

## Matière : Transfert de matière

### Chapitre 1 : Rappels et généralités

« Rien ne se crée, rien ne se perd mais tout se transforme »

Conservation de matière, de chaleur (énergie), de quantité de mouvement.

Transfert (Transport) : il y a mouvement.

#### Exemple :

1) évaporation de l'eau, 2) extraction (préparation d'une tisane)

3) Filtration, 4) coagulation, 5) adsorption, 6) absorption (boissons gazeuses, l'eau absorbe de CO<sub>2</sub>).

7) Distillation

1) ---7) s'appelle les opérations unitaires

#### Rappels

Concentrations : Concentrations, la masse, le nombre de moles → grandeurs conservatives mais le volume est variable.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Molaire : } y_A \text{ gaz, } x_A \text{ liquide, } y_A = \left(\frac{n_A}{n}\right) \text{ gaz, } x_A = \left(\frac{n_A}{n}\right) \text{ liq} \\ \text{Massique : } w_A = \frac{m_A}{m_t} \end{array} \right.$$

Vitesse (en générale) =  $\frac{\text{variation d'une variable donnée}}{\text{variation du temps}}$ , exemple  $V = \frac{d(\text{distance})}{dt}$

Soit  $v_a$  : vitesse absolue c- à -d par rapport à un repère fixe O.

$V$  vitesse moyenne molaire du mélange M

$V'_A = V_A - V$  : vitesse relative de A par rapport à repère I.

$$V = \frac{\sum C_i v_i}{\sum C_i} = \frac{C_A v_A + C_B v_B + C_C v_C + \dots}{C_A + C_B + C_C + \dots} \quad \text{Ou } V : \text{ vitesse moyenne du mélange (molaire).}$$

$$\text{On a } y_i = \frac{n_i}{n} = \frac{\frac{n_i}{V}}{\frac{n}{V}} = \frac{C_i}{C}, \quad C = \sum C_i$$

$$\text{Alors } V = \frac{\sum C_i v_i}{C} = \sum y_i v_i$$

$$v = \frac{\sum \delta_i v_i}{\sum \delta_i} = \sum w_i v_i, \quad v : \text{ vitesse moyenne massique du mélange,}$$

Le flux :  $un\ flux = \frac{quantité}{section * temps}$  ,  $\left\{ \begin{array}{l} \text{flux molaire} = \frac{mole}{m^2.s} \\ \text{flux massique} = \frac{Kg}{m^2.s} \end{array} \right.$

**Un flux c'est toujours = Concentration\*vitesse**

Notation :

$\vec{N}_A = C_A * \vec{v}_A$  (flux molaire de A) [flux absolue car par rapport à un repère fixe  $v_A$ ]

$\vec{n}_A = \rho_A * \vec{v}_A$  (flux massique de A ?flux absolue aussi) ;

Les flux relatifs :  $\vec{J}_A = C_A * \vec{v}'_A = C_A * (\vec{v}_A - V)$  (flux relatif molaire de A)

$\vec{j}_A = \rho_A * \vec{v}'_A = \rho_A * (\vec{v}_A - V)$  (flux relatif massique de A).

Le débit :  $\frac{nombre\ de\ mole}{t} = N.S = flux * section$ , on distingue :

Le débit molaire : mol/s, le débit massique Kg/s, débit volumique  $m^3/s$ .

Connaissons la vitesse :  $N_A = C_A * \vec{v}_A$  (le flux absolu ou résultants)

$\vec{n}_A = \rho_A * \vec{v}_A$  ,  $\vec{J}_A = C_A * \vec{v}'_A = C_A * (\vec{v}_A - V)$

$\vec{j}_A = \rho_A * (\vec{v}_A - V)$

**Les modes de transfert de matière :**

Transfert par diffusion { diffusion moléculaire- diffusion par convection }

Diffusion : distribution, répartition, ....

a) Diffusion moléculaire : Dans un bol de café, si on ajoute le sucre et on laisse au repos après un certain temps le café devient sucré : les molécules du sucre ont diffusée dans toute le bol d'où le gout sucré, cette diffusion est lente car les molécules se sont déplacées par leurs propre énergie (énergie cinétique) c'est : **la diffusion moléculaire.**

b) Diffusion par convection : exemple : si on veut activer le mélange (sucre-café) on doit utiliser une cuillère implique que tout le mélange se met en mouvement (le mouvement de l'ensemble) on particulier les molécules du sucre c'est la **diffusion par convection.**

**Flux de diffusion moléculaire :**

$\vec{J}_A = C_A * \vec{v}'_A = C_A * (\vec{v}_A - V)$

$\vec{j}_A = \rho_A * \vec{v}'_A = \rho_A * (\vec{v}_A - V)$

**Flux de diffusion par convection :**

$C_A * \vec{V}$  : vitesse de mélange de A

$C_B * \vec{V}$  : vitesse de mélange de B

$$(C_A + C_B) \cdot \vec{V} = C \cdot \vec{V}$$

**Transfert entre phases :** le mélange doit être hétérogène (phase immiscibles)

Une substance A passe d'une phase à une autre selon son affinité par rapport à cette phase

$\xi_{A\ 1-2} = K (C_{A1} - C_{A2})$  ou :  $\xi_{A\ 1-2}$  : flux de transfert de matière de A de la phase 1 à la phase 2.

K : coefficient de T.M (transfert de matière).

**Transfert de matière par diffusion :**

**Diffusion moléculaire 1<sup>ère</sup> loi de Fick :**

La concentration dépend de l'espace et du temps c-à-d :  $C_A(x,y,z,t)$ .

On suppose que le temps n'intervienne pas c-à-d on prend un état stationnaire

$$\vec{J}_A = -D_A \vec{\text{grad}} C_A$$

La diffusion moléculaire de l'espèce A est le déplacement de cette molécule d'un milieu le plus concentré vers un autre milieu le moins concentré, le milieu le plus concentré c'est le point de départ  $C_{A1}$ , le milieu le moins concentré c'est le point d'arrivée  $C_{A2}$ , telque :  $C_{A1} > C_{A2}$ ; le flux de diffusion moléculaire  $J_A$  est proportionnel à la différence de concentration entre le point de départ (1) et le point d'arrivée (2), et inversement proportionnel à la distance entre le point 1 et le point 2 d'où la 1<sup>ère</sup> loi de Fick :

$$\vec{J}_A = -D_A \vec{\text{grad}} C_A \quad \text{ou:}$$

$$\vec{J}_A = \left\{ \begin{array}{l} J_{Ax} = -D_A \frac{\partial C_A}{\partial x}, J_{Ay} = -D_A \frac{\partial C_A}{\partial y}, J_{Az} = -D_A \frac{\partial C_A}{\partial z} \end{array} \right. \text{ avec } C_A(x,y,z,t).$$

Et car  $\vec{J}_A$  et  $D_A$  sont des valeurs proportionnelles on étudie alors D.

**Coefficients de diffusion :**

**Définition :**

$$D_A = \frac{-|\vec{J}_A|}{|\vec{\text{grad}} C_A|} \quad \text{et } D_A > 0$$

**De quoi dépend D ?**

**La diffusion de A dans un milieu donné dépend de :**

- 1- La concentration  $C_A$  et C de mélange.
- 2- Distance à parcourir (l'espace x,y,z).
- 3- Le temps

- 4- Des caractéristiques de la molécule A : nature chimique ( $O_2, N_2, C_nH_{2n+2}, \dots$ ), la masse moléculaire, la taille(rayon).
- 5- L'état de la matière du milieu (gaz, solide, liquide)
- 6- La viscosité.
- 7- Conductivité électrique.
- 8- Pression, température.

**Définition :** la diffusion d'une espèce A dans un milieu donné dépend de :

- 1- L'état de la matière du milieu (gaz, solide, liquide) ;
- 2- La concentration de l'espace  $C_A$  et la concentration du milieu (mélange) C
- 3- De l'espace : la distance à parcourir ;
- 4- Des caractéristiques de la molécule A : nature chimique ( $O_2, N_2, C_nH_{2n+2}, \dots$ ), la masse moléculaire, la taille(rayon).
- 5- Les conditions opératoires : température et pression.

### Coefficient de diffusion en phase gazeuse

**Condition :** milieu dilué à basse pression, P totale, milieu binaire : 2 constituants A et B.

$$D_{AB} = \frac{0.001858 \cdot T^{3/2} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right]}}{P \cdot \sigma_{AB}^2 \cdot \Omega_D} \quad \text{en (cm}^2/\text{s)}$$

D'où : T en  $K^0$ ,  $M_A$  : g/mole, Pression P : atm,  $\sigma_{AB} = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2}$

$\sigma_A$  : diamètre de la molécule A,  $\sigma_B$  : diamètre de la molécule B, pendant la collision entre A et B on prend la moyenne des diamètres A et B.

$\Omega_D$  : l'intégrale de collision dépend de la température (voir cinétique des gaz parfaits cours thermodynamique).

Connaissions  $D_{AB}$  en  $T_1$  et  $P_1$  on veut  $D_{AB}$  en  $T_2$  et  $P_2$ ? On fait le rapport  $\frac{D_{AB2}}{D_{AB1}}$

$$\Rightarrow D_{AB2} = D_{AB1} \cdot \left[ \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \cdot \left(\frac{\Omega_{D1}}{\Omega_{D2}}\right) \right]$$

**N.B :**  $D_{AB}$  dans ce cas ne dépend pas de la concentration car c'est un milieu dilué.

### Coefficient de diffusion en phase liquide en milieu dilué:

Cas d'une solution non électrolyte :

$$D_{AB} = \frac{7.4 \cdot 10^{-8} \cdot T (K^0) \cdot (\varphi_B \cdot M_B)^{0.5}}{\mu_{B(C.P_0)} v_b^{0.6}}$$

A : soluté ; solvant ;

$\mu_B$  viscosité dynamique du solvant B ;

T : température ;

$M_B$  : masse moléculaire de B ;

$V_A$  : volume moléculaire de A ;

$\varphi_B$  : Facteur d'association.

**Cas d'une solution électrolyte :**

Equation de Nernst (milieu dilué)

$$D_{AB} = \frac{2RT}{\left(\frac{1}{\lambda_+} + \frac{1}{\lambda_-}\right)f}$$

R : constante du gaz parfait

T : température

$\lambda$  conductibilité électrique (+ pour les cations et – pour les anions)

f constante de faraday = 96500 C/mole.

**Coefficient de diffusion en phase solide :**

Diffusion dans un solide non poreux : la molécule se dissout dans le solide en faisant écarté et déplacer (les atomes) les molécules de leurs places.

Diffusion dans un solide poreux (catalyse) : la molécule diffusante entre dans le vide qui se trouve dans le solide dans ce cas la diffusion dépend de chemin suivi