

CHAPITRE IV

L'ABSORPTION

1 - EXEMPLES

La séparation des constituants d'un mélange gazeux peut être réalisée par différentes méthodes telles que l'absorption, l'adsorption, la condensation précédée d'une compression ou encore la perméation sur membrane.

L'absorption est l'une des méthodes les plus fréquemment utilisées, de plus dans un certain nombre de cas le processus d'absorption est accompagné d'une réaction chimique en phase liquide.

De nombreux exemples illustrent la capacité des liquides à dissoudre des gaz

- dissolution de l'oxygène de l'air dans le sang au cours de la respiration des humains
- dissolution de l'oxygène dans l'eau indispensable pour les poissons.

Les applications industrielles faisant appel à une colonne d'absorption peuvent être classées en familles de procédés

- lors de la synthèse des acides minéraux (HCl , H_2SO_4 , HNO_3)
- lors des fermentations
 - l'absorption de O_2 et CO_2 pour la fabrication de la bière et des antibiotiques
- le lavage des gaz
 - élimination de H_2S et CO_2 du gaz de Lacq
 - élimination du SO_2 des fumées de combustion
 - élimination de H_2 du gaz de synthèse de NH_3

2 - MODE OPERATOIRE ET FONCTIONNEMENT DU PROCÉDÉ

2.1. Objectifs

Quelque soit le transfert gaz-liquide étudié on est en présence de trois constituants : le diluant, le soluté et le solvant. Le transfert du soluté repose sur sa solubilité dans les phases gazeuse et liquide en présence.

Dans le cas de l'absorption la phase à raffiner contient le constituant majoritaire le diluant, et le constituant minoritaire à transférer : le soluté. La phase liquide d'extraction est le solvant qu'il faut choisir en fonction du soluté à extraire.

CHAPITRE IV: L'ABSORPTION

1-EXEMPLES

La séparation des constituants d'un mélange gazeux peut être réalisée par différentes méthodes telles que l'absorption, l'adsorption, la condensation précédée d'une compression ou encore la perméation sur membrane.

L'absorption est l'une des méthodes les plus fréquemment utilisées, de plus dans un certain nombre de cas le processus d'absorption est accompagné d'une réaction chimique en phase liquide.

De nombreux exemples illustrent la capacité des liquides à dissoudre des - dissolution de l'oxygène de l'air dans le sang au cours de la respiration des humains dissolution de l'oxygène dans l'eau indispensable pour les poissons.

Les applications industrielles faisant appel à une colonne d'absorption peuvent être classées en familles de procédés

- lors de la synthèse des acides minéraux (HCl , H_2SO_4 , HNO_3)
- lors des fermentations
 - l'absorption de O_2 et CO_2 pour la fabrication de la bière et des antibiotiques
- le lavage des gaz
 - élimination de H_2S et CO_2 du gaz de Lacq
 - élimination du SO_2 des fumées de combustion
 - élimination de H_2 du gaz de synthèse de NH_3

2-MODE OPÉRATOIRE ET FONCTIONNEMENT DU PROCÉDÉ

2.1. Objectifs

Quelque soit le transfert gaz-liquide étudié on est en présence de trois constituants: le diluant, le soluté et le solvant. Le transfert du soluté repose sur sa solubilité dans les phases gazeuse et liquide en présence.

Dans le cas de l'absorption la phase à raffiner contient le constituant majoritaire diluant, et le constituant minoritaire à transférer : le soluté. La phase liquide d'extraction est le solvant qu'il faut choisir en fonction du soluté à extraire.

Plusieurs situations peuvent être envisagées :

- La purification du diluant : le soluté est dans ce cas une impureté gênante et sans valeur. Il est éliminé par le solvant dans l'extrait. Le diluant purifié est alors appelé raffinat.
- La récupération du soluté : le soluté est dans ce cas le constituant recherché que l'on désire obtenir pur. On procède parfois au transfert préalable du soluté dans un solvant par absorption. La séparation ultérieure soluté-solvant (par distillation, désorption...) est alors possible et facilitée par rapport au mélange initial diluant-soluté. Le diluant appauvri en soluté est alors appelé résidu.
- Le fractionnement sélectif : il s'agit de profiter des valeurs différentes des vitesses de transfert et des solubilités des solutés dans le solvant pour les séparer.

Pour des motifs économiques (coût du solvant), on est conduit à recycler le solvant. Dans la plupart des cas l'absorption (A) est couplée à une colonne de régénération (R) et associée à une pompe et des échangeurs de chaleur (E_1, E_2, E_3) (figure 1).

Par exemple l'absorption de CS_2 par de l'huile est suivie d'une désorption du CS_2 de l'huile par une colonne d'entraînement à la vapeur d'eau.

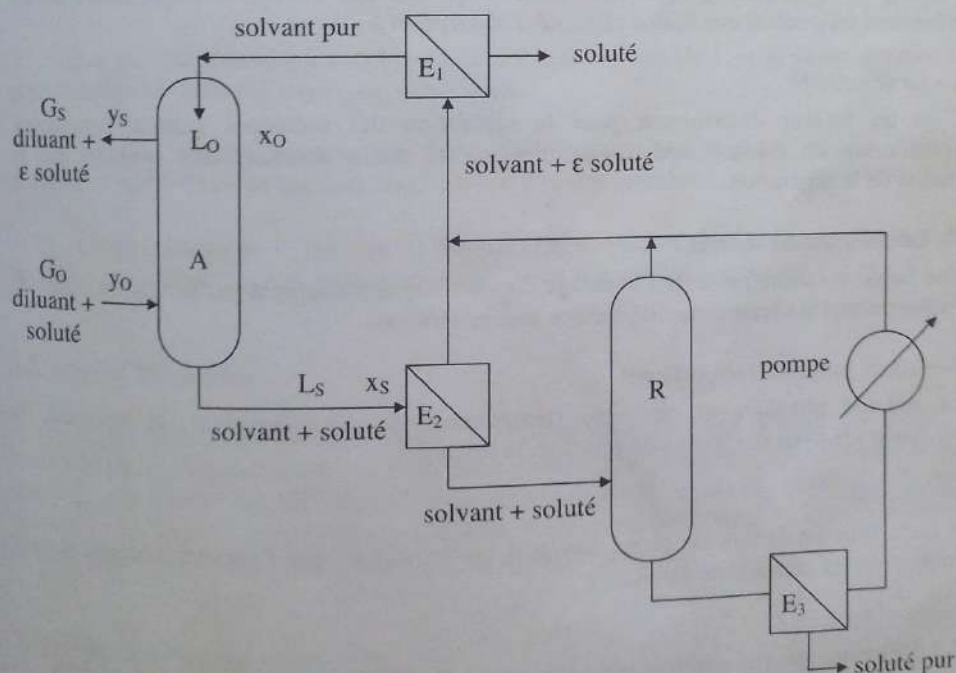


Figure 1 : Exemple du procédé absorption-désorption.

Plusieurs situations peuvent être envisagées :

- La purification du diluant : le soluté est dans ce cas une impureté gênante et sans valeur. Il est éliminé par le solvant dans l'extrait. Le diluant purifié est alors appelé raffinat.
- La récupération du soluté: le soluté est dans ce cas le constituant recherché que l'on désire obtenir pur. On procède parfois au transfert préalable du soluté dans un solvant par absorption. La séparation ultérieure soluté-solvant (par distillation, désorption...) est alors possible et facilitée par rapport au mélange initial diluant-soluté. Le diluant appauvri en soluté est alors appelé résidu.
- Le fractionnement sélectif : il s'agit de profiter des valeurs différentes des vitesses de transfert et des solubilités des solutés dans le solvant pour les séparer.

Pour des motifs économiques (coût du solvant), on est conduit à recycler le solvant. Dans la plupart des cas l'absorption (A) est couplée à une colonne de régénération (R) et associée à une pompe et des échangeurs de chaleur (E1, E2, E3) (figure 1).

Par exemple l'absorption de CS₂ par de l'huile est suivie d'une désorption du CS₂ de l'huile par une colonne d'entraînement à la vapeur d'eau.

2.2. Les critères de choix du solvant

Le solvant met en jeu de nouvelles forces intermoléculaires avec le soluté et le diluant qui sont à l'origine de leur séparation. Ces forces peuvent être de nature différente.

- Les forces électrostatiques entre des particules chargées (ions) et des multipôles permanents.
- Les forces d'induction entre un multipôle permanent et un dipôle induit.
- Les forces d'attraction et de répulsion entre des molécules non polaires.
- Les forces de type chimique conduisent à des associations et la formation des complexes ou la rupture de liaisons existantes : liaison hydrogène, liaison donneur-accepteur d'électrons dans les complexes par transfert de charge.

Le choix du solvant peut être mené selon plusieurs critères.

1 - Capacité de séparation

Pour une séparation donnée, le débit du solvant sera d'autant plus faible que sa capacité d'absorption sera plus grande. Les solvants qui ont une action chimique sur le soluté présentent en général une bonne capacité d'absorption.

2 - La sélectivité

C'est un facteur déterminant pour la séparation des mélanges gazeux complexes. L'utilisation de solvants spécifiques d'un soluté donné améliore très sensiblement la qualité de la séparation.

3 - La volatilité du solvant

Une faible volatilité présente l'avantage d'éviter son entraînement par les gaz au cours de l'absorption. Une forte volatilité facilite sa régénération.

4 - Autres propriétés importantes

La stabilité physique et chimique (température de décomposition), la viscosité, la corrosion vis-à-vis des parois du procédé, la toxicité...

5 - Le coût

Il n'est plus un critère de choix lorsqu'il est recyclé et que l'appoint nécessaire pour compenser les pertes reste faible.

2.3. Influence des paramètres qui permettent de définir les conditions opératoires

La dissolution d'un gaz dans un liquide est un phénomène exothermique. Le débit du solvant dépendra en partie des conditions thermiques du fonctionnement. L'absorption pourra être considérée comme isotherme si :

- l'exothermicité du mélange est faible
- la quantité de matière absorbée est faible

L'absorption

le débit du solvant est
la colonne est rendue

Le tableau suivant

Température d'entrée du solvant	→
Taux de régénération	→
Pression	↗

3 - DETERMINA

3.1. Introduction

La méthode est
pour transférer le solu

Lorsque le sol
d'une absorption. Dan

La détermination
la courbe d'équilibre

3.2. Courbe d'équili

A pression et
traduit la répartition
gazeuse) et x (phase
massique ou molaire
conditionne celle rete

3.3. Bilan sur le solu

L'opération est
circulante à contre-co
nous conduit à

2.2. Les critères de choix du solvant

Le solvant met en jeu de nouvelles forces intermoléculaires avec le soluté et diluant qui sont à l'origine de leur séparation. Ces forces peuvent être de nature différente

- Les forces électrostatiques entre des particules chargées (ions) et des multiples permanents.
- Les forces d'induction entre un multipôle permanent et un dipôle induit.
- Les forces d'attraction et de répulsion entre des molécules non polaires.
- Les forces de type chimique conduisent à des associations et la formation des complexes ou la rupture de liaisons existantes: liaison hydrogène, liaison donneur accepteur d'électrons dans les complexes par transfert de charge.

Le choix du solvant peut être mené selon plusieurs critères.

1 - Capacité de séparation

Pour une séparation donnée, le débit du solvant sera d'autant plus faible que sa capacité d'absorption sera plus grande. Les solvants qui ont une action chimique sur le solut présentent en général une bonne capacité d'absorption.

2- La sélectivité

C'est un facteur déterminant pour la séparation des mélanges gazeux complexes L'utilisation de solvants spécifiques d'un soluté donné améliore très sensiblement la qualité de la séparation.

3- La volatilité du solvant

Une faible volatilité présente l'avantage d'éviter son entraînement par les gaz au cours d l'absorption. Une forte volatilité facilite sa régénération.

4- Autres propriétés importantes

La stabilité physique et chimique (température de décomposition), la viscosité, corrosion vis-à-vis des parois du procédé, la toxicité...

5- Le coût

Il n'est plus un critère de choix lorsqu'il est recyclé et que l'appoint nécessaire pour compenser les pertes reste faible

2.3. L'influence des paramètres qui permettent de définir les conditions opératoires

La dissolution d'un gaz dans un liquide est un phénomène exothermique. Le débit du solvant dépend en partie des conditions thermiques du fonctionnement. L'absorption Pourra être considérée comme isotherme si:

- l'exothermicité du mélange est faible
- la quantité de matière absorbée est faible

- le débit du solvant est élevée
- la colonne est rendue isotherme par un système de réfrigération

Le tableau suivant permet de conduire le procédé.

	Capacité d'absorption	Débit du solvant	Dimensions	Dépense d'énergie
Température d'entrée du solvant ↘	↗	↘	↘	↘
Taux de régénération ↘	↗	↘	↘	↘
Pression ↗	↗	↘	↘	↗

3 – DETERMINATION DU NOMBRE DE PLATEAUX THEORIQUES

3.1. Introduction

La méthode consiste à mettre en contact la phase liquide L et la phase gazeuse G pour transférer le soluté d'une phase vers l'autre.

Lorsque le soluté est transféré de la phase gazeuse vers la phase liquide, il s'agit d'une absorption. Dans le cas contraire, il s'agit d'une désorption.

La détermination du nombre de plateaux théoriques repose sur la connaissance de la courbe d'équilibre $y = f(x)$ et les résultats du bilan matière sur la colonne.

3.2. Courbe d'équilibre

A pression et température fixées, l'équilibre conduit à une courbe $y = f(x)$ qui traduit la répartition du soluté entre les deux phases. Les unités utilisées pour y (phase gazeuse) et x (phase liquide) dépendent de la nature de la séparation réalisée : fraction massique ou molaire, concentration massique, molaire ou volumique... L'unité adoptée conditionne celle retenue pour les débits de chaque phase G et L.

3.3. Bilan sur le soluté

L'opération est effectuée en continu dans une colonne verticale où les phases circulent à contre-courant (figure 1). Le bilan sur le soluté de l'ensemble de la colonne nous conduit à

$$\frac{L}{G} = \frac{y_O - y_S}{x_S - x_O}$$

- le débit du solvant est élevée
- la colonne est rendue isotherme par un système de réfrigération

Le tableau suivant permet de conduire le procédé.

Capacité d'absorption

Débit du solvant

Dimensions

Dépense d'énergie

Température d'entrée du solvant

Taux de régénération >

Pression

3-DÉTERMINATION DU NOMBRE DE PLATEAUX THÉORIQUES

3.1. Introduction

La méthode consiste à mettre en contact la phase liquide L et la phase gazeuse G pour transférer le soluté d'une phase vers l'autre.

Lorsque le soluté est transféré de la phase gazeuse vers la phase liquide, il s'agit d'une absorption. Dans le cas contraire, il s'agit d'une désorption.

La détermination du nombre de plateaux théoriques repose sur la connaissance de la courbe d'équilibre $y = f(x)$ et les résultats du bilan matière sur la colonne.

3.2. Courbe d'équilibre

A pression et température fixées, l'équilibre conduit à une courbe $y = f(x)$ qui traduit la répartition du soluté entre les deux phases. Les unités utilisées pour y (phase gazeuse) et x (phase liquide) dépendent de la nature de la séparation réalisée : fraction massique ou molaire, concentration massique, molaire ou volumique... L'unité adoptée conditionne celle retenue pour les débits de chaque phase G et L.

3.3. Bilan sur le soluté

L'opération est effectuée en continu dans une colonne verticale où les phases circulent à contre-courant (figure 1). Le bilan sur le soluté de l'ensemble de la colonne nous conduit à

avec L : débit massique ou molaire de la phase liquide

G : débit massique ou molaire de la phase gazeuse

y_0, y_s : titres massique ou molaire de la phase gazeuse à l'entrée et à la sortie de la colonne

x_0, x_s : titres massique ou molaire de la phase liquide à l'entrée et à la sortie de la colonne

Cette relation permet de tracer la droite opératoire qui traduit la relation entre les phases qui se croisent : elle a pour pente le rapport des débits L/G et passe par les extrémités de coordonnées (x_s, y_0) et (x_0, y_s) .

Remarque : de la même façon qu'en distillation, cette relation est une droite lorsque :

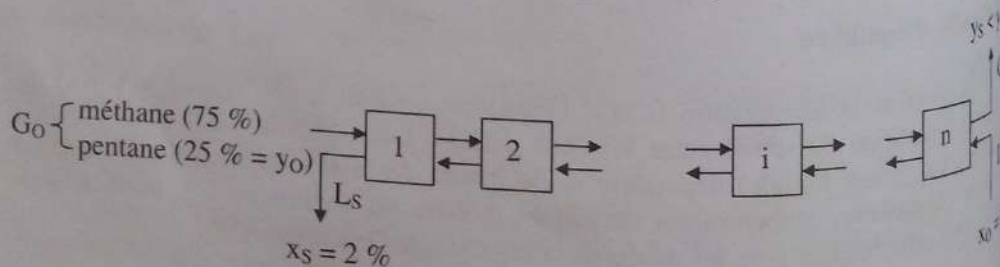
- la quantité transférée est faible et ne modifie pas les débits le long de la colonne $G_0 = G_s$ et $L_0 = L_s$
- les solutions sont idéales, ce qui est vérifié à faible teneur du soluté dans chaque phase et qui suppose que la chaleur de mixtion est faible.

4 - TRACE DES PLATEAUX THEORIQUES

Pour un mélange donné et des conditions (T, P) fixées, la droite opératoire peut se situer au-dessus ou en-dessous de la courbe d'équilibre. Sa position dépend uniquement de la teneur en soluté dans chaque phase aux extrémités de la colonne.

4.1. Absorption du pentane par l'huile de paraffine pure

La colonne de « n » plateaux peut être représentée par le schéma suivant :



Le soluté (le pentane) est transféré de la phase gazeuse vers la phase liquide et la construction graphique se présente de la façon suivante :

avec L : débit massique ou molaire de la phase liquide

G : débit massique ou molaire de la phase gazeuse

Y_o, y_s : titres massique ou molaire de la phase gazeuse à l'entrée et à la sortie

X_o, X_s : titres massique ou molaire de la phase liquide à l'entrée et à la sortie de la colonne

Cette relation permet de tracer la droite opératoire qui traduit la relation entre phases qui se croisent: elle a pour pente le rapport des débits L/G et passe par extrémités de coordonnées (x_s, y_o) et (x_o, y_s) .

Remarque: de la même façon qu'en distillation, cette relation est une droite lorsque:

- la quantité transférée est faible et ne modifie pas les débits le long de la colonne $G_o = G_s$ et $L_o = L_s$
- les solutions sont idéales, ce qui est vérifié à faible teneur du soluté à chaque phase et qui suppose que la chaleur de mixtion est faible.

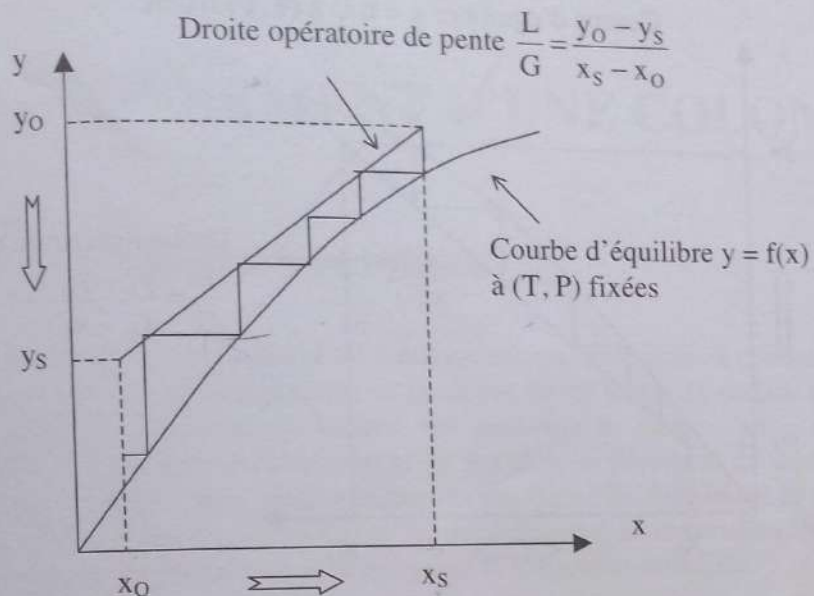
4- TRACE DES PLATEAUX THÉORIQUES

Pour un mélange donné et des conditions (T, P) fixées, la droite opératoire peut se situer au-dessus ou en-dessous de la courbe d'équilibre. Sa position dépend uniquement de la teneur en soluté dans chaque phase aux extrémités de la colonne.

4.1. Absorption du pentane par l'huile de paraffine pure

La colonne de « n » plateaux peut être représentée par le schéma suivant:

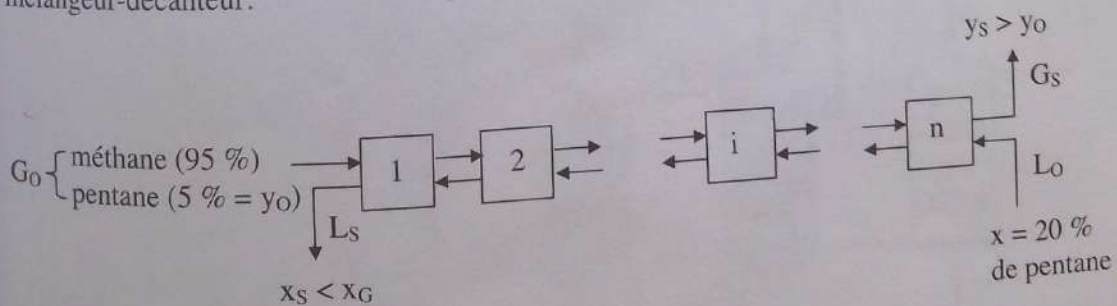
Le soluté (le pentane) est transféré de la phase gazeuse vers la phase liquide et la construction graphique se présente de la façon suivante:



La phase gazeuse s'appauvrit en soluté ($y \searrow$), la phase liquide s'enrichit en soluté ($x \nearrow$).

4.2. Désorption du pentane dans l'huile de paraffine par la phase gazeuse

Le schéma à « n » plateaux peut être représenté par une succession de bacs mélangeur-décanteur.



Le soluté (le pentane) est transféré de la phase liquide vers la phase gazeuse et la construction graphique est la suivante :

Droite opératoire de pente

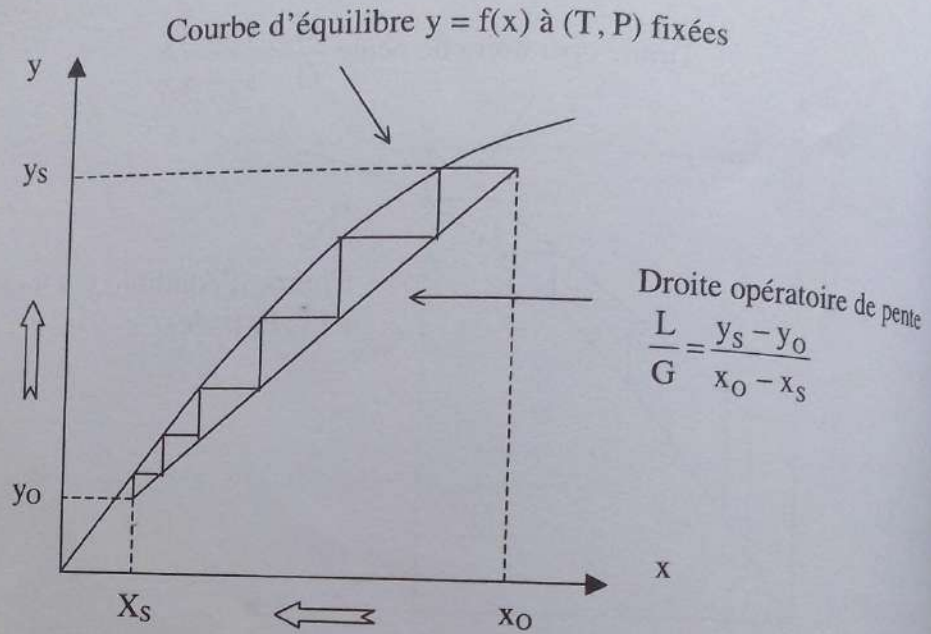
Courbe d'équilibre $y = f(x)$ à (T, P) fixées

La phase gazeuse s'appauvrit en soluté (y), la phase liquide s'enrichit en soluté (x).

4.2. Désorption du pentane dans l'huile de paraffine par la phase gazeuse

Le schéma à «n» plateaux peut être représenté par une succession de bacs mélangeur-décanteur.

Le soluté (le pentane) est transféré de la phase liquide vers la phase gazeuse et la construction graphique est la suivante :



La phase gazeuse s'enrichit ($y \nearrow$), la phase liquide s'appauvrit en soluté ($x \searrow$).

Courbe d'équilibre $y = f(x)$ à (T, P) fixées

Droite opératoire de pente

La phase gazeuse s'enrichit ($y/$), la phase liquide s'appauvrit en soluté ($x/$).