

## Absorption - Désorption, résumé de cours

- Vocabulaire, notations, titres et rapports molaires,
- Absorption physique (équilibres) ou chimique (bilans de type réacteur, pas de NET),
- Représentation des équilibres liquide-gaz-soluté (tableaux, isothermes), conversion des données en rapports molaires,
- loi de Henry  $P_i = H_x \times x_i$ ,
- Appareillages, schémas détaillés, schémas de principe,
- Bilan matière global, en soluté, et conservation inerte et solvant  $V_e \times (1 - y_e) = V_s \times (1 - y_s)$  et  $L_e \times (1 - x_e) = L_s \times (1 - x_s)$
- Absorption - désorption à Co et à contre-courant, construction de Mac-Cabe et Thiele, NET, débit de solvant minimum,
- Cas du gaz à faible teneur en soluté (construction possible sur les courbes d'équilibre en titre versus rapport)

La **Loi de Henry**, formulée en **1803** par **William Henry**, énonce que « À température constante et à l'équilibre, la quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide. »

proposé une expression empirique introduisant un paramètre expérimental  $H$  :

$$y \cdot P = p^* = H \cdot x \quad (\text{II. 1})$$

$p^*$ : Pression partielle du soluté en équilibre avec un liquide de titre  $x$  en soluté (Pa)

Raoult propose ensuite le modèle de la solution idéale, modèle dans lequel l'équilibre gaz-liquide est représenté par la relation suivante (avec un état de référence composé pur) :

$$p^* = x \cdot P^{sat} \quad (\text{II. 2})$$

$P^{sat}$ : Pression de vapeur saturante du soluté à température donnée (Pa).

Dans la littérature, de nombreuses valeurs de constantes de Henry sont rencontrées avec des définitions variables :

$$H = \frac{y}{x} \cdot P \quad (\text{Pa}) \quad (\text{II. 3})$$

$$H' = \frac{p^*}{C_L} \quad (\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}) \quad (\text{II. 4})$$

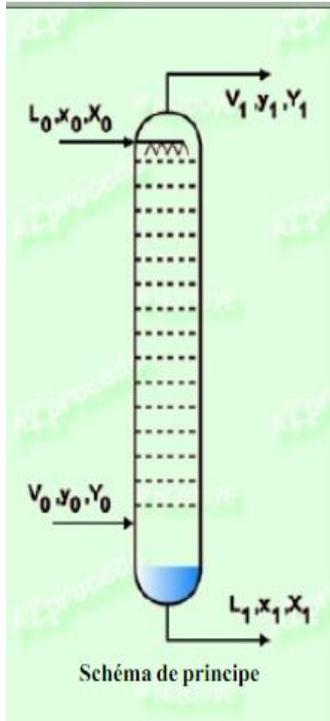
$$H'' = \frac{C_G}{C_L} \quad (-) \quad (\text{II. 5})$$

$C_G$  : Concentrations molaires ou massiques en phase gaz ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$  ou  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$C_L$  : Concentrations molaires ou massiques en phase liquide ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$  ou  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

La connaissance des masses molaires et volumiques de la phase liquide et de la phase

## Bilan matière



### Notations phase liquide:

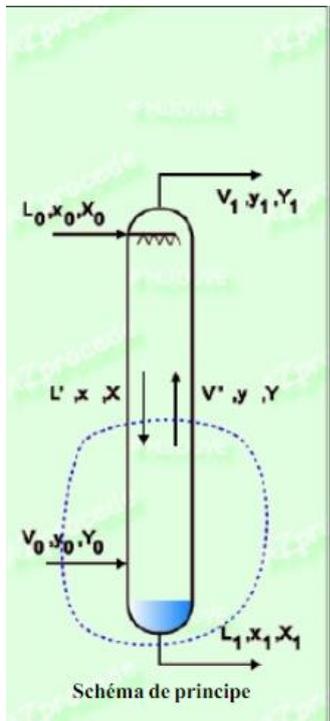
- L débit de la phase liquide, indice 0 à l'entrée, 1 à la sortie
- x titre massique en soluté dans la phase liquide
- X rapport massique en soluté dans la phase liquide, avec  $X = x/(1-x)$
- L' débit du liquide exempt de soluté, c'ad  $L' = L (1-x)$ . Ce débit est constant tout le long de la colonne lorsque le gaz inerte est insoluble dans le liquide.

### Notations phase gaz:

- V débit de la phase gaz à l'entrée, indice 0 à l'entrée, 1 à la sortie
- y titre massique ou molaire en soluté dans la phase gaz
- Y rapport massique ou molaire en soluté dans la phase gaz, avec  $Y = y/(1-y)$
- V' débit de gaz inerte hors soluté, c'ad  $V' = V (1-y)$ . Ce débit est constant tout le long de la colonne lorsque le gaz inerte est insoluble dans le liquide.

### Bilans matières global, en soluté, en solvant et en inerte:

- $L_0 + V_0 = L_1 + V_1$
- $L_0 x_0 + V_0 y_0 = L_1 x_1 + V_1 y_1$
- $L' - L_0 (1-x_0) = L_1 (1-x_1)$
- $V' - V_0 (1-y_0) = V_1 (1-y_1)$



### Droite opératoire et construction de MacCabe et Thiele à contre courant:

- Débit de solvant pur:  $L' = L (1-x) = L_0 (1-x_0) = L_1 (1-x_1)$
- Débit d'inerte pur:  $V' = V (1-y) = V_0 (1-y_0) = V_1 (1-y_1)$
- Bilans sur l'enveloppe bleue:  $L x - L_1 x_1 = V y - V_0 y_0$

En remplaçant  $L_1$  par  $L'/(1-x_1)$ ,  $L$  par  $L'/(1-x)$ ,  $V_0$  par  $V'/(1-y_0)$  et  $V$  par  $V'/(1-y)$  on obtient:

$$L' x / (1-x) - L' x_1 / (1-x_1) = V' y / (1-y) - V' y_0 / (1-y_0)$$

soit encore  $L' (X - X_1) = V' (Y - Y_0)$ , qui s'écrit enfin:

$$(Y - Y_0) = (L'/V') (X - X_1)$$

C'est l'équation de la droite opératoire, qui passe par les points  $(X_1, Y_0)$  et  $(X_0, Y_1)$ , coordonnées des deux extrémités de la colonne. Le tracé de cette droite opératoire sur la courbe d'équilibre permet de déterminer le **Nombre d'Etage Théorique NET** de la colonne.

### Remarques:

- cette construction peut être tracée sur la courbe d'équilibre en rapport massique ou en rapport molaire, le rapport  $L'/V'$  devant être dans les mêmes unités.

Série N°1 du module : « Génie des séparations »

Exercice N° 1

Un flux de méthane contenant 5% en volume de CO<sub>2</sub> est lavé à l'eau sous une pression totale de 50 atm. Le gaz lavé a une teneur résiduelle en CO<sub>2</sub> de 0.1% en volume, tandis que l'eau sortante contient 0.25% poids de CO<sub>2</sub>.

- Déterminer pour 1000 kg.h<sup>-1</sup> de charge le débit d'eau utilisé.

Données:

- $M_{CO_2}=44 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $M_{CH_4}=16 \text{ g.mol}^{-1}$ .

Exercice N°2

On étudie l'absorption d'NH<sub>3</sub> dans l'air par de l'eau à 20°C, sous 2 atmosphères. L'absorption réalisée est supposée isotherme et à contre-courant.

- Le titre massique en NH<sub>3</sub> de l'eau d'alimentation est 0.3%.
- Le titre massique de la solution riche est 8%.
- L'air alimenté contient 5.7% d' NH<sub>3</sub> en volume.

1°) Calculer les rapports molaires de toutes les phases

2°) Calculer les titres massiques en NH<sub>3</sub> dans l'air en entrée.

Données:

$$M_{NH_3}=17 \text{ g.mol}^{-1}, M_{air}=29 \text{ g.mol}^{-1}, M_{eau}=18 \text{ g.mol}^{-1}$$

Exercice N°3

On réalise en continu dans une colonne à garnissage la désorption d'une solution eau-NH<sub>3</sub> par de l'air déchargé d'NH<sub>3</sub>. Les conditions de fonctionnement sont les suivantes:

- Alimentation liquide:  $L_e = 4 \text{ kg.h}^{-1}$ , titre massique  $x_{e,NH_3}=7\%$ ,
- Sortie liquide:  $L_s = 3.8 \text{ kg.h}^{-1}$ ,  $x_{s,NH_3}=2.1\%$ ,

- Calculer le débit masse d'NH<sub>3</sub> désorbé en g.h<sup>-1</sup> et Le rendement de la désorption

Données:

$$M_{air}=29 \text{ g.mol}^{-1}, M_{eau}=18 \text{ g.mol}^{-1}, M_{NH_3}=17 \text{ g.mol}^{-1}$$

Série N°2 du module : « Génie des séparations »

Exercice N° 1

On veut éliminer le benzène contenu dans un mélange gazeux air - benzène par absorption à l'aide d'un solvant organique non volatil. L'opération est réalisée dans une colonne fonctionnant à contre-courant.

Le débit volumique de gaz à traiter, mesuré à  $T = 40^{\circ}\text{C}$  sous une pression absolue de 1 bar, est égal à 1400 m<sup>3</sup>/h.

Le gaz à traiter contient 8% en volume de benzène et l'on souhaite obtenir en sortie de colonne un gaz épuré contenant 1% de benzène en volume.

- 1) Calculer le titre molaire  $y_e$  en benzène du gaz à traiter et le titre molaire  $y_s$  en benzène du gaz épuré, en supposant que le mélange air-benzène se comporte comme un mélange de gaz parfaits.
- 2) Calculer le débit molaire horaire  $G_E$  de gaz à traiter
- 3) Calculer le débit molaire horaire  $G_S$  du gaz épuré.

Données:

$$M_{\text{air}}=29 \text{ g.mol}^{-1}, \quad M_{\text{Benzène}}=78 \text{ g.mol}^{-1}, \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{Constante des gaz parfaits } R = 8,32 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Exercice N° 2

Soit une technique d'adsorption la dans l'industrie pétrolière pour la déshydratation du gaz GPL. On utilise les tamis moléculaire comme adsorbant:

-Donnez une brève description du schéma de process ci-dessous :

