



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieure de la Recherche Scientifique  
**Université 20 août 1955-SKIKDA**  
Faculté de Technologie  
Département de Pétrochimie



**Mémoire**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**  
**Master**  
**Filière: Industries Pétrochimiques**  
**Spécialité: Génie Pétrochimique**

**Thème:**

L'influence de la composition du solvant sur les performances de la colonne de distillation extractive de l'Unité 200 RA1K

**Réalisé par:**

- Benredouane Oualid
- Merabet Mohamed Amine

**Encadré par:**

Dr Saadi Chahrazed

**Année Universitaire 2023/2024**

## **Remerciements**

*Nous remercions tout d'abord notre Dieu*

*Qui nous a donné la force et la puissance pour terminer ce modeste travail.*

*Tous nos remerciements à notre Encadreur Dr Saadi Chahrazed*

*Pour son grand soutien et ses conseils considérables.*

*Nous remercions très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien accepter de juger ce travail.*

*Nous n'oublierons pas de remercier nos enseignants du département*

*Génie Pétrochimie Pour les efforts qu'ils ont fournis durant Notre cursus afin De nous amener jusqu'au bout de la formation.*

*Nous profitant de l'occasion pour remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin À la réalisation de ce mémoire.*

*Dédicaces*

*En premier lieu, au Dieu tout puissant de m'avoir accordé*

*La puissance et la volonté pour terminer ce travail.*

*A mes parents les plus chers que ma vie, qui ont su m'apporter amour*

*Et sentiment tendre et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui*

*Et je leur serai toujours redevable.*

*A mes sœurs*

*A mes grand parents oncles, mes tantes, mes cousins mes amis et tous*

*ceux qui me sont précieux*

*Et enfin et surtout à ma grand-mère décédée cette année, qu'Allah ait*

*pitié de votre âme*

*Oualid Benredouane*

*Dédicaces*

*En premier lieu, au Dieu tout puissant de m'avoir accordé*

*La puissance et la volonté pour terminer ce travail.*

*A mes parents les plus chers que ma vie, qui ont su m'apporter amour*

*Et sentiment tendre et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui*

*Et je leur serai toujours redevable.*

*A mes sœurs*

*A mes grand parents oncles, mes tantes, mes cousins mes amis et tous*

*ceux qui me sont précieux*

*Mohamed Amine Merabet*

## Résumé :

Grâce à la forte augmentation de la production d'hydrocarbures aromatiques: le benzène, le toluène et xylènes BTX à partir de pétrole en raison de la grande activité de leurs marchés surtout avec la disponibilité de grandes quantités de ces fractions aromatiques dans le 'pétrole

Cette étude comporte deux parties principales la première présente une vision générale des hydrocarbures aromatiques, la seconde se concentrera sur la distillation extractive avec solvants choisis. dépendant de nombreuses propriétés comme méthode de séparation. (Conception et exécution) de la distillation des composés aromatiques par deux solvants organiques différents le techtive-100 et du NFM suivi par une comparaison entre les résultats obtenus par simulation. Le programme de simulation sera ASPEN HYSYS Version 11.

Les mots clé : hydrocarbures aromatiques, extraction liquide-liquide, solvant, simulation, distillation extractive.

## **Summary:**

Grâce à la forte augmentation de la production d'hydrocarbures aromatiques: le benzène, le toluène et xylènes BTX à partir de pétrole en raison de la grande activité de leurs marchés surtout avec la disponibilité de grandes quantités de ces fractions aromatiques dans le 'pétrole

Cette étude comporte deux parties principales la première présente une vision générale des hydrocarbures aromatiques, la seconde se concentrera sur la distillation extractive avec solvants choisis. dépendant de nombreuses propriétés comme méthode de séparation. (Conception et exécution) de la distillation des composés aromatiques par deux solvants organiques différents le techtive-100 et du NFM suivi par une comparaison entre les résultats obtenus par simulation. Le programme de simulation sera ASPEN HYSYS Version 11.

Les mots clé : hydrocarbures aromatiques, extraction liquide-liquide, solvant, simulation, distillation extractive.

بفضل الزيادة الحادة في إنتاج الهيدروكربونات العطرية: البنزين

من البترول نظراً للنشاط الكبير الذي تشهده أسواقها خاصة مع توفر كميات كبيرة من BTX التولوين والزيلينات هذه الأجزاء العطرية في البترول

تتكون هذه الدراسة من قسمين رئيسيين، يقدم الأول رؤية عامة للمنظمة

الهيدروكربونات العطرية، أما الجزء الثاني فسوف يركز على التقطير الاستخلاصي بالمذيبات

يختار. اعتماداً على العديد من الخصائص كطريقة للفصل. (تصميم وتنفيذ) عملية تقطير المركبات العطرية

، ثم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها NFM و 100-techtive باستخدام مذيبين عضويين مختلفين هما

الإصدار ASPEN HYSYS 11 بالمحاكاة. سيكون برنامج المحاكاة هو

الكلمات المفتاحية: الهيدروكربونات العطرية، استخلاص سائل-سائل، مذيب، محاكاة، التقطير

الاستخلاصي

## Liste des Abréviations

**$D_A$  :** RAPPORT DE DISTRIBUTION

**EDC :** colonne de distillation extractive

**NFM :** N-formylmorpholine

**S:** Sélectivité

**SRC :** colonne de récupération de solvant

**$T_b$  :** température d'ébullition

**$T_f$  :** température de congélation

**$x_i^E$ :** fraction molaire de l'espèce *i* dans la phase extrait.

**$x_i^R$ :** fraction molaire de l'espèce *i* dans la phase raffinat

**$\mu$  :** Viscosité

**$\rho$ :** Densité

**MEG :** monoéthylèneglycol

**PPM:**Fraction valant 10<sup>-6</sup>; c'est –a-dire un millionième

**GT-BTXSM :**opération de distillation extractive des (Benzene,toluene,xylène)

**LIC:** Liquide Contrôle

**DMSO :**Diméthylsulfoxyde

**MEA :**monoéthanolamine

**DEG) :** les diéthylènes glycols

**(NMP) :**N-méthylpyrrolidone

## Liste des figures

### Chapitre I Les aromatiques et les solvants

Figure. I.1: Formule de benzène.....4

Figure I.2 : Formule de Toluène.....5

Figure. I.3 : Formule d' Xylène.....5

Figure I.4 : Formule d'NFM .....13

### Chapitre II L'extraction d'aromatiques

Figure. II.1 : Schéma simplifié de la section d'extraction liq-liq.....15

Figure(II.2): Présentation d'une extraction liquide-liquide.....16

Figure II.3Schéma d'extraction à contre courant.....19

Figure II.4 Schéma d'enchaînement des opérations pour le procédé GT-BTX<sub>SM</sub>.....21

### Chapitre 3

Figure III.1 Schéma simplifié de l'unité de récupération des aromatiques.....26

Figure III.2 1 Schéma simplifié la récupération des aromatiques.....30

Figure III.3 Schéma simplifié la récupération de solvant.....35

### Chapitre IV : Simulation de l'unité d'extraction des aromatiques

Figure IV.1 : Schéma du procédé d'extraction des aromatique par solvant conçu.....40

Figure III.2 Température pour étage pour colonne EDC (NFM) .....46

Figure IV.3 : La sélectivité en fonction de coefficient de distribution.....47

Figure IV.4 Température pour étage pour colonne EDC (Tech-tive100) .....47

Figure IV.4 Température pour étage pour colonne SRC (NFM) .....48

## Liste des tableaux

### Chapitre I Les aromatiques et les solvants

Tableau I.1 : Composition massique des hydrocarbures aromatiques.....	3
Tableau I.2 : Les concentrations maximales des substances toxiques dans l'air pour un travail quotidien en huit heures.....	6
Tableau I.3 : Les propriétés physiques du Benzène, Toluène et Xylène.....	6
Tableau I.4: Propriétés des principaux solvants d'extraction des aromatiques.....	11
<i>Chapitre IV : Simulation de l'unité d'extraction des aromatiques</i>	
Tableau IV.1 Propriétés physico-chimiques des solvants .....	37
Tableau IV.3 Informations écologiques.....	38
Tableau IV.4 Conditions opératoires .....	38
Tableau IV.5 : Données des procédés d'extraction des aromatiques par les solvants.....	39
Tableau IV.6 : Résultats de simulation de la colonne d'extraction EDC.....	41
Tableau IV.7 : Résultats de simulation de la colonne SRC.....	42
Tableau IV.8 : Quantité de benzène et heptane récupérer à la fin de solvant riche de procédé de Tech-tiv100.....	43
Tableau IV.9 : Quantité de benzène et heptane pur récupérer à la fin de solvant riche de procédé de NFM.....	44
Tableau IV.10 : Quantité de benzène pur récupérer à la fin des aromatiques de procédé de Tech-tiv 100 et NFM.....	44
Tableau IV.11 Résultats de calculs de la sélectivité (Benzène/Hexane) et du coefficient de distribution (Benzène) pour les deux solvants étudiés.....	44

<b>Tableau IV.12 Comparaison économique.....</b>	<b>49</b>
<b>Tableau IV.13: Comparaison entre les différentes propriétés physico-chimiques de deux ... Solvants étudié.....</b>	<b>50</b>

## SOMMAIRE

Introduction générale .....	1
Chapitre I Les aromatiques et les solvants .....	2
I.1 Les Aromatiques.....	3
I.1.1 Source d'aromatique.....	3
I.1.2 Les structures chimiques de composition aromatique.....	4
I.1.2.1 Le Benzène.....	4
I.1.2.2 Le toluène .....	4
I.1.2.3 L'xylène.....	5
I.1.2.4 Propriétés physiques.....	5
I.3 Utilisation des hydrocarbures aromatiques : .....	6
I.3.1 Benzène.....	6
I.3.2 Le toluène.....	6
I.3.3 Xylène et éthyle benzène .....	6
I.4 Différentes méthodes de séparation des aromatiques.....	7
<i>I.5 Les solvants .....</i>	<i>7</i>
I.5.1 Définition .....	7
I.5.2 Classification des solvants.....	7
I.5.2.1 Solvants portiques et polaires.....	7
I.5.2.2 -Solvants aprotiques et dipolaires.....	8
I.5.2.3 -Solvants aprotiques et apolaires.....	8
I.5.2.4 -Solvants aprotiques et peu polaires.....	8
I.6 Le choix du solvant.....	8
I.6.1 La sélectivité du solvant .....	8
I.6.2 Le pouvoir solvant .....	8
I.7 Facteurs importants pour le fonctionnement des appareils.....	9
I.8 Facteurs économiques.....	10
I.8.1 Température d'extraction .....	10
<i>I.9 Critères de choix de solvant .....</i>	<i>11</i>
I.9.1 Propriétés physico-chimiques .....	11
I.9.2 Propriété de sélectivité .....	12
I.9.3 Propriétés technico-économiques : .....	12
I.9.4 Propriétés .....	12
I.9.5 Facteurs influant sur la perte et la qualité du solvant.....	12

<i>I.10 Les solvants choisis</i> .....	13
<i>I.10.1 Le Tech-tiv<sup>sm</sup> 100</i> .....	13
<i>I.10.2 N-formylmorpholine (NFM)</i> .....	13
<b>Chapitre II L'extraction d'aromatiques</b> .....	14
<i>II.1.2 L'extraction liquide-liquide (ancien procédé)</i> .....	15
<b>II.1.2.1 Principe de l'extraction liquide-liquide</b> .....	16
<b>II.1.2.2 Les types d'extractions liquides-liquides</b> .....	17
<b>II.1.2.2.1 Extraction par échange des cations</b> .....	17
<b>II.1.2.2.2 Extraction par chélation</b> .....	17
<b>II.1.2.2.3 Extraction par échange d'anions</b> .....	17
<b>II.1.2.3 Les avantages des extractions liquides- liquides</b> .....	17
<b>II.1.2.4 Différentes méthodes d'extraction au solvant</b> .....	18
<b>II.1.2.4.1 Extraction à un étage</b> .....	18
<b>II.1.2.4.2 Extraction à étage multiple</b> .....	19
<b>II.1.2.4.3 Extraction à contre-courant</b> .....	19
<b>II.1.2.5 Applications et Etat d'Activités de L'Extraction Liquide-Liquide</b> .....	19
<b>II.2 La distillation extractive (nouvelle procédé)</b> .....	20
<i>II.2.1 principe de La distillation extractive</i> .....	20
<i>II.3 Types de solvants Utilisées dans la distillation extractive</i> .....	21
<i>II.3.1 Ethylene glycol (déshydratations d'alcool)</i> .....	21
<i>II.3.2 Eau (séparation méthanol/acétone)</i> .....	22
<i>II.3.3 Acétonitrile (séparation propane/propylène. hydrocarbures en</i> .....	22
<b>II.4 Avantages du procédé de GT-BTX (ED) par rapport à l'extraction Liquide-Liquide</b> .....	23
<b>Chapitre III Description de l'unité 200</b> .....	24
<i>III.1 Description de procédé</i> .....	25
<i>III.2 colonne de Distillation extractive– P&amp;ID No. 1111-1114 –(EDC)</i> .....	27
<i>III.3.colonne de Récupération du solvant – P&amp;ID No. 1115-1117</i> .....	28
<b>Chapitre IV : Simulation de l'unité d'extraction de aromatiques</b> .....	36

<b>Introduction.....</b>	<b>37</b>
<i>IV.1 Différents types de solvants.....</i>	<i>37</i>
<i>IV.1.1 Les propriétés physico-chimiques.....</i>	<i>37</i>
<i>IV.1.2 Propriétés environnementales .....</i>	
<i>IV.2 Simulation du procédé d'extraction des aromatique en utilisant deux solvants.....</i>	<i>38</i>
<i>IV.2.1 Méthodologie générale.....</i>	<i>38</i>
<i>IV.2.2 Les étapes de la simulation.....</i>	<i>38</i>
<b>IV.2.2.1 Choix du système de séparation.....</b>	<b>38</b>
<i>IV.2.2.2 Choix du modèle thermodynamique .....</i>	<i>39</i>
<i>IV.2.2.3 Conditions opératoires.....</i>	<i>39</i>
<i>IV.2.2.4 Description la simulation du procédé d'extraction des aromatiques par solvant.....</i>	<i>39</i>
<i>IV.2.2.4 .1 Données des procédés d'extraction des aromatiques par les solvants.....</i>	<i>40</i>
<i>IV.3 Résultats et comparaison de la simulation.....</i>	<i>42</i>
<i>IV.3.1 Simulation de la colonne EDC avec des solvants.....</i>	<i>42</i>
<b>IV.3.2 Comparaison de la quantité de benzène entre les deux procédés.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.3 Résultats de simulation de deux solvants. ....</b>	<b>45</b>
<b>IV.3.3.1 Efficacité de solvant.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.3.3.2 comparaison des températures par étages des colonnes.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.3.2.1 comparaison des températures par étages de colonne EDC.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.3.2.2 comparaison des températures par étages de colonne SRC.....</b>	<b>48</b>
<b>IV.3.3.3: Comparaison économique.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.3.3.4 Influence des propriétés physico-chimiques.....</b>	<b>50</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<i>Conclusion Généra.....</i>	<i>50</i>

## **INTRODUCTION générale**

La technologie de distillation extractive GT-BTXSM pour l'extraction des aromatiques a été commercialisée avec succès avec plus d'avantages que les procédés concurrents dans les domaines les plus significatifs du design et du fonctionnement. La technologie de GTC dispose de la formulation exclusive de solvant commercialement disponible qui présente de haute sélectivité et capacité.

Le principe de base de la distillation extractive est la modification de la volatilité relative des composants en présence d'un solvant sélectif puissant. Dans un mélange contenant des aromatiques et des non aromatiques, la volatilité relative des composants non-aromatiques est améliorée par rapport à celle des composants aromatiques par la présence du solvant.

Cette amélioration permet aux non aromatiques d'être distillés en tête (partie supérieure) de la colonne conventionnelle de distillation, tandis que les aromatiques sont récupérés au fond de la colonne.

Le manuscrit est divisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre on a donné un aperçu général sur les sources et les utilisations des hydrocarbures aromatiques et les différentes méthodes de séparation des aromatiques et les types et le choix des solvants

Dans le deuxième chapitre, il a présenté les différentes méthodes d'extraction des aromatiques, en plus de l'extraction liquide-liquide. Et la distillation extractive

Dans le troisième chapitre on a présenté l'unité 200 et ses différentes unités

Dans le quatrième chapitre il est consacré à l'étude par simulation de l'unité d'extraction des aromatiques en exploitant l'outil de simulation Aspen Hysys V11. Suite aux résultats obtenus une comparaison entre les deux procédés envisagés.

# Chapitre 01

## Les aromatiques et solvants

**I.1 Les Aromatiques****I.1.1 Source des aromatiques :**

Le pétrole contient des composés aromatiques, qui se retrouvent essentiellement, après distillation du pétrole, dans le naphta (dont ils représentent jusqu'à 20 % de la masse). Une simple séparation des aromatiques ne suffit pas aux besoins du marché, il faut en synthétiser à partir des autres hydrocarbures. Pour cela on effectue soit un reformage catalytique du naphta, soit un vapocraquage des coupes plus lourdes (gazolines). On peut aussi extraire les aromatiques de la houille (charbon), mais cette voie tend à disparaître et ne représente aujourd'hui que 5 % des capacités de productions en Europe de l'Ouest et 2 % aux États-Unis. Enfin, certains aromatiques moins utilisés (toluène ou méta xylène) peuvent être convertis en benzène, para xylène ou ortho xylène

La teneur en aromatiques des éléments de reforming catalytique varie selon la composition de la charge, et son intervalle de distillation et également suivant le service de l'opération.

Les essences de pyrolyse ne dépendent pas en principe de la nature de la charge on constate ainsi que les deux sources d'aromatique possible ont des compositions très différentes de sortie que selon les besoins du marché l'une ou l'autre peut être employée.

On peut aussi avoir les Hydrocarbures aromatiques (B.T.X) à partir des benzols c'est à dire, lors de la transformation de la bouille en coke nécessaire à la production de fonte brute, il se forme des gaz bruts ou gaz de cokerie, des benzols et du goudron.

Les benzols sont traités à l'acide sulfurique ou par hydrosulfuration catalytique pour les débarrasser des composés sulfurés (thiophène, mercaptans), oxygène (phénols) et Azotes (pyridine), le produit raffiné et ensuite distillé pour donner le benzène brut renfermant les Hydrocarbures suivant en poids. [1].

**Tableau I.1 :** Composition massique des hydrocarbures aromatiques [1].

Hydrocarbures	% massique
Légers	2
Benzène	5
Toluène	8
Xylène	6
Ethylbenzène	2

## I.1.2 Les structures chimiques de composition aromatique :

Les aromatiques sont des HC très stable grâce à la circulation libre des électrons autour du cycle, de formule générale  $C_nH_{2n-6}$ . Les aromatiques diffèrent des autres Hydrocarbures par le fait qu'ils présentent un noyau aromatique. Et leur rapport C/H est très élevé.

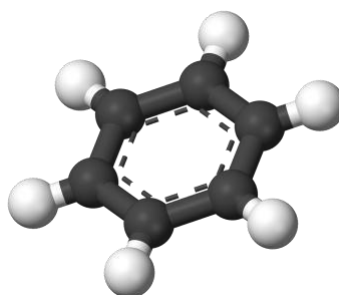
- Ils sont considérés pendant longtemps comme dérivés d'un HC de base.
- Ils sont toxiques et provoquent la destruction des globules rouges, ce sont des produits cancérigènes pendant, ils peuvent contaminer l'eau plus que les paraffines à cause de leur toxicité [2].

### I.1.2.1 Le Benzène :

Le benzène a pour formule  $C_6H_6$ , tous les hydrogènes sont identiques car la substitution d'un seul des six hydrogènes par un radical ne fournit qu'un seul composé.

La molécule doit être donc symétrique.

La première formule du benzène proposée par KEKULE était [2] :



**Figure. I.1 :** Formule de benzène. [2].

### I.1.2.2 Le Toluène :

Le toluène de formule brute  $C_7H_8$ , est un liquide clair et incolore à la température ambiante, émettant une odeur forte et sucrée semblable à celle du benzène, sa densité de 0.8869 à 20°C. Le toluène est légèrement soluble dans l'eau douce à 25°C [2].

Distillation les produits lourds dus à la décomposition thermique qui se produit en tout cas.

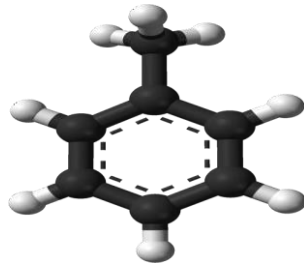


Figure I .2 : Formule de Toluène [2].

### I.1.2.3 L'Xylène :

Un hydrocarbure aromatique dérivé du benzène, de formule chimique  $C_8H_{10}$ . À température ambiante , il se présente sous la forme d'un liquide incolore.il émet une odeur désagréable0,864 g/ml à 20 °C. Solubilité dans l'eau : 0,106 g/l à 25 °C.

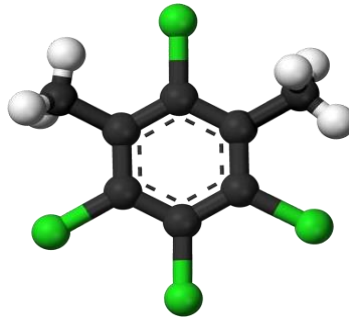


Figure I.3 : Formule d' Xylène. [2].

L'Xylène contient trois isomères [2] :

- **Ortho Xylène.**
- **Meta Xylène.**
- **Para Xylène.**

### I.1.2.4 Propriétés physiques :

L'hydrocarbure aromatique : benzène, toluène et xylène sont d'excellents solvants mais insolubles dans l'eau et de densité celle de l'eau. |

Ils sont toxiques et provoquent la destruction des globules rouges. Cependant, ils peuvent contaminer l'eau plus que les paraffines à cause de leur toxicité.

**Tableau I.2 :** Les concentrations maximales des substances toxiques dans l'air pour un travail quotidien en huit heures [3].

HC	PPM	Mg/m <sup>3</sup>
Benzène	10	30
Toluène	100	375
Xylène	1000	435

**Tableau I.3 :** Les propriétés physiques du Benzène, Toluène et Xylène [3].

Aromatiques	T d'ébullition (°C)	Solubilité dans l'eau	Point d'éclair
Benzène	80	insoluble	-11
Toluène	111	Insoluble	4
Ortho-xylène	144	insoluble	17
Meta-xylène	139	insoluble	27
Para-xylène	138	insoluble	25

### I.3 Utilisation des hydrocarbures aromatiques :

#### I.3.1 Benzène :

La totalité du benzène produit à Donges est utilisé sur place pour la synthèse de l'isopropylbenzène et sert par conséquent à la préparation du phénol, lui-même, matière première de la fabrication du nylon [4].

#### I.3.2 Toluène :

Le toluène ne sert pas uniquement à la fabrication d'explosifs, mais est également utilisé comme matière première de synthèse (polyuréthane) et comme solvant de peinture. Le manque de benzène des années 1959 et 1960 a conduit certains fabricants à construire des unités de désalkylation pour transformer le toluène en benzène [4].

#### I.3.3 Xylènes et éthylbenzène :

- Le paraxylène est le point de départ de la fabrication du textile artificiel bien connus le nom de tergal ou térylène.
- L'ortho-xylène entre dans la fabrication de plastifiants, de polyesters et des peintures

Glycéro – phtaliques.

- Le méta-xylène est également une matière première pour la fabrication des polyesters.
- L'éthylbenzène peut donner par déshydrogénation du styrène. Le mélange des xylènes et d'éthylbenzène est utilisé comme solvant [4].

#### **I.4 Différentes méthodes de séparation des aromatiques :**

En dehors des produits liquides issus de la distillation de la houille, les hydrocarbures aromatiques proviennent essentiellement soit des reformats, soit des essences de pyrolyse de Naphta. La teneur en aromatiques des effluents de reformage catalytique varie selon la composition de la charge et également suivant la sévérité de l'opération. Plus la sévérité de l'opération augmente, plus on obtient une teneur en aromatiques élevée

On constate que les deux sources d'aromatiques (reformat et essences de pyrolyse) offrent des compositions très différentes, de sorte que selon la demande du marché, l'une ou l'autre peut être employée. S'il convient de produire essentiellement du benzène, l'essence de pyrolyse est en principe la mieux adaptée, si au contraire on recherche les xylènes, le reformat devient la matière première indispensable [1].

Parmi les procédés d'obtention des hydrocarbures aromatiques citons :

- Le reforming catalytique.
- Le steam-cracking.
- Extraction par solvant sélectif.

#### **I.5- Les solvants**

##### **I.5.1 - Définition :**

C'est un composé organique capable de donner des combinaisons avec le soluté métallique soluble dans la phase organique. Il présente des propriétés physico-chimiques lui permettant de former une phase organique continue, non miscible à la phase aqueuse

Il n'existe pas de classement officiel des solvants. Ceux-ci peuvent être classés selon leurs similitudes de groupement chimiques : hydrocarbures aromatiques, alcools, esters, cétones, éthers etc. Mais la classification selon les propriétés chimiques vues précédemment semble plus intéressante concernant l'ELL [3].

##### **I.5.2- Classification des solvants**

###### **I.5.2.1- Solvants portiques et polaires :**

Ces solvants peuvent former des liaisons H, possèdent un fort moment dipolaire ( $\mu$  élevé) et un fort

pouvoir ionisant. Ils sont souvent miscibles à l'eau. Citons comme exemple l'acide formique ou les autres acides carboxyliques. Ce sont des solvants utilisés lors de back-extraction. [5]

### **I.5.2.2 -Solvants aprotiques et dipolaires :**

Ce sont des solvants miscibles à l'eau le plus souvent, qui ne donnent et n'acceptent pas de liaisons H, et qui ont un fort pouvoir ionisant et un caractère dissociant. Ce sont par exemple

L'acétonitrile, l'acétone ou le diméthylsulfoxyde (DMSO). [5]

### **I.5.2.3 -Solvants aprotiques et apolaires :**

Ces derniers ne forment pas de liaison H, présentent un moment dipolaire très faible et sont souvent non miscibles dans l'eau : hexane, benzène, toluène ou tétrachlorure de carbone. [5]

### **I.5.2.4 -Solvants aprotiques et peu polaires :**

Ce sont des solvants intermédiaires. Ils possèdent un moment dipolaire faible et ne peuvent pas former de liaisons H. On retrouve dans cette famille l'éther, le thioéther ou le tétrahydrofurane.

Ces deux dernières familles de solvants seront préférentiellement utilisées en ELL

D'autres classifications sont disponibles, comme celle de Rohrschneider et Snyder qui proposent une classification selon la polarité et la sélectivité, ou celle de Hildebrand selon les solubilités. [5]

## **I.6- Le choix du solvant :**

Le solvant est choisi de telle façon à former avec la charge un mélange de deux phases non miscibles et il doit non seulement permettre la séparation des produits mais aussi être utilisable aisément dans les extracteurs et être facilement séparable des produits dissous et son emploi doit être aussi économique que possible.

Donc l'extraction n'est possible que si le mélange solvant / charge donne naissance à deux phases liquides non miscibles, cette condition est satisfaite en choisissant la température et le rapport solvant / charge appropriés.

L'augmentation du rapport solvant / charge diminue le rendement du raffinat et améliore sa qualité, mais les pertes de solvant et la consommation de l'énergie pour la régénération augmentent. [6.7]

### **I.6.1- La sélectivité du solvant :**

La sélectivité du solvant traduit la facilité que possède un solvant à dissoudre un constituant de la charge préférentiellement à un autre. Elle est caractérisée par le coefficient de sélectivité [6]

$$S = D_A / D_B$$

$D_A/D_B$ . RAPPORT DE DISTRIBUTION

## I.6.2- Le pouvoir solvant :

Le pouvoir solvant exprime la quantité de produit que peut dissoudre une unité de volume ou de masse d'un solvant tout en gardant un coefficient de sélectivité  $\square$  acceptable.

Un pouvoir solvant faible entraîne une utilisation d'une grande quantité de solvant pour effectuer une séparation donnée.

La sélectivité, le pouvoir solvant ainsi que la température de miscibilité peuvent être modifiés à un certain degré en additionnant un produit influençant la solubilité mutuelle des constituants.

En additionnant un corps qui se mélange bien avec le solvant et ne se dissout pas pratiquement dans le diluant on peut Augmenter la température à la quelle les deux constituants forment un mélange homogène et augmenter la sélectivité du solvant.

Pour accroître la miscibilité de constituant (pouvoir solvant), diminuer la température de dissolution du mélange et la sélectivité du solvant :

- On ajoute un corps qui se dissout bien à la fois dans le solvant et dans le diluant.
- L'augmentation de la température surtout au voisinage de la température critique de dissolution (TCD) entraîne une augmentation du pouvoir solvant et une diminution de la sélectivité du solvant.
- La température d'ébullition du solvant doit être 30 à 40 °C au dessus du point d'ébullition des aromatiques à récupérer. [6 ; 7]

## I.7-Facteurs importants pour le fonctionnement des appareils :

Les facteurs importants du solvant pour le fonctionnement des appareils sont les suivants :

### a) Masse volumique :

On choisit un solvant qui a une masse volumique différente que celle de la charge de telle façon que les phases en contact à aucun moment ne doivent atteindre la même masse volumique, une grande différence de masses volumiques favorise la décantation des solutions est par suite augmenté la capacité de décanteur. [6]

### b) Viscosité :

Un solvant de faible viscosité doit être choisi pour l'obtention des hauts débits de fonctionnement et éviter l'entraînement des gouttelettes de solvant par la ptiv100 hase non désirée et aussi on aura un meilleur transfert de masse. [6]

### c) Température :

La température d'ébullition du solvant doit être supérieure à la température de fonctionnement à fin d'éviter son évaporation. Le solvant doit avoir une température d'ébullition aussi différente que celles des aromatiques. [6]

**d) Tension interfacial :**

Une faible tension inter faciale favorise la réalisation d'une grande surface de contact

t entre les phases mais gêne la décantation de l'émulsion. [6]

**I.8- Facteurs économiques :**

Le solvant ne doit pas être :

Coûteux, toxique, corrosif, instable chimiquement et thermiquement Il ne doit pas réagir avec la charge à traiter.

Le solvant doit posséder :

- un haut point d'inflammabilité.
- une haute température d'ébullition par rapport aux aromatiques.
- Un bas point de congélation.

Le procédé est d'autant plus économique que son solvant permet de traiter des charges différentes. La plupart des caractéristiques citées doivent être examinées dans les conditions réelles de l'emploi du solvant, de température en particulier qui influe sur le pouvoir solvant, sur la sélectivité et sur la zone d'immiscibilité.

comme il est difficile de trouver un agent d'extraction qui présente toutes les qualités, on est obligé de corriger les imperfections du solvant en intervenant sur les conditions mis en œuvre :

- Augmenter le rapport solvant / charge.
- Effectuer un recyclage du raffinat (paraffines légers / charge) pour déplacer au sein de l'extrait les faibles quantités de paraffines lourdes dissoutes. [6]

**I .8.1-Température d'extraction : [8]**

Quand la température augmente la solubilité et le pouvoir solvant augmente, par contre la sélectivité diminue ; donc on doit chercher la température optimale d'extraction de façon à maximiser le prix de revient ou de façon à avoir un bon rendement en aromatiques. La température d'extraction dépend de la TCD du produit donné, elle doit être inférieure à la "TCD".

**I.9 -Critères de choix de solvant :**

Les solvants des procédés industrialisés sont, soit des glycols : les diéthylènes glycols (DEG), N-méthylpyrrolidone (NMP), la N-formylmorpholine (NFM), soit des dérivés oxygénés de molécules soufrés comme la (Tech-tiv100) ou le N-formylmorpholine (NFM) basé sur plusieurs critères, en se basant sur différents paramètres, tels que l'efficacité de solvant, les propriétés physico-chimiques, propriété de sélectivité, les propriétés technico-économiques et les propriétés environnementales. Ils possèdent les propriétés générales des solvants industriels [3].

**I.9.1- Propriétés physico-chimiques :**

D'après les principales propriétés physiques regroupées dans le tableau on peut constater et particulier que tous les solvants ont :

➤ Une température de cristallisation suffisamment basse pour qu'ils puissent être mise en œuvre sans complication d'appareillage. Tout au plus des solvants tels que le Tech-100 le DMSO et le NFM qui sont les températures de cristallisations les plus élevées nécessitent que certaines lignes et bacs de stockage soient traités à la vapeur

➤ Une température d'ébullition nettement supérieure à celle du xylène (140°C) qui est généralement le moins volatile des aromatiques à extraire.

➤ Une densité proche ou supérieure à 1.1 ce qui assure un différentiel de densité avec les hydrocarbures de la charge (masse volumique à 20°C de 0.660 à 0.88 g/cm<sup>3</sup>) favorable à une décantation convenable des phases et au bon fonctionnement des extracteurs

➤ Une viscosité qui peut être élevée à température ordinaire. Notamment pour les glycols. mais qui est toujours inférieure à 2.5 mPa.s à la température d'utilisation dans l'extracteur les seconds

Valeurs de viscosité indiquées dans le (tableau 1.4) et qui est par conséquent favorables à une température de transfert de matière rapide [3.11].

Tableau III.1 : Propriétés des principaux solvants d'extraction des aromatiques

solvant	M (g/mole)	Tf (°C)	Tb (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) à 20°C	$\mu$ (mPa.s)/ $\theta$ (°C)
DEG	106.1	-8	245	1116	35.7/20
Tech_tiv100	N/A	10-27	282	1250-1261	10/30
DMSO	78.3	18.5	190.8	1100	1.99/25 1.6/35
TETRA	194.2	-4	291	1125	61.9/20 1.8/150
NMP	99.1	-24.4	202	1027	1.65/25 1.3/30
NFM	115.13	23	240	1140	4.1/50
TEG	150.2	-7	288	1123	49/20 0.70/140

### I.9.2- Propriété de sélectivité :

Les solvants ont une structure moléculaire constituée d'un radical ou d'un cycle hydrocarboné relativement court, et d'un groupement polaire. Cette structure leur confère d'une part, la propriété d'être miscibles entre eux et avec l'eau, et d'autre part la propriété de sélectivité vis-à-vis des hydrocarbures.

Avec un hydrocarbure donné, ils présentent en effet une solubilité qui dépend de la nature chimique de l'hydrocarbure et, à un degré moindre, de la taille moléculaire de ce dernier. Plus précisément, si l'on considère les différentes familles chimiques d'hydrocarbures, on a toujours, pour des constituants de même nombre d'atomes de carbone, des solubilités décroissantes dans l'ordre:

Aromatiques > dioléfines > oléfines > naphtènes > paraffines.

Les propriétés des principaux solvants d'extraction des hydrocarbures aromatiques figurent dans le (tableau I.4) [7].

**I.9.3- Propriétés technico-économiques :**

- Récupération facile, si possible par un simple flash.
- Large disponibilité et coût modéré.
- Non corrosif pour les métaux conventionnels de construction [3].

**I.9.4- Propriétés environnementales :**

- Non toxique pour l'environnement et la sécurité.
- Non polluant [3]

**I.9.5 -Facteurs influant sur la perte et la qualité du solvant :**

Les facteurs influant sur la perte et la qualité du solvant sont les suivants: [10]

- Dégradation
- Neutralisation
- Pertes de solvant dans le raffinat
- Pertes de solvant dans l'extrait.

**I.10- Les solvants choisis****I.10.1 Le Tectiv-100 :**

Les composants dans le système de solvant, Tectiv -100 utilisés pour le procédé de GT-BTX SM, sont totalement acceptés par l'industrie du raffinage et de la pétrochimie. La composante d'ancrage dans le mélange de solvant est le sulfolane. De plus, le mélange de solvant contiendra des composants de co-solvant, les agents de stabilisation, des intermédiaires, et de l'eau, la composition ajustée pour fournir des performances optimales de distillation extractive. Les propriétés primaires du mélange de solvant sont indiquées ci-dessous [10]

**I.9.2- N-formylmorpholine (NFM) :**

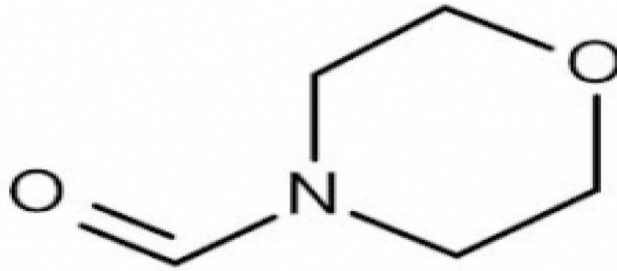
est un composé organique de formule  $O(C_2H_4)_2NCHO$ . C'est le formamide de la morpholine

( $O(C_2H_4)_2NH$ ). Composé incolore, c'est un solvant utile à haute température similaire au

Diméthylformamide. Il a été utilisé comme agent formylant. Récemment, la

N-formylmorpholine a été utilisée comme solvant dans l'extraction, la distillation extractive, etc., et sa production et son application ont été décrites. À l'heure Aromatiques actuelle, les méthodes de synthèse de la N-formylmorpholine sont la méthode de L'acide formique, la méthode du formiate de méthyle, la méthode d'acylation par acide carboxylique, etc. La meilleure parmi celles-ci est la méthode de l'acide formique, qui a un avenir prometteur en Matière d'application. Elle est utilisée

dans les domaines de la récupération des arômes de la Purification du butylène et de la désulfuration du gaz naturel, etc., et présente un marché potentiel. [9]



*Figure I.4 Formule d’NFM.* [9]

*Chapitre II*  
*L'extraction d'aromatiques*

II.1 -L'extraction des aromatiques

II.1.2- L'extraction liquide-liquide (ancien procédé) :

L'extraction liquide-liquide constitue une opération fondamentale en génie chimique. C'est un Procédé qui permet la séparation de un ou plusieurs constituants d'un mélange en mettant à profit Leur distribution inégale entre deux liquides pratiquement non miscibles Les méthodes d'extraction Se basent essentiellement sur le suivi d'équilibre, et donc le transfert de masse ne peut être ignoré Dans l'industrie, l'extraction liquide-liquide concurrence les autres procédés, tel que la distillation, la cristallisation, l'adsorption...etc. Dans certains cas elle s'impose de manière indiscutable, Indiscutable, notamment lorsque les conditions technologiques ou physico-chimiques lui sont Favorables, comme c'est le cas pour La séparation de constituants à points d'ébullition voisins (séparation de certains hydrocarbures et Aliphatiques). .La séparation azéotrope .La séparation de composés thermosensibles ou instables (antibiotiques) .La concentration et la purification de solutions diluées, opération souvent plus économique que la Distillation. En pratique, l'utilisation d'un procédé d'extraction liquide-liquide requiert deux opérations Successives requiert deux opérations successives. La mise en contact intime des deux phases liquides durant un temps suffisant à l'obtention de L'équilibre ou d'un état proche de l'équilibre et pendant lequel le ou les solutés sont transférés de la Phase d'alimentation vers le solvant..Après leur contact, une séparation ultérieure des deux liquides eut s'ajouter, dans certains cas, la mise en œuvre d'autre forces : force centrifuge, champs électrique...etc. [10]:.

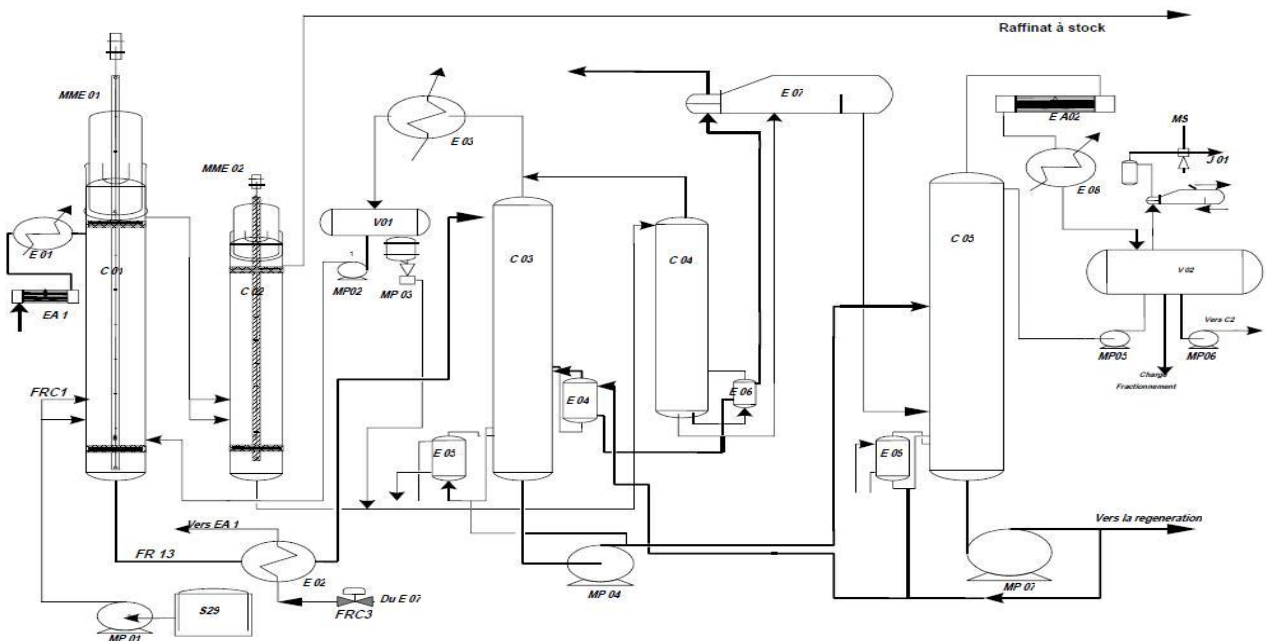


Figure. II.1 : Schéma simplifié de la section d'extraction liq-liq[10].

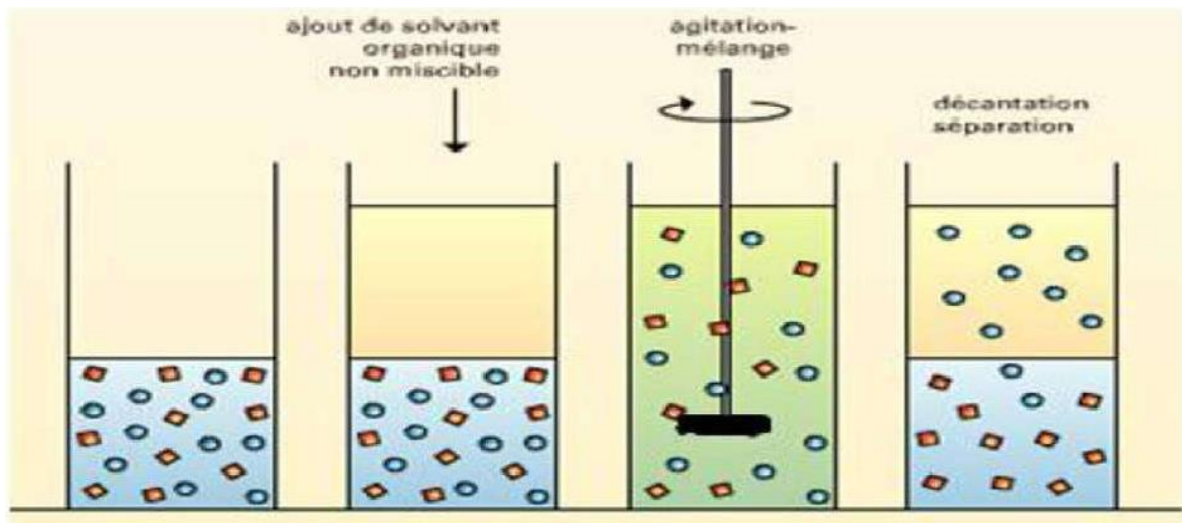
### II.1.2.1- Principe de l'extraction liquide-liquide :

L'extraction liquide-liquide est réalisée par le contact intime du solvant organique avec la solution aqueuse dans des appareils destinés à mélanger les deux phases « ampoules, colonnes, mélangeurs ». La séparation des phases s'obtient par décantation gravimétrique ou centrifugation (Figure (II.2)). Le passage du soluté dans le solvant organique aboutit théoriquement à un équilibre dans la composition des phases. L'obtention de cet équilibre est liée à la vitesse de diffusion du soluté d'une phase à l'autre.

Les vitesses d'extraction sont d'autant plus grandes que les différences de concentrations

En soluté des deux phases en contact sont grandes, et que la surface d'échange entre les deux phases est grande. L'agitation du milieu a pour effet d'augmenter la surface de contact entre les phases et de favoriser la diffusion du soluté au sein de chaque phase.

Les modalités de mise en œuvre de l'extraction liquide-liquide sont choisies en fonction de nombreux paramètres: température, concentration, pH, oxydoréduction, divers solvants; ce qui explique le grand nombre d'applications de ce procédé [12].



**Figure(II.2):** Présentation d'une extraction liquide-liquide.

Pour effectuer cette extraction essentiellement, deux étapes sont impliquées:

- 1 - Une mise en contact intime des deux phases liquides durant un temps suffisant à l'obtention de l'équilibre ou d'un état proche de l'équilibre et pendant lequel le ou les solutés sont transférés de la phase aqueuse (Solution d'alimentation) au solvant organique
- 2- Une séparation ultérieure des deux liquides (extrait et raffinat) sous l'effet de la gravité naturelle auquel peut s'ajouter dans certains cas la mise en œuvre d'autres forces : force centrifuge, champ électrique, etc.

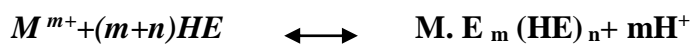
### II.1.2.2- Les types d'extractions liquides-liquides :

Dans un processus d'extraction le transfert d'un soluté ionique d'une phase à l'autre effectuée par l'intermédiaire d'une réaction chimique entre le soluté et le solvant. Selon la nature chimique des extractions et de la réaction chimique, il existe quatre types d'extraction : [13].

#### II.1.2.2.1 -Extraction par échange des cations :

Cette extraction fait intervenir l'échange d'un ou de plusieurs protons entre

Le solvant acide et un cation métallique présent dans la phase aqueuse. L'extraction peut être décrite par l'équilibre général suivant:



et le coefficient de distribution s'écrit:

$$\log D = \log k + (m+n) \log HE + m pH_e$$

ou K est la constante d'équilibre de la réaction d'extraction [13].

#### II.1.2.2.2- Extraction par chélation :

Dans ce cas, le solvant possède simultanément une fonction acide faible (-OH ou-SH) et un groupement donneur de doublet électronique (atome d'oxygène ou d'azote) susceptible de se coordonner avec le métal. Celui-ci est alors extrait sous forme d'un chélate métallique. Par exemple, Lors de l'extraction du cuivre par l'acétylacétone [13].

#### II.1.2.2.3- Extraction par échange d'anions :

Certains milieux aqueux complexent les cations métalliques en formant des espèces anioniques. L'extraction peut être décrite par l'équilibre général suivant:



Avec:  $n > m$

### II.1.2.3-Les avantages des extractions liquides- liquides :

- **Grande capacité** de production pour une consommation d'énergie réduite ; exemple : séparation paraffiniques/aromatique dans l'industrie pétrolière.

- **Sélectivité**, en particulier quand d'autres procédés (rectification) ne conviennent pas ou sont plus chers (investissement ou consommation d'énergie) ; par exemple, cas de production de pyridine anhydre.
- **Des produits thermosensibles** peuvent être traités à température ambiante ou modérée (exemple, production de vitamines)
- **Cas de produits lourds et très dilués**, et en particulier pour des solutions aqueuses ; dans le procédé de séparation classique par distillation, l'eau à évaporer représente

**II.1.2.4- Différentes méthodes d'extraction au solvant :**

Il existe trois méthodes d'extraction au solvant : [14].

- Extraction à étage simple
- Extraction à multi-étage
- Extraction à contre-courant

**II.1.2.4.1- Extraction à un étage :**

La matière est traitée par toute la quantité nécessaire du solvant à la fois, ensuite la solution est bien mélangée à la température du procédé et après la décantation on sépare les deux phases est effectué par distillation.

Il n'est pas possible avec un seul étage d'extraction d'obtenir une séparation complète des éléments de la charge et quelque soit le procédé utilisé, il ne sera pas possible d'obtenir un composant de la charge à l'état pur. Ainsi, il sera nécessaire d'opérer différemment pour obtenir un raffinat plus riche en produit indésirable [14].

Les procédés utilisables à cet effet sont les suivants :

- Extraction simple répétée (Extraction à contact multiple).
- Extraction à contre-courant

### II 1.2.4.2- Extraction à étage multiple :

C'est une série de traitement en un étage, dans chaque étage on traite le raffinat obtenu dans l'étage précédent par le solvant pur, on obtient quelque fraction d'extrait et un seul raffinat final [14].

### II 1.2.4.3- Extraction à contre-courant :

Selon le mode d'écoulement des liquides deux types de contre-courant sont à considérer:

- Le contre-courant à contact discontinu : correspond au fonctionnement d'une suite discontinue d'étages de contact.
- Le contre-courant à contact continu : il est obtenu dans les appareils de remplissage type colonne RDC. Ces deux phases s'écoulent en restant toujours en contact [14].

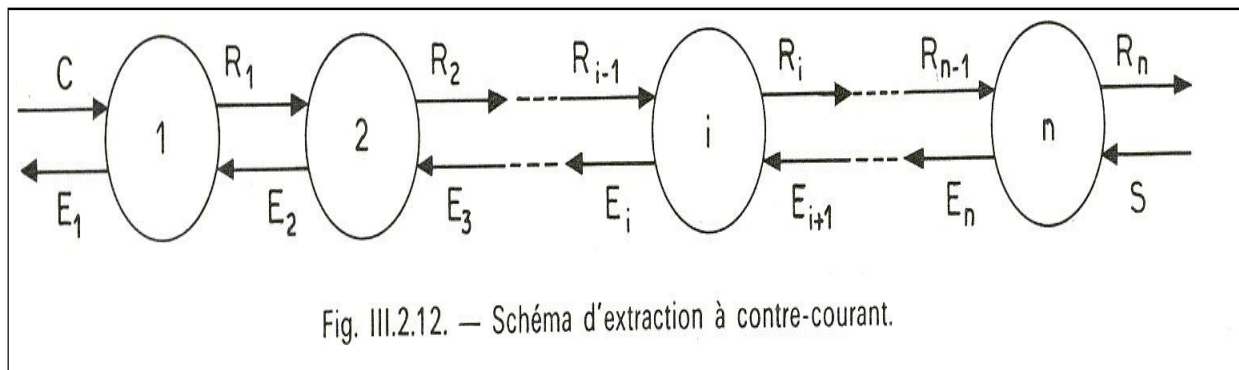


Figure II.3 Schéma d'extraction à contre courant [14].

### II.1.2.5- Applications et Etat d'Activités de L'Extraction Liquide-Liquide :

Les applications industrielles de l'extraction liquide-liquide se sont accrues rapidement depuis 25 ans.

Le premier procédé utilisé dans l'industrie du pétrole fut le procédé EDLENU en 1907 ; il était destiné à éliminer les composés aromatiques des huiles de pétrole par traitement au dioxyde de soufre liquide. Actuellement, l'extraction liquide-liquide joue un rôle très important dans divers secteurs industriels et ses applications couvrent les champs des industries de chimie organique, minérale, pétrochimique, nucléaire...etc.

\*Industrie Pétrochimique : Production d'aromatiques ; Purification du pétrole ; Alkylation

\*Industrie chimique : Synthèse de polymères, Fibres, Pesticides, Herbicides...

\*Industrie Environnementale : Traitement des eaux polluées ; Récupération et recyclage de sous- produits. [15].

## **II.2- La distillation extractive (nouveau procédé)**

La technologie de distillation extractive GT-BTXSM pour l'extraction des aromatiques a été commercialisée avec succès avec plus d'avantages que les procédés concurrents dans les domaines les plus significatifs du design et du fonctionnement. La technologie de GTC dispose de la formulation exclusive de solvant commercialement disponible qui présente de haute sélectivité et capacité, un fonctionnement beaucoup amélioré, et exige moins d'équipements de process. Tous ces avantages résultent d'un investissement de capitaux moins pesant, une consommation d'énergie et un coût d'exploitation plus bas. [10].

### **II.2.1- principe de La distillation extractive :**

Le principe de base de la distillation extractive est la modification de la volatilité relative des composants en présence d'un solvant sélectif puissant. Dans un mélange contenant des aromatiques et des non aromatiques, la volatilité relative des composants non-aromatiques est améliorée par rapport à celle des composants aromatiques par la présence du solvant. Cette amélioration permet aux non aromatiques d'être distillés en tête (partie supérieure) de la colonne conventionnelle de distillation, tandis que les aromatiques sont récupérés au fond de la colonne. Le solvant utilisé dans le procédé de GT-BTX est un mélange exclusif, Techtiv-100SM, ce qui permet d'avoir une performance excellente du procédé.

Le schéma d'enchaînement des opérations pour le procédé GT-BTXSM est présenté ci-dessous

Et il se compose de deux colonnes principales: une colonne de distillation Extractive (EDC) et une autre colonne de récupération de solvant (SRC). [10].



pour augmenter la différence de volatilité entre ces deux composants. Le MEG forme un complexe avec l'eau, ce qui réduit l'activité de l'eau dans le mélange et augmente la volatilité relative de l'éthanol. Avantages : Réduction du point d'ébullition du mélange, ce qui diminue les coûts énergétiques. Haute sélectivité pour l'eau, permettant une séparation efficace de l'éthanol. Processus : Un mélange d'éthanol et d'eau est introduit dans une colonne de distillation extractive. Le MEG est ajouté en haut de la colonne. L'éthanol, plus volatil, est récupéré en tête de colonne, tandis que l'eau et le MEG sont extraits en bas. Le MEG peut être recyclé et réutilisé dans le processus après séparation de l'eau. " de l'éthanol utilisant l'éthylène glycol comme solvant dans la distillation:" différentes techniques de distillation, y compris l'utilisation de l'éthylène glycol pour la déshydratation de l'éthanol. L'utilisation de l'éthylène glycol dans la distillation extractive est une méthode éprouvée pour la déshydratation des alcools, en particulier pour produire de l'éthanol anhydre, essentiel dans diverses applications industrielles et énergétiques [21].

### ***II.3.2- Eau (séparation méthanol/acétone)***

L'eau est utilisée comme solvant dans la distillation extractive pour séparer le méthanol de l'acétone. Dans ce processus, l'eau modifie la volatilité relative des composants du mélange, facilitant ainsi leur séparation. Utilisation de l'eau dans la séparation du méthanol et de l'acétone Principe : L'eau est ajoutée au mélange méthanol-acétone pour augmenter la différence de volatilité entre ces deux composants. L'eau forme des interactions hydrogène plus fortes avec le méthanol que l'acétone, réduisant ainsi la volatilité du méthanol et facilitant sa séparation. Avantages : L'eau est un solvant non toxique, peu coûteux et facilement disponible. Elle permet une séparation efficace avec un moindre impact environnemental. Processus : Un mélange de méthanol et d'acétone est introduit dans une colonne de distillation extractive. L'eau est ajoutée en haut de la colonne. L'acétone, plus volatile, est récupérée en tête de colonne, tandis que le méthanol et l'eau sont extraits en bas. L'eau peut être recyclée et réutilisée dans le processus après séparation du [22].

### ***II.3.3- Acétonitrile (séparation propane/propylène. hydrocarbures en C4) :***

L'acétonitrile est utilisé comme solvant dans la distillation extractive pour séparer les hydrocarbures tels que le propane et le propylène. Cette technique exploite les différences de volatilité des composants en présence de l'acétonitrile, facilitant ainsi leur séparation. Utilisation de l'acétonitrile dans la séparation du propane et du propylène Principe.

L'acétonitrile est ajouté au mélange propane-propylène pour augmenter la différence de volatilité entre ces deux composants. L'acétonitrile interagit plus fortement avec le propylène, ce qui diminue sa volatilité relative par rapport au propane. Avantages : L'acétonitrile est un solvant polaire avec une forte affinité pour les composés insaturés comme le propylène. Il permet une séparation efficace et sélective des hydrocarbures. Processus : Un mélange de propane et de propylène est introduit dans une colonne de distillation extractive. L'acétonitrile est ajouté en haut de la colonne. Le propane, plus volatil, est récupéré en tête de colonne, tandis que le propylène et l'acétonitrile sont extraits en bas. L'acétonitrile peut être recyclé et réutilisé dans le processus après séparation du propylène. [21].

#### **II.4- Avantages du procédé de GT-BTX (ED) par rapport à l'extraction Liquide-Liquide :**

Les moyens traditionnels de purification des charges aromatiques, tels que BTX, est la distillation extractive (ED) utilisée en conjonction avec l'extraction liquide-liquide (LLE). GTC a adopté ce procédé fondamental et en a amélioré les opérations de transfert de masse éprouvées, en optimisant le solvant et les équipements. Il en résulte un système autonome de distillation extractive qui évite de recycler les hydrocarbures, réduit le nombre total d'équipements ainsi que la consommation des utilités. L'utilisation de la distillation extractive comme opération autonome est excellente pour les quatre raisons suivantes : [10].

- a) Séparation facile et claire entre hydrocarbures non-aromatiques et aromatiques.
- b) Le système de lavage à l'eau du raffinat n'est pas exigé
- c) Réduction du coût d'investissement
- d) Contrôle plus simple du process.

*Chapitre III*  
*Description de l'unité 200*

***III.1-Description de procédé :***

La description du procédé se base sur le plan de circulation des fluides et les schémas de tuyauterie et Instrumentation (PFDs et P&IDs). La configuration globale du procédé de GTC comporte les sections suivantes:

La section de distillation extractive se compose de :

- Distillation extractive;
- Récupération de solvant;
- Régénération de solvant;
- Génération de vapeur et circuit d'eau.

La section Post-fractionnement se compose de :

- Traitement d'argile;
- Fractionnement de benzène;
- Fractionnement de toluène.

Système de stockage de solvant

Stockage de l'extrait : Bac de charge d'argile

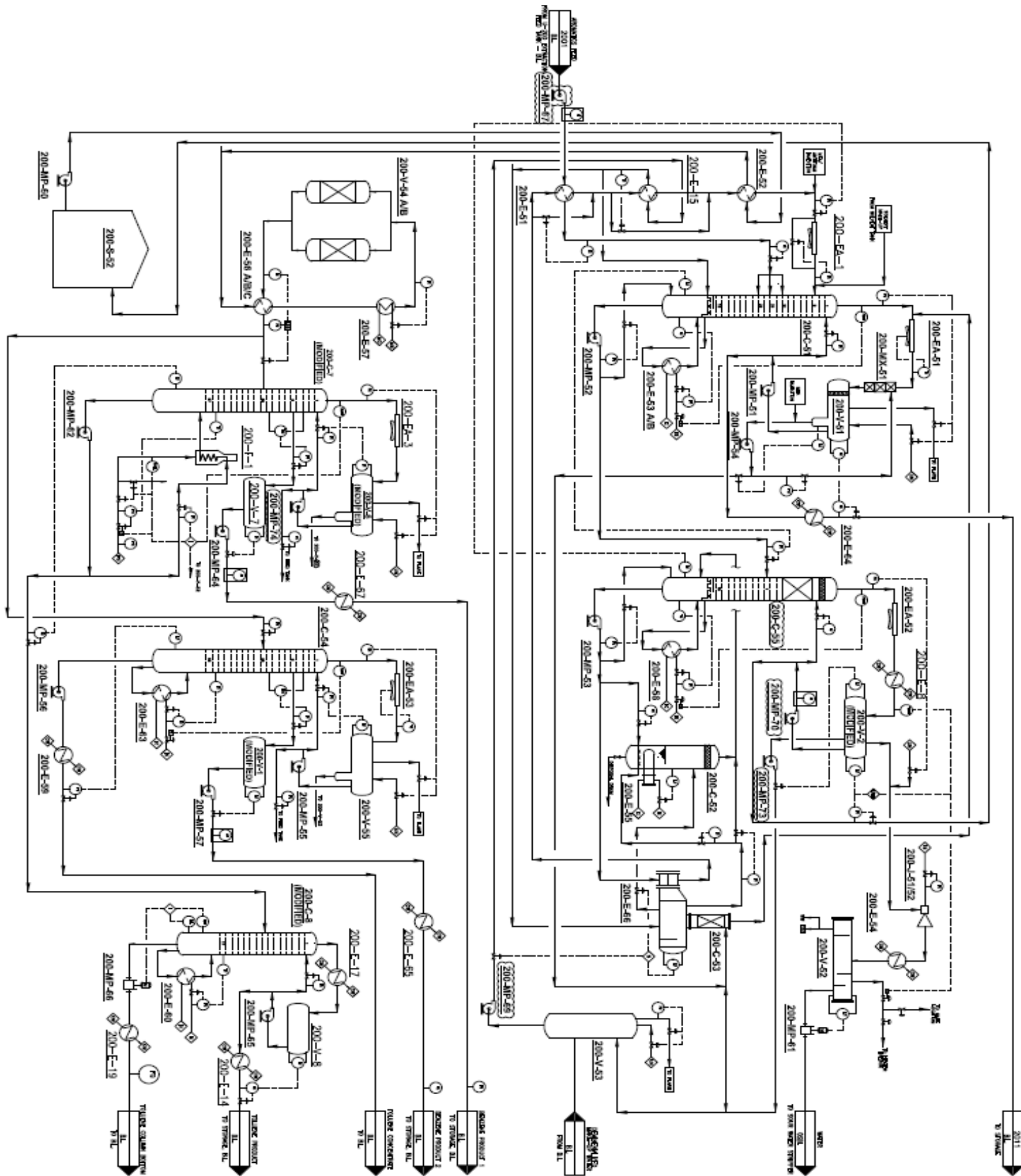


Figure III.1 Schéma simplifié de l'unité de récupération des aromatiques [10].

Dans ce projet en fait l'étude sur les deux colonnes de

- distillation extractive
- récupération de solvant

### **III.2- colonne de Distillation extractive– P&ID No. 1111-1114 –(EDC) :**

L'alimentation aromatiques, à partir du bac de charge de l'extraction (600-S-32), est introduite dans l'unité à partir de la limite de batterie. Elle est préchauffée dans le préchauffeur de l'alimentation 200-E-51, et envoyée, sous contrôle de débit (200-FIC-1201), à la colonne de distillation extractive 200-C-51. Le moyen de chauffage de l'échangeur de préchauffage de l'alimentation est le solvant chaud en circulation. La température de l'alimentation est contrôlée par (200 TIC-1102) en ajustant le débit de solvant chaud envoyé au préchauffeur de l'alimentation à travers une ligne de bypass (200 TV-1102). Le solvant chaud est utilisé comme moyen de chauffage pour une série d'échangeurs de chaleur. Après le préchauffeur d'alimentation, il est utilisé pour le préchauffeur de l'eau, 200-E-15 et ensuite pour le préchauffeur de l'extrait, 200-E-52. La température de sortie de l'eau à partir de 200-E-15 est contrôlée (200 TIC-1104) en ajustant le débit de solvant chaud envoyé au préchauffeur à travers une ligne de bypass (200 TV-1104). Une vanne de commande manuelle (200 HIC-1101) sur le solvant pauvre, by-passant le préchauffeur de l'extrait 200-E-52, aidera à contrôler la température de sortie.

Après rechauffage de l'extrait aromatiques dans le préchauffeur de l'extrait, 200-E-52, le solvant pauvre est enfin refroidi dans le refroidisseur de solvant pauvre, 200-EA-1 et est envoyé, sous contrôle de débit, au sommet de la colonne EDC. La température du solvant pauvre est contrôlée (200-TIC-1201) en ajustant le débit de solvant chaud envoyé vers le refroidisseur de solvant 200-EA-1, à travers une ligne de bypass (200 TV-1201).

Il est crucial de contrôler la température de l'alimentation du solvant pauvre à +/- 1-2°C pour assurer un fonctionnement stable de la colonne ED est obtenu. En plus d'apporter une grande quantité d'enthalpie dans la colonne, la température du solvant pauvre influe également sur la récupération des aromatiques dans la colonne de distillation extractive. Le débit de solvant pauvre envoyé à l'EDC est contrôlé par 200 FIC-1101 fonctionnant en cascade avec le niveau de liquide au fond de la SRC (200-LIC-1502) avec un sélecteur de signal haut / bas du contrôle de niveau, en corrigeant le

débit de solvant uniquement dans le cas de variation extrême du niveau. Le débit de solvant pauvre est auto-contrôlé aussi longtemps que le niveau de liquide au fond de SRC reste dans un intervalle normal (entre 40-60%). Pour les écarts du niveau normal de fond de la SRC, le contrôle de débit du solvant pauvre sera réinitialisé par le sélecteur de signal haut / bas du contrôle de niveau (200-LIC-1502) pour maintenir le niveau de la SRC à 40-60%. Ce système permettra à l'unité de fonctionner avec un rapport solvant/alimentation constant dans des conditions stables, ce qui est essentiel pour un fonctionnement stable de la colonne de distillation extractive.

La fraction d'hydrocarbure est envoyée près du milieu de la colonne à 35 plateaux. Deux autres plateaux alternatifs sont également prévus pour le cas où la charge varie considérablement par rapport au design. Dans un fonctionnement vapeur-liquide de la colonne de distillation extractive 200-C-51, le solvant extrait sélectivement les aromatiques au fond de la colonne, tandis que les non-aromatiques sont rejetés en tête. Les vapeurs de tête de la colonne sont totalement condensées dans le condenseur de l'EDC 200-EA-51. La température du liquide de tête est contrôlée par la boucle de régulation 200 - TIC-1301, installée sur la ligne de sortie du condenseur à air (200-EA-51). La température doit être suffisamment basse pour assurer la pleine condensation des vapeurs de tête. Entre-temps, le liquide ne doit pas être trop sous refroidi afin de minimiser la quantité de chaleur échangée par le rebouilleur (reboiler duty). Ceci est réalisé en contrôlant le nombre requis d'aéro-refrigerants en service, pour maintenir le point de consigne (set up point) de la boucle de régulation -200 TIC-1301. Le liquide condensé est envoyé, à travers un mélangeur statique 200-MX-51, à l'accumulateur de tête d'EDC, 200-V-51. L'eau de la pompe à eau 200-MP-54A/B de EDC, sous contrôle de débit (200-FIC-1302), est envoyée vers le mélangeur statique pour récupérer le solvant en tête de l'EDC, le cas échéant, avec l'opération de mélange. La fonction du mélangeur est de créer un contact intime entre l'eau et le liquide de tête de l'EDC. Ainsi, toute trace de solvant entraînée par la vapeur de l'EDC peut être lavée à l'eau pour la récupération dans la phase aqueuse décantée.

Afin de protéger les équipements contre la corrosion, il est nécessaire de neutraliser tout composé acide éventuellement formé. La neutralisation de la matière dans la distillation extractive et dans les colonnes de récupération est nécessaire à partir du haut de la tour vers le bas, avec la neutralisation du système de circulation d'eau. Le dosage de MEA est utilisé pour maintenir le pH du solvant dans l'intervalle de 5,5 à 6,0 (à une dilution 1:1 avec de l'eau). Le pH du circuit de circulation d'eau est également

maintenu par l'addition de MEA, en maintenant le pH entre environ 6,5 et 7,5. Le MEA est ajouté, quand il est nécessaire, au fond du mamelon de l'eau de l'accumulateur de tête de l'EDC en utilisant le système d'injection MEA 200-M-52.

L'eau dans le liquide de tête de l'EDC est séparée de la phase hydrocarbures dans 200-V-51, l'accumulateur de tête de l'EDC. L'eau décantée dans le pot de purge d'eau est envoyée, sous contrôle de niveau (200-LIC-1402), au stripper de l'eau, 200-C-53 par la pompe 200-MP-54 A/B, afin d'extraire toute trace de non aromatiques contenus dans la phase aqueuse. La fraction d'hydrocarbures de l'accumulateur de tête de l'EDC est aspirée par la pompe de reflux de l'EDC 200-MP-51 A/B. Une partie, sous contrôle de débit, est recyclée dans la colonne comme reflux, et le reste du raffinat non aromatique, est envoyé au stockage (600-S-22, 23, 35,36), après avoir été refroidi dans le refroidisseur du raffinat 200-E-64. Le raffinat est envoyé en limite de batterie, sous contrôle de débit (200 FIC-1301) fonctionnant en cascade avec le niveau de liquide 200 LIC-1401 dans le ballon accumulateur de tête de l'EDC. L'apport de chaleur dans la colonne de distillation extractive 200-C-51 est fourni par deux rebouilleurs à vapeur mono tubulaires à thermosiphon 200-E-53 A/B, en utilisant de la vapeur IP comme moyen de chauffage. L'entrée de chaleur au rebouilleur de vapeur est régulée en contrôlant le débit de vapeur (200-FIC-1203 / 1207) en cascade avec la température du fond de l'EDC (200-TIC-1203H). La température du fond de la colonne est contrôlée, ainsi. Le condensat de vapeur de chaque rebouilleur est envoyé, en limite de batterie, à travers le pot de condensat (200-V-57 A / B), sous contrôlé de débit (200-LV-1202 / 1203) en fonction du contrôle de niveau dans le pot de condensat (200-LIC -1202/1203)

Le niveau du liquide (200-LIC-1201) de fond de la colonne EDC est contrôlé par le débit du fond (200-FIC-1501) envoyé à la colonne 200-C-55 de récupération de solvant (SRC). Le liquide de fond de l'EDC, le solvant riche, est pompé, par 200-MP-52A/B, à la colonne de récupération de solvant 200-C-55

La colonne de distillation extractive fonctionne sous une pression légèrement positive en tête. La pression de service de l'EDC est contrôlée en mode split range (200-PV-1201 A/B) sur le ballon accumulateur de tête. Une augmentation de la pression de service de la colonne peut être détectée par une alarme sur 200 PIC-1201, qui est fixée aux conditions de fonctionnement maximale de la colonne. La surpression de la colonne est empêchée par un verrouillage qui coupe l'apport de chaleur aux rebouilleurs. Si la pression augmente au-delà de ce niveau, un système de verrouillage contrôlé [10].

par 200 PAHH-1202 A/B/C est prévu pour fermer automatiquement les vannes de vapeur XV-1201 & 1203/1202& 1204 vers les rebouilleurs 200-E-53 A/B. Empêchant, ainsi, toute entrée de chaleur dans le circuit.

Les conditions de service de l'EDC ; colonne de distillation extractive 200-C-51, sont les Suivantes:

- Température de tête : 86°C - 89°C
- Température de fond : 165 °C - 166 °C
- Pression de tête : 0.67 Kg/cm2 (g)
- Pression de fond : 1.27 Kg/cm2 (g)

Une caractéristique importante du procédé de distillation extractive GT-BTXSM, est le contrôle des performances de l'extraction aromatiques à travers la composition du solvant / co-solvant. Le design GTC offre également la possibilité d'addition d'eau au fond de la colonne de distillation extractive, 200-C-51. Dans les conditions normales de fonctionnement, cette possibilité n'est pas nécessaire. Cependant, en cas de besoin, l'eau est introduite en quantité contrôlée (mesurée par 200 FI-1208) [10].

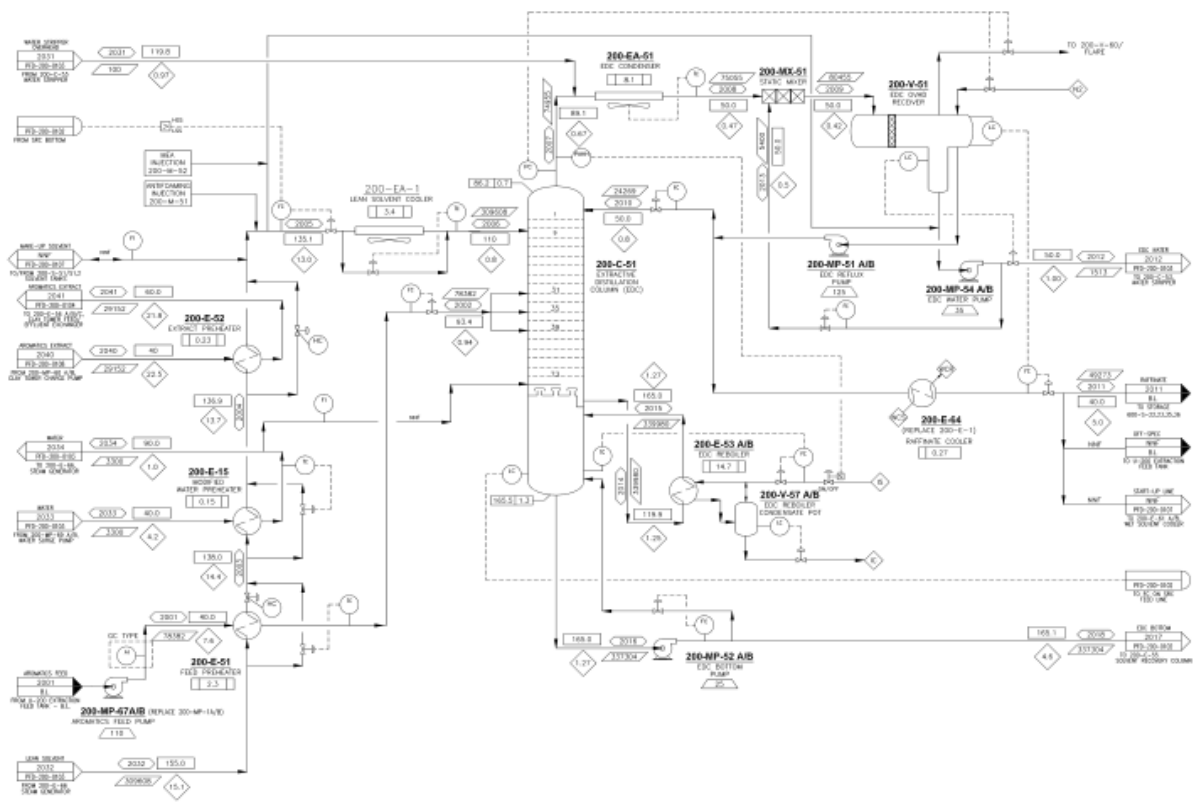


Figure III.2 1 Schéma simplifié la récupération des aromatiques [10].

**III.3-.colonne de Récupération du solvant – P&ID No. 1115-1117**

La récupération des solvants est effectuée dans la colonne de récupération du solvant, 200-C-55. Le solvant riche, composé de solvant et d'aromatiques, provenant de la colonne de distillation extractive (EDC) 200-C-51, alimente la colonne de récupération de solvant (SRC) 200-C-55, au dessous de la section de garnissage de la tour, au niveau du plateau n°3. Un distributeur de l'alimentation, spécialement conçu à l'entrée de l'alimentation, est prévu pour supporter la très grande quantité de vapeur produite par le flash de l'alimentation. Deux plateaux anti-entraînement sont installés au dessus de la zone de flash pour récupérer le solvant, éventuellement, entraîné vers le sommet de la colonne. La colonne est équipée de de 13 autres plateaux installés au-dessous de l'alimentation et un lit à garnissage dans la section supérieure, installé au-dessus des deux plateaux anti-entraînement. Les 13 plateaux en dessous de l'alimentation sont conçus pour traiter la grande quantité de solvant liquide se déplaçant vers le bas de la colonne. La section de garnissage garanti que les aromatiques volatiles sont complètement séparés du solvant. Le solvant pauvre est récupéré au fond de la colonne et il est recyclé vers la colonne de distillation extractive, 200-C-51, tandis que les aromatiques sont strippés en tête.

Le débit d'alimentation de SRC est contrôlé (200-FIC-1501) par le contrôle de niveau (200-LIC-1201) sur le fond de l'EDC (200-C-51). Dans la SRC, les aromatiques seront séparés du solvant, produisant une qualité de solvant pauvre au fond de la colonne, nécessaire à l'opération de distillation extractive. La colonne fonctionne sous vide pour permettre d'abaisser le point d'ébullition au fond de la colonne. Par ailleurs, la vapeur de stripping, provenant du circuit d'eau, sera injectée au fond de la colonne afin de faciliter le stripping des aromatiques.

Les vapeurs d'hydrocarbures aromatiques de tête sont complètement condensées dans le condenseur à air de SRC 200-EA-52 et elles sont sous-refroidies dans le refroidisseur de tête, 200-E-8. Le liquide de tête est accumulé dans le ballon 200-V-2 de tête de SRC . La température de sortie de 200-EA-52 sera surveillée par 200-TI-1602 avec alarme de haute / basse température. Le produit de tête est composé d'aromatiques concentrés, qui contient tous les hydrocarbures aromatiques extraits, exempts de solvant. La fraction d'hydrocarbures, provenant du ballon 200-V-2 de tête de SRC, est aspirée par la pompe de reflux 200-MP-70A/B, une partie est recyclée dans la colonne comme reflux sous contrôle de débit (200-FIC-1505), et le reste de l'extrait aromatique est envoyé, sous contrôle de niveau(200-LIC-

1602 /200-FIC-1601), au bac de charge 200-S-52 de la tour d'argile . La qualité des aromatiques extraits est surveillée par un analyseur de process (200-AI-1601) sur la ligne de refoulement de la pompe de reflux 200-MP-70A/B de SRC.

L'eau de process dans le produit de tête de SRC est séparée des aromatiques dans l'accumulateur de tête de SRC. L'eau décantée est envoyée par la pompe d'eau MP-200-73A/B de SRC, sous contrôle du niveau d'interface (200-LIC-1601), au ballon tampon de l'eau (water surge drum) 200-V-53 pour la circulation ultérieure dans le procédé.

Tous les incondensables, passant à travers les condenseurs à air (200-EA-52) de SRC et le ballon (200-V-2) de tête de SRC, passeront dans le système d'éjecteurs 200-J-51/52 du vide. Le vide dans la colonne est contrôlé par la boucle de régulation 200-PIC-1502, en injectant de l'azote dans la ligne des incondensables vers les éjecteurs. Les éjecteurs à vapeur fonctionnent à la vapeur IP, fournie à pression constante contrôlée par 200-PIC-1701. Le débit de vapeur est mesuré par 200-FI-1701. En fonctionnement normal, et en fonction de l'étanchéité du circuit global de SRC, la colonne peut fonctionner avec le système de vide à l'arrêt. Les éjecteurs sont de deux dimensions différentes selon les exigences du vide et les pénétrations d'air. Les vapeurs de sortie de l'éjecteur du vide contient surtout de la vapeur d'eau avec des traces d'aromatiques. Les vapeurs sont refroidies et condensées dans le condenseur à eau 200-E-54 de l'éjecteur et elles sont recueillies dans le ballon de condensat 200-V-52 de l'éjecteur. Toutes les vapeurs incondensables du 200-V-52 sont éliminées en les envoyant à la chambre de combustion du four 200-F-1. La combustion dans la chambre de combustion va éliminer les vapeurs inflammables ou les incondensables présents dans le courant d'incondensables. Il y a un verrouillage, associé au système, qui contrôle la destination de l'évent des incondensables provenant du ballon de condensat (200-V-52) de l'éjecteur. Dans les conditions normales de service, le courant de l'évent des incondensables provenant du ballon de condensat de l'éjecteur sera acheminé vers la chambre de combustion du four. Lorsque le four est à l'arrêt, le verrouillage détournera le courant de l'évent à l'atmosphère, en lieu sûr. Lorsque la température de sortie du refroidisseur de tête de SRC (200-E-8) ou le niveau dans le ballon de tête de SRC (200-V-2) dépasse la limite de pré réglage (comme spécifié respectivement par 200 TAHH-1608 et 200 - LAHH 1603), le verrouillage fermera la vanne 200-XV-1701 sur la ligne d'évent à partir de 200-V-52 afin d'empêcher toute émission. Le système de contrôle de la pression (vide) 200-PIC-1502 maintient la pression de tête de SRC en

ajustant l'injection d'azote (incondensable) aux éjecteurs. Le système est conçu pour un fonctionnement continu de l'éjecteur en optimisant l'utilisation des deux formats d'éjecteurs (200-J-51, 52) disponibles.

Le système de verrouillage qui contrôle la destination de l'évent du ballon de condensat de l'éjecteur, à l'atmosphère ou bien à la chambre de combustion du four, est fondé sur les indications du fournisseur concernant la pression d'évacuation des éjecteurs 200-J-51/52, et par conséquent la pression de fonctionnement du 200-V-52. Sur la base des indications du fournisseur, le ballon de condensat de l'éjecteur fonctionne toujours à une pression suffisante pour permettre la circulation des vapeurs dans la chambre de combustion du four. Les liquides recueillis dans le 200-V-52 sont séparés en phases ; eau et hydrocarbures. L'eau est prélevée du 200-V-52 par la pompe de condensat 200-MP-61 A/B de l'éjecteur et elle est envoyée, en limite de batterie, au système de traitement d'eau (au strippeur des eaux acides). Il y a un verrouillage (200-I-1703) associé au système qui, lorsque le niveau du ballon de condensat de l'éjecteur 200-V-52 arrive à une limite haute (comme spécifié par 200-LAH-1702), le verrouillage va démarrer la pompe de condensat de l'éjecteur 200-MP-61A/B et lorsque le niveau arrive à une limite basse (comme spécifié par 200-LAL-1702) le verrouillage arrête la pompe de condensat de l'éjecteur 200-MP-61A/B. Toute quantité d'aromatiques humides recueillie dans 200-V-52 peut être drainée manuellement dans le système de drainage fermé des hydrocarbures. Les conditions de service de la colonne de récupération de solvant 200-C-55, sont les suivants :

- Température de tête : 63 °C - 64 °C
- Température de fond : 175 °C
- Pression de tête : -0.38 Kg/cm<sup>2</sup> (g)
- Pression de fond : -0.21 Kg/cm<sup>2</sup> (g).

L'apport de chaleur à la colonne de récupération du solvant est fourni par le rebouilleur 200-E-58 qui utilise de la vapeur IP comme source de chauffage. La température de fond du siphon de la colonne (column sump) doit être maintenue à une valeur constante, ce qui va déterminer la qualité du solvant pauvre renvoyé à la colonne d'ED (200-C-51). Considérant cela, la température du fond est contrôlée en maintenant un débit constant du fluide de chauffage vers le rebouilleur interne (stab-in reboiler) (200-FIC-1502) qui fonctionne en cascade avec le régulateur de température 200 - TIC-1502D de fond de SRC. Le niveau dans le fond de SRC (colonne de récupération de solvant) est contrôlé par le régulateur de niveau (200-LIC-1502), en cascade avec le régulateur de débit (200-FIC-1101) sur la ligne du solvant pauvre vers le refroidisseur à air du solvant 200-AE-1. Le

fonctionnement de ce contrôleur est que le contrôle du débit a la priorité sur le contrôle de niveau uniquement en cas de variations extrêmes du niveau. Il va maintenir un débit constant du solvant dans des conditions stables. Pour les écarts par rapport au niveau normal du fond de SRC, Le contrôle de débit du solvant pauvre sera réinitialisé par un sélecteur de signal haut / bas du contrôle de niveau pour maintenir le niveau de la SRC à 40 -60%. Cela est essentiel pour un fonctionnement stable de la colonne de distillation extractive. Le débit de solvant peut être également réinitialisé manuellement en fonction du rapport de solvant sur l'alimentation, selon la nécessité de variations de la charge de process qui arrive de temps en temps. La pression de service (sous-vide) de la colonne de récupération de solvant est contrôlée par le régulateur de pression 200 PIC-1502, qui régule le débit d'azote vers les éjecteurs 200-J-51 / 52. Si la pression de la colonne augmente au-delà des conditions maximum de service, le verrouillage (comme spécifié par 200 PAHH-1503 A/B/C) coupera automatiquement la vapeur vers le rebouilleur 200-E-58, à l'aide des vannes 200-XV-1501,200-XV-1502, empêchant toute entrée de chaleur dans le système, par la suite. Une petite partie du solvant pauvre provenant du fond de la colonne de CRS (200-C-55) est acheminée, sous contrôlé de débit (200-FIC-1804), vers le régénérateur de solvant, 200-C-52. Le solvant pauvre, à partir du fond de SRC 200-C-55, est acheminé par la pompe de fond de SRC 200-MP-53A /B, à travers une série d'échangeurs de chaleur pour la récupération de la chaleur, puis renvoyé vers la colonne de distillation extractive.

Le solvant pauvre est utilisé, d'abord, comme moyen de réchauffage pour vaporiser l'eau de process dans le générateur de vapeur 200-E-66. Ensuite, il est utilisé comme source de chaleur pour le préchauffage de l'alimentation 200-E-51, pour le préchauffage de l'eau 200-E-15, et pour le préchauffage de l'extrait 200-E-52. Enfin, le solvant pauvre est refroidi, jusqu'à la température requise, dans le refroidisseur de solvant pauvre 200-EA-1 et puis envoyé à la colonne d'EDC (200-C-51). Une petite partie du solvant pauvre, à partir du fond de la colonne de SRC, est acheminée, sous contrôle de débit, vers le régénérateur de solvant, 200 - C-52 [10].

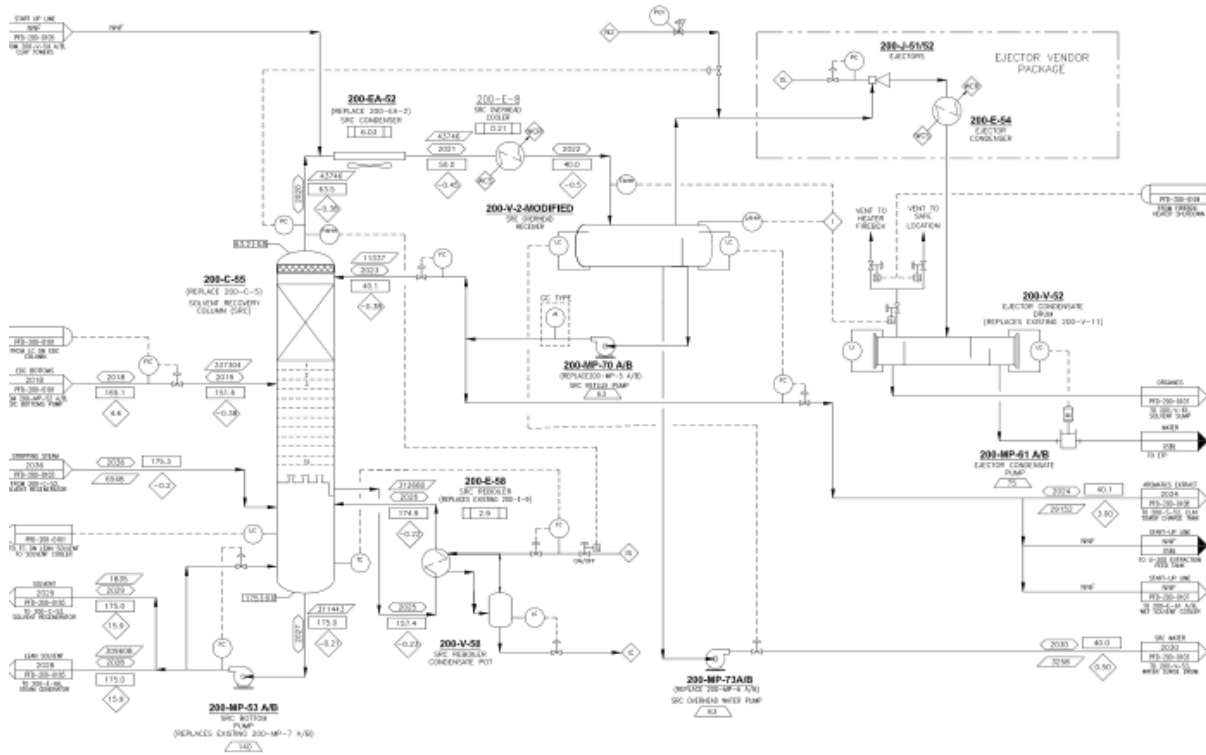


Figure III.3 Schéma simplifié la récupération de solvant [10].

***Chapitre IV :***  
***Simulation de l'unité d'extraction des***  
***aromatiques***

**Introduction :**

La distillation extractive est une technique de séparation qui met à profit les différences de solubilité des constituants d'une charge liquide homogène dans un solvant approprié.

Le solvant est choisi de telle façon à former avec la charge un mélange de deux phases non miscibles et il doit non seulement permettre la séparation des produits mais aussi faciliter la récupération de solvant.

L'augmentation du rapport solvant/charge diminue le rendement du raffinat et améliore sa qualité, mais les pertes de solvant et la consommation de l'énergie pour la régénération augmente. De ce fait, le solvant doit répondre à un certain nombre de spécifications qui sont :

- Facteur du solvant caractérisant la séparation (solubilité, sélectivité).
- Facteur du solvant important pour le fonctionnement des appareils (masse volumique, viscosité, température).
- Facteur économique du solvant (il ne doit pas être coûteux, toxique, corrosif, instable...etc.)

Ce chapitre consiste à faire une simulation (conception et exécution) du procédé d'extraction liquide-liquide des aromatique par différents solvants, dans le but de comparer l'efficacité des solvants utilisés. Pour réaliser cette étude on a exploité l'outil de simulation ASPEN HYSYS version 11

**IV.1- Différents types de solvants.**

Les solvants utilisés dans notre étude sont le Tech-Tiv 100 et le N-FormylMorpholine (NFM). Ils possèdent les propriétés physico-chimiques suivantes.

**IV.1.1 Les propriétés physico-chimiques :****Tableau IV.1 Propriétés physico-chimiques des solvants [11].**

solvant	M (g /mol)	Tf (°C)	Téb (°C)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (mPa.s)/ °C	Vapour pressure (KPa)
NFM	115.13	23	240	1140	4.1 à 50°C	0.003 à 20°C
Tech-tiv	N/A	10-27	282-290	1250-1261	10 à 30°C	19.4 à 150 °C

**IV.1.2- Propriétés environnementales :**

Les solvants utilisés dans notre étude sont le Tech-Tiv 100 et le N-FormylMorpholine (NFM). Ils possèdent les propriétés toxicologiques et écologiques suivantes

**Tableau IV.2 Informations toxicologiques [11].**

Solvant	Toxicité LD50 (mg/kg)	Cancérogénèse	Irritation de la peau	Irritation des yeux
Tech-tiv	1540µL/kg (rat) 3800mg/kg (rat)	Pas d'effets	Pas d'irritation	Légère irritation
NFM	7360 (rat) 18400(lapin)	Pas d'effets	Pas d'irritation	Pas d'irritation

**Tableau IV.3 Informations écologiques [11].**

Solvant	LC50	EC50	ErC50	biodégradabilité	Bioaccumulation BCF
Tech-tiv100	>100 mg/l à 24h	10-100mg/l à 48h	>1000mg/l à 96h	Intrinsèquement dégradable	0.4-0.8à 42 j
NFM	>500mg/l à 96h	>500m/l à 48h	23880mh/l à 72h	100% à 28 j	<1.9 à 56j

**IV.2- Simulation du procédé d'extraction des aromatique en utilisant deux solvants****IV.2.1 -Méthodologie générale :**

Cette partie consiste à simuler un procédé d'extraction des aromatiques par des solvants présentés précédemment à l'échelle industrielle en utilisant un logiciel de simulation le plus connu dans le domaine d'engineering, qui est ASPEN HYSYS version 11.

**IV.2.2 -Les étapes de la simulation****IV.2.2.1 -Choix du système de séparation :**

L'extraction de benzène à partir d'un mélange aromatiques/non aromatiques par des solvants a été choisi comme un système modèle pour la séparation des aromatiques / aliphatiques

**IV.2.2.2- Choix du modèle thermodynamique :**

Les données des paramètres d'interaction binaires pour le système (charge + solvant) ont été estimées en choisissant le modèle thermodynamique PR (Peng-Robinson) qui est un modèle semi-empirique basé sur le concept de composition locale. Le modèle PR est utilisé pour prédire le comportement de composants purs et de mélanges dans des états gazeux, liquides et fluides supercritiques. Il permet de comprendre le comportement réel des fluides, l'équilibre des phases et les propriétés thermodynamiques telles que l'enthalpie et l'entropie, donc c'est le modèle le plus convenable pour la simulation des procédés de distillation extractive.

**IV.2.2.3 Conditions opératoires :**

Les conditions moyennes d'utilisation des solvants ordinaires étudiés dans l'extracteur sont déterminées selon les procédés industriels existants

**Tableau IV.4 Conditions opératoires :**

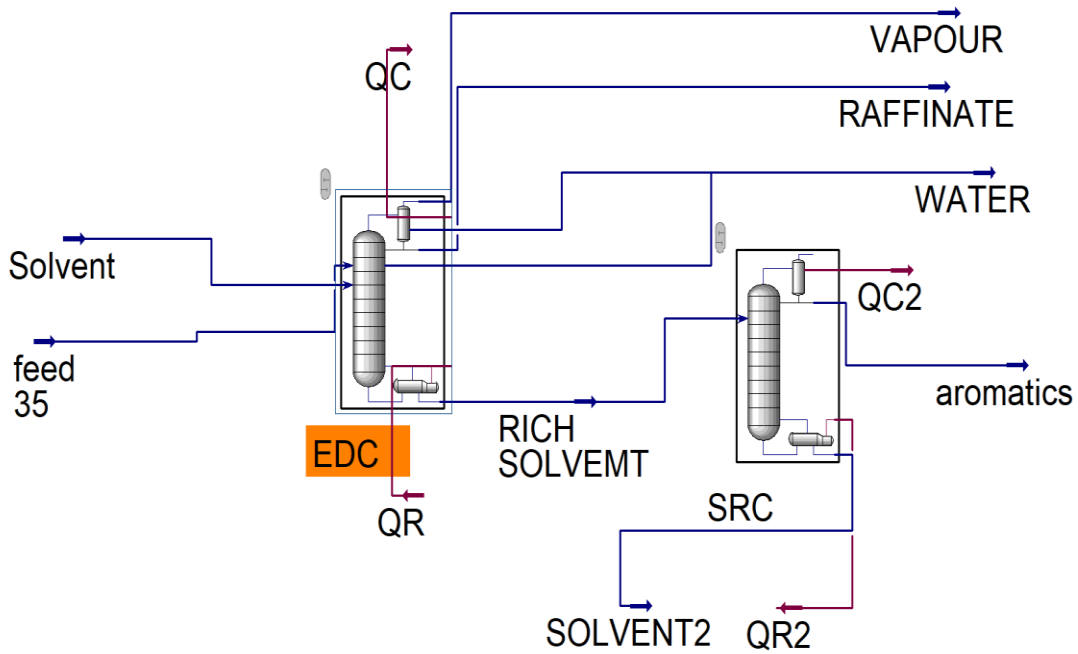
Procédé opératoires	Solvant utilisé	Rapport massique solvant/Alimentation	Nombre d'étages
GTC	Tech-tiv100	3.43	73
Krupp Koppers	NFM	3.58	73

**IV.2.2.4- Description la simulation du procédé d'extraction des aromatiques par solvant**

La charge est envoyée vers la colonne d'extraction (200-C-51), où les hydrocarbures aromatiques sont dissous sélectivement dans le solvant. La phase raffinat riche en hydrocarbures non aromatiques sort en haut de la colonne et est envoyée vers le condenseur (200-EA-51) pour les condensées. Le liquide condensé est envoyé à travers un mélangeur statique (200-MX-51), à l'accumulateur (200-V-51) ou en sépare l'eau et le raffinat.

La phase solvant riche en solvant quitte la tour d'extraction avec des traces de n-Heptane et une grande quantité des aromatiques, ces derniers sont envoyés vers la colonne de distillation (SRC) pour assurer une bonne séparation solvant/aromatique, le solvant pur quitte la colonne de distillation (SRC) vers la régénération de solvant

Le procédé d'extraction retenu par le simulateur Aspen Hysys V11 est présenté dans la (figure IV.1.)



**Figure IV.1** : Schéma du procédé d'extraction des aromatique par solvant conçu par le simulateur Aspen HYSYS V11.

**IV.2.2.4 .1- Données des procédés d'extraction des aromatiques par les solvants**

Les conditions opératoires de l'alimentation de la charge et du solvant de la colonne EDC sont présentées sur le (Tableau IV.5)

**Tableau IV.5 :** Données des procédés d'extraction des aromatiques par les solvants

	Alimentation	Solvant	
	Charge	Tech-tiv100	NFM
Température °C	40		110
Pression kg/cm.g	4.97		0.8
Débit total kg/h	74250		297000
Composition massique en %			
i-Pentane	0	0	0
n-Hexane	0.3256	0	0
Tech-tiv100	0	0.9921	0
NFM	0	0	0.9921
Cyclopentane	0.0167	0	0
Cyclopentane	0	0	0
CycloOctane	0.0003	0	0
Cycloheptane	0.0078	0	0
1- heptène	0.0053	0	0
1- hexene	0.0093	0	0
n- octane	0.0008	0	0
n- heptane	0.2299	0	0
n- butane	0.0006	00	0
n- pentane	0.0168	0	0
2- Mpentane	0	0	0
Mcyclopentan	0	0	0
Cyclohexane	0.0068	0	0
Toluène	0.0564	0	0
Benzène	0.3236	0	0
224- Mpentane	0	0	0
2- Mhexane	0	0	0
H2O	0	0.0079	0.0079
Total	100%	100%	100%

**IV.3- Résultats et comparaison de la simulation****IV.3.1 -Simulation de la colonne EDC avec des solvants :**

Les résultats de simulation obtenus pour les différents solvants choisis dans cette étude sont rassemblés les bilans matières de la colonne d'extraction en présence des deux solvants Tech-tiv 100 (1) et NFM (2) sont illustrés par les points représentatifs des phases solvant riche et raffinat obtenues après séparation du charge sur les (Tableau IV.6 -Tableau IV.7)

**Tableau IV.6 : Résultats de simulation de la colonne d'extraction EDC**

	Solvant riche		Raffinat	
	NFM	Tech-tiv100	Tech-tiv100	NFM
Température °C	188.6	175.9	67.89	68.67
Pression kg/cm.g	1.27	1.270	00.47	0.47
Débit total kg/h	343100	347700	21000	25850
<b>Composition massique en %</b>				
i-Pentane	0	0	0	0
n-Hexane	0.005	0.0181	0.8438	0.8689
Tech-tiv100	0	0.8473	0	0
NFM	0.8589	0	0	0
Cyclopentane	0	0	0.0585	0.048
CycloOctane	0.0001	0.0001	0	0
Cycloheptane	0.0017	0.0017	0	0
1- heptène	0.0011	0.0011	0	0.0001
1- hexene	0	0.0001	0.0313	0.0267
n- octane	0.0002	0.0002	0	0
n- heptane	0.0496	0.0491	0.0001	0.0019
n- butane	0	0	0.0021	0.0017
n- pentane	0	0	0.0589	0.0483
2- Mpentane	0	0	0	0
Mcyclopentan	0	0	0	0
Cyclohexane	0.0015	0.0014	0.0001	0.0001
Toluène	0.0122	0.0120	0	0
Benzène	0.0698	0.0688	0.0047	0.0039
224- Mpentane	0	0	0	0
2-Mhexane	0	0	0	0
H2O	0	0.	0.0006	0.0006
Total	100%	100%	100%	100%

Tableau IV.7 : Résultats de simulation de la colonne SRC

	Solvant		Aromatiques	
	NFM	Tech-tiv100	Tech-tiv100	NFM
Température °C	215.1	246.4	62.51	64.75
Pression kg/cm.g	-0.23	-0.23	-0.45	-0.45
Débit total kg/h	298800	298800	49110	44270
Composition massique en %				
i-Pentane	0	0	0	0
n-Hexane	0	0	0.1289	0.0387
Tech-tiv100	0	0.9861	0	0
NFM	0.9861	0	0	0
Cyclopentane	0	0	0	0
CycloOctane	0.0001	0.0001	0	0
Cycloheptane	0.0019	0.0019	0.0001	0
1- heptène	0	0	0.008	0.0088
1- hexene	0	0	0.0006	0
n- octane	0.0002	0.0002	0	0
n- heptane	0.0011	0.001	0.3429	0.377
n- butane	0	0	0	0
n- pentane	0	0	0	0
2- Mpentane	0	0	0	0
Mcyclopentane	0	0	0	0
Cyclohexane	0	0	0.0103	0.0114
Toluène	0.0105	0.0107	0.0202	0.0235
Benzène	0	0	0.489	0.5406
224- Mpentane	0	0	0	0
2-Mhexane	0	0	0	0
H2O	0	0	0	0
Total	100%	100%	100%	100%

**IV.3.2- Comparaison de la quantité de benzène entre les deux procédés :**

Les résultats de la simulation des deux procédés pour les composants (Benzène/Hexane) sont résumés dans les tableaux (IV.8 - IV.9 et IV.10)

**Tableau IV.8 :** Quantité de benzène et heptane récupéré à la fin de solvant riche de procédé de Tech-tiv100

	<i>Composition massique en %</i>	<i>Débit massique</i>
<i>Débit total (kg/h)</i>		347744
<i>Benzène</i>	6.88	23930.1151
<i>Hexane</i>	1.81	6309

**Tableau IV.9 :** Quantité de benzène et heptane pur récupéré à la fin de solvant riche de procédé de NFM

	<i>Composition massique en %</i>	<i>Débit massique</i>
<i>Débit total (kg/h)</i>		343070
<i>Benzène</i>	6.98	23930.0374
<i>Hexane</i>	0.5	1715.47

**Tableau IV.10 :** Quantité de benzène pur récupéré à la fin des aromatiques de procédé de Tech-tiv 100 et NFM

	<i>Composition massique en %</i>	<i>Débit massique</i>	<i>% d'extraction de benzène</i>
<i>Benzène de la charge</i>	32.36	24030.0266	100%
<i>Benzène (Techtiv - 100)</i>	48.90	23929.9972	99.5837
<i>Benzène (NFM)</i>	54.06	23929.9269	99.5834

Les résultats dans les tableaux (IV.8 IV.9.) présentés la quantité totale pur récupéré de Benzène et Heptane à la fin de procédé d'extraction, Le benzène pur récupéré était 23929.9972kg/h après l'extraction par Tech-tiv-100 (99.5837%) et 23929.9972 Par celle de NFM (99.5834%)

IV.3.3- Résultats de simulation de deux solvants.

IV.3.3.1- Efficacité de solvant :

Il doit avoir un bon coefficient de distribution généralement supérieur à 1, qui est défini par la relation suivante :

$$D_i = x_{iE} / x_{iR} \quad (1)$$

$x_{iE}$ : fraction molaire de l'espèce i dans la phase extrait.

$x_{iR}$ : fraction molaire de l'espèce i dans la phase raffinat.

Il doit avoir une sélectivité élevée pour les composés aromatiques présents dans le mélange (i+j), qui est définie par la relation suivante :

$$S_{i/j} = D_i / D_j \quad (2)$$

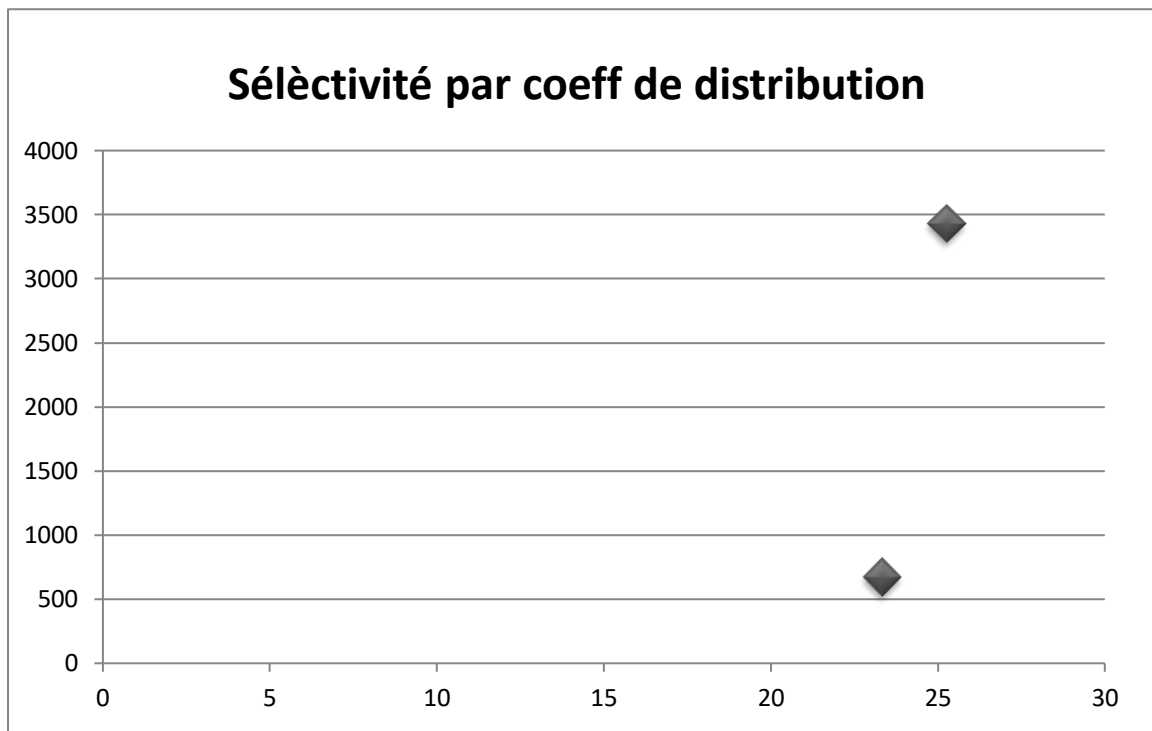
Il doit avoir un bon pouvoir solvant, afin de réaliser une extraction avec un faible volume de solvant

**Tableau IV.11** Résultats de calculs de la sélectivité (Benzène/Hexane) et du coefficient de distribution (Benzène) pour les deux solvants étudiés.

Raffinat			Solvant riche			$D_i$	$S_i$
Benzène	hexane	NFM	Benzène	hexane	NFM	25.25	3428.08
0.0039	0.8689	0	0.0983	0.0064	0.8209		
benzène	hexane	Tech-tiv-100	benzène	hexane	Tech-tiv-100	23.31	672.78
0.0051	0.8197	0	0.1189	0.0284	0.6724		

Le table IV.11 montre que le solvant NFM présente une meilleure sélectivité >3428 et un bon coefficient de distribution. Par contre le Tech-tiv100 présente une sélectivité inférieure que le

DMSO < 675 et aussi un faible coefficient de distribution par rapporte a la NFM



*Figure IV.1 : La sélectivité en fonction de coefficient de distribution*

#### IV.3.3.2 comparaison des températures par étages des colonnes

##### IV.3.3.2.1 comparaison des températures par étages de colonne EDC

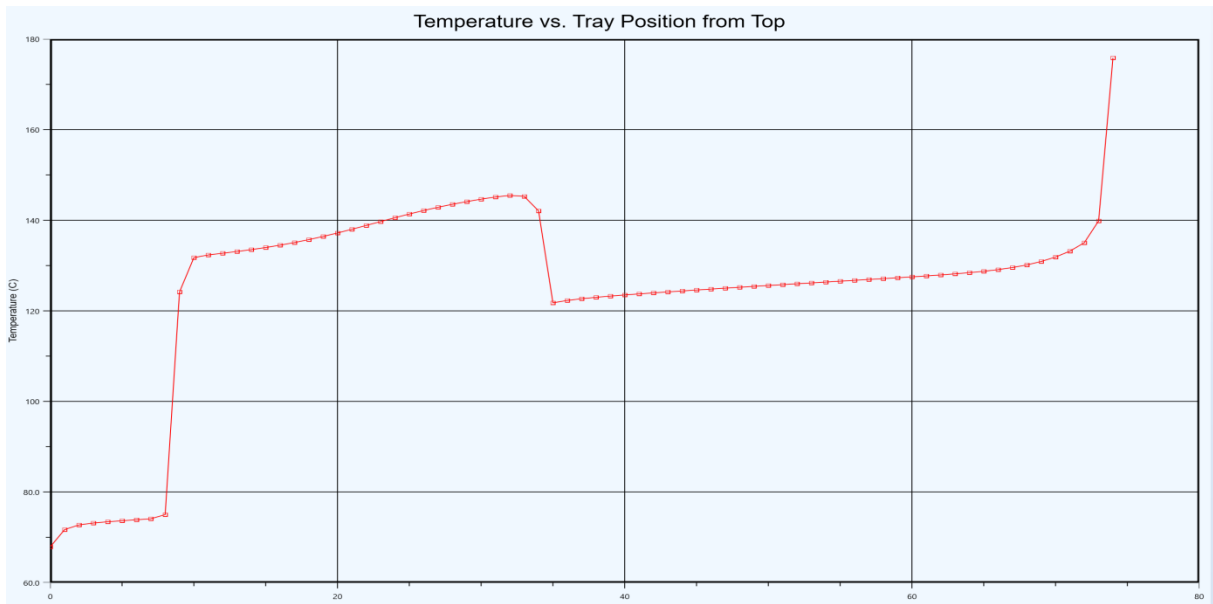


Figure IV.2 Température pour étage pour colonne EDC (NFM)

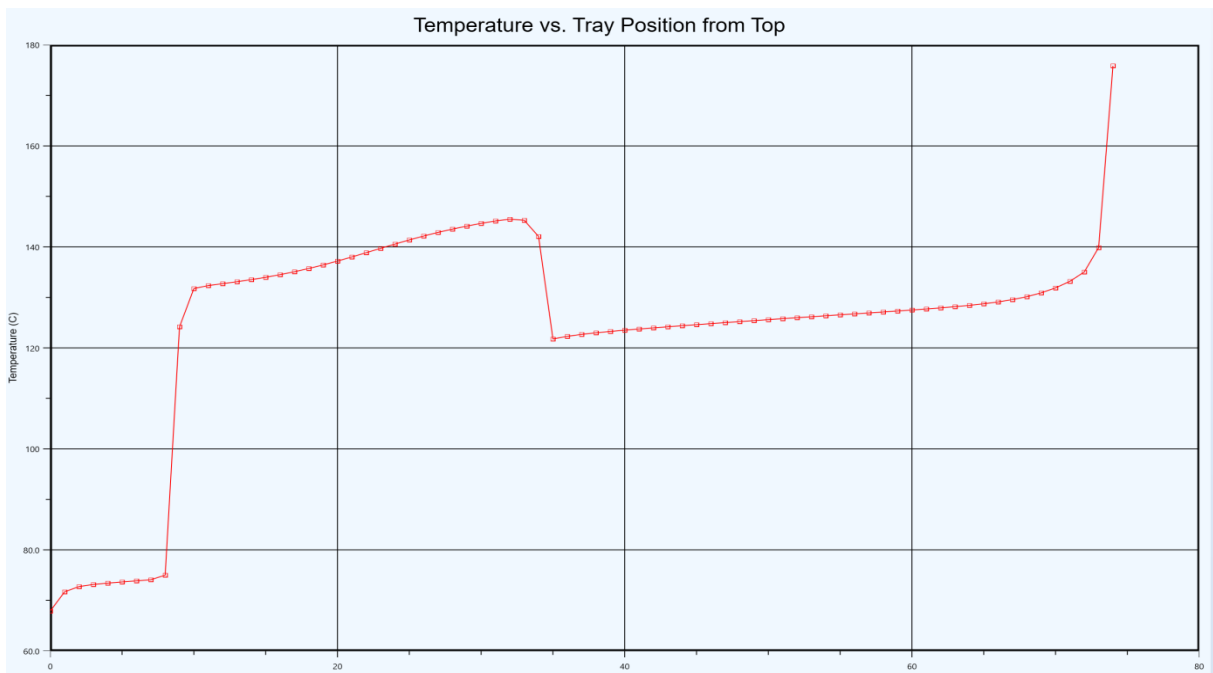


Figure IV.3 Température pour étage pour colonne EDC (Tech-tive100)

IV.3.3.2.2- comparaison des températures par étages de colonne SRC

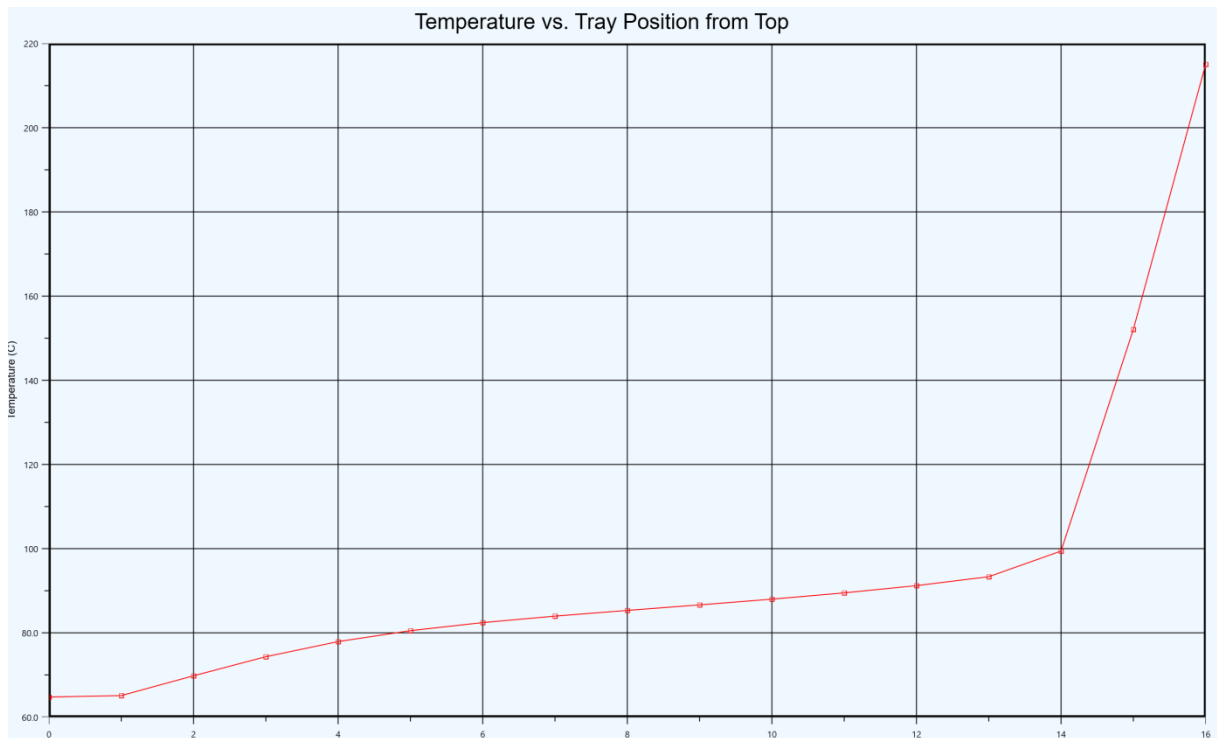
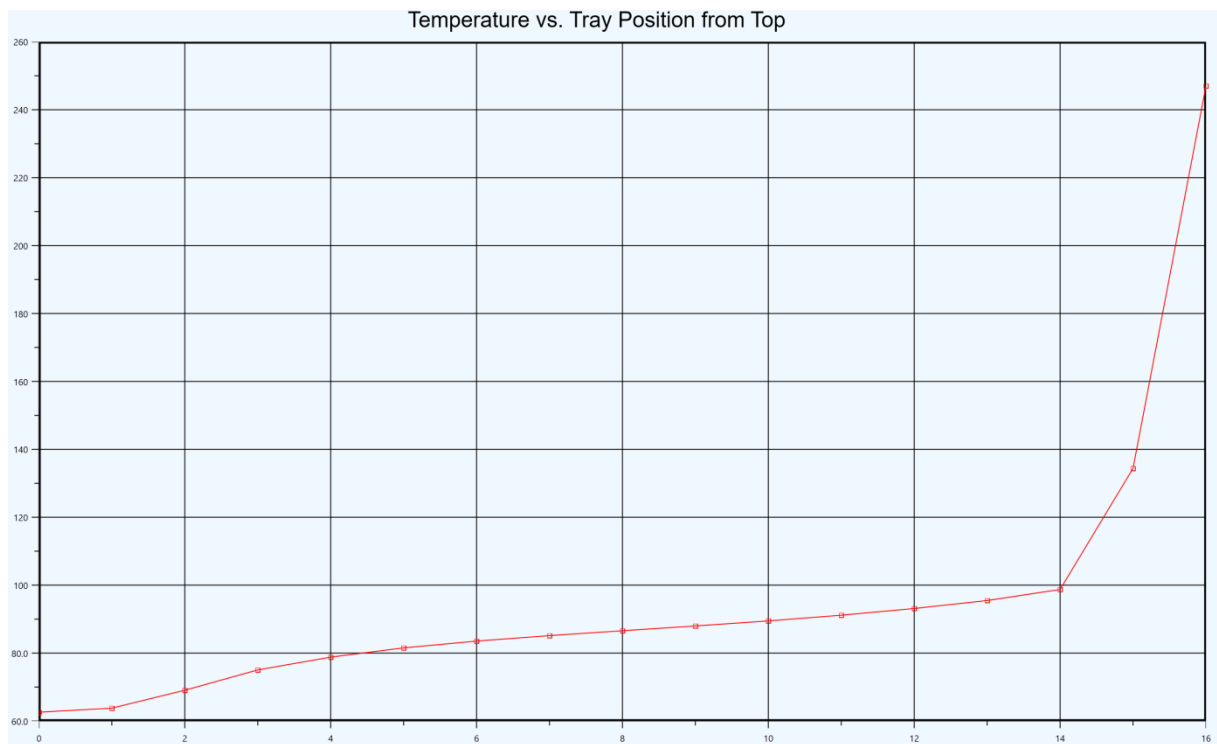


Figure IV.4 Température pour étage pour colonne SRC (NFM)



IV.5 Température pour étage pour colonne SRC (Tech-tive100)

IV.3.3.3- Comparaison économique :

Tableau IV.12 Comparaison économique

Procédé	NFM	Tech-tiv100
Taux de récupération de solvant %	100%	100%
Rendement des aromatiques	99.5834	99.5837
Equipements utilisés dans le procédé		
Colonne de distillation EDC	*	*
Colonne de récupération SRC	*	*
Consommation d'énergie.		
Energie total consommé en KJ/h	4.2*10 <sup>11</sup>	3.42*10 <sup>9</sup>

IV.3.3.4- Influence des propriétés physico-chimiques :

Tableau IV.13: Comparaison entre les différentes propriétés physico-chimiques de deux solvants étudié. [11].

<i>Solvant</i>	<i>Tf (°C)</i>	<i>Tb (°C)</i>	<i>ρ (Kg/m 3)</i>	<i>Pression de vapeur</i>	<i>Toxicité</i>
<i>NFM</i>	23	240	1140	0.003 à 20 °C	<i>Moyen</i>
<i>Techtive_100</i>	27	282	1250	19.4 à 150°C	<i>Faible</i>

D'après le (tableau IV.13), on voit que tous les solvants utilisés répondent aux normes des critères de l'extraction exigés tels que :

- Un point d'ébullition plus élevé que celui des composants de la charge afin de permettre sa récupération et son recyclage.

- Une température de cristallisation suffisamment basse pour qu'ils puissent être mis en œuvre sans complication d'appareillage.
- Faible tension de vapeur pour éviter un équipement haute pression.
- Grande densité (>1000 kg/m<sup>3</sup>) pour assurer un différentiel de densité avec les hydrocarbures de la charge, favorable à une décantation convenable des phases et au bon fonctionnement des extracteurs. Mais d'un point de vue toxicologique et environnementaux, les solvants NFM présentent une toxicité élevée et une pollution nuisible à l'écosystème. Par contre le Tective-100 est pratiquement non-toxique et non polluant, grâce à leur nature non volatile.

**Conclusion :**

En général. Dans ce chapitre nous avons obtenu des résultats par les simulations et on compare entre les résultats de tous solvant et vu que tous solvant a ses caractéristiques et propriétés.

***Conclusion Générale***

Dans le but d'étudier l'extraction des aromatiques, Nous nous sommes intéressés, dans ce modeste travail, à la simulation d'un procédé d'extraction des aromatiques à partir de leur mélange avec les hydrocarbures aliphatiques de modèles procédés ont été proposés ; extraction de benzène à partir de la charge de l'unité 200 du RA1K par deux solvants (NFM, Tective-100).

La préparation et le choix du solvant est sans doute fondamental dans le procédés d'extraction, le solvant est choisi de telle façon à former avec la charge et le mélange d'aromatiques deux phases non miscibles et il doit non seulement permettre la séparation des produits mais aussi facilite la régénération pour qu'il soit utilisable aisément dans l'extracteur et être facilement séparable des produits dissous et son emploi doit être aussi économique que possible.

Dans ce travail on a utilisé deux solvant qui sont : N-FormylMorpholine (le NFM) et Tective -100 et comparer entre les résultats de ces deux dernier dans l'industrie par simulation avec ASPEN HYSYS Version 11.

On a utilisé le model thermodynamique PR (Peng-Robinson), car il est le model le plus convenable pour la simulation des procédés de distillation Extractive. Le procédés étaient

## *Références Bibliographiques*

similaire pour les deux solvants cela signifie que les mêmes équipements étaient utilisés pour la séparation et la récupération même les conditions opératoire d'alimentation mais aussi les conditions de marche des solvants n'était pas la même d'après la nature différente des deux solvants.

D'après les résultats obtenus on a constaté que le Tective-100 était meilleur que le NFM pour différents raisons tel qu'il présente une capacité meilleure, une miscibilité et la valeur économique. De plus, il est moins toxique que le NFM. Même si son sélectivité est plus moins que l'NFM

## Références Bibliographiques

- [1]. D. ZOUGAB, Extraction des hydrocarbures aromatiques à partir d'une coupe pétrolière par microémulsion, Mémoire de Magister, université M'hamed Bogara de Boumerdes, 2007,
- [2].S.AMIOUR, étude de l'unité d'extraction des aromatiques et calcul de vérification de section de fractionnement de la raffinerie de Skikda, 1<sup>ères</sup> JNTSTD, 2007
- [3].J. P. WAUQUIER. Le raffinage du pétrole : Procédés de séparation, Technip, Paris, 1998.
- [4].R.GHAI, Extraction des aromatiques Etude d'un échangeur E2-200, Mémoire d'licence, université de Skikda, 2005.
- [5].E. Abe Et Coll. Annales De Toxicologie Analytique 2010; 22(2): 51-59. Laboratoire De Pharmacologie-Toxicologie, Centre Hospitalier Universitaire Raymond Poincaré, AP-HP Et UVSQ, , France. Emuri Abe, Stanilas Grassin Delyle, Jean Claude Alvarez.
- [6].- P. WUITHIER :Jaun Durandet, extraction par solvant, Tome I 2<sup>eme</sup> édition 1972 –Paris.
- [7].K.Tedjani : extraction des aromatiques (RA<sub>1</sub>K)

## *Références Bibliographiques*

- Etude descriptive d'une colonne à disques rotatifs, Bilan de matière de la colonne RDC1 Sonatrach – Institut Algérien du Pétrole Juillet 2005
- [8]. G. Hamza, D. Fateh : Etude comparative entre le nouveau et l'ancien procédé d'extraction et fractionnement des aromatiques (U200) ; Institut Algérien du Pétrole 2013
- [9]. [https://pubchem](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/N-Formylmorpholine) : N-Formylmorpholine-pubchem  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/N-Formylmorpholine> consulté le
- [10]. Manuel Opérateur (U200) Refinery De skikda by SAMSUNG Engineering pages: 200.04.05.06.07.09
- [11]. <https://www.merckmilipore.com/INTL/en/product/N-Formylmorpholine>, MDA\_CHEM-818582 consulté
- [12]. E. KOLLER, Aide-mémoire de Génie chimique-4e éd, Paris (2001),.
- [13]. N. MESSIKH, « Application Des Réseaux De Neurones Pour Prédire Le Rendement De L'extraction Liquide-Liquide Du phénol », Thèse Doctorat, Université BADJI Mokhtar-Annaba 2008,
- [14]. J. Harman. Utilisation de la fonction (méth) acrylique pour accéder à de nouveaux liquides ioniques, Mémoire de doctorat, Université Paul Verlaine – Metz, 2008.
- [16]. TREYBAL RE. Liquide Extraction. 2nd Ed. New York: Mc Graw-Hill, 1963
- [17]. Journal (chemical Technology & Biotechnology) by Wiley pages: 123-130; 2017
- [18]. Journal (Separation Science) by Wiley pages: 98-104; 2018
- [19]. Journal (Chemical Engineering Science) by Elsevier pages: 342-350; 2019
- [20]. Journal (Industrial & Engineering Chemistry) pages: 210-220 by American Chemical Society; 2016
- [21]. Andrzej Gorak and Eva Sorensen: (Distillation: Operation and Applications)
- [22] J.D. Seader, Ernest J. Henley and D. Keith Roper . Separation Process principles. Seader,

## *Références Bibliographiques*