

Chapitre 4 : Quantité de matière

Cours

A. Rappels de seconde

1. Masse volumique

La masse volumique d'une espèce chimique X est le quotient de sa masse par son volume :

$$\rho(X) = \frac{m(X)}{V(X)}$$

m(X) : masse de l'espèce chimique en kilogramme (kg)

V(X) : volume de l'espèce chimique en mètre cube (m³)

$\rho(X)$: masse volumique de l'espèce chimique en kilogramme par mètre cube (kg.m⁻³)

- L'unité légale en physique est le kilogramme pour la masse et le mètre cube pour le volume mais on peut utiliser d'autres unités.
- 1 m³ = 1000 L 1 cm³ = 1 mL
- Si une substance chimique est homogène alors la masse est proportionnelle au volume. Le coefficient de proportionnalité est égal à la masse volumique. En effet $\rho = \frac{m}{V}$ implique $m = \rho V$.

Application

Déterminer la masse m d'un volume V = 2,0 m³ d'éthanol de masse volumique $\rho(\text{éthanol}) = 0,79 \text{ kg.L}^{-1}$

Sachant que $\rho = \frac{m}{V}$ alors $m = \rho(\text{éthanol}) V = 0,79 \times 2,0 \cdot 10^3 = \underline{1,6 \cdot 10^3 \text{ kg}}$.

2. Densité d'un solide ou d'un liquide par rapport à l'eau

La densité d'une espèce chimique X par rapport à l'eau est égale au quotient de la masse volumique de X par la masse volumique de l'eau :

$$d(X) = \frac{\rho(X)}{\rho(\text{eau})}$$

$\rho(X)$: masse volumique de X en kilogramme par mètre cube (kg.m⁻³)

$\rho(\text{eau})$: masse volumique de l'eau en kilogramme par mètre cube (kg.m⁻³)

d(X) : densité de l'espèce X par rapport à l'eau (sans unité)

- $\rho(\text{eau}) = 10^3 \text{ kg.m}^{-3} = 1 \text{ kg.L}^{-1} = 1 \text{ g.cm}^{-3}$
- $d(\text{eau}) = 1$
- La densité définie ci-dessus est valable pour les liquides et les solides. Pour les gaz il faut raisonner par rapport à l'air.
- Dans beaucoup d'ouvrages on donne la densité d et non pas la masse volumique ρ . Les raisons sont les suivantes :
 - a. La densité est comprise dans tous les pays car elle ne dépend pas du système d'unités utilisé (Ce n'est pas le cas de la masse volumique).
 - b. D'un liquide (ou solide) de densité d supérieure à 1 on peut dire qu'il est d fois plus lourd que l'eau.

Application

Déterminer la masse m d'un volume $V = 0,75 \text{ L}$ d'éthanol.

$d(\text{éthanol}) = 0,79$.

Combinons les deux relations $d(X) = \frac{\rho(X)}{\rho(\text{eau})}$ et $\rho(X) = \frac{m(X)}{V(X)}$:

$$d(X) = \frac{m(X)}{\rho(\text{eau}) V(X)},$$

$$\begin{aligned} d'ou\ m &= d(\text{éthanol}) \rho(\text{eau}) V \\ &= 0,79 \times 1,0 \times 0,75 \\ &= \underline{5,9 \cdot 10^{-1} \text{ kg}}. \end{aligned}$$

3. Densité d'un gaz par rapport à l'air

La densité d'une espèce chimique X par rapport à l'air est égale au quotient de la masse volumique de X par la masse volumique de l'air :

$$d(X) = \frac{\rho(X)}{\rho(\text{air})}$$

$\rho(X)$: masse volumique de X en kilogramme par mètre cube (kg.m^{-3})
 $\rho(\text{air})$: masse volumique de l'air en kilogramme par mètre cube (kg.m^{-3})

$d(X)$: densité de l'espèce X par rapport à l'air (sans unité)

- $\rho(\text{air}) = 1,3 \text{ g.L}^{-1}$
- $m(\text{gaz}) = d(\text{gaz}) \rho(\text{air}) V(\text{gaz})$

B. La mole

1. Introduction

Lorsque le chimiste prépare ses réactifs en vue de faire une transformation chimique il regarde l'équation chimique. Prenons l'exemple $2 \text{Al} + 3 \text{S} \rightarrow \text{Al}_2\text{S}_3$; le chimiste doit sélectionner les quantités d'aluminium et de soufre afin de respecter les proportions de 2 atomes d'aluminium pour 3 atomes de soufre. On ne peut faire une expérience avec de si faibles quantités ! Par conséquent il est nécessaire de regrouper les atomes en paquets importants.

2. Définition

Une mole d'atomes, d'ions ou de molécules est un paquet de $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes, ions ou molécules.

- Le nombre $6,02 \cdot 10^{23}$ est appelé nombre d'Avogadro (chimiste italien). Sa valeur particulière a été choisie car la masse de $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes d'hydrogène est exactement de 1 g.
- La quantité de matière de l'espèce X est notée $n(X)$, son unité est la mole de symbole mol.
- $n(\text{Mg}) = 2,5 \text{ mol}$ représente $2,5 \times 6,0210^{23} = 1,5 \cdot 10^{24}$ atomes de magnésium.
- $n(\text{H}_2\text{O}) = 0,80 \text{ mol}$ représente $0,80 \times 6,02 \cdot 10^{23} = 4,8 \cdot 10^{23}$ molécules d'eau.

3. Masse molaire

La masse molaire de l'espèce X, notée $M(X)$, est la masse d'une mole de l'espèce X par unité de quantité de matière. Son unité est donc le gramme par mole de symbole $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- $M(\text{H}) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M(\text{H}_2\text{O}) = 2 M(\text{H}) + M(\text{O}) = 2 \times 1,00 + 16,0 = 18,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 3 M(\text{Ca}) + 2 (M(\text{P}) + 4 M(\text{O}))$
 $= 3 \times 40,1 + 2 \times (31,0 + 4 \times 16,0) = 270,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Application

Déterminer la masse molaire du sucre de formule brute $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.

La masse molaire du sucre est

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 12 \times 12,0 + 22 \times 1,00 + 11 \times 16,0 = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

4. Relations entre la quantité de matière et le nombre d'entités élémentaires

Le nombre d'entités élémentaires et la quantité de matière sont reliées par

$$N(X) = N_A n(X)$$

$N(X)$: nombre d'entités de l'espèce X (sans unité)
 N_A : constante d'Avogadro égale à $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
 $n(X)$: quantité de matière de l'espèce X (mol)

Application

Quelle est la quantité de matière d'un morceau de fer contenant $3,0 \cdot 10^{22}$ atomes ?
D'après la relation $N(X) = N_A n(X)$, on en déduit

$$n(\text{Fe}) = N(\text{Fe})/N_A = 3,0 \cdot 10^{22} / 6,02 \cdot 10^{23} = \underline{5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}.$$

5. Relation entre la quantité de matière et la masse

La quantité de matière et la masse sont reliées par :

$$m(X) = M(X) n(X)$$

$n(X)$: quantité de matière de l'espèce X (mol)
 $M(X)$: masse molaire de l'espèce X ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)
 $m(X)$: masse de l'espèce X (g)

Application

Quelle est la quantité de matière d'un morceau de fer de masse $m = 5,6 \text{ g}$?

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

D'après la relation $m(X) = M(X) n(X)$, on en déduit

$$n(\text{Fe}) = m / M(\text{Fe}) = 5,6 / 56 = \underline{1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol}}.$$

6. Volume molaire des gaz

La relation $n(X) = m(X)/M(X)$ n'est pratiquement jamais utilisée pour un gaz. En effet il n'est pas simple et rapide de mesurer la masse d'un gaz. Par chance nous avons la propriété (Théorème d'Avogadro-Ampère) suivante :

Pour une température et une pression fixées le volume occupé par un gaz est proportionnel à la quantité de gaz. Par conséquent :

$$V(X) = V_m n(X)$$

$V(X)$: volume occupé par le gaz X (L)
 V_m : volume molaire ($\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$)
 $n(X)$: quantité de matière du gaz X (mol)

- L'intérêt de la relation ci-dessus est que le volume molaire est le même pour tous les gaz.
- $V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$ pour $\theta = 20 \text{ °C}$ et $p = 1013 \text{ mbar}$
- V_m est une fonction croissante de θ .

Application

Quelle est la quantité de dioxygène contenue dans une bouteille de 2,0 L ?

$$V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$$

D'après la relation $V(X) = V_m n(X)$, on en déduit

$$n(\text{O}_2) = V(\text{O}_2) / V_m = 2,0 / 24 = \underline{8,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}}$$

C. Concentration d'une espèce en solution

1. Concentration en masse

La concentration en masse de l'espèce X est la masse X divisée par le volume de la solution contenant l'espèce X :

$$C_m(X) = \frac{m(X)}{V}$$

$m(X)$: masse de l'espèce X (g)

V : volume de la solution contenant X (L)

$C_m(X)$: concentration en masse (g.L^{-1})

La concentration en masse est parfois notée t (comme titre).

2. Concentration en quantité de matière

La concentration en quantité de matière de l'espèce X est la quantité de matière de X divisée par le volume de la solution contenant l'espèce X :

$$c(X) = \frac{n(X)}{V}$$

$n(X)$: quantité de matière de l'espèce X (mol)

V : volume de la solution contenant X (L)

$c(X)$: concentration en quantité de matière (mol.L^{-1})

Application

Quelle est la quantité de soluté dans un volume $V = 500 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse d'éthanol de concentration en quantité de matière $c = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$?
On a $n = c V = 5,0 \cdot 10^{-2} \times 500 \cdot 10^{-3} = \underline{2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}$.

Remarque

La concentration en quantité de matière est aussi appelée concentration molaire.

3. Préparation d'une solution par dissolution

Une solution de volume V en dissolvant la masse $m(X)$. Sa concentration en quantité de matière est donc

$$c(X) = \frac{n(X)}{V}$$

$$= \frac{\frac{m(X)}{M(X)}}{V}$$

$$\text{soit } c(X) = \frac{m(X)}{M(X) V} .$$

Application

On prépare une boisson au fructose de masse molaire $M = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Le volume est $V = 250 \text{ mL}$ et la concentration en quantité de matière est $c = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
Déterminer la masse m de fructose nécessaire.

De la relation $c(X) = \frac{m(X)}{M(X) V}$ nous en déduisons

$$m = c M V = 0,15 \times 180 \times 250 \cdot 10^{-3} = \underline{6,8 \text{ g}}$$

4. Lien avec la concentration en masse $C_m(X)$

$$c(X) = \frac{C_m(X)}{M(X)}$$

Essayez de prouver cette relation !

La concentration en masse est aussi appelée concentration massique.

5. Préparation d'une solution par dilution

On dispose d'une solution mère de concentration en quantité de matière c_1 . On souhaite obtenir un volume V_2 solution fille avec la concentration en quantité de matière c_2 . Quel volume V_1 de solution mère doit-on prélever ?

L'addition de solvant ne change pas la quantité de matière :

$$n_1 = n_2$$

d' où $c_1 V_1 = c_2 V_2$ et donc $V_1 = c_2 V_2 / c_1$.

- On définit le facteur de dilution par $F = c_1 / c_2$ ($F > 1$).

- Le préparateur calcule d'abord F puis divise le volume V_2 de la fiole jaugée par F afin d'obtenir V_1 . Essayez de justifier ces calculs !

Application

On souhaite fabriquer $V_2 = 250$ mL d'une solution de diiode de concentration en quantité de matière $c_2 = 2,0 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹. Quel volume V_1 de solution mère de concentration en quantité de matière $c_1 = 5,0 \cdot 10^{-1}$ mol.L⁻¹ doit-on prélever?

1° solution

Utilisons la relation de dilution

$$c_1 V_1 = c_2 V_2$$

$$\text{Donc } V_1 = c_2 V_2 / c_1 = 2,0 \cdot 10^{-2} \times 250 \cdot 10^{-3} / 5,0 \cdot 10^{-1} = \underline{10 \text{ mL}}.$$

2° solution

Le facteur de dilution est $F = c_1 / c_2 = 5,0 \cdot 10^{-1} / 2,0 \cdot 10^{-2} = 25$. Par conséquent le volume nécessaire est $V_1 = V_2 / F = 250 \cdot 10^{-3} / 25 = \underline{10 \text{ mL}}$.

Vidéo de dissolution : <https://youtu.be/ufanXulcUws>

Vidéo de dilution : https://youtu.be/Gh_tSBVcGo

Exercices

N°	12	page	22
N°	13	page	23
N°	15	page	23
N°	18	page	23
N°	24	page	24
N°	29	page	25
N°	30	page	25
N°	35	page	26
N°	38	page	26
N°	39	page	26