Introduction aux transformations

« L'humanité ne peut rien obtenir sans donner quelque chose en retour. Pour chaque chose reçue, il faut en abandonner une autre de même valeur. En alchimie, c'est la loi fondamentale de l'échange équivalent. »

Edward Elric, *Full Metal Alchemist*

Sommaire

I Vocabulaire général 2
- I/A Atomes et molécules 2
- I/B États de la matière 4
- I/C Transformations de la matière 5

II Quantification des systèmes 6
- II/A Systèmes physico-chimiques et grandeurs d'état 6
- II/B Mole et masses 7
- II/C Espèces en solution 8
- II/D Espèces gazeuses 10
- II/E Activité 12

Capacités exigibles

- ◯ Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système.
- ◯ Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges de gaz parfaits avec référence à l'état standard.
- ◯ Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
- ◯ Identifier le caractère extensif ou intensif d'une variable.
- ◯ Écrire l'équation de la réaction (ou des réactions) qui modélise(nt) une transformation chimique donnée.

L'essentiel

☞ Définitions

- ◯ TM1.1 : Atome, symbole, isotopes 2
- ◯ TM1.2 : Ion 3
- ◯ TM1.3 : Molécules 3
- ◯ TM1.4 : Classification par composition 3
- ◯ TM1.5 : États ou phases de la matière 4
- ◯ TM1.6 : Solutés et solutions 4
- ◯ TM1.7 : Espèce physico-chimique 5
- ◯ TM1.8 : Équation chimique 5
- ◯ TM1.9 : Types de transformation 6
- ◯ TM1.10 : Système physico-chimique 6
- ◯ TM1.11 : Grandeurs intensives et extensives . . . 6
- ◯ TM1.12 : Mole 7
- ◯ TM1.13 : Masse molaire 7
- ◯ TM1.14 : Fractions molaire et massique 7
- ◯ TM1.15 : Masse volumique et densité 8
- ◯ TM1.16 : Concentration en quantité de matière . 8
- ◯ TM1.17 : Soluté apporté et concentration effective 9
- ◯ TM1.18 : Concentration en masse 9
- ◯ TM1.19 : Pression d'un gaz 10
- ◯ TM1.20 : Gaz parfait 10
- ◯ TM1.21 : Volume molaire 11
- ◯ TM1.22 : Pression partielle 11
- ◯ TM1.23 : Activité chimique 12

★ Propriétés

- ◯ TM1.1 : Masse molaire 7
- ◯ TM1.2 : Fractions 7
- ◯ TM1.3 : Dilution 10

★ Lois

- ◯ TM1.1 : Loi du gaz parfait 10
- ◯ TM1.2 : Loi de Dalton 11

❖ Démonstrations

- ◯ TM1.1 : Dilution 10
- ◯ TM1.2 : Loi de Dalton 11

✍ Applications

- ◯ TM1.1 : Symbole d'élément et composition 2
- ◯ TM1.2 : Compositions d'ions 3
- ◯ TM1.3 : Équilibrage d'une équation chimique . . 5
- ◯ TM1.4 : Atomes d'un clou 7
- ◯ TM1.5 : Masses molaires 7
- ◯ TM1.6 : Fractions molaires et massiques 8
- ◯ TM1.7 : Masse volumique 8
- ◯ TM1.8 : Concentration en quantité de matière . . 9
- ◯ TM1.9 : Concentration en masse 9
- ◯ TM1.10 : Pression dans une seringue 11
- ◯ TM1.11 : Volume molaire 11
- ◯ TM1.12 : Pressions partielles par Dalton 11

♥ Points importants

- ◯ TM1.1 : Équation chimique 5
- ◯ TM1.2 : Activité chimique 12

I Vocabulaire général

I/A Atomes et molécules

I/A) 1 Les atomes

Définition TM1.1 : Atome, symbole, isotopes

L'atome est un constituant **neutre** de la matière, avec un **noyau central** chargé positivement, entouré d'un **nuage électronique** chargé négativement.

Noyau et nucléons

Il est composé de particules nommées **nucléons** dont il existe deux sortes :

- ◇ **les protons**, de charge $+e = 1{,}602 \times 10^{-19}\,\text{C}$ et de masse $m_p = 1{,}673 \times 10^{-27}\,\text{kg}$;
- ◇ **les neutrons**, de charge nulle et de masse $m_n = 1{,}675 \times 10^{-27}\,\text{kg}$.

La taille du noyau d'un atome est de l'ordre de $10^{-15}\,\text{m}$, soit 1 fm (femtomètre).

Nuage électronique

- ◇ composé d'**électrons**, de charge $-e$ et de masse $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}\,\text{kg} \approx 1{,}0 \times 10^{-30}\,\text{kg}$.

Un atome avec son nuage électronique fait une taille de l'ordre de $10^{-10}\,\text{m}$ soit 0,1 nm, soit environ 10^5 fois la taille du noyau.

La masse de l'atome est concentrée dans le noyau, et entre le noyau et les électrons il n'y a rien : la matière est essentiellement constituée de vide, on dit qu'elle a une structure **lacunaire**.

Symbole et isotopes

Pour représenter un noyau de façon symbolique, on utilise son symbole d'élément, noté X ici dans le cas général, sous la forme ci-contre, avec :

$^{A}_{Z}\text{X}$

- ◇ Z le nombre de **protons** contenus dans le noyau : il est **propre à un élément** ;
- ◇ A le **nombre de nucléons** ; un même élément peut avoir **plusieurs valeurs** de A, on dit alors qu'il possède des **isotopes**.

Remarques

1) Le nombre de **neutrons** dans le noyau est $N = A - Z$.
2) L'atome étant électriquement neutre, son nuage contient **autant d'électrons que de protons**, soit Z électrons. Or ce sont les électrons qui déterminent les **propriétés chimiques** de l'atome : Z fixe donc le comportement chimique de l'élément. C'est pourquoi on l'appelle aussi **numéro atomique**, et c'est lui qui donne la place de l'élément dans la classification périodique.
3) On appelle A le **nombre de masse** puisqu'on néglige souvent m_e devant m_p et m_n, étant donné que $m_p \approx 1\,836\, m_e$, soit $m_e \approx m_p/2\,000$: la masse de l'atome est pratiquement celle de ses A nucléons.

Application TM1.1 : Symbole d'élément et composition

Donner la composition des atomes dont les noyaux sont les suivants :

- ◇ Le noyau de bore $^{10}_{5}\text{B}$
  5 protons et électrons, et $10 - 5 = 5$ neutrons ;
- ◇ Le noyau de carbone $^{12}_{6}\text{C}$ et son isotope $^{14}_{6}\text{C}$
  6 protons et électrons, et $12-6 = 6$ ou $14-6 = 8$ neutrons ;
- ◇ Le noyau de fer $^{56}_{26}\text{Fe}$
  26 protons et électrons, et $56-26 = 30$ neutrons ;
- ◇ Le noyau de plomb $^{208}_{82}\text{Pb}$
  82 protons et électrons, et $208 - 82 = 126$ neutrons.

I/A) 2 Les ions

Définition TM1.2 : Ion

Un **ion** est un atome (ou un groupe d'atomes, on parle alors d'ion polyatomique) qui a **perdu ou gagné un ou plusieurs électrons**. On indique leur charge en haut à droite de l'élément chimique. On a alors deux types d'ions :

- ◇ **cations** chargés **positivement**, c'est-à-dire que c'est un atome qui a **perdu** un ou plusieurs électrons ;
- ◇ **anions** chargés **négativement**, c'est-à-dire que c'est un atome qui a **gagné** un ou plusieurs électrons.

Application TM1.2 : Compositions d'ions

Donner le nombre de protons et d'électrons des ions suivants :

- ◇ L'ion sodium $_{11}Na^{+}$
  11 protons, et donc 10 électrons.
- ◇ L'ion chlorure $_{17}Cl^{-}$
  17 protons et donc 18 électrons.
- ◇ L'ion fer $_{26}Fe^{2+}$
  26 protons, 24 électrons.
- ◇ L'ion oxyde $_{8}O^{2-}$
  8 protons et 10 électrons.

I/A) 3 Les molécules

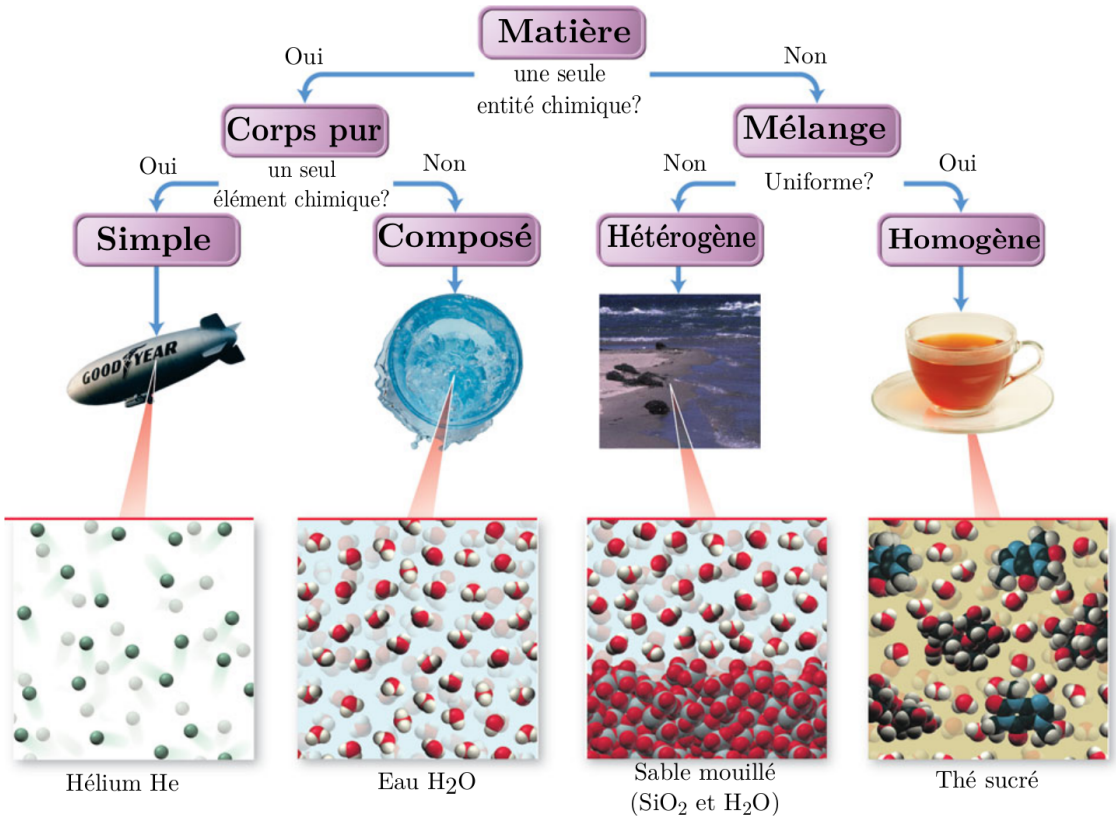
Définition TM1.3 : Molécules

Les molécules ou les ions polyatomiques sont des **assemblages d'atomes** liés entre eux grâce à des **liaisons covalentes**, correspondant à la **mise en commun d'électrons** sous forme de **doublet(s) liant(s)**. Ces liaisons se créent dès que l'énergie des atomes « liés » est plus faible que la somme des énergies des atomes séparés : des atomes engagés dans une molécule sont **plus stables** que s'ils étaient seuls, d'où l'existence des molécules.

Exemple TM1.1 : Molécules

- ◇ Le méthane est l'assemblage d'un atome de carbone et de 4 atomes d'hydrogène, écrit CH_4 ;
- ◇ Le dioxygène est la molécule composée de deux atomes d'oxygène liés entre eux, écrit O_2.

Définition TM1.4 : Classification par composition



I/B États de la matière

♥ Définition TM1.5 : États ou phases de la matière

Définition d'une phase

Zone de l'espace où les **grandeurs physiques** locales (pression, température, ...) varient de manière **continue**. Lorsqu'une phase se transforme en une autre, on parle de **transition de phase**.

Phase ordonnée ou non

- ◇ **Ordonnée**: les **entités** sont disposées de façon **régulière et périodique** (réseau cristallin) ;
- ◇ **Désordonnée**: aucun arrangement régulier à grande distance ;
- ◇ **Attention**: ne pas confondre **ordre** et **mobilité** : dans un solide, les entités vibrent autour de positions fixes, qu'il soit ordonné (cristal) ou non (verre) ; dans un fluide (liquide ou gaz), elles se déplacent les unes par rapport aux autres.

Différentes phases

- ◇ **Solide**: forme propre, un volume propre, et peut être ordonné (cristal) ou non (verre) ;
- ◇ **Liquide**: dense mais désordonné, et prend la forme de son contenant ;
- ◇ **Gaz**: très peu dense et désordonné, et occupe *tout le volume accessible* ;

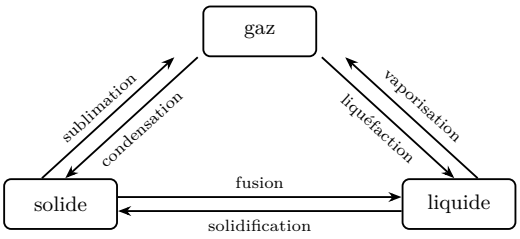


FIGURE TM1.1 – Vocabulaire transitions de phase

Définition TM1.6 : Solutés et solutions

- ◇ **Solution**: mélange homogène d'une ou plusieurs espèces chimiques (les solutés) dans une espèce (ultra) majoritaire nommée **solvant**. L'état physique de la solution est celui du solvant.
- ◇ **Soluté**: espèce chimique en solution.
- ◇ **Solution aqueuse**: solution dont le solvant est l'eau

Avant dissolution, l'espèce en question peut être un solide, un liquide ou un gaz. Après dissolution, la solution peut être solide, liquide ou gazeuse, mais est le plus souvent liquide.

Exemples : solution solide, un alliage comme le laiton (zinc dans le cuivre) ; solution gazeuse, l'air (dioxygène dans le diazote).

Exemple TM1.2 : Solutions

- ◇ Du chlorure d'hydrogène gazeux $HCl_{(g)}$ dans de l'eau (on obtient alors l'acide chlorhydrique) ;
- ◇ De l'éthanol liquide dans de l'eau ;
- ◇ Du sel ($NaCl_{(s)}$, solide ionique) dans de l'eau (les ions $Na^+_{(aq)}$ et $Cl^-_{(aq)}$ sont alors dissociés) ;
- ◇ Du sucre (solide moléculaire) dans de l'eau...

Notation TM1.1 : État de la matière

Il s'écrit entre parenthèses (et souvent en indice) :

- ◇ (g) pour un gaz, par exemple $O_2(g)$;
- ◇ (liq) ou (l) pour un liquide, par exemple $H_2O_{(l)}$;
- ◇ (s) pour un solide, par exemple Fe(s) ;
- ◇ (aq) pour un soluté en solution aqueuse, par exemple $Na^+_{(aq)}$.

☞ **Définition TM1.7 : Espèce physico-chimique**

Une **espèce physico-chimique** est une espèce chimique **dans un état physique donné** : $H_2O_{(l)}$ et $H_2O_{(g)}$ sont deux espèces physico-chimiques différentes de la même espèce chimique.

Exemple : les espèces physico-chimiques présentes dans de l'eau salée en contact avec l'air sont $H_2O_{(l)}$, $Na^+_{(aq)}$, $Cl^-_{(aq)}$, $N_2(g)$, $O_2(g)$, $H_2O_{(g)}$, ($N_2(aq)$, $O_2(aq)$ dissous en faible quantité).

I/C Transformations de la matière

☞ **♥ Définition TM1.8 : Équation chimique**

La matière peut subir différentes transformations, traduites par des **équations chimiques**, qui indiquent :

- ◇ les composants de départ (**réactifs**, R_i) et de fin (**produits**, P_j) **avec leur état** ;
- ◇ les proportions dans lesquelles ils apparaissent *via* les **nombres stœchiométriques** $\overline{\nu}$, entiers ou fractionnaires.

$aA + bB = cC + dD$ ou $\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2 + \ldots = \beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \ldots$ voire $\sum_i \overline{\nu_i} R_i = \sum_j \overline{\nu_j} P_j$

✎ **Notation TM1.2 : Signe dans une équation chimique**

Le signe entre les réactifs et produits peut être une flèche simple de gauche à droite ou de droite à gauche, les deux flèches ensemble ou un signe égal, selon les propriétés de la réaction :

- ◇ $=$ pour un bilan de matière sans supposer le sens réel de la réaction : $CH_4(g) + 2\,O_2(g) = CO_2(g) + 2\,H_2O(g)$;
- ◇ $\longrightarrow$ pour une réaction **totale** (ou considérée comme telle) : Réactifs $\longrightarrow$ Produits ;
- ◇ $\rightleftharpoons$ si les deux sens sont possibles et s'équilibrent : $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

♥ **Important TM1.1 : Équation chimique**

- ◇ L'équation chimique ne fait apparaître **que les espèces qui se transforment**[a] ;
- ◇ Il faut **toujours** vérifier qu'elle est équilibrée, tant en **atomes de chaque élément** qu'en **charges**.

[a] Il est possible de faire apparaître les espèces nécessaires à la réaction au-dessus de la flèche.

✍ **Application TM1.3 : Équilibrage d'une équation chimique**

$$2\,I^-_{(aq)} + 1\,S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} = 1\,I_{2(aq)} + 2\,SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$6\,H^+_{(aq)} + 5\,Br^-_{(aq)} + 1\,BrO_3^-{}_{(aq)} = 3\,Br_{2(aq)} + 3\,H_2O_{(l)}$$

Définition TM1.9 : Types de transformation

Nucléaire

Au cours d'une **transformation nucléaire**, un ou plusieurs **noyaux** atomiques sont **modifiés**.

Exemple

Désintégration radioactive (type α) de l'uranium 238 :

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

Physique

Au cours d'une **transformation physique**, les espèces chimiques ne sont pas modifiées : c'est typiquement une **transition de phase** (changement d'état).

Exemple

Sublimation du dioxyde de carbone solide

$$\mathrm{CO_2(s)} \longrightarrow \mathrm{CO_2(g)}$$

Chimique

Au cours d'une **transformation chimique**, il y a **réorganisation** des éléments par **formation et rupture de liaisons chimiques** et/ou **perte ou gain d'électrons**.

Exemple

Combustion du méthane :

$$\mathrm{CH_4(g) + 2\,O_2(g) = CO_2(g) + 2\,H_2O(g)}$$

II Quantification des systèmes

II/A Systèmes physico-chimiques et grandeurs d'état

Définition TM1.10 : Système physico-chimique

On appelle **système physico-chimique**, souvent noté Σ, tout système constitué d'un **très grand nombre d'entités microscopiques**, séparé de **l'extérieur** par une **surface de contrôle**, matérielle ou fictive. Selon le type d'échanges, on dit qu'il est :

Type	Échange de matière	Échange d'énergie
Ouvert	✓	✓
Fermé	✗	✓
Isolé	✗	✗

♥ Définition TM1.11 : Grandeurs intensives et extensives

Soit deux systèmes Σ_1 et Σ_2 identiques, décrits par une grandeur d'état X telle que $X_{\Sigma_1} = X_{\Sigma_2}$.

Extensive

X **proportionnelle** à la quantité de matière :

$$X_{\Sigma_1+\Sigma_2} = X_{\Sigma_1} + X_{\Sigma_2} = 2X_{\Sigma_1}$$

Intensive

X **indépendante** de la quantité de matière :

$$X_{\Sigma_1+\Sigma_2} = X_{\Sigma_1} = X_{\Sigma_2}$$

Interprétation TM1.1 : Grandeurs intensives et extensives

- **Extensive** : caractérise l'**ensemble du système** ;
- **Intensive** : est définie *localement*, en tout point du système.

Exemple TM1.3 : Grandeurs intensives et extensives

En ouvrant la porte entre deux pièces, on augmente le volume mais pas la température ! On peut définir la température en un point, mais pas le volume en un point. On a d'autres exemples :

- **Extensive** : masse, volume, charge électrique, énergie
- **Intensive** : température, pression, masse volumique, concentration

II/B Mole et masses

II/B) 1 La mole

Les espèces chimiques (atomes, molécules ou ions) réagissent dans des proportions bien précises, notamment pour **conserver le nombre de chaque élément**. Or, on se rend vite compte que les nombres sont **très grands et difficiles** d'appréhension. Pour **simplifier** les calculs, on définit une grandeur plus utilisable, la **mole**.

☞ **♥ Définition TM1.12 : Mole**

La quantité de matière se note n et se définit par

$$\boxed{n = \frac{N}{\mathcal{N}_A}} \quad \text{en } \textbf{moles}\text{, mol}$$

avec N le nombre d'entités dans l'échantillon, et $\mathcal{N}_A$ est le **nombre d'Avogadro** tel que

$$\mathcal{N}_A = 6{,}022\,140\,76 \times 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$$

✍ **Application TM1.4 : Atomes d'un clou**

Soit un clou de masse $m = 6{,}0\,\text{g}$. Sachant qu'un atome de fer pèse $m_{\text{Fe}} = 9{,}27 \times 10^{-26}\,\text{kg}$, déterminer le nombre d'atomes de fer, puis la quantité de matière de fer.

$$\boxed{N = \frac{m}{m_{\text{Fe}}}} \quad \text{A.N. : } \underline{N = 6{,}5 \times 10^{22}}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{n = \frac{N}{\mathcal{N}_A}} \quad \text{A.N. : } \underline{n = 1{,}1 \times 10^{-1}\,\text{mol}}$$

II/B) 2 Masse molaire

☞ **♥ Définition TM1.13 : Masse molaire**

La **masse molaire** d'une entité de masse m_1, notée M, est la masse de $\mathcal{N}_A$ de ces entités, c'est-à-dire la **masse d'une mole**. Ainsi, pour un échantillon de masse totale m_{tot}, contenant une quantité de matière n, on a :

$$M = m_1 \mathcal{N}_A \Leftrightarrow M = \frac{m_{\text{tot}}}{n}$$

Comme la **masse molaire** d'un nucléon vaut environ $1\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (et que les électrons sont négligeables), la masse molaire d'un atome est **numériquement proche de son nombre de masse** A. Pour un élément, on utilise la moyenne sur ses isotopes naturels : $M(\text{Cl}) = 35{,}45\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Unité

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

★ **♥ Propriété TM1.1 : Masse molaire**

La masse molaire d'une **molécule** est la **somme** des masses molaires de ses atomes.

$$M(\text{X}_p\text{Y}_q) = pM(\text{X}) + qM(\text{Y})$$

✍ **Application TM1.5 : Masses molaires**

Sachant que l'hydrogène a un nombre de masse $A_{\text{H}} = 1$ et l'oxygène $A_{\text{O}} = 16$, déterminer la masse molaire de l'eau. Déterminer ensuite la quantité de matière dans 1 kg d'eau.

$$\boxed{M(\text{H}_2\text{O}) = 2M(\text{H}) + M(\text{O})}$$

Or, $M(\text{H}) = 1{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $M(\text{O}) = 16{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$\Rightarrow \underline{M(\text{H}_2\text{O}) = 18{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}$$

$$\boxed{n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M(\text{H}_2\text{O})}}$$

$$\Rightarrow \underline{n = 55{,}6\,\text{mol}}$$

II/B) 3 Fractions molaire et massique

☞ **♥ Définition TM1.14 : Frac° molaire, massique**

Pour un **mélange homogène** d'espèces X_i, on définit :

◇ **Fraction molaire**: $\boxed{x_i = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{n_i}{n_{\text{tot}}}}$

◇ **Fraction massique**: $\boxed{w_i = \frac{m_i}{\sum m_i} = \frac{m_i}{m_{\text{tot}}}}$

★ **Propriété TM1.2 : Fractions**

En tant que fractions, on a évidemment

$$\boxed{\sum x_i = 1 = \sum w_i}$$

Application TM1.6 : Fractions molaires et massiques

L'air est constitué, en quantité de matière, à 80% de diazote N_2 et à 20% de dioxygène O_2. En déduire les fractions molaires puis les fractions massiques.

On a $M(N_2) = 28{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $M(O_2) = 32{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

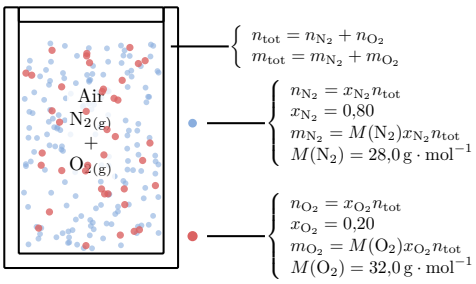


FIGURE TM1.2

$$w_{N_2} = \frac{M(N_2)x_{N_2}\cancel{n_{tot}}}{M(N_2)x_{N_2}\cancel{n_{tot}} + M(O_2)x_{O_2}\cancel{n_{tot}}}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{w_{N_2} = \frac{M(N_2)x_{N_2}}{M(N_2)x_{N_2} + M(O_2)x_{O_2}}}$$

A.N. : $\underline{w_{N_2} = 0{,}78}$

et $w_{O_2} = 1 - w_{N_2}$

$$\Leftrightarrow \boxed{w_{O_2} = \frac{M(O_2)x_{O_2}}{M(N_2)x_{N_2} + M(O_2)x_{O_2}}}$$

A.N. : $\underline{w_{O_2} = 0{,}22}$

II/B) 4 Masse volumique

♥ Définition TM1.15 : Masse volumique et densité

Masse volumique

La **masse volumique** notée ρ d'un corps est la **masse d'une unité de volume**. Ainsi, pour un échantillon de masse m et de volume V, on a :

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}} \quad \textbf{Unités} \quad \text{kg}\cdot\text{m}^{-3} \quad \text{ou} \quad \text{g}\cdot\text{L}^{-1} \quad \text{ou} \quad \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$$

Densité

Sa **densité** est le rapport de sa masse volumique **par rapport** à celle de l'**eau** (de l'**air** pour un gaz) :

$$\boxed{d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}} \quad \text{avec} \quad \rho_{eau} = 1{,}0\,\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$$

Remarque : la densité est **sans unité**, comme rapport de deux grandeurs de même nature. Pour un liquide ou un solide, elle a la même valeur que ρ exprimée en $\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Application TM1.7 : Masse volumique

Calculer la masse d'un volume $V = 0{,}500\,\text{L}$ d'acétone de $\rho = 0{,}784\,\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

$$\boxed{m = \rho V} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V &= 0{,}500\cdot(10\,\text{cm})^3 = 500\,\text{cm}^3 \\ \rho &= 0{,}784\,\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} \end{cases}$$

A.N. : $\underline{m = 392\,\text{g}}$

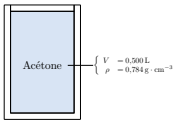


FIGURE TM1.3

II/C Espèces en solution

II/C) 1 Concentration en quantité de matière

♥ Définition TM1.16 : Concentration en quantité de matière

On appelle **concentration en quantité de matière en soluté** (ou, par abus de langage, **concentration molaire**) dans une solution, la **quantité de matière de soluté par unité de volume de solution** (le plus souvent par litre de solution). Elle se note c. Ainsi, si on a une quantité de matière n de soluté dans un volume V_{sol} de solution, alors :

$$\boxed{c = \frac{n}{V_{sol}}} \quad \textbf{Unité} \quad \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

☞ **♥ Définition TM1.17 : Soluté apporté et concentration effective**

Il faut distinguer deux concentrations :

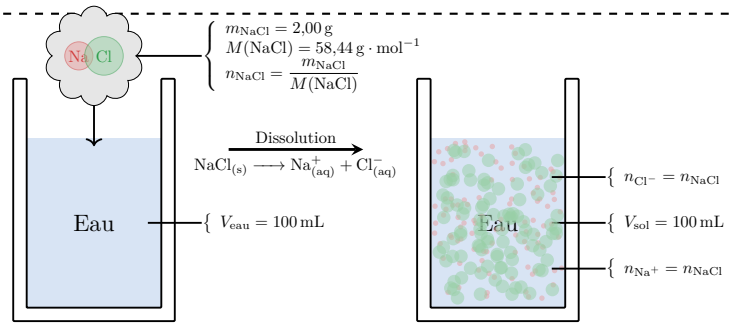
- ◇ **Concentration en soluté apporté** c : quantité de matière de soluté **introduite** par unité de volume de solution, $c = \dfrac{n_{\text{app}}}{V_{\text{sol}}}$. Elle décrit la **préparation** de la solution.
- ◇ **Concentration effective** [X] d'une espèce X : quantité de matière de X **réellement présente** en solution par unité de volume de solution, $[\text{X}] = \dfrac{n_{\text{X}}}{V_{\text{sol}}}$. Elle décrit l'**état** de la solution.

Exemple : pour une solution de chlorure de magnésium $MgCl_2$, qui se dissout totalement dans l'eau ici, de concentration en soluté apporté $c = 0{,}10\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, la dissolution s'écrit $MgCl_2(s) \longrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2\,Cl^-(aq)$, donc $[Mg^{2+}] = c = 0{,}10\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $[Cl^-] = 2c = 0{,}20\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[MgCl_2] = 0$: le soluté apporté n'existe plus en solution.

✍ **Application TM1.8 : Concentration en quantité de matière**

On dissout une masse $m = 2{,}00\,\text{g}$ de sel NaCl(s) dans de l'eau, de façon à obtenir un volume $V_{\text{sol}} = 100\,\text{mL}$ de solution. Déterminer la concentration c en soluté apporté, puis les concentrations effectives des ions Na^+ et Cl^- dans la solution.

On donne $M(\text{NaCl}) = 58{,}44\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.



$$n_{\text{app}} = \frac{m}{M(\text{NaCl})} = 3{,}42\times10^{-2}\,\text{mol}$$

$$\Rightarrow c = \frac{n_{\text{app}}}{V_{\text{sol}}} = 0{,}342\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Dissolution totale : $\text{NaCl(s)} \longrightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$, donc

$$\boxed{[\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = c = 0{,}342\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}}$$

II/C) 2 Concentration en masse

☞ **♥ Définition TM1.18 : Concentration en masse**

On appelle **concentration en masse en soluté** (ou, par abus de langage, **concentration massique**) dans une solution, la **masse de soluté par unité de volume de solution** (le plus souvent par litre de solution). Elle se note c_m. Ainsi, si on a une masse m de soluté dans un volume V_{sol} de solution, alors :

$$\boxed{c_m = \frac{m}{V_{\text{sol}}}} \quad \text{Unité} \quad \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$$

On relie concentration **en masse** c_m et concentration **en quantité de matière** c par

$$c_m = \frac{m}{V_{\text{sol}}} \qquad \text{avec} \qquad m = nM$$

$$c_m = \frac{nM}{V_{\text{sol}}} = \frac{n}{V_{\text{sol}}}M \quad \text{donc} \quad \boxed{c_m = cM}$$

✍ **Application TM1.9 : Concentration en masse**

On dissout une masse $m = 2{,}00\,\text{g}$ de sel NaCl(s) dans de l'eau, de façon à obtenir un volume $V_{\text{sol}} = 100\,\text{mL}$ de solution. Déterminer la concentration en masse des ions Na^+ dans la solution.

On donne $M(\text{NaCl}) = 58{,}44\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Na}) = 22{,}99\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

$$\boxed{c_{m,\text{Na}^+} = \frac{m_{\text{Na}^+}}{V_{\text{sol}}} = \frac{n_{\text{Na}^+}M_{\text{Na}^+}}{V_{\text{sol}}} = [\text{Na}^+]\cdot M_{\text{Na}^+}} \Rightarrow \underline{c_{m,\text{Na}^+} = 7{,}87\,\text{g}\cdot\text{L}^{-1}}$$

II/C) 3 Dilution d'une solution

♥ Propriété TM1.3 : Dilution

On peut **diminuer la concentration** c d'une solution de volume V en la **diluant** jusqu'au volume V' ; sa nouvelle concentration c' est telle que :

$$\boxed{cV = c'V'} \Leftrightarrow \boxed{\frac{c}{c'} = \frac{V'}{V} = F}$$

avec F le **facteur de dilution**.

♥ Démonstration TM1.1 : Dilution

La quantité de matière de soluté ne change pas avec l'ajout de solvant, autrement dit n **est constant** :

$$c = \frac{n}{V} \quad \text{et} \quad c' = \frac{n}{V'} \quad \Rightarrow \quad n = \boxed{cV = c'V'}$$ ■

II/D Espèces gazeuses

II/D) 1 Pression d'un gaz

♥ Définition TM1.19 : Pression d'un gaz

Un gaz est un ensemble d'entités chimiques en mouvement, qui exerce une **pression** P, c'est-à-dire une certaine **force par unité de surface** :

$$\boxed{P = \frac{F}{S}}$$

Unités

$1\,\text{Pa} = 1\,\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

ou $1\,\text{bar} = 1 \times 10^5\,\text{Pa}$

L'air exerce une pression qui diminue avec l'altitude : au sol, l'air supporte le poids de toute la colonne d'air située au-dessus, il est plus comprimé et donc plus dense qu'en haut d'une montagne, où les chocs des particules sur une paroi sont moins nombreux.

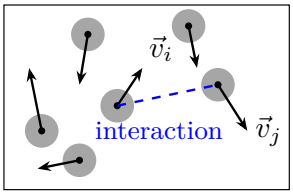
Pour de faibles altitudes, elle est de $\approx 1\,\text{bar}$, soit $10^5\,\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$. C'est une **très grande force pour une petite surface** qui cause notamment des phénomènes d'adhésion en cas de vide autre part.

II/D) 2 Modèle du gaz parfait

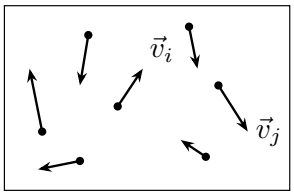
Définition TM1.20 : Gaz parfait

Un gaz parfait est un modèle pour lequel :

- ◇ les particules sont assimilées à des points ;
- ◇ elles sont sans interaction à distance entre elles, les chocs sont élastiques.



Gaz réel



Modèle du gaz parfait

♥ Loi TM1.1 : Loi du gaz parfait

Lorsque la **pression est assez faible** (quelques bars au plus) et à des **températures assez élevées**, les grandeurs physiques décrivant un gaz sont reliées par la formule

$$\boxed{PV = nRT} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} P & \text{en Pa} \\ V & \text{en m}^3 \\ n & \text{en mol} \\ T & \text{en Kelvin (K)} \end{cases}$$

avec $R = 8{,}314\,\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

la constante du gaz parfait

Application TM1.10 : Pression dans une seringue

On considère une seringue cylindrique de $\ell = 10\,\text{cm}$ de long et de $d = 2{,}5\,\text{cm}$ de diamètre, contenant $m = 0{,}250\,\text{g}$ de diazote de masse molaire $M(\text{N}_2) = 28{,}01\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ à la température $T = 20\,^\circ\text{C}$.

1. Calculer le volume de la seringue ;
2. Calculer la quantité de matière dans la seringue ;
3. Calculer la pression exercée par le diazote.



1. $V = \ell \cdot S \Leftrightarrow \boxed{V = \ell\pi\dfrac{d^2}{4}} = \underline{49\,\text{cm}^3 = 49\times10^{-6}\,\text{m}^3}$
2. $\boxed{n_{N_2} = \dfrac{m_{N_2}}{M(N_2)}} = \underline{8{,}93\times10^{-3}\,\text{mol}}$
3. $\boxed{P = \dfrac{nRT}{V}} = \underline{4{,}4\times10^5\,\text{Pa} = 4{,}4\,\text{bars}}$

Définition TM1.21 : Volume molaire

Le **volume molaire** V_m d'un corps est le volume occupé par **une mole** de ce corps :

$$\boxed{V_m = \frac{V}{n}} \quad \textbf{Unités} \quad \text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1} \quad \text{ou} \quad \text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Application TM1.11 : Volume molaire

Calculer le volume molaire d'un gaz parfait pour $\theta_1 = 0\,^\circ\text{C}$ et $\theta_2 = 25\,^\circ\text{C}$ avec $p = 1\,013\,\text{hPa}$.

$$T_1 = 273{,}15\,\text{K} \Rightarrow V_m = \frac{RT}{p} = 22{,}4\,\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$T_2 = 298{,}15\,\text{K} \Rightarrow V_m = \frac{RT}{p} = 24{,}5\,\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$$

II/D) 3 Pression partielle

♥ Définition TM1.22 : Pression partielle

La **pression partielle** P_i d'une **espèce gazeuse** X_i au sein d'un mélange de **gaz parfaits** de volume V_{tot} et de température T est la **pression qu'aurait le système si** X_i **occupait seule le volume** :

$$\boxed{P_i = \frac{n_{i,g}RT}{V_{\text{tot}}}} \quad \text{tel que} \quad \sum_i P_i = P_{\text{tot}}$$

Attention, chaque gaz occupe réellement tout le volume puisque le mélange est supposé homogène.

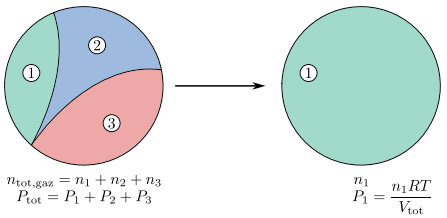


FIGURE TM1.4

II/D) 4 Loi de Dalton

♥ Loi TM1.2 : Loi de Dalton

Soit un mélange de gaz parfaits de pression totale P_{tot}. La pression partielle P_i de X_i est égale à la **pression totale pondérée par sa fraction molaire** $x_{i,g}$ dans le mélange :

$$\boxed{P_i = x_{i,g}P_{\text{tot}}}$$

Démonstration TM1.2 : Dalton

$$P_i = \frac{n_{i,g}RT}{V_{\text{tot}}} = \underbrace{\frac{n_{i,g}}{n_{g,\text{tot}}}}_{x_i} \times \underbrace{\frac{n_{g,\text{tot}}RT}{V_{\text{tot}}}}_{P_{\text{tot}}}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{P_i = x_{i,g}P_{\text{tot}}} \quad \blacksquare$$

Application TM1.12 : Pressions partielles par Dalton

Soit un mélange de gaz nobles contenu dans une enceinte de 100 L à la température $T = 298{,}3\,\text{K}$, avec 2 mol d'hélium He, 5 mol d'argon Ar et 10 mol de néon Ne. Calculer la **pression totale** dans l'enceinte ainsi que la **pression partielle de chacun** des gaz.

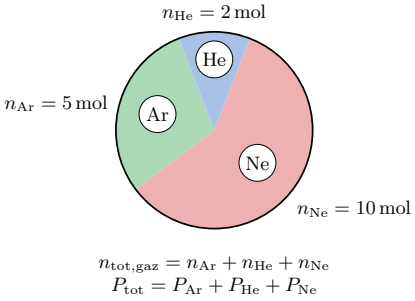


FIGURE TM1.5

$$P_{tot} = \frac{n_{tot,gaz} RT}{V} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} n_{g,tot} &= 17\,mol \\ R &= 8{,}31\,J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1} \\ T &= 298{,}3\,K \\ V &= 100\,L = 0{,}1\,m^3 \end{cases}$$

A.N. : $\underline{P_{tot} = 4{,}2 \times 10^5\,Pa}$

$$\boxed{P_{Ar} = \frac{n_{Ar}}{n_{tot,gaz}} P_{tot}} = \underline{1{,}2 \times 10^5\,Pa}$$

$$\boxed{P_{He} = \frac{n_{He}}{n_{tot,gaz}} P_{tot}} = \underline{0{,}50 \times 10^5\,Pa}$$

$$\boxed{P_{Ne} = \frac{n_{Ne}}{n_{tot,gaz}} P_{tot}} = \underline{2{,}5 \times 10^5\,Pa}$$

II/E Activité

☞ **♥ Définition TM1.23 : Activité chimique**

Pour suivre l'évolution d'un système qui subit une transformation chimique, on utilise l'**activité** chimique des espèces, notée $a(X)$ pour l'espèce X. C'est une grandeur **sans dimension**, qui compare l'état de l'espèce à un **état standard** de référence ; son expression dépend du modèle utilisé (gaz parfait, solution très diluée...). On définit

- ◇ $c^\circ = 1\,mol\cdot L^{-1}$ la concentration standard ;
- ◇ $P^\circ = 1\,bar = 10^5\,Pa$ la pression standard.

♥ **Important TM1.2 : Activité chimique**

État physique	Activité
Gaz (pur ou mélange)	$a(X_{(g)}) = \dfrac{P_X}{P^\circ}$
Soluté (assez dilué)	$a(X_{(aq)}) = \dfrac{[X]}{c^\circ}$
Liquide ou solide (PUR)	$a(X_{(l)}) = a(X_{(s)}) = 1$
Solvant	$a_{solvant} = 1$