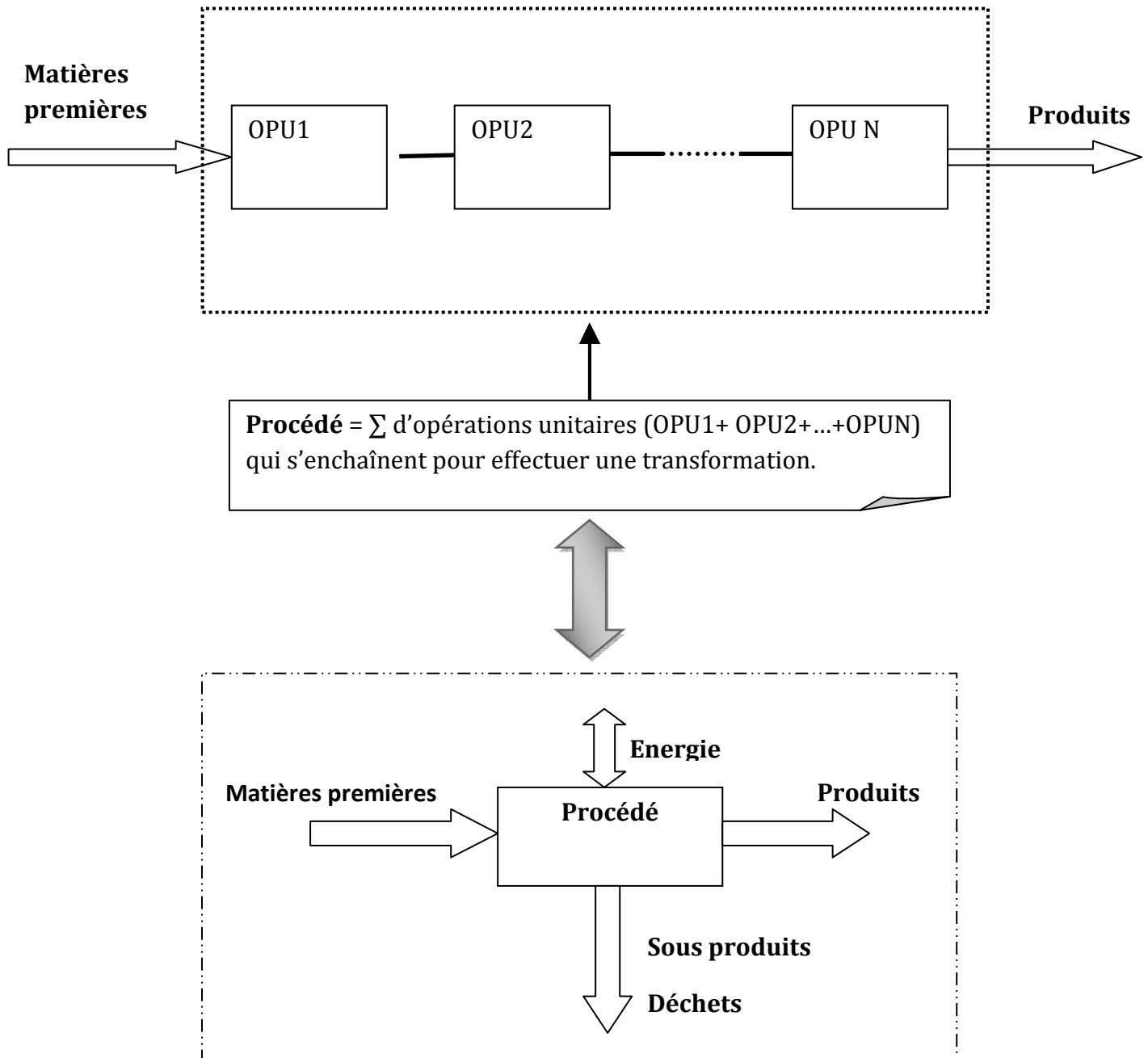

Chapitre 1

Généralités

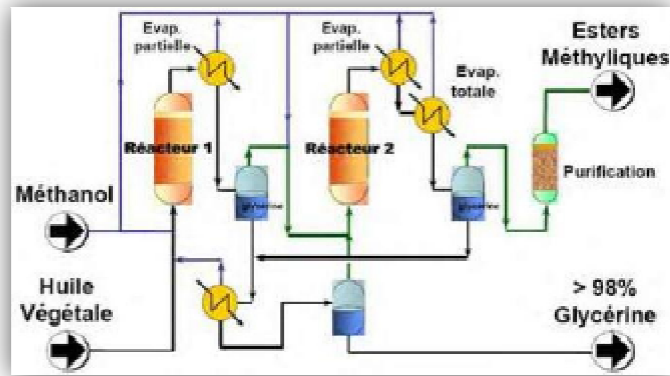
I. Définitions

1. Qu'est qu'un procédé ?

Un procédé est l'ensemble d'opérations unitaires permettant la transformation de matières premières ou des réactifs en produits et/ou sous produits.



Exemple : Procédé continu de production d'esters méthyliques par catalyse hétérogène



2. Opérations unitaires

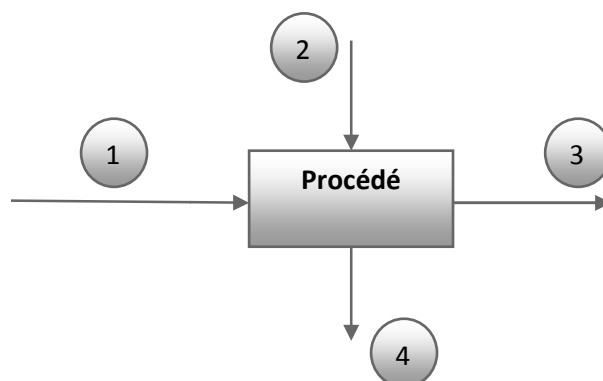
Dans un procédé industriel, on distingue généralement les réacteurs dans lesquels se déroulent les réactions chimiques et les opérations unitaires de séparation destinées à séparer et purifier les constituants d'un mélange.

On distingue trois catégories d'opérations unitaires :

- ✓ Opérations unitaires physiques : extraction, distillation, absorption, adsorption, séchage,...
- ✓ Opérations unitaires chimiques et/ou biochimiques : réacteurs, fermentation, conservation, fours...
- ✓ Opérations unitaires mécaniques : tamisage, filtration, broyage, centrifugation, sédimentation...

3. Flux d'un procédé

Un flux d'un procédé (appelé aussi ligne ou courant d'un procédé) (exp : 1, 2, 3 et 4) est un déplacement de matière et/ou d'énergie caractérisé par une origine, une destination et un trajet.



Chaque flux est caractérisé par une quantité de matière et/ou une quantité de chaleur donné(e) ou à déterminer. On peut trouver aussi des masses, des volumes, des concentrations, des débits, etc. Tout dépend des données du procédé à étudier.

4. Fraction molaire

La fraction molaire notée x , ou le pourcentage molaire ($x \%$) est une grandeur utilisée pour exprimer la composition molaire d'un mélange (c'est-à-dire les proportions molaires de chaque composant dans le mélange).

La fraction molaire d'un constituant i est égale au rapport du nombre de moles de ce constituant n_i sur la somme des nombres de moles de tous les constituants du mélange.

$$x_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^c n_i}$$

On remarque donc que :

- La fraction molaire est une grandeur adimensionnelle
- La somme des fractions molaires de tous les composants du mélange est toujours égale à 1

Application 1 :

Soit un mélange binaire d'eau et de méthanol composé de 45 mol d'eau et 15 mol de méthanol.

Calculer la fraction molaire en méthanol et la fraction molaire en eau.

5. Fraction massique

La fraction massique que l'on note w , ou le pourcentage massique ($w \%$) est une grandeur utilisée pour exprimer la composition massique d'un mélange (c'est-à-dire les proportions massiques de chaque composant dans le mélange).

La fraction massique d'un constituant i est égale au rapport de la masse du constituant i m_i sur la somme des masses de tous les constituants du mélange.

$$w_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^c m_i}$$

On remarque aussi que :

- La fraction massique est une grandeur adimensionnelle
- La somme des fractions massique de tous les composants du mélange est toujours égale à 1

NB :

- Le pourcentage molaire est sa fraction molaire multipliée par 100%.
- c est le nombre de constituants du mélange

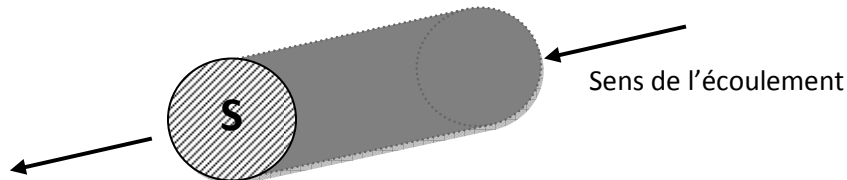
Application 2 :

Soit un mélange binaire d'eau et de méthanol composé de 10 g d'eau et 90 g de méthanol. Donner la fraction massique de chacun de ses constituants.

Que vaut la somme des fractions massiques de chaque constituant dans un mélange ?

6. Débit

Considérons une conduite dans laquelle circule un fluide. On appellera section de passage la surface (S) à travers laquelle s'écoule le fluide.



a. Débit molaire

Un débit molaire est une quantité de matière s'écoulant à travers la section de passage par une unité de temps. Son unité est donc mol/s.

b. Débit massique

Un débit massique mesure la masse du fluide qui s'écoule à travers la section de passage par une unité de temps. Son unité est donc kg/s.

c. Débit volumique

Le débit volumique est le volume du fluide qui s'écoule à travers la section de passage par une unité de temps. Son unité est donc m³/s.

II. Principales conversions

1. Comment convertir une fraction molaire en fraction massique et vis versa ?

Soit un mélange binaire A et B de titres molaires respectifs x_A et x_B et de titres massiques respectifs w_A et w_B :

a. Conversion fraction molaire en fraction massique

On a :

$$w_A = \frac{m_A}{m_A + m_B} = \frac{n_A \times M_A}{n_A \times M_A + n_B \times M_B} = \frac{\frac{n_A}{n_A + n_B} \times M_A}{\frac{n_A}{n_A + n_B} \times M_A + \frac{n_B}{n_A + n_B} \times M_B}$$

D'où,

$$w_A = \frac{x_A \times M_A}{x_A \times M_A + x_B \times M_B}$$

En suivant le même raisonnement on trouvera :

$$w_B = \frac{x_B \times M_B}{x_A \times M_A + x_B \times M_B}$$

Application 3 :

Soit un mélange binaire contenant de l'eau et du méthanol. La fraction molaire en eau est de 0,3. Déterminer la fraction massique en eau de ce mélange.

b. Conversion fraction massique en fraction molaire

On a :

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} = \frac{\frac{m_A}{M_A}}{\frac{m_A}{M_A} + \frac{m_B}{M_B}} = \frac{\frac{m_A}{m_A + m_B}}{\frac{m_A}{m_A + m_B} + \frac{m_B}{m_A + m_B}} = \frac{\frac{w_A}{M_A}}{\frac{w_A}{M_A} + \frac{w_B}{M_B}}$$

En suivant le même raisonnement on trouvera :

$$x_B = \frac{\frac{w_B}{M_B}}{\frac{w_A}{M_A} + \frac{w_B}{M_B}}$$

Application 4 :

Soit un mélange binaire contenant du méthanol et de l'acide éthanoïque. La fraction massique en méthanol est de 0,3. Déterminer la fraction molaire en méthanol de ce mélange.

2. Conversion des débits molaire, massique et volumique

On note : D_{mol} = débit molaire, D_m = débit massique et D_v = débit volumique

$$D_{mol} = \frac{D_m}{M}$$

$$D_m = \rho \times D_v$$

$$D_{mol} = \frac{D_v}{V_m}$$

Avec : M la masse molaire, ρ la masse volumique et V_m le volume molaire.

III. Bilan de matière et bilan d'énergie

1. Qu'est ce qu'un bilan de matière ?

Pour un procédé et pour une quantité de produit à fabriquer, le bilan de matière est la connaissance des débits à l'entrée et à la sortie de chaque opération unitaire.

Les bilans de matière peuvent être effectués comme suit :

- ✓ Bilan sur chaque opération unitaire ou bilan total sur tout le procédé.
- ✓ Bilan partiel sur un constituant ou bilan global sur tous les constituants.

Le bilan matière permet de :

- estimer la productivité et le rendement de l'opération,
- envisager ou non des recyclages et
- dimensionner les appareils à partir des productions souhaitées.

2. Qu'est ce qu'un bilan d'énergie ?

Appelé aussi bilan énergétique ou enthalpique ou aussi thermique, c'est le bilan des quantités de chaleur à apporter ou à soutirer au niveau de chaque opération unitaire ou au niveau du procédé complet.

Le bilan d'enthalpie permet de :

- évaluer le coût énergétique de l'opération,
- choisir le procédé le mieux adapté et
- dimensionner les surfaces d'échange nécessaires.

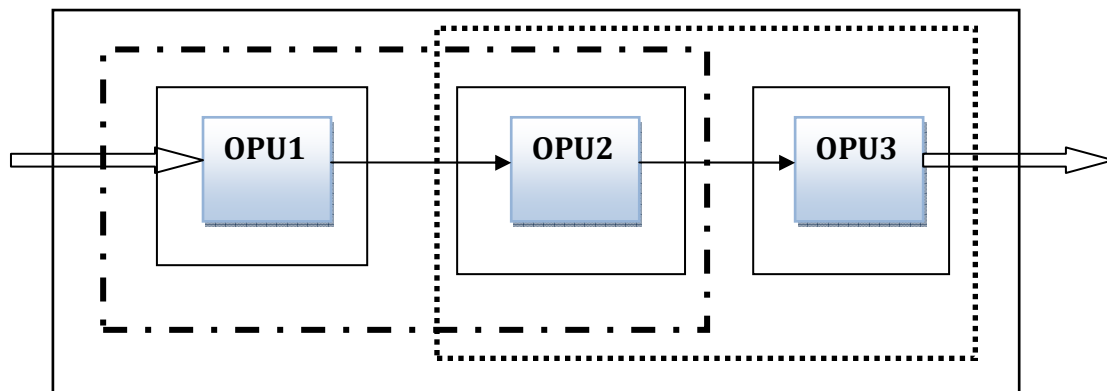
IV. Comment établir un bilan ?

1. Système

Pour établir le bilan de matière ou d'énergie, on doit définir et sélectionner la partie du procédé à étudier qu'on l'appellera système.

Donc, par définition un système est la matière contenue dans une portion de l'espace, délimitée par une frontière qui en fixe le volume.

Exemple :



- OPU1 est un système
- OPU2 est un système
- OPU3 est un système
- L'ensemble OPU1+ OPU2 est un système
- L'ensemble OPU2+OPU3 est un système
- L'ensemble du procédé est un système

On distingue trois types de systèmes :

a. Systèmes discontinus ou systèmes fermés

Ce sont des systèmes dans lesquels il n'y a pas d'échange de matière entre le système et le milieu extérieur pendant l'opération. Les masses sont chargées avant le démarrage de l'opération et sont déchargées lorsque l'appareil est à l'arrêt.

Exemple : distillation discontinue,...

b. Systèmes continus systèmes ouverts

Ce sont des systèmes dans lesquels il y a des flux de matière entrants et sortants du système pendant l'opération.

Exemple : mélange, malaxage d'une pâte en continu,...

c. Systèmes semi-continus ou systèmes semi-ouverts

Ce sont des systèmes dans lesquels il y a simultanément entrée et sortie de matière pendant l'opération et chargement et déchargement de masses au début et à la fin de l'opération

Exemple : lavage d'un gaz dans une colonne.

Un système est caractérisé par deux types de paramètres :

- ✓ des grandeurs extensives, qui sont fonctions du système choisi : masse, nombre de moles, volume, débits, ...
- ✓ des grandeurs intensives, indépendantes du choix du système : densité, concentration, pression, température, ...

2. Loi de conservation de la matière de Lavoisier

En 1777, Antoine Lavoisier énonce la loi qui porte aujourd'hui son nom devant l'Académie des sciences : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. »

Appliquée à un système pendant un temps t , cette loi se traduit mathématiquement comme suit :

$$\text{Entrée} + \text{Création} - \text{Sortie} - \text{Destruction} = \text{Accumulation}$$

La loi de conservation de la matière s'écrit de différentes façons appliquée à un système ouvert ou fermé ou semi ouvert que ce soit en régime permanent ou en régime transitoire.

De plus, la loi de Lavoisier peut s'appliquer à un constituant ou globalement à l'ensemble des constituants.

3. Méthode de résolution des bilans de matière et d'énergie

Pour établir un bilan de matière ou d'énergie et le résoudre, on doit suivre les étapes suivantes :

① Définir toutes les données du problème :

- Espèces (réactifs, produits, inertes....)
- Courants (flux entrée/sortie d'un procédé ou d'une OPU)
- Réactions (création, destruction)
- Température et chaleur échangée pour les bilans enthalpiques

② Découper l'installation en différents éléments de base sur lesquels seront effectués les bilans.

- Il faut bien choisir le(s) système (s) sur le(s)quel(s) le bilan sera établi
- Il faut autant d'équations que d'inconnues
- Il faut que les systèmes choisis fassent intervenir les inconnues
- Un système donne au plus d'autant d'équation indépendantes que de constituants.

③ Ecrire les équations disponibles (bilan global, bilan partiel, bilan stœchiométrique, lois physiques,...) .

En général, on commence par faire un bilan sur tout le procédé

④ Résolution mathématique des équations de bilans.

⑤ Vérifications