

COURS N°1 –RAPPELS DE QUELQUES DÉFINITIONS IMPORTANTES

I.1. NOTIONS D'ATOMES ET MOLECULES

I.1.1. ATOME Nous considérons **l'atome** comme la plus **petite particule** d'un **élément** (un élément est caractérisé par **ensemble d'atomes** de même masse)

Chaque **élément** chimique est **symbolisé** par :

A : nombre de masse

Z : nombre de charge

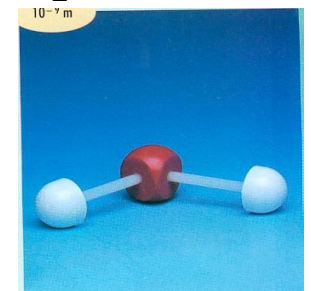


La première lettre du symbole est toujours en majuscule, et la deuxième toujours en minuscule.

Elément	symbole	Masse de l'atome *10 ⁻²⁶ Kg	Dimension de l'atome *10 ⁻¹⁰ m
Carbone	C	1.99	1.8
Soufre	S	5.3	2.5
Sodium	Na	3.8	2.8
Cuivre	Cu	10.5	2.5

I.1.2. MOLÉCULE

La molécule est **l'association** de **deux** (2) ou **plusieurs** atomes (NaCl, N₂)



I.1.3. Nombre d'AVOGADRO

Ce nombre **exprime** le **nombre d'atomes présents** dans **12 g de ^{12}C** . $N=6.023 \cdot 10^{23}$, cette constante a été mesurée par des méthodes expérimentales très diverses et concordantes.

I.1.4. MOLE (unité de quantité de matière)

La **mole** est la quantité de matière d'un système contenant **N entités identiques**. Elle est aussi définie comme le **nombre d'atomes de carbone 12 contenu dans 12 g de carbone 12**. Une mole d'atome correspond à $6.023 \cdot 10^{23}$ atomes, une mole d'électrons correspond à $6.023 \cdot 10^{23}$ électrons.

I.1.5. MASSE MOLAIRES ATOMIQUE

C'est la masse d'une **mole d'atome** (c'est donc la masse de N atomes).

I.1.6. MASSE MOLAIRES MOLÉCULAIRE

C'est la masse d'une **mole de molécules**. Elle est égale à la somme des masses molaires des atomes qui constituent la molécule.

I.1.7. VOLUME MOLAIRES

C'est le **volume qu'occupe une mole de substance** à l'état gazeux. Dans les conditions Normales de Pression et de Température ($P= 1\text{Atm}$, $T=0^\circ \text{C}=273\text{K}$), une mole de substance gazeuse occupe un volume de 22.4L. (

I.1.8.1. Masse volumique ou masse spécifique

La masse volumique d'un corps est la masse de **l'unité** de volume de ce corps.

$$\rho = \frac{m \leftarrow g}{v \leftarrow cm^3} = \frac{g}{cm^3}$$

Exp : Déterminer la masse volumique de mercure (Hg) sachant que 14 cm³ de ce dernier pèsent 190.4g.

Solution :

$$\frac{14cm^3 \rightarrow 190.4g}{1cm^3 \rightarrow \rho_{Hg}} \Rightarrow \rho_{Hg} = \frac{190.4}{14} = 13.6 \frac{g}{cm^3}$$

I.1.8.2. Densité

I.1.8.2.1. Solide –Liquide: La densité d'un **corps solide** ou **liquide** par rapport à **l'eau** est le rapport de la masse d'un certain volume de ce corps à la masse du même volume d'eau.

$$d = \frac{\rho_{corps(s ou l)}}{\rho_{H_2O}} = \frac{\frac{m}{v}}{\frac{m'}{v}} \Rightarrow d = \frac{m}{m'} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{masse d'un certain volume de ce corps} \\ \leftarrow \text{masse de même volume d'eau} \end{array}$$

I.1.8.2.2. Gaz

La **densité d'un gaz** par rapport à **l'air** est le rapport de la masse d'un **certain volume** de ce gaz à la masse de **même volume d'air** dans les mêmes conditions de Température et de Pression.

Exp: Calculer la masse molaire de l'air dans les conditions normales (P=1 atm et T=0° C et n =1mol).

Dans les **conditions normales** la **masse volumique** de **l'air** est de **1.293g/l**. Autrement dit, **1 litre d'air pèse 1.293g**.

Dans les **conditions normales une mole d'air occupe un volume d'ordre de 22.4l**. Donc, la masse d'air correspondante à 22.4 l correspond à la masse molaire (M_{air}) de cet air:

$$\frac{1l \text{ d'air}}{22.4l \text{ d'air}} \xrightarrow{\text{pèse}} \frac{1.293 \approx 1.3g}{M_{air}} \Rightarrow M_{air} = 1.3 * 22.4 = 29g$$

$$d = \frac{\text{masse d'un volume } V \text{ du gaz}}{\text{masse du même volume } V \text{ de l'air}} \xleftarrow{M_{gaz}} \frac{M_{gaz}}{\xleftarrow{M_{air}} 29} = \frac{M_{gaz}}{29}$$

$$\Rightarrow M_{gaz} = d_{gaz} * 29$$

I.1.9. SOLUTIONS EN CHIMIE

Dans une **solution** le **constituant** majoritaire est appelé **solvant** (exp : eau + sel => le solvant est l'eau), et les **substances dissoutes** sont les **solutés** (sel).

I.1.9.1. La concentration molaire (Molarité)

$$C_M = \frac{\text{nombre de moles de soluté}}{\text{volume de la solution}} = \frac{n}{V} = \frac{m_{\text{soluté}}}{M * V}$$

I.1.9.2. CONCENTRATION NORMALE (NORMALITE)

C'est le nombre d'équivalent gramme de soluté par litre de solution.

$$C_N = \frac{N_{eq-gr} \text{ de soluté}}{V} \quad \text{le nombre d'eq-gr} = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{1(eq-gr)} \text{ de soluté}}$$
$$m_{(1eq-gr)} = \frac{M}{Z} \quad C_N = \frac{m_{\text{soluté}}}{M} \frac{Z}{V} = C_M * Z$$

Exp: dans le cas d'un **acide** Z est le nombre de proton **H⁺** libéré (HCl=>Z=1 et H₂SO₄=>Z=2) et dans le cas d'une **base** Z est le nombre de **OH⁻** libéré (NaOH=>Z=1 et Ca(OH)₂=>Z=2).

I.1.9.3. La dilution

On **dilue** le soluté (on **réduit** sa concentration) on ajoutant du **solvant**. Après dilution la **quantité de soluté est le même** or que le **volume a augmenté**.

$$C_M = \frac{n}{V} \Rightarrow n = C_M * V$$

Avant dilution :

$$n_1 = C_1 * V_1$$

Après dilution : $n_2 = C_2 * V_2$

Sachant que le nombre de mole de soluté reste le même : donc .

$$n_1 = n_2 \Rightarrow C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Exp : Quel est le volume de KMnO_4 (solution aqueuse) 0.038M nécessaire pour préparer 250 ml de solution de KMnO_4 à $1.5 \cdot 10^{-3}\text{M}$.

$$C_1 = 0.038\text{M}$$

$$C_2 = 1.5 \cdot 10^{-3}\text{M} \Rightarrow$$

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = V_2 \frac{C_2}{C_1} = 250 * \frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{0.038} = 9.87 \cdot 10^{-3} \text{ l}$$

FRACTION MOLLAIRE

- La **fraction molaire** est une grandeur intensive utilisée en chimie, en minéralogie et en métallurgie pour représenter la composition d'un mélange, d'une solution, d'un minéral ou d'un alliage. Représentant la proportion d'un composant (aussi appelé ingrédient ou constituant) dans le mélange, la fraction molaire x est comprise entre 0 et 1.

- Une propriété est « intensive » si sa valeur ne dépend pas de la taille du système (en particulier, si sa valeur est la même en tout point d'un système homogène) : par exemple, la température ou la pression

- La fraction molaire x_i d'un composant i est égale au rapport d'une quantité de matière n_i de ce composant sur le nombre total de quantité de matière n_{tot} du mélange. Il s'agit donc d'une fraction de quantité de matière qui est une grandeur sans dimension.

$$x_i = n_i / n_{\text{tot}}$$

$$\sum x_i = 1$$

En multipliant la fraction molaire par 100, on obtient le **pourcentage molaire**, noté pour lever toute ambiguïté, « % mol » (unité adimensionnelle) :

$$\%x_i^{\text{mol}} = (n_i / n_{\text{tot}}) * 100$$

$$\sum x_i \% \text{ mol} = 100$$

FRACTION MASSIQUE

• La **fraction massique W** est une grandeur utilisée en chimie et en métallurgie pour représenter la composition d'un mélange ou d'un alliage, en indiquant la proportion de chaque composant (ingrédient) dans le mélange. La fraction massique **w_i** du composant **i** est le rapport de la masse **m_i** de ce composant à la masse **m_{tot}** du mélange:

$$w_i = m_i / m_{\text{tot}}$$

- La fraction massique est comprise entre 0 et 1, et la somme des fractions massiques des divers composants vaut exactement 1. En la multipliant par 100, on obtient le **pourcentage massique**
- La **concentration massique** ou **concentration pondérale** d'un soluté en solution est le rapport (ou le quotient) de la masse de ce soluté au volume total de solution.

Concentration massique : $\rho_i = m_i/V$

FRACTION VOLUMIQUE

Dans un mélange, la **fraction volumique** V_i est définie par l'IUPAC (L'Union internationale de chimie pure et appliquée) comme étant le volume du composant i divisé par la somme des volumes de tous les composants utilisés pour fabriquer ce mélange.

$$V_i = v_i / \sum v_j$$

- En multipliant la fraction volumique par 100, on obtient le **pourcentage volumique**
- Cas des solutions idéales et des gaz parfaits: $V_i = v_i / \sum v_j = v_i / v_T$
- Cas des solutions non idéales: $V_i = v_i / \sum v_j \neq v_i / v_T$

Prenons l'exemple d'un mélange de deux liquides miscibles en toutes proportions : l'éthanol et l'eau. Avec 40 ml d'éthanol et pour préparer 100 ml d'une solution éthanol – eau, on doit utiliser environ 67,125 ml d'eau. Le volume total est de 100 ml mais la somme des volumes des deux composants est de 107,125 ml.

RELATION ENTRE FRACTION MASSIQUE ET FRACTION MOLAIRE

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

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

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

En suivant le même raisonnement on trouvera :

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

b. Conversion fraction massique en fraction molaire

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

BILAN DE MATIÈRE

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;
- Dimensionner les appareils à partir des productions souhaitées.

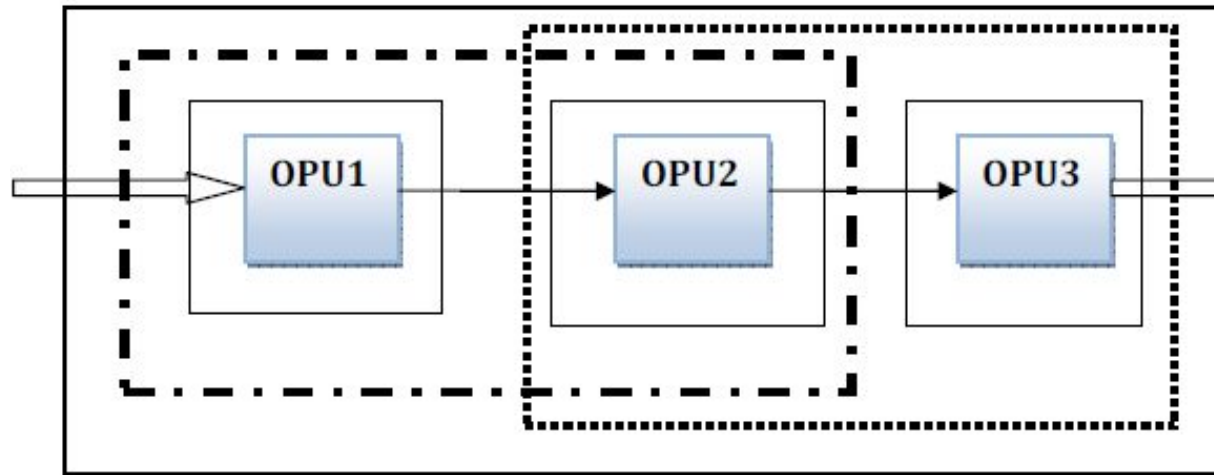
- **Comment établir un bilan ?**

- **Systeme**

- Pour établir le bilan de matière, 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

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 :

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

BILANS DE MATIÈRE EN RÉGIME PERMANENT

On a vu précédemment que la loi de conservation de masse s'écrit d'une manière générale sous la forme suivante :

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

Or, en régime permanent, il n'y a pas d'accumulation de matière. Donc, le terme d'accumulation est nul : d'où on aura :

$$\text{Entrée} + \text{Création} - \text{Sortie} - \text{Destruction} = 0$$

1. BILANS DE MATIÈRE EN RÉGIME PERMANENT SANS RÉACTION CHIMIQUE

En absence d'une réaction chimique, il n'y a ni création ni destruction de matière. Donc, la relation précédente se simplifie en annulant les termes création et destruction et devient :

$$\text{Entrée} - \text{Sortie} = 0 \Rightarrow \text{Entrée} = \text{Sortie}$$

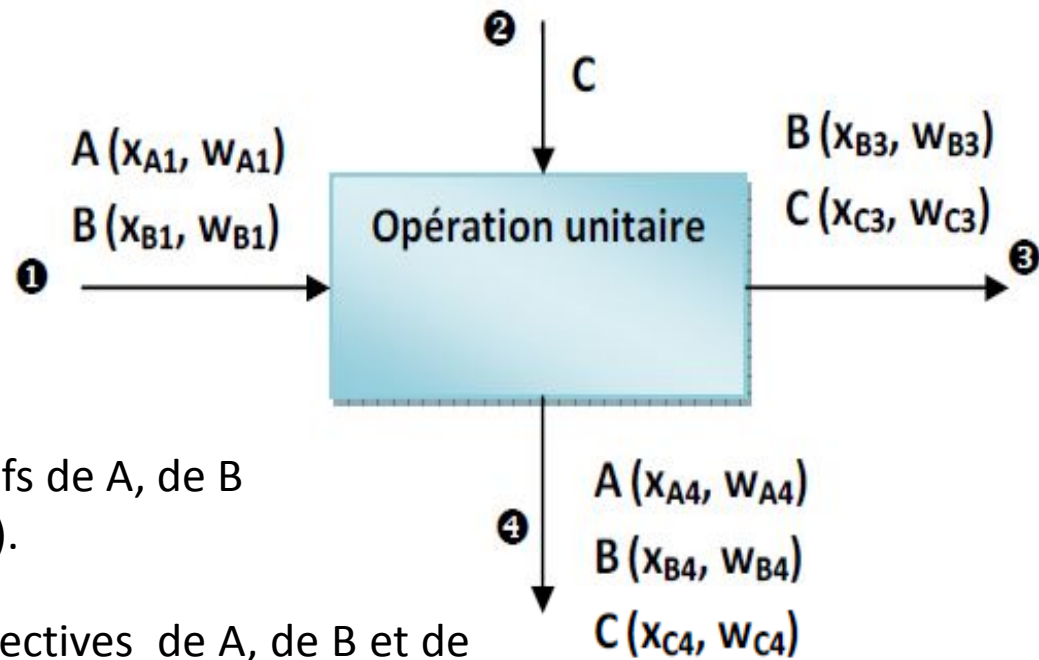
Par conséquent, la quantité de matière des espèces chimiques entrante et celle sortante sera la même, ce qui donne lieu à une équation pour chacune des espèces dans le système en fonction des débits molaires ou des débits massiques.

APPLICATION SUR UN MÉLANGE QUELCONQUE

La loi de LAVOISIER s'applique sur les débits molaires et les débits massiques.

On note :

- F_i et \dot{m}_i respectivement le débit molaire et le débit massique du flux i ($i=1, 2, 3$ et 4).
- F_{Ai} , F_{Bi} et F_{Ci} les débits molaires respectifs de A, de B et de C relatifs a chaque courant i (mol/s).
- X_{Ai} , X_{Bi} et X_{Ci} les fractions molaires respectives de A, de B et de C relatifs a chaque courant i
- \dot{m}_{Ai} , \dot{m}_{Bi} et \dot{m}_{Ci} les débits massiques respectifs de A, de B et de C relatifs a chaque courant i (kg/s)
- W_{Ai} , W_{Bi} et W_{Ci} les fractions massiques respectives de A, de B et de C relatifs a chaque courant i



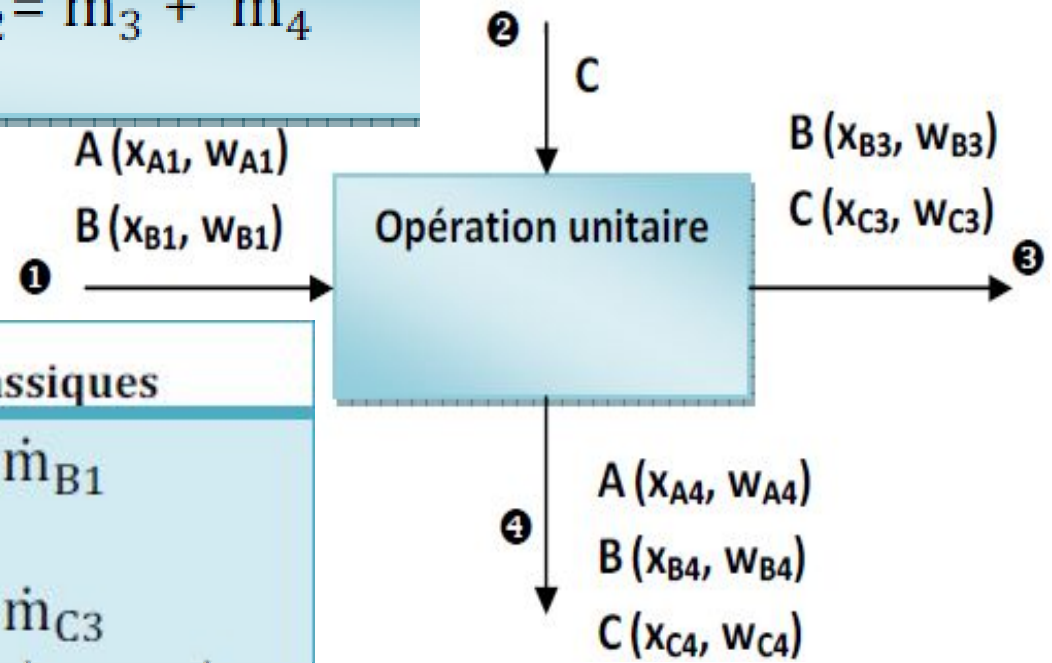
BILAN GLOBAL :

$$F_1 + F_2 = F_3 + F_4 \quad \text{ou} \quad \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$$

$$F_1 + F_2 = F_3 + F_4 \quad \text{ou} \quad \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$$

Avec :

Débits molaires	Débits massiques
$F_1 = F_{A1} + F_{B1}$	$\dot{m}_1 = \dot{m}_{A1} + \dot{m}_{B1}$
$F_2 = F_{C2}$	$\dot{m}_2 = \dot{m}_{C2}$
$F_3 = F_{B3} + F_{C3}$	$\dot{m}_3 = \dot{m}_{B3} + \dot{m}_{C3}$
$F_4 = F_{A4} + F_{B4} + F_{C4}$	$\dot{m}_4 = \dot{m}_{A4} + \dot{m}_{B4} + \dot{m}_{C4}$



BILAN PARTIEL SUR LE CONSTITUANT A :

$$x_{A1} F_1 = x_{A4} F_4 \quad \text{ou} \quad w_{A1} \dot{m}_1 = w_{A4} \dot{m}_4$$

BILAN PARTIEL SUR LE CONSTITUANT B :

$$x_{B1} F_1 = x_{B3} F_3 + x_{B4} F_4 \quad \text{ou} \quad w_{B1} \dot{m}_1 = w_{B3} \dot{m}_3 + w_{B4} \dot{m}_4$$

BILAN PARTIEL SUR LE CONSTITUANT C :

$$F_2 = x_{C3} F_3 + x_{C4} F_4 \quad \text{ou} \quad \dot{m}_2 = w_{C3} \dot{m}_3 + w_{C4} \dot{m}_4$$

RELATION ENTRE FRACTION ET DÉBIT

Considérons un flux de matière composé d'un mélange binaire A et B.

(A+B)

On note :

- F et \dot{m} respectivement le débit molaire et le débit massique du flux considéré
- F_A et F_B les débits molaires respectifs de A et de B (mol/s)
- x_A et x_B les fractions molaires respectifs de A et de B
- \dot{m}_A et \dot{m}_B les débits massiques respectifs de A et de B (kg/s)
- w_A et w_B les fractions molaires respectifs de A et de B

a. ECRIRE x_A ET x_B EN FONCTION DES DÉBITS MOLAIRES

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} = \frac{F_A}{F_A + F_B} = \frac{F_A}{F}$$

De même,

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} = \frac{F_B}{F_A + F_B} = \frac{F_B}{F}$$

b. ECRIRE w_A ET w_B EN FONCTION DES DÉBITS MASSIQUES

$$w_A = \frac{m_A}{m_A + m_B} = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_A + \dot{m}_B} = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}}$$

De même,

$$w_B = \frac{m_B}{m_A + m_B} = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_A + \dot{m}_B} = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}}$$

2. BILANS DE MATIÈRE EN RÉGIME PERMANENT AVEC RÉACTION CHIMIQUE

En présence d'une réaction chimique, la loi de conservation de masse s'écrit en régime permanent comme suit :

$$\text{Entrée} + \text{Création} - \text{Sortie} - \text{Destruction} = 0$$

a. DÉFINITION D'UN RÉACTEUR

On appelle **réacteur**, tout appareillage dans lequel a lieu la transformation chimique, c'est à dire la transformation d'espèces moléculaires en d'autres espèces moléculaires.

b. CAS DES RÉACTEURS EN RÉGIME PERMANENT

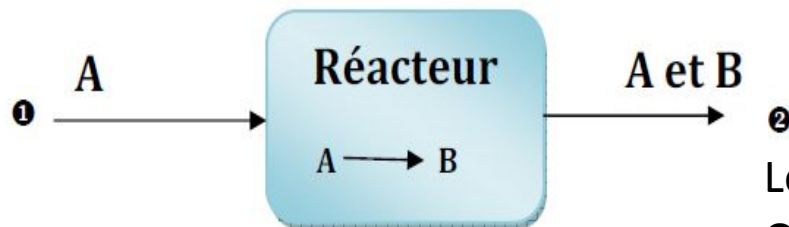
Dans l'industrie, le régime le plus adapté est le régime permanent (appelé aussi stationnaire ou établi). Tous les paramètres du procédé sont stationnaires.

Ce régime ne s'applique qu'aux réacteurs ouverts qui échangent de la matière avec l'extérieur : par l'alimentation (ou l'entrée) et par le soutirage (la sortie). Cela permet le fonctionnement continu du réacteur donc un gain économique et de maintenir la qualité d'un produit sur une longue durée avec de bons rendements (gain de qualité).

Dans un réacteur, une ou plusieurs réactions chimiques peuvent se réaliser. Donc, une transformation de la matière a lieu : des réactifs introduits mis en jeu disparaissent et des produits se forment comme effluents du réacteur.

c. TAUX DE CONVERSION Il ne se définit que pour un réactif consommé par l'expression suivante :

$$\chi = \frac{\text{nombre de moles transformées du réactif}}{\text{nombre de moles de réactif introduit}}$$



Le taux de conversion de A est égal à : $\chi_A = \frac{n_{A,1} - n_{A,2}}{n_{A,1}}$
Ou bien en fonction du débit molaire de A,

Donc,
$$\chi_A = \frac{F_{A,1} - F_{A,2}}{F_{A,1}}$$

$$\chi_A = \frac{\text{débit de A consommé dans le réacteur}}{\text{débit de A introduit dans le réacteur}}$$

d. S ÉLECTIVITÉ

$$\sigma = \frac{\text{nombre de moles transformées en produit principal}}{\text{nombre de moles de réactif principal transformées}}$$

Exemple: Réaction (1) : $A+B \rightarrow C$, Réaction (2) : $A+2B \rightarrow D$

Entrée $A=4$ moles, $B=10$ moles, total 14 moles, taux de conversion de A 75%,

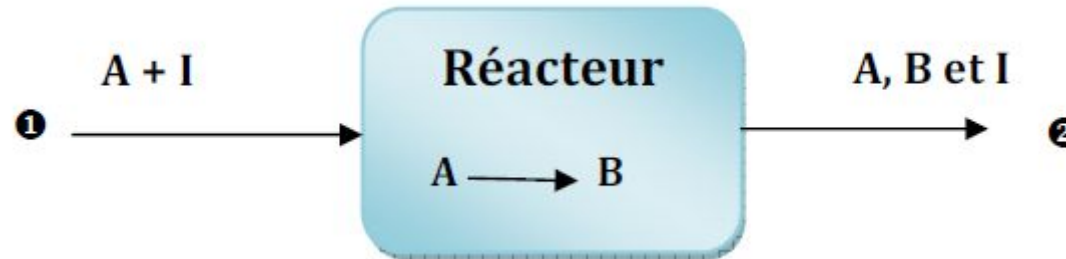
La sélectivité de la 1^{ère} réaction est $\sigma_1=40\%$ et celle de la 2^{ème} est $\sigma_2=60\%$

- A ayant réagit par $R1=4 \times 0.75 \times 0.40=1.2$ moles, A ayant réagit par $R2=4 \times 0.75 \times 0.60=1.8$ moles, B ayant réagit par $R1$ et $R2=1.2+2 \times 1.8=4.8$ moles,
- d'ou les sorties $A=4-1.2-1.8=1$ moles, $B=10-4.8=5.2$ moles, $C=1.2$ moles, $D=1.8$ moles, total= $1+5.2+1.2+1.8=11.2$ moles.

e. STœCHIMÉTRIE

La stœchiométrie permet de déterminer les proportions suivant les quelles les éléments réagissent les uns sur les autres. Elle se traduit par l'écriture d'équations de réactions chimiques qui indiquent combien de moles de réactifs disparaissent lorsqu'un nombre donné de produits sont formés. Ces équations ne traduisent donc que des bilans de matière et non pas des mécanismes réactionnels (c.a.d. sans s'intéresser à la faisabilité de la réaction (thermodynamique) ni à sa vitesse (cinétique de la réaction)).

c. BILAN DE MATIÈRE SUR UN RÉACTEUR EN RÉGIME PERMANENT

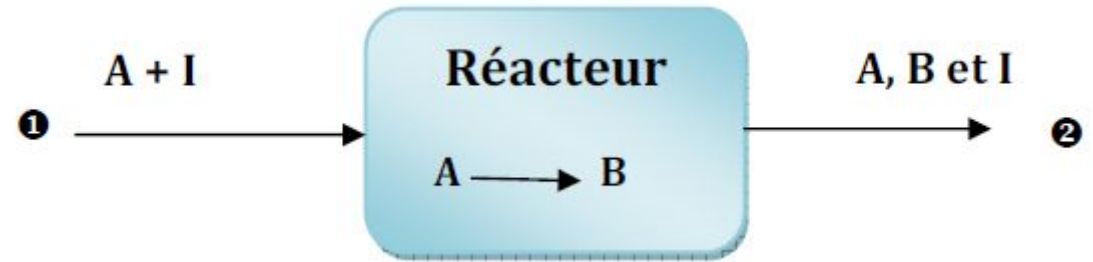


Bilan de matière :

- Régime permanent : accumulation = 0
- Réaction chimique : Création et Destruction $\neq 0$
 - si le constituant est produit, donc Création = débit de constituant produit
 - si le constituant est consommé, donc Destruction = débit de constituant consommé)

Dans le réacteur et dans tout le procédé : Débit molaire d'entrée \neq débit molaire de sortie, pour tous les réactifs et les produits.

- **Bilan sur A dans le réacteur :** Débit de A en entrée – Débit de A consommé = Débit de A en sortie
- **Bilan sur I dans le réacteur :** Débit de I en entrée = Débit de I en sortie
- **Bilan sur tous les constituants :**
Débit (A + I) en entrée ————— Débit (A + B + I) sortie



- **Bilan sur le produit B :** Débit de B en entrée + Production de B = Débit de B en sortie
Le débit de B est calculé avec les coefficients stœchiométriques de la réaction et du débit de consommation de A

Remarque : dans un bilan de matière avec réaction, on doit obligatoirement écrire les équations de conservation des éléments ou espèces chimique.

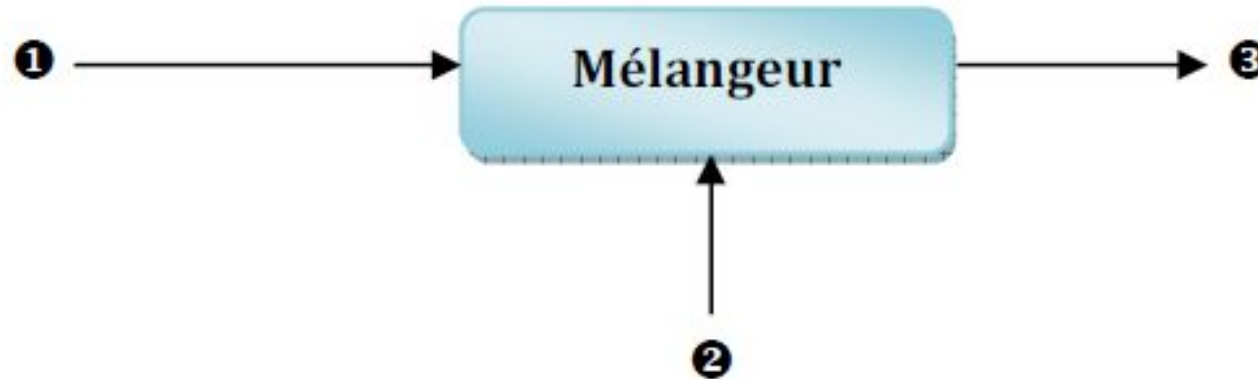
4. Bilans relatifs à des procédés industriels simples (structure linéaire)

Les nœuds permettent de décrire les éléments du réseau ou prennent place les mélanges et les divisions de fluides. Dans un nœud, plusieurs embranchements de fluide sont reliés entre eux pour former une veine unique. S'il s'agit d'un mélangeur, les diverses branches se rejoignent pour former une seule veine. Le débit massique de la veine principale est égal à la somme de ceux des branches, et le bilan enthalpique permet de calculer l'enthalpie massique et la température de mélange. S'il s'agit d'un diviseur, la veine principale se subdivise en plusieurs branches, dont il faut calculer les débits. Leur répartition entre les branches est prise proportionnelle aux "facteurs de débit" spécifiés par l'utilisateur. La température et l'enthalpie massique sont bien sur conservées.

a. MÉLANGE

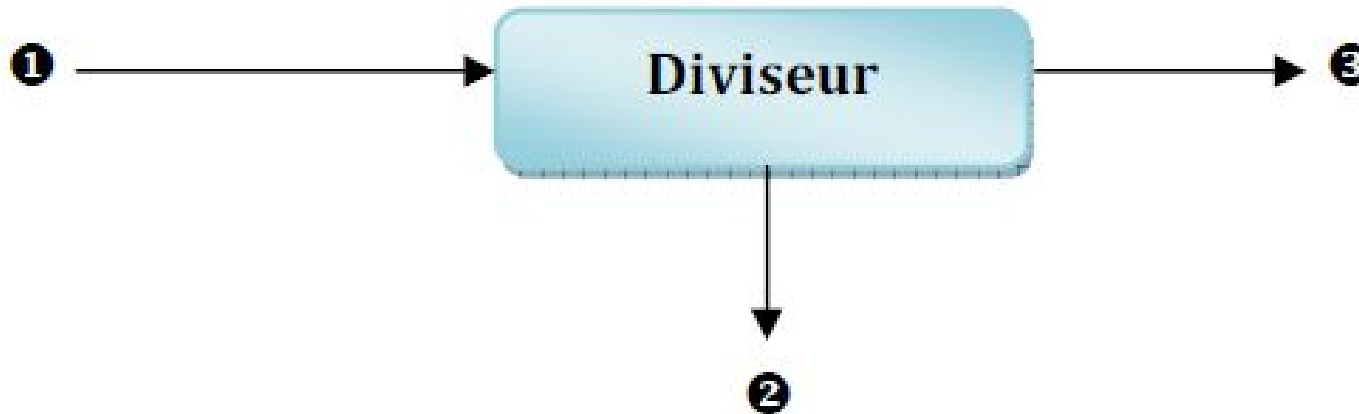
Le mélange est une opération unitaire permettant de réunir deux ou plusieurs entrées sans aucune réaction chimique.

Exemple :



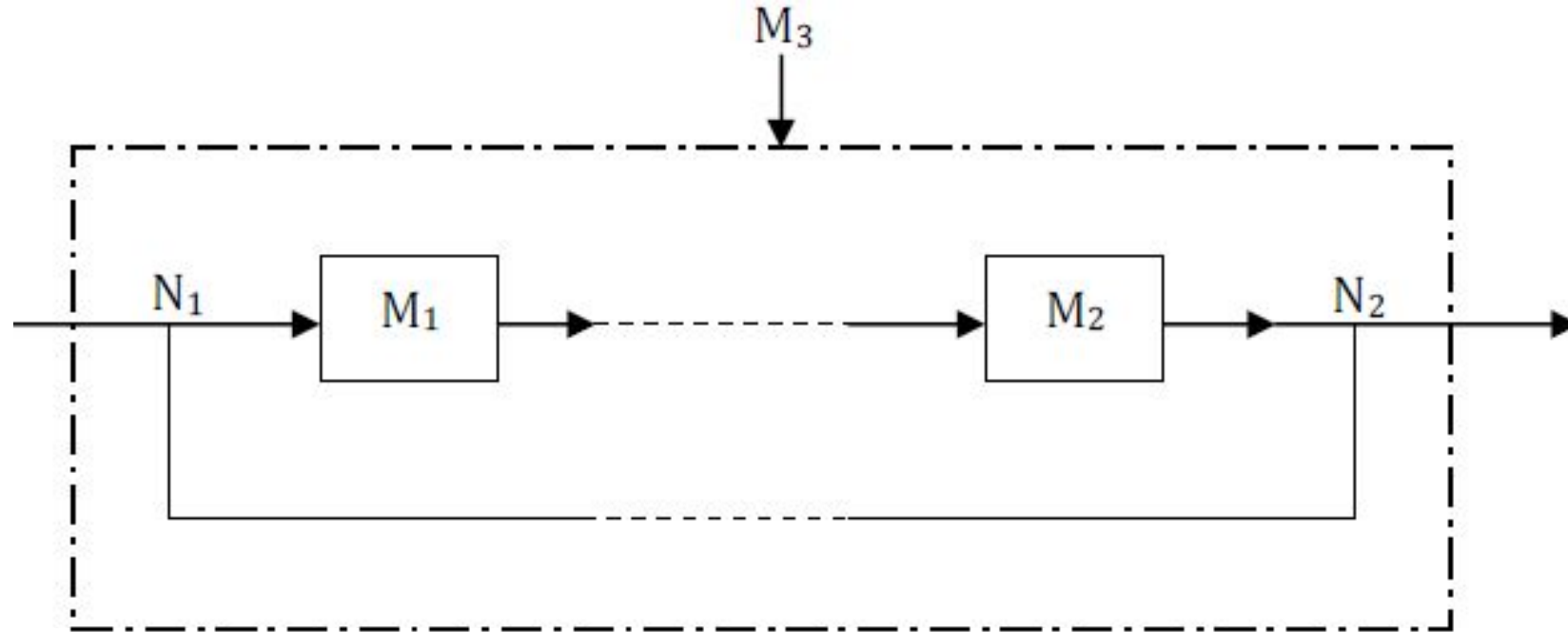
Bilan global sur le mélangeur : $F_1 + F_2 = F_3$

b. DIVISION



Bilan global sur le diviseur : $F_1 = F_2 + F_3$

5. BILANS RELATIFS À DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS COMPLEXES (RECYCLAGE, PURGE, BYPASS)



Les bilans de masse et d'énergie concernant les installations complexes soulèvent quelques difficultés de résolution par suite de l'existence de recyclage et de boucle.

Le schéma précédent présente le schéma type d'une boucle.

- N_1 et N_2 représentent les nœuds de l'installation : points de rencontre ou de déviation de plusieurs courants.
- M_1 et M_2 représentent les mailles intérieures constituées par des opérations fondamentales (réacteur, séparateur, ...).
- M_3 représente la maille générale.

Après avoir dénombré et déterminer les inconnus, les équations indépendantes seront obtenues en effectuant :

- Le bilan global sur chaque nœud et chaque maille intérieure.
- Les bilans partiels sur chaque nœud et chaque maille intérieure.
- Les bilans sur la maille extérieure qui représentent les bilans sur toute l'installation.

a. RECYCLAGE

On effectue très souvent les recyclages dans les installations comportant un réacteur car le taux de conversion n'est généralement pas égal à l'unité. Ainsi, on recycle à l'entrée du réacteur les produits qui n'ont pas réagi et ceci après séparation des produits de la réaction.

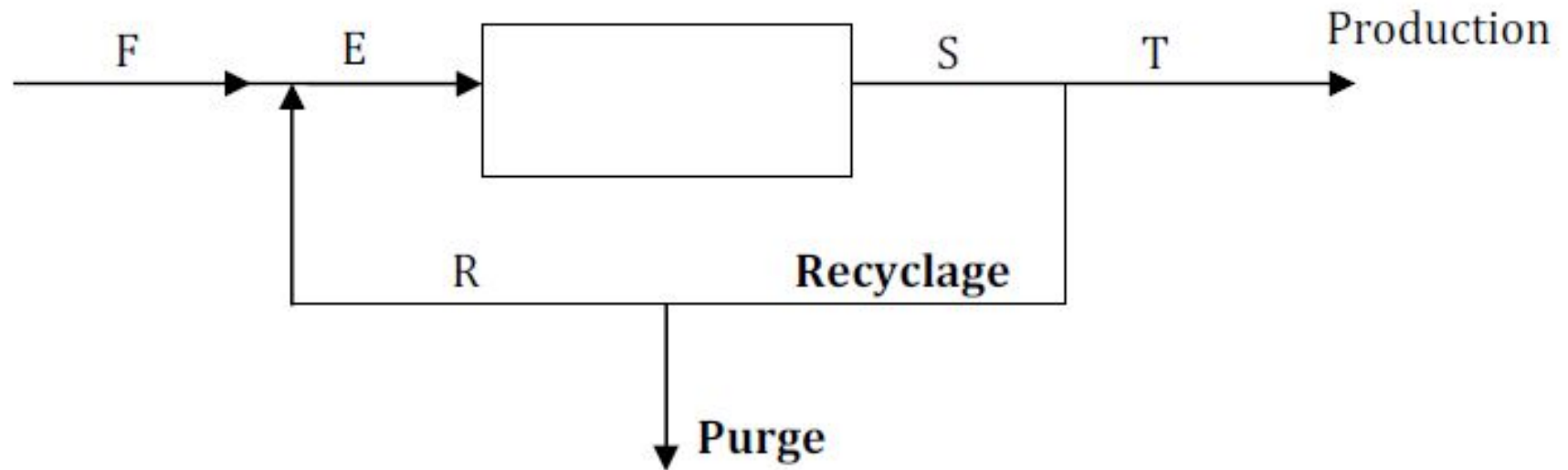
b. PURGE

Lorsque l'alimentation contient un constituant qui ne réagit pas (gaz inerte par exemple) et est susceptible de s'accumuler dans le circuit de recyclage, il est nécessaire de purger une fraction de recyclage.

En régime permanent, on évacue à la purge une quantité de ce constituant égale à celle qui entre dans l'installation. En désignant par P le débit de purge et par x_p la composition du constituant à éliminer.

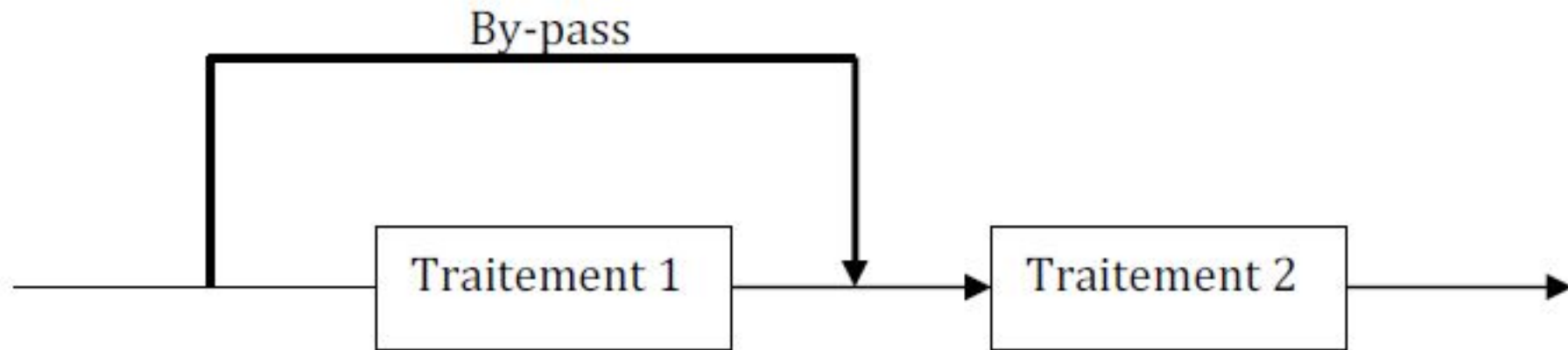
L'équation fondamentale de purge s'écrit : $F \cdot x_F = P \cdot x_P$

Si $x_T \neq 0$, l'équation fondamentale s'écrira : $F \cdot x_F = P \cdot x_P + T \cdot x_T$



c. By-pass

Cette opération est réalisée lorsqu'on ne veut pas traiter la totalité d'un courant ou pour des raisons d'économie d'énergie. L'exemple du conditionnement d'air ou on ne traite qu'une partie d'air en est un bon exemple.



6. Conclusion

Pour pouvoir effectuer un bilan, il faut définir les limites du système sur lequel on veut travailler. Puis on détermine les flux de matière (entrée, sortie) ainsi que les réactions (création, destruction). La somme de ces différents éléments donne le terme accumulation qui est nul pour un fonctionnement en régime permanent.

$$\text{Entrée} + \text{Création} - \text{Sortie} - \text{Destruction} = \text{Accumulation} = 0$$

NOTION DE RÉACTIF ET RÉACTIF EN EXCÈS

□ Réactif

Lors d'une [réaction chimique](#), un **réactif** est une [espèce chimique](#), présente dans le [milieu réactionnel](#), dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs [atomes](#) se réarrangent pour former de nouvelles [molécules](#) : les [produits de cette réaction](#). En d'autres termes, les réactifs sont consommés par la réaction chimique, ainsi sont formés les produits.

□ Réactif limitant

Dans une [réaction chimique](#), le **réactif limitant** ou **réactif en défaut** est le [réactif](#) qui est totalement transformé, qui disparaît complètement. Il est dit « limitant » car il est responsable de l'arrêt de la réaction. S'il n'y a pas de réactif limitant, c'est qu'à la fin de la réaction tous les réactifs ont été transformés : on dit que les réactifs étaient en proportion [stoéchiométrique](#).

□ Réactifs en excès

Un réactif est en excès s'il n'est pas entièrement consommé lorsque la réaction s'arrête et que l'autre réactif a totalement disparu.

□ Notion de pourcentage d'excès

On parlera de « combustion en excès d'air » chaque fois que l'on détectera la présence d'oxygène dans les produits de combustion. L'excès d'air peut résulter soit d'un réglage du volet d'air au niveau du brûleur (*brûleur à air soufflé*), soit d'une impossibilité à régler l'arrivée d'air (*brûleur atmosphérique*). Cet excès d'air est indispensable pour une combustion **complète**.

Excès d'air. Situation où la quantité de comburant disponible est supérieure à la quantité nécessaire pour oxyder tout le combustible. ... Dans l'industrie il est parfois nécessaire d'être en **excès d'air** pour être sûr de brûler complètement et rapidement tout le combustible.

□ Notion de pourcentage de conversion

Le **taux de conversion** représente la fraction d'un [réactif](#) qui réagit lors d'une [réaction chimique](#). Mathématiquement, le taux de conversion X pour un réactif i s'exprime pour un système fermé selon la formule suivante :

$$X_i = (n_{i,0} - n_{i,t}) / n_{i,0}$$

où n est la [quantité de matière](#) ([moles](#)). Les indices o et t représentent respectivement l'état initial et un temps ultérieur donné.