Chapitre 2
Bilan macroscopique de matières

I. Introduction

Le bilan de matière ou bilan massique et un calcul qui consiste à évaluer les quantités de produits mis en œuvre dans les transformations chimiques et/ ou physique d'un procédé. ce calcul permet de faire l'état des produits qui entrent, sortent, sont extraits, sont accumulés dans un système chimique et/ ou physique, discontinu ou c continu, Pendant une certaine période de temps et d'en déduire leurs compositions.

Le but du bilan de matière et de permettre et la détermination et/ou la vérification des conditions de marche optimal d'une unité en:

- Calcul en certaines grandeurs que l'on ne peut pas mesurer expérimentalement (composition et quantité de flux de matière)
- vérification de la validité des déterminations expérimentales
- calcul ans certains rapport caractéristiques d'un processus chimique (taux de conversion, taux d'alimentation, taux de recyclage,... etc).

II. Principe de la conservation de la matière

Ce principe peut se lancer de la façon suivante: "***Dans un processus quelconque, La masse se conserve, c'est-à-dire qu'elle ne peut être ni détruite ni crée***"
La quantité de X contenu dans un volume de contrôle homogène au temps t_2 doit être égal à

$$\boldsymbol{x_{t_2} = x_{t_1} + x_{entrée} - x_{sortie} + x_{formé} - x_{disparu}}$$

Pendant $\boldsymbol{\Delta t = t_2 - t_1}$

II.1. quantité de matière entrée et sortie pendant Δt

Considérant un élément de contrôle de surface S et de volume V. la quantité se déplace avec une vitesse $\vec{v}$ avec un vecteur d'écoulement perpendiculaire à la surface S. le débit volumique passant à travers la surface S pendant Δt est :

$$q_v = \vec{v}.A$$

Le débit massique qui traverse la surface A pendant Δt est :

$$q_m = w = \rho \vec{v} A$$

et ce terme W qui passe par l'élément de contrôle est égal à

$$w = w_e - w_s = \rho \vec{v} A$$

II.2. Quantité de matière présente dans le volume

La masse qui se trouve dans le volume de contrôle V et ton tenue en faisant la somme des différentes masse Δm dans les différents petits volumes ΔV au temps t:

$$\int dm = \int_V \rho dV$$

II.3. Quantité de la matière de transformation

Soit la molécule de contrôle A, Cette molécule subit une transformation chimique (une disparition ou une apparition). Si cette molécule se transforme avec un débit de transformation chimique R_A.

La transformation de $m_{A_{trans}}$ dans le volume ΔV pendant Δ t s'écrit donc

$$m_{A_{trans}} = \Delta t \int_V R_A dV$$

Lorsqu'il s'agit d'une réaction de **production de A**, $\mathbf{R_A}$ **sera positif**, si s'agit d'une réaction **de disparition** de **A**, $\mathbf{R_A}$ **sera** négatif.

III.Bilan macroscopique global (pour l'ensemble des constituants)

III.1 Bilan global avec réaction chimique

Appliquant les équations définies précédemment pour établir un bilan global de matière pendant le temps Δt

$$x_{t+\Delta t} - x_t = x_{entrée\ pendant\ \Delta t} - x_{sortie\ pendant\ \Delta t} + x_{tranformé\ pendant\ \Delta t}$$

$$\int_V (\rho dV)_{t+\Delta t} - \int_V (\rho dV)_t = \rho \vec{v} A\, \Delta t + \int_V R_A dV\, \Delta t$$

$$\frac{\int_V (\rho dV)_{t+\Delta t} - \int_V (\rho dV)_t}{\Delta t} = \rho \vec{v} A + \int_V R_A dV$$

Donc le bilan macroscopique global avec réaction chimique s'écrit

$$W_e + \int_V R_A dV = \frac{dm}{dt} + W_s$$

III.2. Bilan global sans réaction chimique

Pas de réaction chimique ceci veut dire que $R_A = 0 \ \ donc \ \ \int_V \ R_A dV \, \Delta t = 0$

Le bilan de matière s'écrit donc :

$$W_e = \frac{dm}{dt} + W_s$$

IV. Bilan macroscopique partiel (pour un constituant A)

Le bilan de matière pour le constituant A est obtenue en appliquant l'équation de conservation de la masse,

$\bar{x}_{A_e}$ est la fraction massique de A à l'entrée

$\bar{x}_{A_s}$ est l'a fraction en massique de A à la sortie

Le bilan s'écrit donc pour A

$$W_e \bar{x}_{A_e} + \int_V r_A dV = \frac{dm_A}{dt} + W_s \bar{x}_{A_s}$$

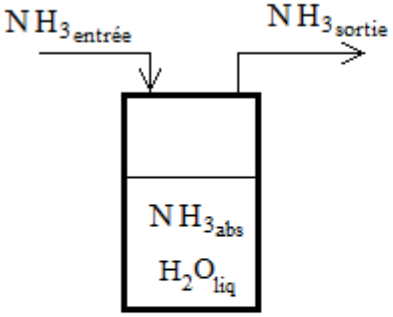
V. Conséquences du principe de la conservation de la matière

L'équation de conservation de la matière et exploitable à toutes les opérations du génie des procédés et de la chimie industrielle

V.1. Processus physique

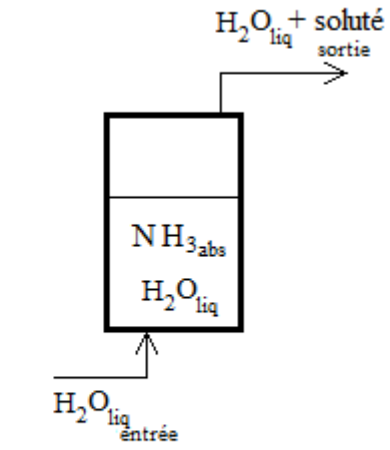
Les procédés dans les opérations unitaires qui peuvent utiliser

- Procédé semi-continue, discontinu: dans ce cas l'équation de continuité s'écrit
  masse entrée= la masse sortie+ accumuler
  masse entrée= la masse sortie- la masse extraite (absorbée)



Absorption discontinue

$$W_e = \frac{dm}{dt} + W_s$$

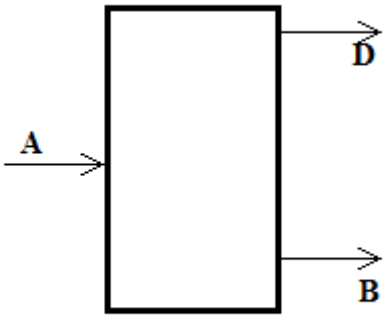


extraction liquide-liquide

$$w_e = w_s - w_{soluté}$$

- Procédé continu: pour les procédés continus stationnaires il y a pas d'accumulation de sorte que la masse de matière entrante est égal à la masse de matière sortante.

$$Masse\ entrée = Masse\ sortie$$

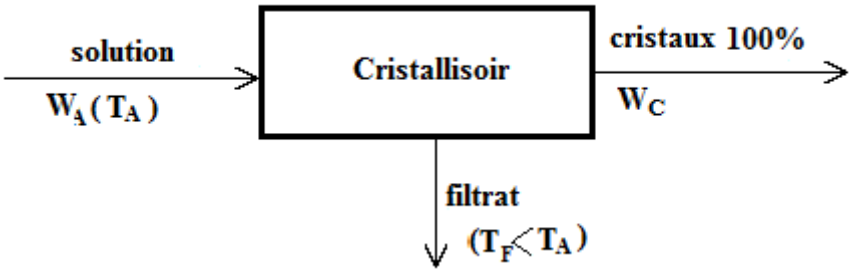


A= B +D

V.1.1. la cristallisation

Lorsqu'on refroidit une solution saturée de soluté solide dans un solvant, il y a cristallisation d'une partie du soluté et le solide formé est ensuite séparé par filtration, On obtient:

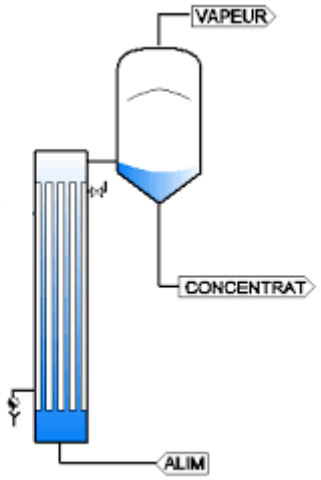
- Une phase solide à 100 % de soluté
- un filtrat à liquide saturée en soluté dans le solvant



$$W_A = W_c + W_F$$

V.1.2. L'évaporation

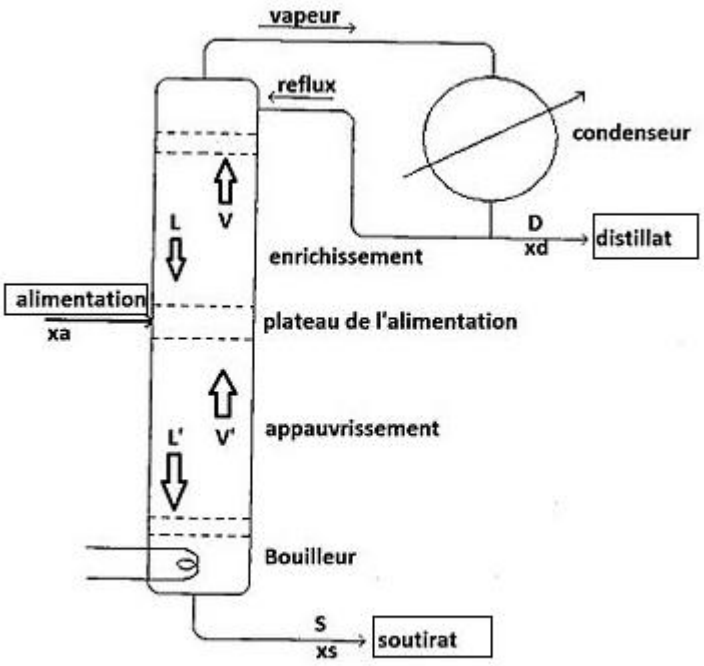
Lorsqu'on fait monter la température d'une solution, nous aurons l'évaporation du solvant afin d'obtenir à la fin une solution concentré (le concentrât) et l'évaporation qui contient le solvant pur évaporé.



$$Alimentation = concentrat + vapeur$$

V.1.3. la distillation

Absorption de gaz : Il s'agit d'une opération de transfert de masse dans laquelle un ou plusieurs solutés de gaz sont éliminés par dissolution dans un liquide.

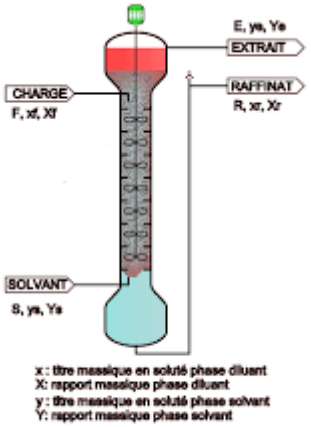


$$Alimentation = Distillat + Soutirat$$

V.1.4. Extraction liquide-liquide

C'est un procédé de séparation en génie chimique, consistant en une extraction par transfert entre deux phases liquides. un mélange binaire dont on veut effectuer la séparation est mis en contact avec un troisième liquide non miscible appelé solvant et retenu pour sa capacité à extraire préférentiellement l'un des éléments du mélange. Après l'opération, on récupère deux phases séparées par décantation :

- l'extrait formé du solvant enrichi en soluté,
- le raffinat, soit le mélange appauvri en soluté.

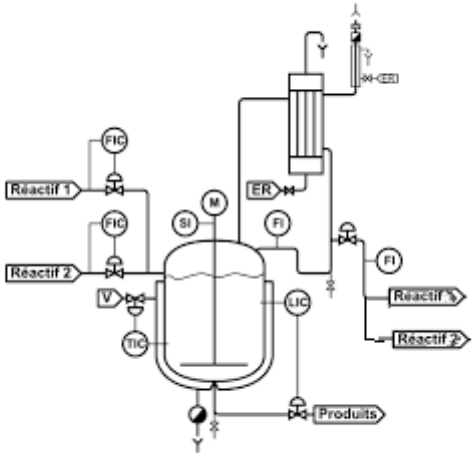


$$charge + solvant = extrait + raffinat$$

V.2. Procédé de production

La qualité de tous procédés dépend de la qualité de produit principal qui est susceptible de fournir dans un temps donné par rapport au matière première mise en jeu et l'investissement imposé. Pour pouvoir préciser cette qualité, il est d'abord nécessaire de donner un certain nombre de définitions et de préciser les principales grandeurs caractéristiques de la production.

$$\gamma_R R + \gamma_E E \Leftrightarrow \gamma_p P + \gamma_c C$$



$$réactif_1 + réactif_2 = produits + réactif_{1_{restant}} + réactif_{2_{restant}}$$

V.2.1. Taux de conversion

Il est égal au rapport de la masse de réactif principale (le réactif R est le réactif limitant) transformée par la masse initiale de ce réactif.

$$\tau_c = \frac{m_{R_0} - m_{R_f}}{m_{R_0}} = \frac{n_{R_0} - n_{R_f}}{n_{R_0}}$$

V.2.2. Sélectivité

La **sélectivité** d'une réaction chimique spécifie la quantité n_p de produit désiré formé par rapport au nombre de moles $n_{R_0} - n_{R_f}$ consommées du réactif limitant. Elle indique si plusieurs réactions se produisent en parallèle, conduisant à des sous-produits non désirés, ou si la réaction menée est la seule à consommer du réactif.

Mathématiquement, la sélectivité chimique globale *S* s'exprime pour un produit *P* dans un système fermé selon la formule :

$$\tau_S = \frac{\gamma_R}{\gamma_p} * \frac{n_{p_0} - n_{P_f}}{n_{R_0} - n_{R_f}}$$