



Cours n°1 « Composition d'un système chimique »

Les compétences à acquérir...

- Déterminer la masse molaire d'une espèce à partir des masses molaires atomiques des éléments qui la composent.
- Déterminer la quantité de matière contenue dans un échantillon de corps pur à partir de sa masse et du tableau périodique.
- Utiliser le volume molaire d'un gaz pour déterminer une quantité de matière.
- Déterminer la quantité de matière de chaque espèce dans un mélange (liquide ou solide) à partir de sa composition.

Déterminer la quantité de matière d'un soluté à partir de sa concentration en masse ou en quantité de matière et du volume de solution.

- Expliquer ou prévoir la couleur d'une espèce en solution à partir de son spectre UV-visible.
- Déterminer la concentration d'un soluté à partir de données expérimentales relatives à l'absorbance de solutions de concentrations connues.

Proposer et mettre en œuvre un protocole pour réaliser une gamme étalon et déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution par des mesures d'absorbance. Tester les limites d'utilisation du protocole.

I- Quels sont les outils du chimiste pour décrire un système chimique ?1- Une nouvelle unité : La mole

Calculons le nombre d'atomes N_C de carbone 12 dans $m_C = 12,0$ g de carbone 12 :

$$N_C = \frac{m_C}{m_{\text{at-C}}} = \frac{12,0}{2,0071 \cdot 10^{-23}} = 5,98 \cdot 10^{23} \text{ atomes}$$

On va définir ce nombre comme étant notre référence : N_A

- masse du proton :

$$m_{\text{nucléon}} = 1,6726 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

- Symbole du noyau : ${}^{12}_6\text{C}$

- Masse de l'atome de carbone

$$M_{\text{at-C}} = A \cdot m_{\text{nucléon}} = 12 \times 1,6726 \cdot 10^{-24}$$

$$m_{\text{at-C}} = 2,0071 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

Une mole (symbole : mol) représente un nombre précis d'entités (atomes, ions, ou molécules).

Ce nombre est appelé constante d'Avogadro ou nombre d'Avogadro notée N_A .

Constante d'Avogadro

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ (par mole)}$$



= 1 mole

2- Masse molaire atomique et Masse molaire moléculaire :

La **masse molaire atomique** notée M (majuscule) d'un élément est la masse d'une mole d'atomes de cet élément.

Elle s'exprime en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Calcul de la masse molaire de l'atome d'oxygène

Masse d'un atome :

$$m_{\text{at-O}} = A \cdot m_{\text{nucléon}} = 16 \cdot 1,6726 \cdot 10^{-24} = 2,677 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

$$\text{Donc } M_O = N_A \times m_{\text{at-O}} = 6,02 \cdot 10^{23} \times 2,677 \cdot 10^{-23} = 16,0 \text{ g/mol}$$

Les masses molaires atomiques sont obtenues dans la classification périodique des éléments

La **masse molaire moléculaire** est la somme des masses molaires atomiques des atomes qui constituent la molécule.

Elle s'exprime aussi en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Calcul de la masse molaire du dioxyde de carbone

$$\begin{aligned} M_{\text{CO}_2} &= M_C + 2M_O \\ &= 12,0 + 2 \times 16,0 \\ &= 44,0 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

3- Le volume molaire V_m :

Le **volume molaire V_m** correspond au volume qu'occupe une mole d'un gaz.

Ce volume est le même quelque soit le gaz, **il ne dépend que** de la pression P et de la température T .

Son unité est donc L/mol ou $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$

Pour une température $T = 25^\circ\text{C}$ et une pression $P = 1 \text{ atm}$, le volume molaire $V_m = 24,5 \text{ L/mol}$

4- Quantité de matière d'un élément X notée par « n_x »

Dans le cas d'un corps pur (solide, liquide ou gazeux), la quantité n_x s'exprime :

$$n_x = \frac{m_x}{M_x}$$

avec

Dans le cas d'un gaz uniquement, la quantité n_x s'exprime :

$$n_x = \frac{V_x}{V_m}$$

V_m : Volume d'1 mole de gaz.
 V_x : Volume du gaz

Remarque : Qu'est ce qu'un corps pur ? Un corps pur n'est composé que d'une seule espèce chimique qui peut être sous la forme atomique, moléculaire ou ionique.

5- La masse volumique d'un corps pur

La masse volumique d'un corps ρ_{corps} (rhô) est le rapport de la masse m_{corps} d'un volume V_{corps} donné sur ce volume V_{corps} :

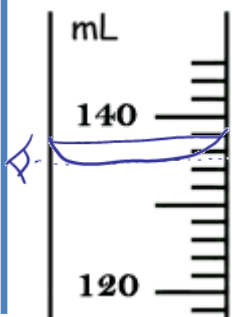
$$\rho_{corps} = \frac{m_{corps}}{V_{corps}}$$

La masse volumique d'un corps s'exprime donc en g/L ou en kg/L

La masse volumique de l'eau est $\rho_{eau} = \frac{m_{eau}}{V_{eau}} = 1 \text{ kg/L} = 1 \text{ g/mL} = 1 \text{ t/m}^3$

Exercice : Un chercheur d'or souhaite vérifier la pureté d'une pépite d'or qu'il vient de trouver. Il connaît parfaitement la masse volumique de l'or pur $\rho_{or \text{ pur}} = 21,4 \text{ g/mL}$ Ainsi, il introduit un volume

$V_1 = 135 \text{ mL}$ d'eau dans une éprouvette gradué et il place l'ensemble sur une balance et il appuie sur la touche « Tare ».



- Dessinez précisément le niveau de l'eau sur le schéma ci-contre.
 - Il introduit ensuite la pépite dans l'éprouvette et le niveau de l'eau est maintenant de $V_2 = 162 \text{ mL}$ et la balance indique une masse de $m_{pépite} = 577,8 \text{ g}$
- Calculez la masse volumique d'un alliage ρ_{or} en vous appuyant sur les résultats

Calcul de $\rho_{pépite}$

$$\rho_{pépite} = \frac{m_{pépite}}{V_{pépite}} = \frac{m_{pépite}}{V_2 - V_1}$$
$$= \frac{577,8}{(162 - 135)}$$
$$= 21,4 \text{ g/mL}$$

Conclusion sur la pureté de la pépite ?

on a donc

$$\rho_{pépite} = \rho_{or}$$

la pépite est donc pure.

6- Pourcentage massique ou molaire dans le cas d'un mélange :

La composition d'un mélange, constitué d'au moins 2 espèces chimiques, est donnée par le pourcentage massique ou volumique de chaque espèce dans le mélange ;

$$P_{(A)} = \quad \text{ou} \quad P_{(A)} = \quad \text{avec}$$

Exercice : Un alliage, le laiton, est composé en masse de 90% de cuivre Cu et 10% de zinc Zn.

Calculez les quantités de cuivre n_{Cu} et de zinc n_{Zn} contenue dans un échantillon de laiton de masse $m_{lai} = 25,0 \text{ g}$

Données : Masses molaires $M_{Cu} = 63,5 \text{ g/mol}$ et $M_{Zn} = 65,4 \text{ g/mol}$



7- Concentration molaire et concentration massique d'une espèce dissoute dans une solution :

a- Définitions et formules :

La **concentration molaire notée C** ou $[X]$ traduit la quantité d'une espèce X dissoute dans un volume V_{sol} de solution, on l'exprime en $\dots \text{mol/L} \dots$.
On la calcule en faisant le rapport :

$$C = \frac{n_X}{V_{sol}} \quad \left| \begin{array}{l} n_X = \text{quantité de X en mol} \\ V_{sol} = \text{volume de solution en L} \end{array} \right.$$

La **concentration massique notée C_m** traduit la masse d'une espèce X dissoute dans un volume V_{sol} de solution, on l'exprime en $\dots \text{g/L} \dots$.
On la calcule en faisant le rapport :

$$C_m = \frac{m_X}{V_{sol}} \quad \left| \begin{array}{l} m_X = \text{quantité de X en mol} \\ V_{sol} = \text{volume de solution en L} \end{array} \right.$$

Remarque :

- on note C la concentration de la molécule NaCl.
- on note $[Na^+]$ la concentration de l'ion sodium Na^+ .

Démonstration : Déterminez la relation entre la concentration molaire C et la concentration massique C_m d'une espèce chimique dissoute dans une solution.

$$C_m = \frac{m_X}{V_{sol}} \text{ avec } m_X = \frac{m_X}{n_X}$$

$$\Rightarrow m_X = n_X \times M_X$$

$$\Rightarrow C_m = \frac{n_X \times M_X}{V_{sol}}$$

$$\Rightarrow C_m = C \times M_X$$

A savoir retrouver rapidement

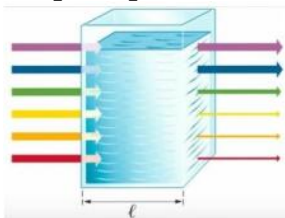
b- Préparation d'une solution par dissolution et dilution :

Voir fiche « dissolution et dilution »

Remarque : Une **solution aqueuse** est une solution dont le solvant est $\dots \text{l'eau} \dots$

II- Comment déterminer une quantité de matière dissoute dans une solution par spectrophotométrie ?

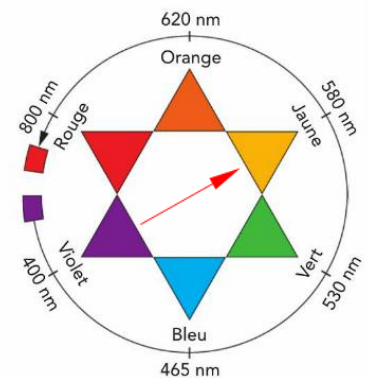
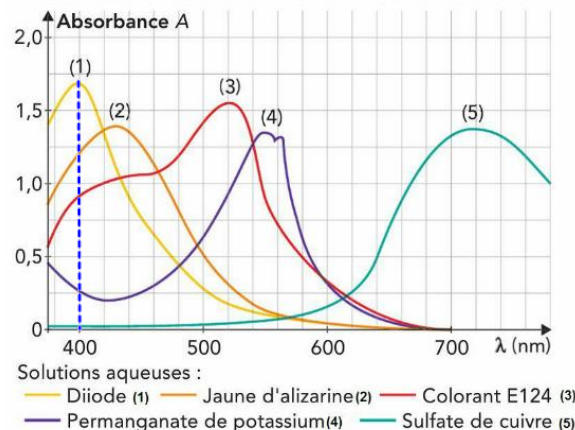
1- Le principe :



Grace aux spectrophotomètres, il est possible de mesurer $\dots \text{l'absorbance } A \dots$ de la solution en fonction de la $\dots \text{concentration} \dots$

On obtient ainsi la courbe $A=f(\lambda)$

Lorsqu'une lumière polychromatique dans le visible ou dans les ultraviolets traverse une solution, certaines radiations sont $\dots \text{absorbées} \dots$.
Dans ce cas la solution est $\dots \text{colorée} \dots$



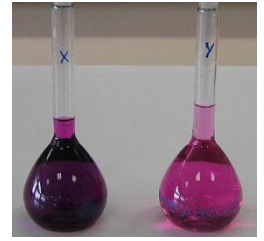
Chaque espèce, entraînant une coloration de la solution, est caractérisée par une longueur d'onde λ_{max} correspondant au maximum $\dots \text{d'absorbance} \dots$ de la solution.

D'une manière générale, la couleur associée à λ_{max} est la couleur $\dots \text{complémentaire} \dots$ de la solution (voir cercle chromatique).

Exemple : Pour une solution de diiode I_2 , le maximum d'absorption a lieu pour une valeur de $\lambda_{max} = \dots \text{400 nm} \dots$ dans le $\dots \text{violet} \dots$, la solution sera de couleur $\dots \text{jaune} \dots$ correspondant à $\dots \text{la couleur} \dots$ $\dots \text{complémentaire du violet} \dots$

2- La loi de Beer – Lambert :

Question : Entre ces 2 solutions de permanganate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$), quelle est celle qui absorbe le plus dans le visible ?



la solution de gauche est plus concentrée car plus sombre. Elle absorbe plus de radiation que celle de droite. Il y a une relation entre A et C

a-La loi de Beer-Lambert exprime le fait que, pour une longueur d'onde donnée, l'absorbance A d'une solution est proportionnelle à la concentration C (massique ou molaire) de la solution.

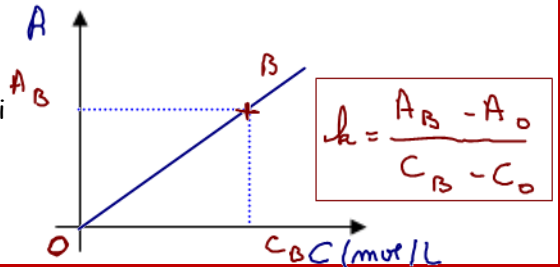
A est sans unité
 Si C est en $g.L^{-1}$; k est en L/g
 Si C est en $mol.L^{-1}$; k est en L/mol

$$A = k \times C$$

ou $A = k \times C_m$ $\Rightarrow k = \frac{A}{C} \left(\frac{1}{mol/L} \right)$

k dépend de : l'épaisseur de solution traversée par la lumière, l'espèce chimique, la longueur d'onde, la température. Cette constante possède une unité.

Si l'absorbance A et la concentration C ou C_m sont proportionnelles alors la courbe $A = f(C)$ est une droite qui passer par l'origine avec k étant le coefficient de la droite



b- Construction expérimentale d'une courbe d'étalonnage : c'est-à-dire, ici, la courbe $A = f(C)$

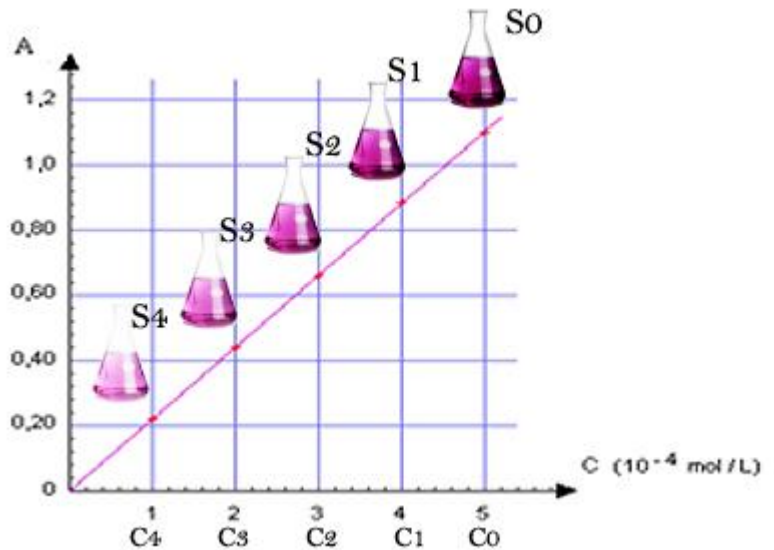
Considérons une solution S_0 de permanganate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$) de concentration molaire $C_0 = 5,0 \cdot 10^{-4} mol/L$.

Pour construire la courbe $A = f(C)$, il suffit de mesurer l'absorbance A pour plusieurs solutions de permanganate de potassium dont on connaît les concentrations.

Comment obtenir plusieurs solutions de concentrations connues ?

Par dilution de la solution S_0 de concentration C_0 appelée solution mère..., il est possible de fabriquer des solutions de différentes concentrations. Ces solutions sont appelées solutions filles..

La courbe ci-contre s'appelle une courbe d'étalonnage....



Exercice : Calculez le volume V_p à prélever dans la solution mère S_0 pour fabriquer un volume $V_f = 50 mL$ de la solution S_3 :

dos d'un dosage

$$m_{S_0}^{prélevé} = m_{S_3}^{introduite}$$

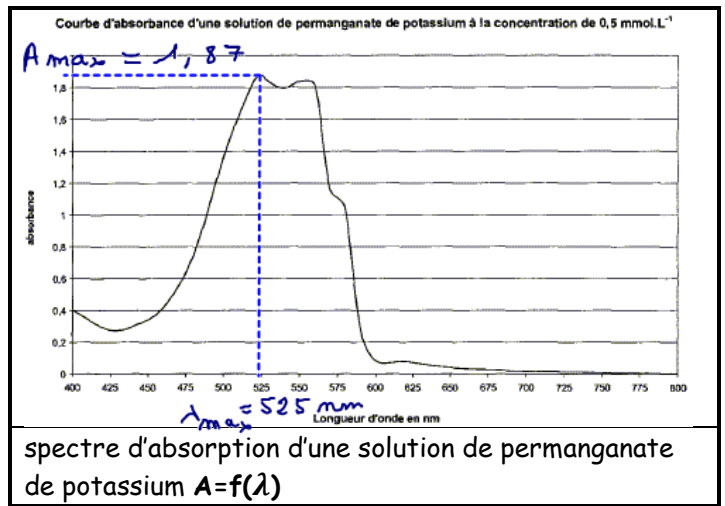
$$\Rightarrow C_0 \times V_p = C_3 \times V_f$$

$$\Rightarrow V_p = \frac{C_3 \times V_f}{C_0} = \frac{2,0 \cdot 10^{-4} \times 50}{5,0 \cdot 10^{-4}} = 20 mL$$

A savoir refaire par faitement

Remarque : A quelle longueur d'onde va-t-on régler le spectrophotomètre pour mesurer correctement l'absorbance A d'une solution de permanganate de potassium disposant de la courbe $A=f(\lambda)$ ci-contre

le spectrophotomètre est réglé à une longueur d'onde $\lambda_{max} = 525 \text{ nm}$ de façon à avoir une absorbance maximale.



3- Comment déterminer la concentration C_{inc} d'une solution de permanganate de potassium?

a- En observant l'échelle de teinte :

Solutions					
Concentration (10^{-4} mol/L)	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0

La solution dont on cherche la concentration



en comparant la couleur de la solution à l'échelle de teinte (comme en seconde)

Conclusion :

on obtient $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \leq C_{inc} \leq 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

b- En exploitant la courbe d'étalonnage $A = f(C)$:

Après avoir réglé la longueur d'onde $\lambda = 525 \text{ nm}$ du spectrophotomètre, l'absorbance de la solution de concentration inconnue est mesurée : $A_{inc} = 0,60$
Déterminez graphiquement la concentration $C_{inc} = \dots\dots\dots$

Graphiquement, on lit $C_{inc} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

Calcul de k

$$k = \frac{A_B - A_0}{C_B - C_0} = \frac{0,80 - 0,00}{3,6 \cdot 10^{-4} - 0,0} = 2,2 \cdot 10^3 \text{ L/mol}$$

