sulfate de cuivre

Énoncé

1. $n_0(\text{Al}) = 0,270/27,0 = 10,0 \text{ mmol}$ et $n_0(\text{Cu}^{2+}) = 0,300 \times 0,0500 = 15,0 \text{ mmol}$.
2. En mmol, les quantités en cours sont $10,0 - 2x$, $15,0 - 3x$, $2x$ et $3x$ pour Al, Cu^{2+} , Al^{3+} et Cu.
3. $10,0/2 = 5,00 \text{ mmol}$ et $15,0/3 = 5,00 \text{ mmol}$.
4. Les deux réactifs s'épuisent pour le même avancement : le mélange est stœchiométrique et $x_{\text{max}} = 5,00 \text{ mmol}$.
5. Il ne reste ni aluminium ni ions cuivre(II). Il se forme $10,0 \text{ mmol}$ d'ions aluminium et $15,0 \text{ mmol}$ de cuivre.
6. $m(\text{Cu}) = 0,0150 \times 63,5 = 0,9525 \text{ g} \simeq 0,953 \text{ g}$. La masse d'aluminium restante est nulle.
7. $[\text{Al}^{3+}]_f = 0,0100/0,0500 = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Les $15,0 \text{ mmol}$ de sulfate restent dans la solution : $[\text{SO}_4^{2-}]_f = 0,300 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
8. Charges positives : $3 \times 0,200 = 0,600$. Charges négatives : $2 \times 0,300 = 0,600 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ d'équivalents de charge. Les sulfates ne figurent pas dans le bilan redox, mais ils assurent l'électroneutralité de la solution.

III • CORRECTIONS 37 ET 38

Trois réactifs et état initial inconnu

Le minimum des rapports décide; un produit présent au départ s'ajoute au produit formé.

37 Permanganate, fer(II) et ions hydrogène

Énoncé

1. À l'avancement x en mmol : $n(\text{MnO}_4^-) = 2,00 - x$, $n(\text{Fe}^{2+}) = 8,00 - 5x$ et $n(\text{H}^+) = 20,0 - 8x$.
2. Les rapports valent $2,00, 8,00/5 = 1,60$ et $20,0/8 = 2,50$ mmol.
3. Les ions fer(II) sont limitants et $x_{\text{max}} = 1,60$ mmol.
4. Il reste 0,400 mmol de permanganate, aucun fer(II) et $20,0 - 8 \times 1,60 = 7,20$ mmol d'ions hydrogène.
5. Il se forme 1,60 mmol de Mn^{2+} , 8,00 mmol de Fe^{3+} et 6,40 mmol d'eau.
6. Les restes 0,400, 0 et 7,20 mmol sont tous positifs ou nuls : l'avancement est admissible.
7. Dans 0,1000 L : $[\text{MnO}_4^-]_f = 4,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $[\text{Fe}^{2+}]_f = 0$, $[\text{Mn}^{2+}]_f = 1,60 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[\text{Fe}^{3+}]_f = 8,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
8. Oui : le modèle laisse du permanganate. Sa couleur peut donc subsister. Une perception visuelle seule ne quantifie pas une faible concentration et peut être perturbée par d'autres espèces colorées.

38 Reconstituer un état initial

Énoncé

1. $n_{A,f} = n_{A,0} - 2x_f$, $n_{B,f} = n_{B,0} - x_f$ et $n_{C,f} = 3,00 + 3x_f$, en mmol.
2. $18,0 = 3,00 + 3x_f$, donc $x_f = 5,00$ mmol.
3. $2,00 = n_{A,0} - 10,0$, d'où $n_{A,0} = 12,0$ mmol. Comme $n_{B,f} = 0$, $n_{B,0} = x_f = 5,00$ mmol.
4. $12,0/2 = 6,00$ mmol et $5,00/1 = 5,00$ mmol : B est limitant, ce qui confirme $x_f = x_{\max} = 5,00$ mmol.
5. Le tableau part de $(12,0; 5,00; 3,00)$ et soustrait $(2x; x)$ aux réactifs, tout en ajoutant $3x$ à C. Pour $x = 5,00$, il donne bien $(2,00; 0; 18,0)$.
6. Le nouveau stock de B vaut 8,00 mmol. Les rapports sont $12,0/2 = 6,00$ et $8,00/1 = 8,00$ mmol : A devient limitant.
7. Avec $x_f = 6,00$ mmol, le bilan final est A 0, B 2,00 mmol et C $3,00 + 3 \times 6,00 = 21,0$ mmol.
8. Les conditions d'épuisement dépendent uniquement des stocks des réactifs et de leurs coefficients. Le produit initial ne consomme ni A ni B dans le modèle orienté donné; il s'ajoute néanmoins au produit formé.

III • CORRECTIONS 39 ET 40

Avancement final et contrôle de pureté

Une mesure devient un avancement seulement si elle est spécifique et quantitativement reliée à l'espèce suivie.

39 Suivre une transformation par absorbance

Énoncé

1. À l'avancement x , les quantités sont $n_A = 0,200 - x$ et $n_P = x$, en mmol.
2. A s'épuiserait pour $x_{\max} = 0,200$ mmol.
3. $[P]_f = A_{\text{abs}}/k = 0,750/500 = 1,50 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
4. Dans 0,1000 L, $n_{P,f} = 1,50 \times 10^{-3} \times 0,1000 = 1,50 \times 10^{-4} \text{ mol} = 0,150 \text{ mmol}$. Comme P était absent et son coefficient vaut 1, $x_f = 0,150 \text{ mmol}$.
5. $n_{A,f} = 0,200 - 0,150 = 0,050 \text{ mmol}$ et $n_{P,f} = 0,150 \text{ mmol}$.
6. $x_f < x_{\max}$ et $x_f/x_{\max} = 0,150/0,200 = 0,750$, soit 75,0 %.
7. Si la transformation était totale, $[P] = 0,200 \text{ mmol}/0,1000 \text{ L} = 2,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, donc $A_{\text{abs}} = 1,00$.
8. Une perte de P, une dilution involontaire ou une mesure à une mauvaise longueur d'onde peuvent diminuer l'absorbance.
9. Il faut supposer que P est la seule espèce responsable du signal, que le volume et l'étalonnage sont maîtrisés et que P n'est pas perdu.

40 Contrôler la pureté d'une poudre calcaire

Énoncé

1. $n_0(\text{H}^+) = 0,400 \times 0,0600 = 2,40 \times 10^{-2} \text{ mol} = 24,0 \text{ mmol}$.
 2. $216 \text{ mL} = 0,216 \text{ L}$, donc $n(\text{CO}_2) = 0,216/24,0 = 9,00 \text{ mmol}$.
 3. Le coefficient du gaz vaut 1 : $x_f = 9,00 \text{ mmol}$. Avec totalité, acide en excès et recueil complet, la poudre contenait 9,00 mmol de carbonate.
 4. $m(\text{CaCO}_3) = 0,00900 \times 100,0 = 0,900 \text{ g}$. Le pourcentage vaut $0,900/1,00 \times 100 = 90,0 \%$.
 5. $m_{\text{impureté}} = 1,00 - 0,900 = 0,100 \text{ g}$.
 6. La réaction consomme $2x_f = 18,0 \text{ mmol}$ d'ions hydrogène, moins que les 24,0 mmol disponibles : l'acide était en excès.
 7. À l'état final : carbonate 0 ; ions hydrogène $24,0 - 18,0 = 6,00 \text{ mmol}$; ions calcium 9,00 mmol.
 8. Une poudre pure contiendrait $1,00/100,0 = 10,0 \text{ mmol}$ de carbonate et formerait $0,0100 \times 24,0 = 0,240 \text{ L} = 240 \text{ mL}$ de gaz.
 9. $90,0 \% < 92,0 \%$: dans le modèle et selon le critère donné, le lot n'est pas conforme.
 10. Une fuite diminue le volume recueilli, donc sous-estime la quantité et le pourcentage de carbonate. Comme la décision est proche de la limite, il faut évaluer l'étanchéité, la mesure du volume et les autres incertitudes avant une conclusion commerciale définitive.
-  **Véifier.** Le rapport des volumes $216/240 = 0,900$ retrouve directement la fraction massique parce que toutes les autres grandeurs du modèle sont identiques.

BILAN

Ce que tu dois savoir refaire

Un même avancement relie toutes les quantités transformées.

État initial	Calculer les quantités en mol à partir des masses, volumes et concentrations.
Tableau	Réactif : quantité initiale moins coefficient $\times x$. Produit : quantité initiale plus coefficient $\times x$.
Maximum	Comparer les quantités initiales divisées par leurs coefficients et retenir le minimum.
État final	Si la transformation est totale, $x_f = x_{\max}$. Sinon, exploiter une mesure de l'état final.
Concentration	Diviser la quantité finale de l'espèce par le volume final de solution.
Contrôles	Quantités non négatives, proportions consommées, conservation des éléments et de la charge.

Les quantités et avancements sont exprimés dans la même unité (mol ou mmol). Les coefficients sont sans dimension. Pour $c = n/V$, n en mol et V en L donnent c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Reprendre le bon obstacle

Conversions : 1 et 12. Coefficients : 2 à 5. Limitant : 6 à 8 et 16. Avancement final : 9 à 11. Mélanges : 14 et 15. Problèmes : 25 à 28 et 31. Analyse d'une mesure : 22, 29 et 32.

Conditions d'utilisation

© 2026 Rémi Piau – Alors on science !

L'utilisation en classe, la projection, l'impression et la photocopie, intégrales ou partielles, sont autorisées pour un usage personnel ou pour les élèves directement accompagnés, sans vente des copies et en conservant le nom de l'auteur, la marque et les présentes mentions.

La diffusion numérique à des tiers, la mise en ligne, la publication de versions modifiées et l'exploitation commerciale du document ou de ses extraits nécessitent l'autorisation écrite préalable de Rémi Piau. Toute commercialisation est réservée à Alors on science!, sauf autorisation écrite.

Tous les autres droits sont réservés, sous réserve des exceptions prévues par la loi.