

Approfondissement

Quantité de matière : la mole

Pour aller plus loin : estimations, ordres de grandeur et problèmes ouverts

5 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Enchaîner masse d'une entité, nombre d'entités et quantité de matière dans des situations non guidées.
- Mener une estimation : poser des hypothèses simplificatrices, raisonner sur des ordres de grandeur, critiquer un résultat.

Exercice 1 Mesurer la distance entre deux ions avec un grain de sel



Un grain de sel de cuisine est un petit cristal cubique de chlorure de sodium NaCl, formé d'ions sodium Na^+ et d'ions chlorure Cl^- disposés en alternance aux sommets de petits cubes identiques (figure 1). Le grain étudié a une arête $L = 0,50 \text{ mm}$ et la masse volumique du sel vaut $\rho = 2,16 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $m(\text{Na}) = 3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$ •
 $m(\text{Cl}) = 5,89 \times 10^{-26} \text{ kg}$ • $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

- 1.1 Justifier que l'on peut assimiler la masse d'un ion Na^+ à celle d'un atome de sodium et la masse d'un ion Cl^- à celle d'un atome de chlore.
- 1.2 Montrer que la masse du grain vaut environ $2,7 \times 10^{-4} \text{ g}$.
- 1.3 Calculer la masse d'un « groupement » NaCl (un ion Na^+ et un ion Cl^-), puis le nombre de groupements NaCl du grain et la quantité de matière de chlorure de sodium correspondante. En déduire le nombre total d'ions du grain.
- 1.4 Le grain est un cube qui contient p ions sur chacune de ses arêtes, soit p^3 ions au total. Calculer p .
- 1.5 En déduire la distance d entre les centres de deux ions voisins. La valeur mesurée par diffraction des rayons X est $d = 2,82 \times 10^{-10} \text{ m}$: conclure.
- 1.6 On dissout ce grain dans un verre contenant 200 mL d'eau et on agite. Combien d'ions sodium une gorgée de 10 mL contient-elle ?

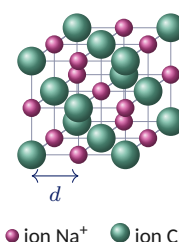


Figure 1 — Un petit morceau du cristal de chlorure de sodium

Exercice 2 Respirons-nous l'air du dernier souffle de Jules César ?



Jules César est mort en 44 av. J.-C. Son dernier souffle a rejeté environ 0,50 L d'air dans l'atmosphère. On se demande si, en inspirant 0,50 L d'air aujourd'hui, on inhale des molécules issues de ce dernier souffle. Hypothèses : en plus de deux mille ans, ces molécules se sont réparties uniformément dans toute l'atmosphère et n'ont été ni détruites ni transformées ; la masse de l'atmosphère terrestre vaut $m_{\text{atm}} = 5,1 \times 10^{18} \text{ kg}$.

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $m(\text{N}) = 2,33 \times 10^{-26} \text{ kg}$ • $m(\text{O}) = 2,66 \times 10^{-26} \text{ kg}$ • air : environ 80 % de N_2 et 20 % de O_2 • $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

- 2.1 Montrer que la masse moyenne d'une « molécule d'air » vaut environ $4,8 \times 10^{-26} \text{ kg}$.
- 2.2 Calculer le nombre de molécules contenues dans 0,50 L d'air, puis le nombre de molécules de l'atmosphère entière. Exprimer ces deux nombres en quantité de matière.

- 2.3** Quelle fraction des molécules de l'atmosphère provient du dernier souffle de César ? En déduire le nombre moyen de ces molécules présentes dans chacune de nos inspirations. Conclure.
- 2.4** Parmi les hypothèses faites, laquelle paraît la plus discutable pour les molécules de dioxygène ? Justifier.

Exercice 3 Des dilutions successives



On dispose d'une solution mère S_0 contenant une espèce X dissoute : 1,0 mL de S_0 contient $1,0 \times 10^{-4}$ mol de molécules X . On prélève 1,0 mL de S_0 que l'on complète avec 99 mL d'eau : on obtient la solution S_1 . On recommence à partir de S_1 pour obtenir S_2 , et ainsi de suite (figure 2). Ce procédé est notamment utilisé pour préparer les dilutions notées « CH » : la solution S_k est dite « k CH ».

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

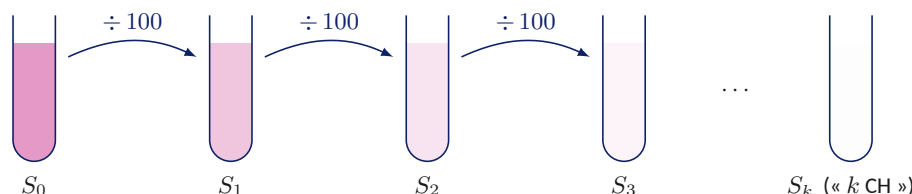


Figure 2 — Dilutions successives au centième

- 3.1** Calculer le nombre de molécules X contenues dans 1,0 mL de S_0 . Quel est le facteur de dilution entre deux solutions successives ?
- 3.2** Exprimer le nombre N_k de molécules X contenues dans 1,0 mL de la solution S_k en fonction de k . Calculer N_5 .
- 3.3** À partir de quelle valeur de k un volume de 1,0 mL de S_k contient-il, en moyenne, moins d'une molécule X ?
- 3.4** Quel volume de solution S_{30} (« 30 CH ») faudrait-il, en moyenne, pour y trouver une seule molécule X ? Comparer ce volume à celui de l'ensemble des océans, environ $1,3 \times 10^{21}$ L.

Exercice 4 Pourquoi la constante d'Avogadro vaut-elle $6,02 \times 10^{23}$?



■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $m_{\text{nucléon}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

- 4.1** Calculer la masse de N_A nucléons. Que constate-t-on ? La masse d'un atome étant pratiquement égale à $A \times m_{\text{nucléon}}$ (A : nombre de nucléons), estimer de même la masse de N_A atomes de carbone 12 ($^{12}_6\text{C}$).
- 4.2** De 1971 à 2019, la mole était la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités qu'il y a d'atomes dans 12 g exactement de carbone 12. La masse d'un atome de carbone 12 vaut $1,992\,65 \times 10^{-26} \text{ kg}$. Retrouver la valeur de N_A avec quatre chiffres significatifs.
- 4.3** Depuis 2019, la valeur de N_A est fixée par définition : $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Calculer l'écart relatif, en pourcentage, entre cette valeur et la valeur $6,02 \times 10^{23}$ utilisée dans les exercices.
- 4.4** Expliquer pourquoi le choix d'un nombre aussi grand est commode pour les chimistes qui manipulent des échantillons au laboratoire.

Exercice 5 Plus grand qu'une mole ?



On considère les « collections » suivantes : **(a)** les molécules d'eau d'une cuillère à café d'eau, de masse 5,0 g ; **(b)** les étoiles de l'Univers observable, environ 10^{23} ; **(c)** les grains de sable de toutes les plages de la Terre, environ $7,5 \times 10^{18}$; **(d)** les êtres humains vivant sur Terre en 2026, environ $8,2 \times 10^9$.

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $m(\text{H}) = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ • $m(\text{O}) = 2,66 \times 10^{-26} \text{ kg}$

- 5.1** Exprimer chacune de ces collections en quantité de matière (en mol), les classer par ordre croissant et dire laquelle se rapproche le plus d'une mole.
- 5.2** Commenter la phrase : « Une cuillère d'eau contient autant de molécules qu'il y a d'étoiles dans l'Univers observable. »