

I. Introduction

Un phénomène de transfert (ou phénomène de transport) est un phénomène irréversible durant lequel une grandeur physique est transportée par le biais de molécules. Tous les phénomènes de transport ont pour origine l'inhomogénéité d'une grandeur intensive.

Les entités transférées les plus connues sont la chaleur (transfert thermique), la matière (transfert de masse) et la quantité de mouvement (transfert de quantité de mouvement).

Il existe deux modes principaux de transfert de matière : diffusion et convection.

a) Diffusion

La diffusion est un processus lent : les molécules migrent dans un solide ou dans un fluide considéré comme immobile.

b) Convection

La convection est un processus rapide : les molécules sont entraînées dans un courant de fluide naturel ou forcé.

II. Définitions et relations (Rappel)

1. Le système

On appelle système l'ensemble de la matière située à l'intérieur d'un volume V délimité par une enveloppe fermée de surface externe S . La matière située à l'extérieur de cette surface constitue le milieu extérieur.

Si, durant le temps d'observation, le système n'échange pas de matière avec le milieu extérieur, on dit qu'il est fermé.

Un système est en équilibre si aucune de ses propriétés macroscopiques n'évolue dans le temps.

Un système est caractérisé par deux catégories de paramètres : des grandeurs extensives, des grandeurs intensives,

a) Extensivité

On dit d'une grandeur G qu'elle est extensive lorsque la somme des valeurs de cette grandeur pour deux systèmes disjoints est égale à la valeur de la grandeur pour la réunion des systèmes.

$$G(S_1) + G(S_2) = G(S_1 \cup S_2)$$

b) Intensivité

Une grandeur intensive est une grandeur physique dont la mesure peut être faite ponctuellement, parce qu'elle ne dépend pas de la « taille » du système considéré. Elle permet de caractériser l'homogénéité d'un système (pour cette grandeur).

$$G(S_1) = G(S_2) = G(S_1 \cup S_2)$$

2. Concentrations

a) concentration massique et molaire :

- Pour un soluté « i » la concentration massique est le rapport entre la masse m_i du soluté et le volume v de solution :

$$\text{Concentration massique : } \rho_i = m_i / v \quad [\text{g/L ou Kg/m}^3]$$

- La concentration molaire d'un soluté « i » est notée C_i . Elle est définie par le rapport de la quantité ni de soluté au volume v de solution :

$$\text{Concentration molaire : } C_i = ni / v \quad [\text{mol/L ou mol/m}^3]$$

b) Fraction molaire et massique :

La fraction molaire x_i d'un composant « i » est égale au rapport d'une quantité n_i de ce composant sur la quantité de matière totale n du mélange.

$$x_i = n_i / n = c_i / c ; \quad \sum x_i = 1$$

La fraction massique w_i d'un composant « i » est égale au rapport d'une masse m_i de ce composant sur la masse totale m du mélange.

$$w_i = m_i / m = \rho_i / \rho ; \quad \sum w_i = 1$$

3. Pression total et pression partielle

Pour un gaz parfait et d'après la loi de Dalton, la pression totale est égale à la somme des pressions partielles. Soit : $P_{tot} = \sum P_i$ avec $P_i = Y_i \times P_{tot}$

Exemples d'application

Exemple 1:

Pour un mélange binaire de A et B, montrer que la fraction massique w_A est reliée à la fraction molaire x_A par :

$$w_A = \frac{X_A M_A}{X_A M_A + X_B M_B} ; \quad X_A = \frac{\frac{w_A}{M_A}}{\frac{w_A}{M_A} + \frac{w_B}{M_B}}$$

Exemple 2 :

La composition de l'air atmosphérique en pourcentage massique est de 79,04 % d'azote (N_2), de 20,93 % d'oxygéné (O_2) et de 0,03 % de dioxyde de carbone (CO_2).

Déterminer les fractions molaires et les pressions partielles.

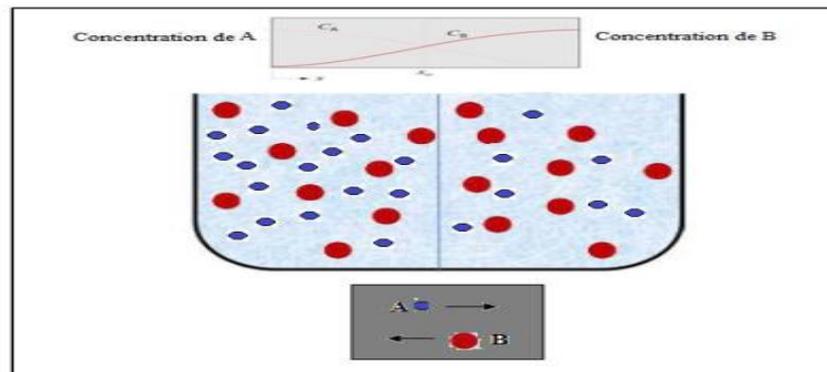
III. Diffusion moléculaire

1. Mise en évidence du phénomène

Considérons deux compartiments adjacents contenant deux gaz différents a et b qui sont à la même température T et la même pression P, séparés par une paroi coulissante. Lorsqu'on fait glisser la paroi, les gaz "diffusent" de leur récipient d'origine vers le récipient voisin.

La diffusion dans le sens de concentration faible induit le transport net des molécules A vers la droite et les molécules B vers la gauche.

Après un certain temps, les concentrations de A et B deviennent uniforme dans tout le milieu.



2. Définition

La diffusion est le transport microscopique (une migration) de masse comme les atomes, les molécules et les ions dans un milieu sous l'effet des différences de concentration, depuis les zones concentrées en matière vers les zones moins concentrées. Elle désigne la tendance naturelle d'un système à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques en son sein. C'est un phénomène spontané, irréversible conduisant à un équilibre.

3. Densité de flux de diffusion

Avant de parler de la densité de flux de diffusion, il est nécessaire de définir ce flux ainsi que la vitesse de déplacement des constituants.

a) Vitesse

On désigne par \vec{v}_i la vitesse moyenne d'une molécule de composant (i), et par \vec{v} , la vitesse moyenne massique du mélange

$$\vec{v} = \frac{\sum_i^n \rho_i \vec{v}_i}{\sum \rho_i}$$

Pour un mélange binaire A et B : $\vec{v} = \frac{\rho_A \vec{v}_A + \rho_B \vec{v}_B}{\rho}$ [Kg/m².s]

La vitesse moyenne molaire du mélange \vec{v}^* est défini par :

$$\vec{v}^* = \frac{\sum C_i \vec{v}_i}{\sum C_i} = \frac{C_A \vec{v}_A^* + C_B \vec{v}_B^*}{C}$$

b) Flux

Il correspond à la quantité de matière transférée à travers la surface S par unité de temps.

- Flux de molécule $\phi = \frac{dN}{dt}$
- Flux massique $\phi_m = \frac{dm}{dt} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$
- Flux molaire $\phi_n = \frac{dn}{dt} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$

c) Densité de flux de matière

C'est la quantité de matière (la masse ou le nombre de mole) transférée par unité de temps et de surface (normale à la direction du transfert) :

$$J = \frac{N}{S.t} = \frac{\phi}{S} \text{ (kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1} \text{ ou mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}\text{)}$$

N : quantité de matière transférée (kg ou mol) ; t : temps (s)

La densité de flux est calculée comme suit :

La densité de flux massique : $\vec{J}_i = \rho_i \vec{v}_i$

La densité de flux molaire : $\vec{J}_i^* = C_i \vec{v}_i^*$

Exercice :

Un mélange gazeux s'écoule dans une conduite. La composition molaire d'un mélange étant le suivant : CO : 5% ; CO₂ : 7% ; O₂ : 8% ; N₂ : 80%. Les vitesses individuelles des constituants sont : CO : 5.5m/s ; CO₂ : 3m/s ; O₂ : 5m/s et N₂ : 16m/s.

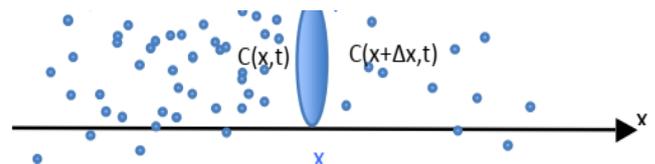
Calculer la vitesse moyenne massique du mélange ainsi que sa masse volumique sachant que le mélange gazeux est à 295K et sous 1atm

4. 1^{ère} loi de Fick

La première loi de Fick dit que le nombre ΔN de molécule de soluté qui passe à travers S pendant l'intervalle $[t, t+\Delta t]$ est proportionnel au taux de variation de $C(x,t)$ avec x .

Ecrivons ΔN qui passent à travers S pendant l'intervalle $[t, t+\Delta t]$, faisant intervenir une constante de proportionnalité notée D .

ΔN est donc proportionnel à cette dérivé, mais il doit aussi être proportionnel à Δt et à S .



$$\Delta N(x, t) = -D \frac{\Delta C}{\Delta x} (x, t) S \Delta t$$

Si on suppose que Δx et Δt sont très petits, la densité de flux $J(x,t)$ sera alors écrite :

$$J(x, t) = -D \frac{\partial C}{\partial x} (x, t)$$

C'est la 1^{ère} loi de Fick où D est le coefficient de diffusion ou diffusivité.