

# Conversions

## Prérequis

Unités du Système international. Écriture scientifique.

## Unités et multiples

### Entraînement 1.1 — Multiples du mètre.



Écrire les longueurs suivantes en mètre et en écriture scientifique.

- |                |                      |                |                      |                |                      |
|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| a) 1 dm .....  | <input type="text"/> | c) 3 mm .....  | <input type="text"/> | e) 5,2 pm .... | <input type="text"/> |
| b) 2,5 km .... | <input type="text"/> | d) 7,2 nm .... | <input type="text"/> | f) 13 fm ..... | <input type="text"/> |

### Entraînement 1.2 — Multiples du mètre *bis*.



Écrire les longueurs suivantes en mètre et en écriture scientifique.

- |                |                      |                |                      |                |                      |
|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| a) 150 km .... | <input type="text"/> | c) 234 cm .... | <input type="text"/> | e) 0,23 mm ..  | <input type="text"/> |
| b) 0,7 pm .... | <input type="text"/> | d) 120 nm .... | <input type="text"/> | f) 0,41 nm ... | <input type="text"/> |

### Entraînement 1.3 — Vitesse d'un électron.



La vitesse d'un électron est  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$ , où  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C est la charge d'un électron,  $U = 0,150$  kV est une différence de potentiel et  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$  g est la masse d'un électron.

- |                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| a) Calculer $v$ en m/s .....  | <input type="text"/> |
| b) Calculer $v$ en km/h ..... | <input type="text"/> |

### Entraînement 1.4 — Avec des joules.



On considère la grandeur  $T = 0,67$  kW · h. On rappelle que  $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$ .

Convertir  $T$  en joule, en utilisant le multiple le mieux adapté .....

 **Entraînement 1.5 — Valeur d'une résistance.**



La résistance d'un fil en cuivre est donnée par la formule  $R = \frac{\ell}{\gamma S}$ , où  $\gamma = 59 \text{ MS/m}$  est la conductivité du cuivre, où  $\ell = 1,0 \cdot 10^3 \text{ cm}$  est la longueur du fil et où  $S = 3,1 \text{ mm}^2$  est sa section.

L'unité des résistances est l'ohm, notée «  $\Omega$  ». L'unité notée «  $S$  » est le siemens ; on a  $1 \Omega = 1 \text{ S}^{-1}$ .

Calculer  $R$  (en ohm) .....

 **Entraînement 1.6 — Ronna, ronto, quetta et quecto.**



En novembre 2022, lors de la 27<sup>e</sup> réunion de la Conférence générale des poids et mesures, a été officialisée l'existence de quatre nouveaux préfixes dans le système international :

| Facteur multiplicatif | Préfixe | Symbole |
|-----------------------|---------|---------|
| $10^{27}$             | ronna   | R       |
| $10^{-27}$            | ronto   | r       |
| $10^{30}$             | quetta  | Q       |
| $10^{-30}$            | quecto  | q       |

On donne les masses de quelques objets :

| Soleil                          | Jupiter                         | Terre                           | proton                           | électron                         |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| $1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ | $1,90 \cdot 10^{27} \text{ kg}$ | $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ | $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ | $9,10 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ |

Convertir ces masses en utilisant ces nouveaux préfixes (en écriture scientifique).

a) Soleil (en Rg) .....

f) Terre (en Qg) .....

b) Soleil (en Qg) .....

g) proton (en rg) .....

c) Jupiter (en Rg) .....

h) proton (en qg) .....

d) Jupiter (en Qg) .....

i) électron (en rg) .....

e) Terre (en Rg) .....

j) électron (en qg) .....

# Règle de trois et pourcentages

## Entraînement 1.7 — Un peu de cuisine.



Les ingrédients pour un gâteau sont : 4 œufs, 200 g de farine, 160 g de beurre, 100 g de sucre et 4 g de sel. On décide de faire la recette avec 5 œufs. Combien de grammes faut-il de

- |                  |                      |                 |                      |
|------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| a) farine? ..... | <input type="text"/> | c) sucre? ..... | <input type="text"/> |
| b) beurre? ..... | <input type="text"/> | d) sel? .....   | <input type="text"/> |

## Entraînement 1.8 — Pourcentages.



Convertir en pourcentage :

- |                        |                      |                         |                      |
|------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| a) 0,1 .....           | <input type="text"/> | d) $\frac{1}{20}$ ..... | <input type="text"/> |
| b) 0,007 .....         | <input type="text"/> | e) $\frac{9}{5}$ .....  | <input type="text"/> |
| c) $\frac{1}{2}$ ..... | <input type="text"/> | f) un quart de 2% ..... | <input type="text"/> |

## Entraînement 1.9 — Énergie en France 1.



La consommation d'énergie primaire en France (en 2020) est : nucléaire 40,0 %, pétrole 28,1 %, gaz 15,8 %, biomasse 4,4 %, charbon 2,5 % hydraulique 2,4 %, éolien 1,6 %.

Quel pourcentage occupent les autres énergies (solaire, biocarburants, *etc.*)? .....

## Entraînement 1.10 — Énergie en France 2.



La consommation primaire totale en France est de 2 571 TWh.

À l'aide des données de l'entraînement précédent, calculer (en « TWh ») les énergies créées par les sources suivantes :

- |                    |                      |                      |                      |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| a) nucléaire ..... | <input type="text"/> | e) charbon .....     | <input type="text"/> |
| b) pétrole .....   | <input type="text"/> | f) hydraulique ..... | <input type="text"/> |
| c) gaz .....       | <input type="text"/> | g) éolien .....      | <input type="text"/> |
| d) biomasse .....  | <input type="text"/> | h) autre .....       | <input type="text"/> |



### Entraînement 1.11 — Abondance des éléments dans la croûte terrestre.



L'abondance chimique d'un élément peut être exprimée en « parties par centaine » (notée %, on parle communément de « pourcentage »), en « parties par millier » (notée ‰, on parle aussi de « pour mille ») ou encore en « partie par millions » (notée « ppm »).

Les abondances de quelques éléments chimiques constituant la croûte terrestre sont :

| Silicium | Or                     | Hydrogène | Fer        | Oxygène | Cuivre |
|----------|------------------------|-----------|------------|---------|--------|
| 275‰     | $1,0 \cdot 10^{-7} \%$ | 1,4 ‰     | 50 000 ppm | 46 %    | 50 ppm |

Quel est l'élément le moins abondant ? .....

## Longueurs, surfaces et volumes



### Entraînement 1.12 — Taille d'un atome.



La taille d'un atome est de l'ordre de 0,1 nm.

a) Quelle est sa taille en m (écriture scientifique) ? .....

b) Quelle est sa taille en m (écriture décimale) ? .....



### Entraînement 1.13 — Alpha du centaure.



La vitesse de la lumière dans le vide est  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m/s. Une année dure 365,25 jours. Alpha du centaure est à une distance de 4,7 années-lumière de la Terre.

a) Quelle est cette distance en m (écriture scientifique) ? .....

b) Quelle est cette distance en km (écriture scientifique) ? .....



### Entraînement 1.14 — Avec des hectares.



La superficie de la France est de 672 051 km<sup>2</sup>. L'île danoise de Bornholm (au nord de la Pologne) a une superficie de 589 km<sup>2</sup>. Un hectare (ha) est la surface d'un carré de 100 m de côté.

Donner les superficies suivantes :

a) un hectare (en m<sup>2</sup>) .....

d) la France (en ha) .....

b) un hectare (en km<sup>2</sup>) .....

e) Bornholm (en m<sup>2</sup>) .....

c) la France (en m<sup>2</sup>) .....

f) Bornholm (en ha) .....

 **Entraînement 1.15 — Volume.**



a) Peut-on faire tenir 150 mL d'huile dans un flacon de  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  ? .....

b) Peut-on faire tenir 1,5 L d'eau dans un flacon de  $7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  ? .....

## Masse volumique, densité et concentration

 **Entraînement 1.16 — Masse volumique.**



Une bouteille d'eau de 1 L a une masse de 1 kg. Un verre doseur rempli indique, pour la même graduation, eau : 40 cL et farine : 250 g.

a) Quelle est la masse volumique de l'eau en  $\text{kg}/\text{m}^3$  ? .....

b) Quelle est la masse volumique de la farine ? .....

 **Entraînement 1.17 — Densité.**



La densité d'un corps est le rapport  $\frac{\rho_{\text{corps}}}{1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3}$ , où  $\rho_{\text{corps}}$  est la masse volumique du corps en question.

a) Une barre de fer de volume 100 mL pèse 787 g. Quelle est la densité du fer ? .....

b) Un cristal de calcium a une densité de 1,6. Quelle est sa masse volumique (en  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ?

 **Entraînement 1.18 — Un combat de masse.**



On possède un cube de 10 cm en plomb de masse volumique  $11,20 \text{ g}/\text{cm}^3$  et une boule de rayon 15 cm en or de masse volumique  $19\,300 \text{ kg}/\text{m}^3$ . On rappelle que le volume d'une boule de rayon  $R$  est  $\frac{4}{3}\pi R^3$ .

Lequel possède la plus grande masse ? .....

 **Entraînement 1.19 — Prendre le volant ?**



Le taux maximal d'alcool dans le sang pour pouvoir conduire est de 0,5 g d'alcool pour 1 L de sang.

A-t-on le droit de conduire avec 2 mg d'alcool dans  $1\,000 \text{ mm}^3$  de sang ? .....

# Autour de la vitesse



## Entraînement 1.20 — Le guépard ou la voiture ?



Un guépard court à 28 m/s et un automobiliste conduit une voiture à 110 km/h sur l'autoroute.

Lequel est le plus rapide ? .....



## Entraînement 1.21 — Classement de vitesses.



On considère les vitesses suivantes : 20 km/h, 10 m/s, 1 année-lumière/an, 22 mm/ns, 30 dm/s et 60 cm/ms.

a) Laquelle est la plus petite ? .....

b) Laquelle est la plus grande ? .....



## Entraînement 1.22 — Vitesses angulaires.



La petite aiguille d'une montre fait un tour en 1 h, la Terre effectue le tour du Soleil en 365,25 j.

Quelles sont leurs vitesses angulaires :

a) en tours/min (l'aiguille) ? .....

c) en tours/min (la Terre) ? .....

b) en rad/s (l'aiguille) ? .....

d) en rad/s (la Terre) ? .....

### Réponses mélangées

|                           |                            |                                       |   |                            |  |                           |     |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------|-----|
| 10 000 m <sup>2</sup>     | 30 dm/s                    | 625 kg/m <sup>3</sup>                 | 0,017 tr/min                            | 62 TWh                     | 1 · 10 <sup>-1</sup> m                 |                           |     |
| oui                       | 1,90 · 10 <sup>3</sup> Rg  | 7,87                                  | 722 TWh                                 | 1,99 · 10 <sup>3</sup> Qg  | 7,2 · 10 <sup>-9</sup> m               | 1,90 Qg                   |     |
| 134 TWh                   | 0,000 000 000 1 m          | 406 TWh                               | 7 · 10 <sup>-13</sup> m                 | 4,33 · 10 <sup>13</sup> km | 113 TWh                                |                           |     |
| 9,10 · 10 <sup>2</sup> qg | l'or                       | 2,6 · 10 <sup>7</sup> km/h            | 200 g                                   | 9,10 · 10 <sup>-1</sup> rg | 1,67 · 10 <sup>6</sup> qg              | 3 · 10 <sup>-3</sup> m    |     |
| 5,89 · 10 <sup>4</sup> ha | voiture                    | 1,99 · 10 <sup>6</sup> Rg             | 4,43 · 10 <sup>16</sup> m               | 0,001 7 rad/s              | 2,3 · 10 <sup>-4</sup> m               |                           |     |
| 180 %                     | 10%                        | 1,20 · 10 <sup>-7</sup> m             | 250 g                                   | 1,50 · 10 <sup>5</sup> m   | 125 g                                  | 6,72 · 10 <sup>7</sup> ha |     |
| La boule en or            | 5 %                        | 64 TWh                                | 1,67 · 10 <sup>3</sup> rg               | 0,01 km <sup>2</sup>       | 1,99 · 10 <sup>-7</sup> rad/s          |                           |     |
| 5,5 · 10 <sup>-2</sup> Ω  | 1 · 10 <sup>-10</sup> m    | oui                                   | 1,6 × 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> | 5,97 · 10 <sup>-3</sup> Qg | 6,72 · 10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> |                           |     |
| 1 année-lumière/an        | 50 %                       | 1,90 · 10 <sup>-6</sup> tr/min        | 2,34 m                                  | 5,2%                       | 1 · 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>  |                           |     |
| 5,97 Rg                   | 0,7 %                      | 41 TWh                                | 5 g                                     | 4,1 · 10 <sup>-10</sup> m  | 5,2 · 10 <sup>-12</sup> m              | 0,5 %                     | non |
| 2,4 MJ                    | 1,03 × 10 <sup>3</sup> TWh | 5,89 · 10 <sup>8</sup> m <sup>2</sup> | 7,3 · 10 <sup>6</sup> m/s               | 2,5 · 10 <sup>3</sup> m    | 1,3 · 10 <sup>-14</sup> m              |                           |     |

# Chiffres significatifs et incertitudes

## Prérequis

- Les incertitudes sont à donner avec deux chiffres significatifs.
- Toutes les incertitudes fournies sont des incertitudes-type.

Ainsi, si le résultat d'une mesure de vitesse est de 30 mètres par seconde avec une incertitude-type de 1 mètre par seconde, on notera cette vitesse

$$v = (30,0 \pm 1,0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

## Résultats numériques

### Entraînement 26.1 — Écriture scientifique.



Réécrire les nombres en utilisant l'écriture scientifique. On veillera à garder les chiffres significatifs.

- |                    |                      |                                 |                      |
|--------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| a) 31,5 .....      | <input type="text"/> | e) 2 023,9 .....                | <input type="text"/> |
| b) 0,0019 .....    | <input type="text"/> | f) 7 300 .....                  | <input type="text"/> |
| c) 0,8120 .....    | <input type="text"/> | g) $330 \times 10^6$ .....      | <input type="text"/> |
| d) 1 600 002 ..... | <input type="text"/> | h) $70,22 \times 10^{-4}$ ..... | <input type="text"/> |

### Entraînement 26.2 — Combien de chiffres significatifs ?



Indiquer le nombre de chiffres significatifs des grandeurs mesurées suivantes :

- |   |                      |  |                      |
|---|----------------------|--|----------------------|
| a) une intensité électrique de 0,39 A. .. | <input type="text"/> | c) une vitesse de 12,250 km · h <sup>-1</sup> . .... | <input type="text"/> |
| b) une tension de 12,84 mV. ....          | <input type="text"/> | d) une longueur de 0,002 0 m. ....                   | <input type="text"/> |

### Entraînement 26.3 — Opérations et chiffres significatifs.



Effectuer les calculs en gardant le bon nombre de chiffres significatifs.

- a) Combien de kilomètres sont parcourus en 6,0 min par une voiture roulant à une vitesse moyenne  $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ? .....
- b) Quel est le périmètre d'un rectangle de largeur 6 mm et de longueur 15 cm ? .....

Le gain d'un pont diviseur de tension vaut  $G = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ . On effectue le montage avec une résistance  $R_1 = 0,9 \text{ k}\Omega$  et d'une résistance  $R_2 = 100 \Omega$ .

- c) Que vaut le gain  $G$  ? .....

**Entraînement 26.4 — Incertitude et chiffres significatifs.**



Une mesure de focale donne pour résultat  $f' = 12,016\ 835\ 7\text{ cm}$  avec une incertitude-type de  $32,316\ 648\ 2\text{ mm}$ . Quel sera votre résultat numérique final ?

- (a)  $f' = (12 \pm 3)\text{ cm}$                       (c)  $f' = (12,0 \pm 3,2)\text{ cm}$   
 (b)  $f' = (120 \pm 65)\text{ mm}$                       (d)  $f' = (120 \pm 33)\text{ mm}$

.....

## Propagation des erreurs

**Prérequis**

On considère deux grandeurs expérimentales indépendantes  $x$  et  $y$ , et  $z = f(x, y)$  une grandeur calculée.

L'incertitude-type  $u(z)$  est reliée à celles de  $x$  et  $y$  via les relations :

$$u(z)^2 = a^2 u^2(x) + b^2 u^2(y) \quad \text{si } z = ax + by$$

$$\left(\frac{u(z)}{z}\right)^2 = a^2 \left(\frac{u(x)}{x}\right)^2 + b^2 \left(\frac{u(y)}{y}\right)^2 \quad \text{si } z = c x^a y^b$$

où  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont des paramètres fixés.

**Entraînement 26.5 — Pour commencer.**



On mesure  $x = (10,0 \pm 0,2)\text{ m}$  et  $y = (9,1 \pm 0,3)\text{ m}$ .

Calculer :

- a)  $x + y$  .....   
 b)  $x - y$  .....   
 c)  $x \times y$  .....   
 d)  $\frac{y}{x}$  .....



**Entraînement 26.6 — Dosage d'une solution.**



On dose une solution acide de concentration  $c_A$  inconnue. Le volume de solution dosée est  $V_A$ , et la solution utilisée pour le dosage est de concentration  $c_B$ . À l'équivalence, un volume  $V_B$  de base est versée et l'on a

$$c_A = \frac{c_B \times V_B}{V_A}$$

La base est préparée de sorte à avoir  $c_B = (100,0 \pm 2,0)\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

De plus, on mesure les volumes  $V_A = (20,00 \pm 0,10)\text{ mL}$  et  $V_B = (11,80 \pm 0,10)\text{ mL}$

Quel résultat obtient-on pour  $c_A$  ? (en  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) .....

**Entraînement 26.7 — Puissance électrique dans une résistance.**

On désire mesurer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance, donnée par  $\mathcal{P} = U \times I = RI^2$ . Donner la puissance (exprimée en watts) et son incertitude pour les mesures suivantes :

- a)  $U = (2,382 \pm 0,050) \text{ V}$  et  $I = (0,500 \pm 0,010) \text{ A}$  .....
- b)  $I = (0,500 \pm 0,010) \text{ A}$  et  $R = (4,70 \pm 0,14) \Omega$  .....
- c) Ces deux mesures sont-elles compatibles ?  
 (a) Oui (b) Non .....

**Entraînement 26.8 — Diamètre d'un tube.**

On mesure l'épaisseur d'un tube cylindrique au pied à coulisse.

Le diamètre intérieur du tube est  $d = (6,8 \pm 0,1) \text{ mm}$  et le diamètre extérieur  $D = (10,3 \pm 0,1) \text{ mm}$ .

- a) Exprimer l'épaisseur  $e$  du tube en fonction de  $d$  et  $D$ .  
 (a)  $\pi(D^2 - d^2)$  (b)  $\frac{D - d}{2}$  (c)  $\sqrt{D^2 + d^2}$  (d)  $\frac{d - D}{2}$  .....
- b) En déduire l'expression de l'incertitude-type sur l'épaisseur  $u(e)$  en fonction de  $D$ ,  $d$ ,  $u(d)$  et  $u(D)$ .  
 (a)  $\frac{1}{2}\sqrt{u^2(D) + u^2(d)}$  (c)  $\sqrt{u^2(D) + u^2(d)}$   
 (b)  $\sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(d)}{d}\right)^2}$  (d)  $\frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(d)}{d}\right)^2}$  .....
- c) En déduire le résultat de la mesure de  $e$ .  
 (a)  $e = (1,75 \pm 0,07) \text{ mm}$  (c)  $e = (1,8 \pm 0,1) \text{ mm}$   
 (b)  $e = (1,75 \pm 0,10) \text{ mm}$  (d)  $e = (1,750 \pm 0,071) \text{ mm}$  .....

**Entraînement 26.9 — Analyse d'une figure de diffraction.**

On mesure la figure de diffraction obtenue en interposant un cheveu entre un écran et un laser. La distance entre le cheveu et l'écran est  $D = (3 \pm 10 \times 10^{-3}) \text{ m}$  la longueur d'onde du laser  $\lambda = (632,80 \pm 0,10) \text{ nm}$ , et l'on observe une tache de diffraction de largeur  $\ell = (5,10 \pm 0,30) \text{ cm}$ .

Le diamètre  $d$  du cheveu peut alors se déduire de ces mesures *via* la relation :

$$d = 2 \frac{\lambda D}{\ell}.$$

- a) Exprimer l'incertitude  $u(d)$  en fonction de  $d$ ,  $\lambda$ ,  $D$ ,  $\ell$ ,  
 et de  $u(\lambda)$ ,  $u(D)$  et  $u(\ell)$  .....
- b) Quel résultat obtient-on pour  $d$ ? (en  $\mu\text{m}$ ) .....

# Incertitudes expérimentales

## Entraînement 26.10 — Série de mesures.



On procède à  $n = 10$  mesures d'une tension. Le tableau ci-dessous recense les résultats :

| Mesure n°    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $U_i$ (en V) | 4,955 | 5,596 | 4,271 | 4,955 | 5,164 | 5,371 | 4,671 | 4,736 | 5,393 | 4,183 |

a) Que vaut la moyenne arithmétique  $m = \frac{1}{n} \sum_i U_i$  de la série? .....

b) Calculer l'écart-type expérimental de la série  $\sigma_U = \sqrt{\frac{\sum_i (U_i - m)^2}{n - 1}}$  .....

L'incertitude-type de  $m$  est donnée par  $u(m) = \frac{\sigma_U}{\sqrt{n}}$ .

c) En déduire le résultat final de la mesure .....

## Entraînement 26.11 — Focométrie.



On procède à des mesures d'une distance focale (notée  $f'$ ) ; le tableau ci-dessous recense les résultats :

|              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $f'$ (en cm) | 24,6 | 24,5 | 25,1 | 25,1 | 25,3 | 25,4 | 24,9 | 24,8 | 24,9 | 25,4 | 25,3 | 24,9 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Donner le résultat final de la mesure .....

## Entraînement 26.12 — Résistances en série.



On dispose de  $n$  résistances identiques, dont l'incertitude relative est donnée à 1%. On les monte en série. Ainsi, la résistance totale est égale à la somme des résistances individuelles.

Quelle est l'incertitude relative pour la résistance totale lorsque  $n = 5$  ?

(a) 0,44 %

(b) 1 %

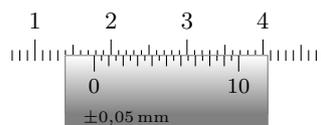
(c) 2,2 %

.....

## Entraînement 26.13 — Mesure au pied à coulisse.



On mesure le diamètre  $d$  d'un fil de cuivre au pied à coulisse (on prendra  $u(d) = 0,050$  mm) :



a) Que vaut le diamètre? .....

b) En déduire la section droite du fil (en  $\text{mm}^2$ ) .....

## Autour du z-score

### Prérequis

On appelle *écart normalisé* (ou *z-score*) entre deux grandeurs  $x_1$  et  $x_2$ , connues avec une incertitude type  $u(x_1)$  et  $u(x_2)$ , le nombre réel positif défini par

$$z = \frac{|x_2 - x_1|}{\sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2}}.$$

Par convention, les deux valeurs  $x_1$  et  $x_2$  sont dites compatibles si  $z \leq 2$ . Comme c'est un indicateur à comparer à 2, on ne garde qu'une décimale lors de sa détermination.

On utilise en particulier cette définition dans le cas où une des grandeurs, par exemple  $x_1$  peut être considérée comme une référence, avec une incertitude négligeable. On a alors  $u(x_1) \ll u(x_2)$  et la formule approchée plus simple :

$$z = \frac{|x_2 - x_1|}{u(x_2)}.$$

### Entraînement 26.14 — Z-scores et compatibilité.



Dans chaque situation, deux valeurs d'une même grandeur sont obtenues indépendamment.

Indiquer, en calculant leurs z-scores, si ces valeurs sont compatibles :

a) La vitesse du son dans l'air est déterminée expérimentalement à  $(349,0 \pm 2,3) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Une table de référence donne  $(344,08 \pm 0,69) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

(a) Oui, elles sont compatibles

(b) Non, elles ne le sont pas

b) Une température est mesurée par deux groupes en TP. Le premier groupe obtient  $(52,900 \pm 0,060) ^\circ\text{C}$ , le second  $(53,100 \pm 0,060) ^\circ\text{C}$ .

(a) Oui, elles sont compatibles

(b) Non, elles ne le sont pas

c) Une lentille est vendue pour avoir une focale de 25 cm. Lors d'une séance de TP, cette focale est mesurée à  $(24,05 \pm 0,85) \text{ cm}$ .

(a) Oui, elles sont compatibles

(b) Non, elles ne le sont pas

### Réponses mélangées

$1,0 \times 10^{-1}$     (a)     $1,9 \times 10^{-3}$      $(1,175 \pm 0,059) \text{ W}$      $(59,0 \pm 1,4) \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 $(19,10 \pm 0,36) \text{ m}$     (b)     $(1,191 \pm 0,035) \text{ W}$      $(1,780 \pm 0,050) \text{ mm}$      $7,022 \times 10^{-3}$   
 $0,472 \text{ V}$     (a)    4    (d)     $8,120 \times 10^{-1}$      $(74,4 \pm 4,4) \mu\text{m}$     2    (b)  
 $2,0239 \times 10^3$     31 cm     $7,300 \times 10^3$     2     $d \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2}$   
 $1,600\,002 \times 10^6$      $(0,90 \pm 0,36) \text{ m}$      $3,30 \times 10^8$      $(2,49 \pm 0,14) \text{ mm}^2$   
 (a)    (c) et (d)    4,9295 V    (a)     $(25,017 \pm 0,092) \text{ cm}$     8,0 km  
 $3,15 \times 10^1$      $(91,0 \pm 3,5) \text{ m}^2$     5    (b)     $(4,93 \pm 0,15) \text{ V}$      $0,910 \pm 0,035$

## Fondamentaux de la chimie des solutions

### Prérequis

Pour cette fiche, on utilisera les masses molaires des éléments suivants :

| Élément  | H              | C              | O              | F              | Ca              |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Masse molaire (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) | 1              | 12             | 16             | 19             | 40              |
|  | $M_{\text{H}}$ | $M_{\text{C}}$ | $M_{\text{O}}$ | $M_{\text{F}}$ | $M_{\text{Ca}}$ |

On rappelle la masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

### Constantes utiles

→ nombre d'Avogadro :  $\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

## Avant toute chose

### Entraînement 22.1 — Morceau de sucre.



Un morceau de sucre est un corps pur qui contient 6,0 g de saccharose  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ . Calculer :

a) La quantité de matière  $n$  de saccharose dans le morceau de sucre .....

b) Le nombre  $N$  de molécules de saccharose dans le morceau de sucre .....

### Entraînement 22.2 — Atomes de carbone dans le diamant.



Le diamant est un cristal contenant uniquement des atomes de carbone de masse molaire  $M = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Sa valeur est évaluée par sa masse en carats. Un carat est équivalent à 200 mg. Le plus gros diamant jamais découvert l'a été en 1905 avec une masse de 3 106 carats. Calculer :

a) La masse  $m$  d'atomes de carbone contenue dans ce diamant .....

b) La quantité de matière  $n$  d'atomes de carbone dans ce diamant .....

c) Le nombre  $N$  d'atomes de carbone dans ce diamant .....

### Entraînement 22.3 — Un verre d'eau à la mer.



On verse un verre d'eau de volume  $V = 24,0 \text{ cL}$  contenant initialement  $N_0$  molécules d'eau dans la mer, et on suppose qu'il est possible d'agiter vigoureusement pour obtenir une répartition homogène de ce verre d'eau dans l'ensemble des mers et océans du globe qui représentent un volume total  $V_{\text{tot}} = 1,37 \times 10^{18} \text{ m}^3$ .

a) Calculer  $N_0$  .....

b) Calculer le rapport  $R = \frac{V}{V_{\text{tot}}}$  .....

c) Si on remplit alors le verre d'eau dans la mer, combien de molécules  $N$  du verre initial retrouve-t-on ?

.....

**Entraînement 22.4 — Combat de masses volumiques.**

On considère un morceau de cuivre de  $20 \text{ cm}^3$  pesant  $178 \text{ g}$  et un morceau de fer de  $3 \text{ dm}^3$  pesant  $24 \text{ kg}$ .

Qui a la masse volumique la plus élevée? .....

**Entraînement 22.5 — Calcul autour du pH.**

Le pH d'une solution aqueuse est défini par  $\text{pH} = -\log_{10}(a_{\text{H}_3\text{O}^+}) = -\log_{10}\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{C^\circ}\right)$ .

On rappelle que  $C^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

a) Calculer le pH d'une solution aqueuse contenant  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .....

b) Exprimer puis calculer la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  en fonction du pH si celui-ci vaut  $7$  ..

On considère une solution dont la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  vaut  $x$ , et on note  $\text{pH}_0$  son pH.

c) Exprimer en fonction de  $\text{pH}_0$  le pH d'une solution pour laquelle la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  a été multipliée par  $100$  .....

**Entraînement 22.6 — Diagramme de prédominance.**

L'acide malonique, ou acide propanedioïque, de formule  $\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$  est caractérisé par les constantes  $\text{p}K_{A1} = 2,85$  et  $\text{p}K_{A2} = 5,80$ . Il sera noté  $\text{H}_2\text{A}$  par la suite.

On rappelle la constante d'équilibre de l'autoprotolyse de l'eau  $K_e = 10^{-14}$ .



a) Identifier les valeurs de (x) et (y) .....

b) Identifier les espèces correspondant à (a), (b) et (c) .....

c) Quelle espèce prédomine dans une solution de  $\text{pH} = 4,2$ ? .....

d) Quelle espèce prédomine dans une solution de concentration  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en ions oxonium? .....

e) Quelle espèce prédomine dans une solution de concentration  $[\text{HO}^-]_{\text{éq}} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en ions hydroxyde? .....

# Concentrations, Dilutions

## Entraînement 22.7 — Combat de concentrations.



Qui est le plus concentré ?

a) 8 g de sel dans 3 cL d'eau ou 3 kg de sel dans  $1 \times 10^3$  L d'eau? .....

b) 3 mol de sucre dans 10 mL d'eau ou 400 kmol de sucre dans  $2 \text{ m}^3$  d'eau? .....

## Entraînement 22.8 — Du sucre dans votre thé ?



On prépare 20 cL de thé sucré en y ajoutant 3 morceaux de sucre constitués chacun de 6 g de saccharose de masse molaire  $M = 344 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Calculer :

a) La concentration en masse  $C_m$  de saccharose dans le thé .....

b) La concentration en quantité de matière  $C$  de saccharose dans le thé .....

## Entraînement 22.9 — Dilution homogène.



On mélange un volume  $V_1 = 10 \text{ mL}$  de solution aqueuse d'ion  $\text{Fe}^{3+}$  à  $C_1 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $V_2 = 10 \text{ mL}$  de solution aqueuse d'ions  $\text{Sn}^{2+}$  à  $C_2 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On souhaite donner la composition du système en  $\text{Fe}^{3+}$  avant toute réaction.

a) Parmi les formules fausses suivantes, laquelle ou lesquelles ont au moins le mérite d'être homogènes ?

(a)  $[\text{Fe}^{3+}]_i = \frac{C_1}{V_1}$

(b)  $[\text{Fe}^{3+}]_i = C_1 V_1$

(c)  $[\text{Fe}^{3+}]_i = \frac{C_1}{V_1} (V_1 + V_2)$

.....

b) Établir l'expression littérale correcte donnant  $[\text{Fe}^{3+}]_i$  dans le mélange .....

## Entraînement 22.10 — Un café au lait sucré.



On mélange 100 mL de café à la concentration en masse de caféine  $C_1 = 0,7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  avec 150 mL de lait sucré à la concentration en masse de sucre  $C_2 = 40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

a) Calculer la concentration finale en masse  $C'_1$  en caféine .....

b) Calculer la concentration en masse  $C'_2$  en sucre dans le mélange obtenu ...

 **Entraînement 22.11 — Mélange de solutions.**



On mélange deux bouteilles d'eau sucrée de volumes respectifs  $V_1$  et  $V_2$  dont les concentrations en mole de sucre sont respectivement  $C_1$  et  $C_2$ . On veut exprimer la concentration en quantité de matière  $C$  du sucre dans le mélange en fonction de  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $C_1$  et  $C_2$ .

a) Parmi les formules fausses suivantes, laquelle ou lesquelles ont au moins le mérite d'être homogènes ?

(a)  $C = \frac{C_1}{V_1 + V_2}$

(b)  $C = C_1 V_1 + C_2 V_2$

(c)  $C = \frac{C_1(V_1 + V_2)}{C_2 V_1}$

.....

b) Déterminer la formule correcte donnant  $C$ .

.....

 **Entraînement 22.12 — Manipulation de formules.**



Soit  $C$  la concentration en quantité de matière et  $C_m$  la concentration en masse d'un soluté en solution.

On note  $n$ ,  $m$  et  $M$  la quantité de matière, la masse et la masse molaire du soluté et  $V$  le volume de la solution.

Exprimer :

a)  $C_m$  en fonction de  $n$ ,  $M$  et  $V$  .....

b) La quantité de matière  $n$  en fonction de  $C_m$ ,  $V$  et  $M$  .....

c) Le volume  $V$  en fonction de  $M$ ,  $C$  et la masse  $m$  .....

 **Entraînement 22.13 — Préparation d'une solution par dilution.**



a) On dispose d'une grande quantité d'une solution mère d'acide acétique à la concentration en masse  $C = 80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . On souhaite préparer 100 mL d'une solution à la concentration en masse de  $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  par dilution.

Quel volume  $V_i$  de la solution mère doit-on prélever ? .....

b) On prélève 20 mL d'une solution mère de permanganate de potassium à la concentration en masse  $C_m = 40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  que l'on verse dans une fiole jaugée de 250 mL et que l'on complète ensuite jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

Calculer la concentration en masse  $C_f$  de la solution finale. ....

# Dissolution

## Prérequis

On rappelle qu'on dit qu'une solution est saturée lorsque la concentration du soluté correspond à la concentration maximale que l'on peut dissoudre (la solubilité) à cette température.

### Entraînement 22.14 — Dissoudre du sel ou du sucre.



Une solution aqueuse saturée en sel a une concentration en masse de sel valant  $358 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Une solution aqueuse saturée en sucre contient 2,00 kg de sucre par litre de solution.

a) Quelle est la masse de sel contenue dans 20 mL d'une solution saturée en sel?

.....

b) Quelle masse de sucre peut-on dissoudre dans une tasse de 300 mL ?

.....

### Entraînement 22.15 — Saturation du carbonate de potassium.



On peut dissoudre au maximum 1 220 g de carbonate de potassium  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dans 1,0 L d'eau. On indique la masse molaire du carbonate de potassium  $M = 138 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Calculer :

a) La quantité de matière  $n$  de carbonate de potassium dans 250 mL d'une solution saturée en carbonate

de potassium. ....

b) La quantité de matière  $n_1$  en ions potassium  $\text{K}^+$ . ....

c) La quantité de matière  $n_2$  en ions carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  dans la solution.

### Entraînement 22.16 — Fluorure de calcium.



On dissout 10,0 g de fluorure de calcium  $\text{CaF}_2$  dans 500 mL d'eau. Calculer :

a) La quantité de matière de fluorure de calcium dissoute. ....

b) La quantité de matière en ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$ . ....

c) La masse en ions fluorures dans la solution. ....

# Autour de la masse volumique

## Prérequis

On rappelle que la densité  $d$  d'un liquide correspond au rapport entre sa masse volumique et la masse volumique de l'eau.



### Entraînement 22.17 — Le sel.



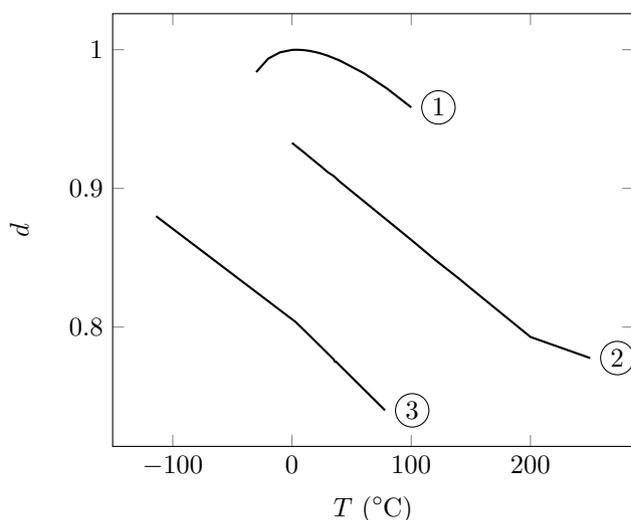
On dissout une masse  $m = 10\text{ g}$  de sel dans un volume  $V = 20\text{ mL}$  d'eau à  $25\text{ °C}$ . La solubilité du sel à cette température est  $s = 330\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . On suppose que cette dissolution s'opère à volume constant.

- a) Calculer la masse de sel qui reste sous forme solide .....
- b) Calculer la densité  $d$  de la solution finale .....
- c) La densité expérimentale de la solution est  $d_{\text{exp}} = 1,35$ .  
Le volume de la solution a-t-il diminué ou augmenté lors de la dissolution? ...

### Entraînement 22.18 — Densité et température.



Le graphe suivant présente l'évolution en fonction de la température de la densité de l'eau pure, de l'huile de tournesol et de l'éthanol. La pression est la pression atmosphérique.



| Liquide | $T_{\text{solidification}}\text{ (°C)}$ | $T_{\text{ébullition}}\text{ (°C)}$ |
|---------|---|-------------------------------------|
| Eau     | 0                                       | ?                                   |
| Éthanol | -117                                    | 78                                  |
| Huile   | 3                                       | 230                                 |

Températures de changement d'état ( $P = P_{\text{atm}}$ )

- a) À quelle courbe correspond la densité de l'eau pure? .....
- b) À quelle courbe correspond la densité de l'huile? .....
- c) Retrouver par lecture graphique, la température d'ébullition de l'eau pure.  
 (a)  $0\text{ °C}$                       (b)  $50\text{ °C}$                       (c)  $100\text{ °C}$                       (d)  $-50\text{ °C}$   
 .....

# Titre massique

## Prérequis

On rappelle que le titre massique  $t$  correspond au rapport exprimé en pourcentage de la masse de composé dissous sur la masse de la solution.

### Entraînement 22.19 — Acide chlorhydrique.



Une solution d'acide chlorhydrique concentrée possède un titre massique en HCl de 37 % pour une densité  $d = 1,19$ . On donne  $M_{\text{HCl}} = 36,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Calculer :

a) La masse  $m$  d'un litre de cette solution .....

b) La masse  $m_{\text{HCl}}$  d'acide chlorhydrique pur contenu dans ce litre de solution.  
.....

c) La concentration en quantité de matière  $C$  en acide chlorhydrique de cette solution.  
.....

### Entraînement 22.20 — Acide sulfurique.



Une solution d'acide sulfurique concentrée possède une concentration en quantité de matière  $C = 18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pour une densité  $d = 1,84$ . On donne  $M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Calculer le titre massique  $t$  en acide sulfurique de cette solution .....

### Entraînement 22.21 — L'éthanol.



On prépare  $V = 10\,000 \text{ L}$  d'éthanol de titre massique  $t = 95,4\%$  par distillation fractionnée. Cette solution possède une densité  $d = 0,789$  et on indique que l'éthanol de formule brute  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  présente une masse molaire  $M = 46,07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Quelle est la quantité de matière  $n$  d'éthanol dans cette solution ?

- (a)  $163 \times 10^3 \text{ mol}$
- (b)  $461 \times 10^3 \text{ mol}$
- (c)  $439 \times 10^3 \text{ mol}$
- (d)  $7,53 \times 10^3 \text{ mol}$

.....

### Réponses mélangées

|  |                          |                                       |                         |                            |                             |   |         |
|--|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|---------|
| $V = \frac{m}{C \times M}$                                       | 24 g · L <sup>-1</sup>   | A <sup>2-</sup>                       | 4,4 mol                 | 1,75 × 10 <sup>-22</sup>   | $\frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2}$ |   |         |
| 3,4 g  | ②                        | 600 g                                 | 1 400                   | ③                          | 621 g                       | [H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] = 10 <sup>-7</sup> mol · L <sup>-1</sup> |         |
| 0,128 mol  | 1,33                     | ①                                     | Le cuivre               | ③                          | 51,8 mol                    | Le premier  |         |
| 3,2 g · L <sup>-1</sup>  | Le premier               | 96 %                                  | 25 mL                   | 0,26 mol · L <sup>-1</sup> | 1,1 × 10 <sup>22</sup>      |   |         |
| 90 g · L <sup>-1</sup>   | ③                        | $\frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{V_1 + V_2}$ | 8,01 × 10 <sup>24</sup> | 0,28 g · L <sup>-1</sup>   | HA <sup>-</sup>             |   |         |
| 2,2 mol  | 18 mmol                  | ④ = 2,85 et ⑤ = 5,80                  | Il a diminué.           | 7,2 g                      |                             |   |         |
| ③ = H <sub>2</sub> A, ④ = HA <sup>-</sup> et ⑤ = A <sup>2-</sup> | $\frac{V \times C_m}{M}$ | H <sub>2</sub> A                      | 1,19 kg                 | 4,86 g                     | Aucune                      |   |         |
| pH <sub>0</sub> - 2  | 2,2 mol                  | 12 mol · L <sup>-1</sup>              | 1                       | 0,128 mol                  | $\frac{n \times M}{V}$      | 3,12 × 10 <sup>25</sup>   | 0,44 kg |

## Réactions chimiques

### Prérequis

Tableaux d'avancement, avancement ( $\xi$ ) et avancement volumique ( $\xi_v$ ) d'une réaction. Loi d'action de masse. Définition du pH, constante d'acidité. Constante d'autoprotolyse de l'eau.

### Pour commencer

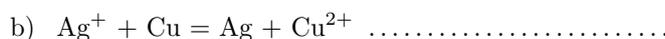


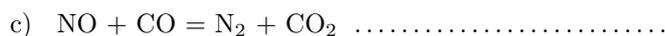
#### Entraînement 24.1 — Ajuster des équations de réaction.

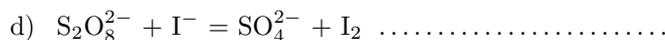


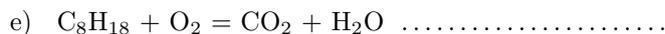
Ajuster les équations des réactions suivantes.

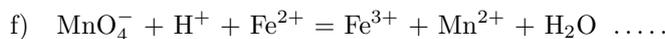













#### Entraînement 24.2 — Tableau d'avancement.



On considère le tableau d'avancement en quantité de matière suivant :

|                     |   |         |          |
|---------------------|---|---------|----------|
|                     | $\text{N}_{2(\text{g})} + 3 \text{H}_{2(\text{g})} = 2 \text{NH}_{3(\text{g})}$ |         |          |
| <b>État initial</b> | $n_1$   | $n_2$   | 0        |
| <b>État final</b>   | $\alpha$  | $\beta$ | $\gamma$ |

où  $n_1$  et  $n_2$  sont des quantités de matière. À l'instant final, l'avancement molaire de la réaction vaut  $\xi$ .

Déterminer en fonction de  $n_1$ ,  $n_2$  et  $\xi$ , les quantités suivantes :

$\alpha$  .....

$\beta$  .....

$\gamma$  .....

**Entraînement 24.3 — Dimension de la constante thermodynamique d'équilibre.**



On considère la transformation d'équation :



Trouver, parmi les formules suivantes, l'expression de sa constante d'équilibre  $K^\circ$  :

Ⓐ  $K^\circ = \frac{P(\text{SO}_2)_{\text{eq}} \times P(\text{Cl}_2)_{\text{eq}}}{P(\text{SO}_2\text{Cl}_2)_{\text{eq}}}$

Ⓒ  $K^\circ = \frac{P(\text{SO}_2\text{Cl}_2)_{\text{eq}} \times P^\circ}{P(\text{SO}_2)_{\text{eq}} \times P(\text{Cl}_2)_{\text{eq}}}$

Ⓑ  $K^\circ = \frac{P(\text{SO}_2\text{Cl}_2)_{\text{eq}}}{P(\text{SO}_2)_{\text{eq}} \times P(\text{Cl}_2)_{\text{eq}}}$

Ⓓ  $K^\circ = \frac{P(\text{SO}_2)_{\text{eq}} \times P(\text{Cl}_2)_{\text{eq}}}{P(\text{SO}_2\text{Cl}_2)_{\text{eq}} \times P^\circ}$

.....

**Entraînement 24.4 — Expression de la constante thermodynamique d'équilibre.**



On considère la transformation d'équation :



Trouver, parmi les formules suivantes, l'expression de sa constante d'équilibre  $K^\circ$  :

Ⓐ  $K^\circ = \frac{[\text{HO}^-]_{\text{eq}} \times [[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]_{\text{eq}}}{[\text{Cd}(\text{OH})_2]_{\text{eq}} \times [\text{NH}_3]_{\text{eq}}}$

Ⓓ  $K^\circ = \frac{[\text{HO}^-]_{\text{eq}}^2 \times [[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]_{\text{eq}}}{[\text{NH}_3]_{\text{eq}}^4 \times C^\circ}$

Ⓑ  $K^\circ = \frac{[\text{HO}^-]_{\text{eq}}^2 \times [[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]_{\text{eq}}}{[\text{Cd}(\text{OH})_2]_{\text{eq}} \times [\text{NH}_3]_{\text{eq}}^4 \times (C^\circ)^2}$

Ⓔ  $K^\circ = \frac{[\text{HO}^-]_{\text{eq}}^2 \times [[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]_{\text{eq}} \times C^\circ}{[\text{NH}_3]_{\text{eq}}^4}$

Ⓒ  $K^\circ = \frac{[\text{HO}^-]_{\text{eq}}^2 \times [[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]_{\text{eq}} \times (C^\circ)^2}{[\text{Cd}(\text{OH})_2]_{\text{eq}} \times [\text{NH}_3]_{\text{eq}}^4}$

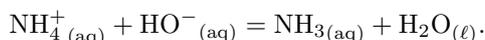
Ⓕ  $K^\circ = \frac{[\text{NH}_3]_{\text{eq}}^4 \times C^\circ}{[\text{HO}^-]_{\text{eq}}^2 \times [[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]_{\text{eq}}}$

.....

**Entraînement 24.5 — Expression et calcul de la constante d'équilibre.**



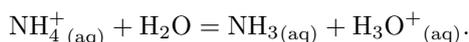
On considère la réaction acide-base entre le chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$  ;  $\text{Cl}^-$ ) et l'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+$  ;  $\text{HO}^-$ ) :



a) En utilisant la loi d'action de masse, exprimer la constante d'équilibre  $K^\circ$  de la réaction en fonction des activités des différentes espèces physico-chimiques intervenant dans la réaction.

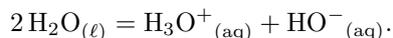
.....

b) La constante d'acidité  $K_A$  du couple  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  est la constante d'équilibre de la réaction



Exprimer  $K_A$  en fonction des activités des espèces pertinentes .....

c) La constante d'autoprotolyse de l'eau  $K_e$  est la constante d'équilibre de la réaction



Exprimer  $K_e$  en fonction des activités des espèces pertinentes .....

d) Donner l'expression de  $K^\circ$  en fonction de  $K_A$  et  $K_e$  .....

e) À 25 °C, on donne  $\text{p}K_A = -\log_{10}(K_A) = 9,25$  et  $\text{p}K_e = -\log_{10}(K_e) = 14$ .

Calculer  $K^\circ$  .....

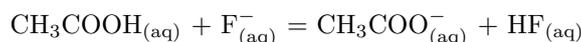
## Composition finale d'un système siège d'une réaction chimique



### Entraînement 24.6 — Sens d'évolution d'une réaction.



On considère la transformation d'équation :



dont la constante d'équilibre à 25 °C est  $K^\circ = 10^{-1,6}$ .

On réalise cette réaction en partant de différentes concentrations initiales de réactifs et de produits.

Pour chacun des cas ci-dessous, déterminer le sens d'évolution de la réaction.

a)  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_i = [\text{F}^-]_i = 1 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]_i = [\text{HF}]_i = 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(a) sens direct

(c) pas d'évolution

(b) sens indirect

b)  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_i = [\text{F}^-]_i = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_i = 1 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $[\text{HF}]_i = 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(a) sens direct

(c) pas d'évolution

(b) sens indirect

c)  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_i = [\text{F}^-]_i = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_i = [\text{HF}]_i = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(a) sens direct

(c) pas d'évolution

(b) sens indirect

d)  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_i = 8,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $[\text{F}^-]_i = [\text{HF}]_i = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 et  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]_i = 2,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(a) sens direct

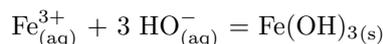
(c) pas d'évolution

(b) sens indirect

**Entraînement 24.7 — Détermination du réactif limitant.**



On considère la réaction entre les ions fer (III) et les ions hydroxyde, formant un précipité d'hydroxyde de fer  $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ , aussi connu sous le nom de rouille. L'équation de la réaction est :



À l'instant initial, on mélange une solution de chlorure de fer (III) ( $\text{Fe}^{3+}$  ;  $3 \text{Cl}^-$ ) avec une solution de soude (hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+$  ;  $\text{HO}^-$ )) de sorte à obtenir les conditions suivantes :

|                                     | $\text{Fe}^{2+}$         | $\text{Cl}^-$            | $\text{Na}^+$            | $\text{HO}^-$            |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Quantité de matière initiale</b> | $3,0 \times 10^{-2}$ mol | $9,0 \times 10^{-2}$ mol | $6,0 \times 10^{-2}$ mol | $6,0 \times 10^{-2}$ mol |

Déterminer le réactif limitant.

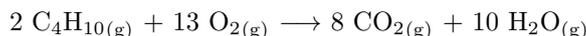
- a)  $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$ 
 b)  $\text{HO}^-_{(aq)}$ 
 c)  $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ 
 d) Il n'y en a pas

.....

**Entraînement 24.8 — Transformation totale.**



On considère la réaction de combustion du butane à l'état gazeux suivante, ainsi que les concentrations initiales des réactifs :



|                                     | $\text{C}_4\text{H}_{10}$ | $\text{O}_2$     | $\text{CO}_2$ | $\text{H}_2\text{O}$ |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------|----------------------|
| <b>Quantité de matière initiale</b> | $n_1 = 0,10$ mol          | $n_2 = 0,65$ mol | 0 mol         | 0 mol                |

Sachant que la réaction est totale, déterminer :

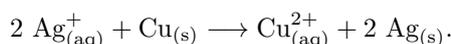
a) L'avancement maximal  $\xi_{\text{max}}$  pour cette transformation .....

b) La quantité de matière de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) à l'état final .....

**Entraînement 24.9 — Une autre transformation totale.**



On s'intéresse à la réaction des ions argent avec le cuivre selon l'équation de réaction :



Cette réaction est totale. On mélange initialement un volume  $V = 20$  mL d'une solution contenant des ions argent ( $\text{Ag}^+$ ) à la concentration  $C = 0,25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  avec une masse  $m = 0,254$  g de cuivre solide (Cu).

On donne la masse molaire du cuivre  $M_{\text{Cu}} = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  et celle de l'argent  $M_{\text{Ag}} = 107 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

a) Quel est le réactif limitant ?

- a)  $\text{Ag}_{(aq)}^+$ 
 b)  $\text{Cu}_{(s)}$ 
 c) Il n'y en a pas

.....

b) À la fin de la réaction, la quantité de matière de  $\text{Cu}_{(s)}$  vaut :

- a) 1,5 mmol
  b) 2,5 mmol
  c) 0 mmol

.....

**Entraînement 24.10 — Loi d'action de masse et composition à l'équilibre.**



À l'instant initial, on mélange un volume  $V_1$  d'une solution aqueuse d'ions benzoate ( $\text{PhCOO}^-$ ) à la concentration  $C_1$  et un volume  $V_2$  d'une solution aqueuse d'ions oxonium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) à la concentration  $C_2$ .

On donne l'équation de la réaction et son tableau d'avancement en quantité de matière :

|                     |                                |   |                                      |   |                              |   |                               |
|---------------------|--------------------------------|---|--------------------------------------|---|------------------------------|---|-------------------------------|
|                     | $\text{PhCOO}^-_{(\text{aq})}$ | + | $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ | = | $\text{PhCOOH}_{(\text{s})}$ | + | $\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$ |
| <b>État initial</b> | $C_1V_1$                       |   | $C_2V_2$                             |   | 0                            |   | excès                         |
| <b>État final</b>   | $C_1V_1 - \xi$                 |   | $C_2V_2 - \xi$                       |   | $\xi$                        |   | excès                         |

a) À l'aide de la loi d'action de masse, exprimer la constante d'équilibre  $K^\circ$  associée à cette réaction, en fonction de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $C^\circ$  et  $\xi$ .

.....

b) En déduire l'équation du second degré permettant de déterminer la valeur de  $\xi$ .

.....



**Entraînement 24.11 — À la recherche de l'équilibre.**



La loi d'action de masse permet de déterminer l'avancement  $\xi$  ou l'avancement volumique  $\xi_v$  à l'équilibre. Mettre ces différentes lois d'action de masse sous la forme d'une équation du second degré en  $\xi$  ou  $\xi_v$ .

a)  $K^\circ = \frac{\xi_v^2}{(C_1 - \xi_v) \times (C_2 - \xi_v)}$  .....

b)  $K^\circ = \frac{\xi_v(C_2 + \xi_v)}{(C_1 - \xi_v) \times C^\circ}$  .....

c)  $K^\circ = \frac{\left(\frac{\xi RT}{V}\right)^2}{\left(\frac{(n_1 - \xi)RT}{V}\right) \times \left(\frac{(n_2 - \xi)RT}{V}\right)}$  .....

d)  $K^\circ = \frac{\left(\frac{\xi RT}{V}\right) \cdot P^\circ}{\left(\frac{(n - 2\xi)RT}{V}\right)^2}$  .....

e)  $K^\circ = \frac{\left(\frac{\xi}{n - \xi} \cdot P\right) P^\circ}{\left(\frac{(n - 2\xi)}{n - \xi} \cdot P\right)^2}$  .....

 **Entraînement 24.12 — Calcul de l'avancement à l'équilibre.**



Dans chacune des situations suivantes, une réaction se produit dans le sens direct. On indique que son l'avancement maximal est  $\xi_{v,\max} = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

La loi d'action de masse donne l'équation dont est solution l'avancement volumique  $\xi_v$ .

Calculer  $\xi_v$ .

a)  $\xi_v^2(1 - K^\circ) + \xi_v K^\circ(C_1 + C_2) - K^\circ C_1 C_2 = 0$  avec  $\begin{cases} K^\circ = 2,0 \\ C_2 = 2C_1 = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{cases}$

b)  $\xi_v^2 + \xi_v K^\circ C^\circ - K^\circ C_1 C^\circ = 0$  avec  $\begin{cases} K^\circ = 10^{-1,7} \\ C_1 = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{cases}$  .....

## Autour des réactions acido-basiques

 **Entraînement 24.13 — pH d'une solution.**



La constante d'autoprotolyse de l'eau  $K_e = \frac{a(\text{HO}^-) \times a(\text{H}_3\text{O}^+)}{a(\text{H}_2\text{O})^2}$  vaut  $K_e = 10^{-14}$  à 25 °C.

Calculer le pH de la solution dans les cas suivants.

a) Une solution telle que  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .....

b) Une solution telle que  $[\text{HO}^-] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  .....

 **Entraînement 24.14 — Quelques combats de concentration.**



Pour chacun des cas suivants, déterminer quelle solution possède la plus grande concentration en ions oxonium.

a) Premier cas

(a) Une solution de pH = 1,0. (b) Une solution de pH = 2,0.

b) Deuxième cas

(a) Une solution avec  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . (b) Une solution de pH = 3,0.

c) Troisième cas

(a) Une solution avec  $[\text{HO}^-] = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .  
 (b) Une solution avec  $[\text{HO}^-] = 8,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

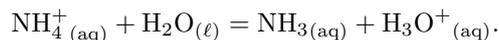
d) Quatrième cas

(a) Une solution avec  $[\text{HO}^-] = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .  
 (b) Une solution de pH = 9,0.

**Entraînement 24.15 — Constante d'acidité.**

On considère le couple  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ .

Sa constante d'acidité  $K_A$  est la constante d'équilibre de la réaction :



On donne  $K_A = 10^{-9,2}$  à 25 °C.

a) À l'aide de la loi d'action de masse, exprimer le pH en fonction de  $\text{p}K_A = -\log_{10}(K_A)$  ainsi que des concentrations  $[\text{NH}_4^+]$  et  $[\text{NH}_3]$ .

.....

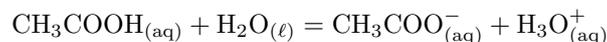
b) Sachant qu'on a  $[\text{NH}_4^+] = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $[\text{NH}_3] = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , calculer le pH de la solution.

.....

**Entraînement 24.16 — Équilibre acido-basique.**

On introduit un volume  $V = 20,0 \text{ mL}$  d'une solution d'acide éthanóique  $\text{CH}_3\text{COOH}$  à la concentration  $C = 2,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  dans un bécher contenant un volume  $V' = 20,0 \text{ mL}$  d'eau distillée.

Un équilibre s'établit selon l'équation de réaction :



La constante d'équilibre de cette réaction est  $K_A = 10^{-4,8}$  à la température de l'expérience.

a) Établir l'équation du second degré vérifiée par l'avancement volumique  $\xi_v$  à l'état final d'équilibre

.....

b) Calculer  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{eq}}$  à l'équilibre. ....

c) En déduire le pH de la solution à l'équilibre. ....

### Réponses mélangées



$$3,6 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad \textcircled{b} \quad \textcircled{a} \quad n_2 - 3\xi \quad 7,6 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad \textcircled{a}$$

$$\textcircled{d} \quad \textcircled{a} \quad \textcircled{e} \quad \textcircled{a} \quad \textcircled{b} \quad 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \quad 8,8 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad 1,3$$

$$4K^\circ \xi^2 - \xi \left( 4K^\circ n + \frac{P^\circ V}{RT} \right) + K^\circ n^2 = 0 \quad \xi^2 (K^\circ - 1) - \xi K^\circ (n_1 + n_2) + K^\circ n_1 n_2 = 0$$

$$\frac{a(\text{HO}^-)_{\text{eq}} \times a(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{eq}}}{a(\text{H}_2\text{O})_{\text{eq}}^2} \quad K^\circ = \frac{K_A}{K_e} \quad \textcircled{a} \quad n_1 - \xi \quad \xi_v^2 + K_A C^\circ \xi_v - K_A C_1 C^\circ = 0$$

$$\xi_v^2 (1 - K^\circ) + \xi_v K^\circ (C_1 + C_2) - K^\circ C_1 C_2 = 0 \quad 2 \text{Ag}^+ + \text{Cu} = 2 \text{Ag} + \text{Cu}^{2+}$$

$$12 \quad 8,9 \quad \frac{(C^\circ (V_1 + V_2))^2}{(C_1 V_1 - \xi) \times (C_2 V_2 - \xi)} \quad \textcircled{a} \quad \frac{a(\text{NH}_3)_{\text{eq}} \times a(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{eq}}}{a(\text{NH}_4^+)_{\text{eq}} \times a(\text{H}_2\text{O})_{\text{eq}}}$$



$$\xi_v^2 + \xi_v (C_2 + K^\circ C^\circ) - K^\circ C_1 C^\circ = 0 \quad \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2 \text{I}^- = 2 \text{SO}_4^{2-} + \text{I}_2 \quad 2 \text{CO} + \text{O}_2 = 2 \text{CO}_2$$

$$\xi^2 (4K^\circ P + P^\circ) - \xi (4nK^\circ P + nP^\circ) + K^\circ n^2 P = 0 \quad \text{pH} = \text{p}K_A + \log_{10} \left( \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \right)$$

$$\frac{a(\text{NH}_3)_{\text{eq}} \times a(\text{H}_2\text{O})_{\text{eq}}}{a(\text{NH}_4^+)_{\text{eq}} \times a(\text{HO}^-)_{\text{eq}}} \quad 2\xi \quad \xi^2 - \xi (C_1 V_1 + C_2 V_2) + C_1 C_2 V_1 V_2 - \frac{[C^\circ (V_1 + V_2)]^2}{K^\circ} = 0 \quad \textcircled{a}$$