



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGÉNIEURIE - ANNABA

Département Génie des Procédés et Energétique

## MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme d'INGÉNIEUR D'ETAT

Spécialité : Génie chimique

Présenté par

**Maissa BRAHIMI**  
**Serine BENDJAMA**

# ETUDE DE PERFORMANCE D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR PAR SIMULATION-UNITE DE CRISTALLISATION DE PARAXYLENE U400 - SONATRACH SKIKDA

Encadré par

**Dr. Sarah CHAOUCHI**

ENSTI Annaba

Membres du jury :

MCA. Slimane NIOU

Président

ENSTI

MCA. Nawel NEDJAH

Examineur

ENSTI

Année 2025

## Résumé

Cette étude porte sur l'amélioration de la condensation du propane gazeux par l'installation d'un échangeur de chaleur en amont de l'unité de cristallisation du paraxylène dans la raffinerie I de Sonatrach-Skikda. L'échange thermique entre les deux sources de température est caractérisé par une grande diversité géométrique. Dans ce contexte, l'évaluation de performance a été réalisée pour un fonctionnement à régime maximal, et ceci par une étude de dimensionnement détaillé d'un échangeur de chaleur de type tube et calandre. En focalisant dans un premier lieu sur une approche analytique pour la détermination des paramètres clés par un bilan de calcul, suivi d'une approche numérique par simulation sur deux logiciels Aspen Hysys et Aspen EDR afin d'optimiser les performances de cet échangeur.

**Mots clés :** échangeur de chaleur, condensation, simulation, Hysys, EDR, optimisation

## Abstract

This study focuses on improving the condensation of gaseous propane by installing a heat exchanger upstream of the paraxylene crystallization unit in Refinery I of Sonatrach-Skikda. The heat exchange between the two temperature sources is characterized by a wide geometric diversity. In this context, a performance evaluation was carried out under maximum operating conditions through a detailed sizing study of a shell-and-tube heat exchanger. The approach initially centered on an analytical method to determine key parameters through calculation balances, followed by a numerical approach using simulation on two software programs, Aspen Hysys and Aspen EDR, in order to optimize the exchanger's performance.

**Keywords:** heat exchanger, condensation, simulation, Hysys, EDR, optimization

## ملخص

تركز هذه الدراسة على تحسين عملية تكاثف غاز البروبان من خلال تركيب مبادل حراري في مقدمة وحدة تبلور البارازيلين في المصفاة الأولى لشركة سوناطراك - سكيكدة. يتميز التبادل الحراري بين مصدرين حراريين بتنوع هندسي كبير. وفي هذا السياق، تم تقييم الأداء في ظروف تشغيل قصوى، وذلك من خلال دراسة تفصيلية لتصميم مبادل حراري من نوع أنابيب وغلاف. تم الاعتماد أولاً على مقارنة تحليلية لتحديد المعلمات الرئيسية عبر موازنة حسابية، تلتها مقارنة عددية من خلال المحاكاة باستخدام برنامجي Aspen Hysys و Aspen EDR بهدف تحسين أداء هذا المبادل.

**الكلمات المفتاحية:** مبادل حراري، تكاثف، محاكاة، Hysys، EDR، تحسين



## *Remerciements*

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah qui nous a donné la force et la sagesse nécessaire pour achever nos études et compléter ce projet*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude à notre encadrante Dr. CHAOUCHI. S, pour son encadrement et son accompagnement, ainsi que ces précieux conseils, son professionnalisme et sa disponibilité tout au long de ce travail*

*Nous adressons nos sincères remerciements à Dr. FERKOUS. H, qui a contribué grandement à la qualité de notre mémoire, ainsi pour son soutien inestimable et la richesse de ses interventions et sa bienveillance tout au long de ce mémoire*

*Nous remercions l'ensemble de nos professeurs de spécialité pour leur qualité d'enseignement tout au long de notre formation, ainsi que les ingénieurs de laboratoire pour leur accompagnement technique*

*Nous tenons également à remercier Mr Riad Boukherbata , ainsi que l'équipe de la raffinerie de Sonatrach –Skikda- pour leur accueil chaleureux et leur soutien durant la période de stage*

*Enfin, nous remercions les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail*





## *Dédicace*

***Je dédie ce travail à :***

***Ma chère maman***, qui nous a toujours entourées de son amour infini, ses prières, sa tendresse qui m'ont toujours soutenue et ont été la source de force dans les moments difficiles

***Mon père***, qui a toujours veillé pour nous rendre heureux par ses sacrifices, et pour ses encouragements et ces conseils, il m'a appris la valeur du travail et la patience

***Mes sœurs et ma famille***, pour leur amour, patience et leur joie de vivre qui ont toujours adouci les moments difficiles

***Mon binôme « Maissa »***, pour sa gentillesse, son esprit d'équipe, sa collaboration et motivation et ses efforts tout au long de notre travail

***Mes chères copines***, pour leur amitié sincère, leur bonne humeur, leur énergie positive et leur soutien inestimable





## *Dédicace*

*"Le monde est plein de belles choses, patiemment attendues par nos sens pour être découvertes."*

*Derrière chaque accomplissement se cachent des âmes discrètes, mais infiniment précieuses. Ce mémoire est le reflet d'un long parcours, marqué par des gestes simples, des silences pleins de soutien, et un amour constant. À ceux qui ont marché à mes côtés, dans l'ombre ou la lumière, qui ont cru en moi même quand je doutais, je dédie ce travail, avec toute ma gratitude. Vous êtes les battements calmes mais puissants de mon cœur.*

*À mon cher père, que la vie m'a enlevé trop tôt, celui qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Merci pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance. Ta sagesse, ton courage et ton amour continuent de m'accompagner chaque jour. Grâce à toi j'ai appris à être la fille qui ne cesse pas de faire tout pour te rendre fier même si tu n'es pas là.*

*À ma chère mère, la source inépuisable d'amour. Tes prières silencieuses et tes encouragements ont été mon refuge dans les moments durs. Merci pour la force tu m'as donnée pour poursuivre la vie.*

*À ma sœur Maram et à mon frère Mouhamed, merci pour votre amour et soutien dans mes difficiles moments aussi pour vos sourires et votre présence réconfortante.*

*À toute ma famille, pour leur encouragement, leur amour et pour leur bienveillance.*

*À ma confidente Sara, Pour ta présence réconfortante, merci d'avoir toujours été à mes côtés, pour ton écoute sincère et tous tes mots quand j'en avais besoin.*

*À mon petit chaton Roza, Celle qui a partagé mes veilles et mes longues nuits. Qui a dit que les animaux ne ressentent rien, ils sont les compagnons de l'âme.*

*À Mon binôme Serine, pour sa compréhension, son esprit d'équipe, et surtout pour sa motivation pour rendre notre travail parfait.*

*À mes amis de l'université, À vous, qui avez transformé les moments de l'université en scènes de fou rire, et les longues heures du cours en souvenirs dorés.*



## ***LISTE DES ABRIVIATIONS***

RAIK	Le complexe de raffinerie de pétrole de SKIKDA
Hysys	HyprotechSystems
EDR	Exchanger Design and Rating
TEMA	TubularExchangerManufacturers Association
E	Echangeur de chaleur
PR	Peng-Robinson
$Q_{\text{eau}}$	Quantité de chaleur absorbée par l'eau
$m_f$	Débit massique du fluide froid (eau)
$C_{pf}$	Chaleur spécifique du fluide froid (eau)
$Q_{\text{propane}}$	Quantité de chaleur cédée par le propane
$m_c$	Débit massique du fluide chaud (propane)
$L_v$	Chaleur latente du fluide chaud (propane)
$N_p$	Nombre de passe
$N_t$	Nombre de tube
L	Longueur de tube
D	Diamètre extérieur de tube
U	Coefficient de transfert global
$A_t$	Surface d'échange d'un tube
A	Surface d'échange
F	Facteur de correction
DTLM	La différence de température logarithmique moyenne
$DTLM_{\text{corrigée}}$	Différence de température logarithmique moyenne corrigée
P	Efficacité de transfert de l'échangeur
R	Rendement thermique de l'échangeur
V	Vitesse du fluide
$T_m$	Température moyenne
$T_c$	Température de condensation
$T_p$	Température de la paroi
$\Delta T$	Différence entre la température de condensation du propane et la température de la paroi
$\lambda_{ff}$	Conductivité thermique du propane liquide
$\mu_{ff}$	Viscosité dynamique du propane liquide
$D_e$	Diamètre extérieur de tube
$L_c$	Chaleur latente de condensation
$\rho_v$	Masse volumique de propane gazeux
$\rho_l$	Masse volumique du propane liquide
g	Accélération de la pesanteur
$\lambda$	Conductivité thermique
$\rho$	Masse volumique du fluide
D	Diamètre intérieur de tube
$\mu$	Viscosité dynamique du fluide
Re	Nombre de Reynolds
Pr	Nombre de Prandtl
Nu	Nombre de Nusselt
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

## ***LISTE DES TABLEAUX***

Tableau II.1. Point d'ébullition normal / point de congélation des isomères c8 aromatiques	<b>6</b>
Tableau III.1. Les propriétés physiques du propane dans l'échangeur E85	<b>8</b>
Tableau III.2. Les propriétés physiques de l'eau dans l'échangeur E-85	<b>9</b>
Tableau III.3. Les caractéristiques de tube	<b>9</b>
Tableau III.4. Les caractéristiques de la calandre	<b>9</b>
Tableau III.5. Résultats du calcul de la DTLM <sub>Corrigée</sub>	<b>11</b>
Tableau III.6. Résultats du calcul du nombre de Nusselt	<b>13</b>
Tableau III.7. Résultat de l'efficacité	<b>15</b>
Tableau V.1. Effet de la température d'eau d'entrée	<b>22</b>
Tableau V.2. Effet du débit massique d'eau	<b>23</b>
Tableau V.3. Effet de la pression d'entrée du propane	<b>24</b>
Tableau V.4. Effet de la température d'entrée du propane	<b>25</b>
Tableau V.5. Effet de l'encrassement du tube	<b>26</b>
Tableau V.6. Variables indépendants/ dépendants	<b>26</b>

## ***LISTE DES FIGURES***

Figure I.1. Situation géographique du complexe Skikda	<b>2</b>
Figure I.2. Les activités opérationnelles du groupe Sonatrach	<b>2</b>
Figure I.3. Les principales installations	<b>3</b>
Figure I.4. Schéma-bloc simplifié du Projet Réhabilitation RA1K	<b>4</b>
Figure II.1. Différent type d'écoulement dans un échangeur de chaleur	<b>13</b>
Figure III.1. Les étapes de dimensionnement de l'échangeur de chaleur	<b>15</b>
Figure IV.1. Type d'échangeur EDR/Hysys	<b>17</b>
Figure IV.2. La saisie des composants et leurs propriétés EDR/Hysys	<b>18</b>
Figure IV.3. Géométrie de l'échangeur EDR/Hysys	<b>18</b>
Figure IV.4. Fluide package EDR/Hysys	<b>19</b>
Figure IV.5. Matériau de l'échangeur	<b>19</b>
Figure IV.6. Tableaux récapitulatifs des résultats simulés	<b>23</b>
Figure V.1. Effet de la température d'entrée d'eau sur le rendement de la condensation	<b>26</b>
Figure V.2. Effet de la température d'entrée d'eau sur le rendement de la condensation	<b>26</b>
Figure V.3. Effet de la température d'entrée d'eau sur le rendement de la condensation	<b>27</b>
Figure V.4. Components List	<b>29</b>
Figure V.5. Fluide package	<b>29</b>
Figure V.6. <i>Worksheet/Design</i>	<b>29</b>
Figure V.7. Simulation d'un refroidisseur	<b>29</b>

## **TABLE DES MATIERE**

Introduction général .....	1
Chapitre I : Stage Pedagogique .....	2
I .1.Présentation de la Raffinerie de Skikda (RAIK) .....	2
I.2. Principales Installations .....	2
I.3. Unité de récupération du paraxylène Unité 400 : .....	3
I.4. Conclusion .....	4
Chapitre II : Etude Bibliographique .....	5
II.1. Introduction .....	5
II.2. Généralités sur Les Xylènes .....	5
II.3. La Cristallisation .....	5
II.4. Les échangeurs de chaleur .....	6
II.4.1. Classification des échangeurs .....	6
II.4.2. Echangeur avec changement de phase : .....	6
II.4.3. Le Condenseur .....	6
II.5. Conclusion .....	7
Chapitre III. Dimensionnement d'un échangeur de chaleur E-85 dans l'unité 400 .....	8
III.1. Introduction .....	8
III.2. Partie calcul des bilan énergétique .....	8
III.2.1. Calcul de l'échangeur .....	9
III.3.Conclusion : .....	12
Chapitre IV. Simulation d'un échangeur E-85 dans l'unité 400 par Aspen-Hysys .....	13
IV.1. Introduction .....	13
IV.2. Présentation d'Aspen Hysys : .....	13
IV.3. Présentation Aspen EDR : .....	13
IV.4.La simulation de l'échangeur E-85 par le simulateur Aspen EDR et Aspen Hysys: .....	13
IV.5. Optimisation des paramètres de l'échangeur : .....	18
IV.6.Étude d'invariance paramétrique dans le système simulé : .....	22
IV.7. Etude comparative de solutions pour améliorer la condensation du propane .....	22
IV.7.1. Les étapes de simulation : .....	22
IV.8.Conclusion : .....	24
Conclusion générale .....	25

## Introduction général

L'échangeur de chaleur occupe une place primordiale et indispensable dans tous les systèmes thermiques. Le condenseur est un échangeur de chaleur qui sert à transformer un fluide de l'état de vapeur en liquide par l'intermédiaire d'un fluide de refroidissement en dégageant de la chaleur vers le liquide froid. Le condenseur joue un rôle crucial dans les industries pétrochimiques car il contribue à la transformation des hydrocarbures et leur récupération en phase liquide comme le gaz naturel et les composés légers (propane, éthane, butane).

A l'aide des équations thermodynamique et des modèles mathématiques, la simulation consiste à faire la modélisation des procédés industriels en suivant leurs comportements dans les différentes conditions opératoires [1]. L'intégration du domaine de la simulation dans les industries a facilité l'optimisation, la prédiction et l'analyse des systèmes, d'où elle sert à dimensionner efficacement les équipements, suivre l'évolution des paramètres et les conditions opératoires. De plus la simulation a limité les expérimentations ce qui limite et réduire les essais coûteuses et dangereuses en termes de produits et matérielles et gagner du temps.

L'unité E-400 de la RA1K de Sonatrach Skikda qui est désignée à récupérer le paraxylène du mélange xylène a rencontrer un problème de diminution de taux de condensation du propane dans le condenseur E-85 en raison de phénomène de bouchage dans le condenseur qui limite l'efficacité de l'équipement.

Suite à cette problématique, ce projet porte une étude sur le système de condensation de la raffinerie et il est devisé en quatre parties :

- Le premier chapitre comprend la présentation de la raffinerie et l'unité 400 qui rencontre le problème
- Le deuxième chapitre contient la partie bibliographique qui parle sur les xylènes, la cristallisation et les échangeurs de chaleurs et leurs types
- Dans le troisième chapitre on a procéder à un dimensionnement détaillé de l'échangeur pour vérifier et comprendre les paramètres qui influent sur le fonctionnement où on a arrivé à définir la quantité de chaleur échangée, le nombre de tube, le coefficient global d'échange et la surface d'échange
- La quatrième partie qui est le dernier chapitre porte sur l'étude de l'échangeur par simulation pour évaluer les performances de la condensation et l'optimiser en proposant deux solutions, la première et de faire varié les conditions de fonctionnement (débit, pression, température ...), pour avoir une condensation totale du propane, la deuxième solution consiste à placer un refroidisseur en amont de l'échangeur principale à fin de pré-refroidir le propane avant son entrée dans l'échangeur pour maximiser la condensation

## Chapitre I : Stage pédagogique

### I.1.Présentation de la Raffinerie de Skikda (RA1K)

Le groupe pétrolier international Sonatrach est l'un des partenaires clé dans le domaine énergétique. Classer comme la première société algérienne de pétrole et gaz contribuant au développement économique et social de l'Algérie [2]. La transformation de pétrole brut en produits finis passe par l'exploration après la production ensuite le transport et enfin la commercialisation, en passant en premier par la liquéfaction, le raffinage et enfin la pétrochimie. La raffinerie de pétrole de SKIKDA traite 16,5 million de tonnes par an avec une capacité d'emploi de 1300 personnes, ce complexe occupe 250 hectares de superficie, elle se situe à l'est de SKIKDA dans la zone industrielle, à base du pétrole brut la raffinerie produit des produits commerciaux tels que : gaz, essence kérozène, diesel, en utilisant des techniques de séparation et de transformation [1].

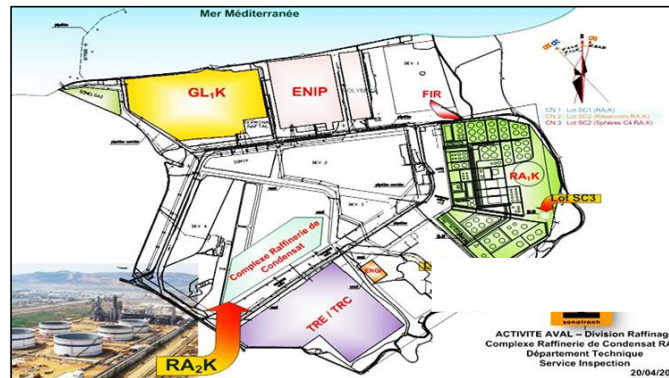


Figure I.1. Position géographique du complexe Sonatrach

### I.2. Principales Installations

Le groupe SONATRACH a divisé ses activités opérationnelles en 4 activités et couvre 11 unités de production. Les principales sections sont:

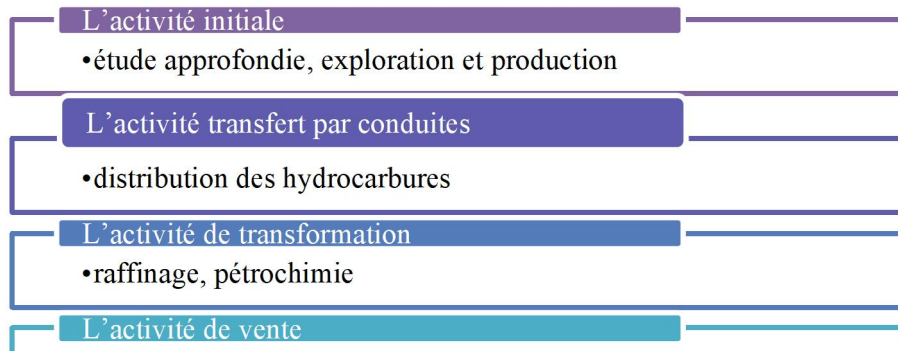
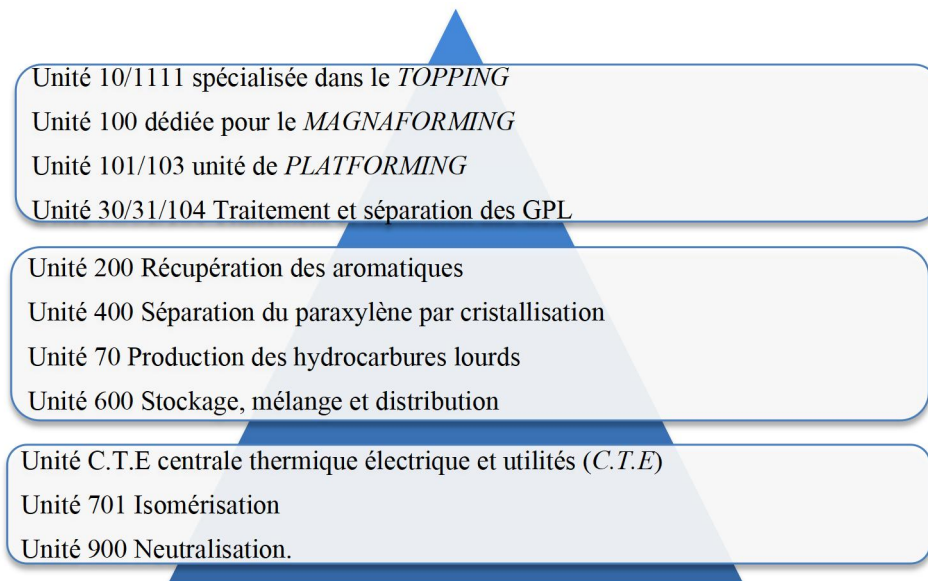


Figure I.2. Les principales activités de Sonatrach

Chez Sonatrach Skikda, on trouve deux raffineries RA1/K et RA2/K :

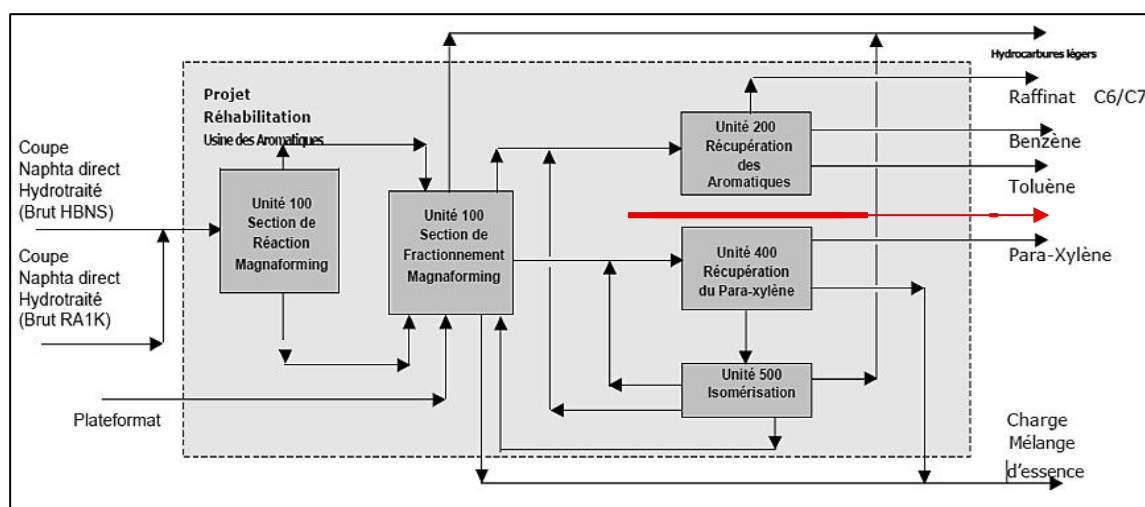
- RA1/K est dédiée pour la production des hydrocarbures lourds et légers, avec un volume de traitement de 15 millions de tonnes/an du pétrole brut et 80% de sa production est exportée.
- RA2/K est dédiée pour la transformation du condensat, avec un volume de traitement de 5 millions de tonnes/an, elle est chargée par le naphta principalement et complétée par le butane, les hydrocarbures léger et lourd et le kérosène.



**Figure I.3. Les principales installations**

**I.3. Unité de récupération du paraxylène Unité 400 :**

L'unité de cristallisation du paraxylène a été mise en service en 2014, cette unité permet de récupérer du paraxylène, un composé recherché dans les secteurs économiques, il est séparé du mélange xylène issu de l'unité de Magnaforming par cristallisation, le paraxylène récupéré est commercialisé et le reste peut être utilisé pour obtenir des essences ou commercialisé sous forme de mélange xylène. La section de splitting de l'Unité 400 sépare les xylènes mixtes de la coupe  $C_8^+$  des unités platforming et magnaforming et les prépare pour devenir une matière d'alimentation de la section de cristallisation [3]. L'unité de cristallisation est conçue pour traiter approximativement 1,600 KMTA de mélange xylènes contenant 22 pds% de paraxylène. L'unité produira 220 KMTA de produits Paraxylène à haute-pureté avec une pureté minimum de 99.7 pds%. Sonatrach a lancé un projet de réhabilitation de l'usine des aromatiques au sein de la RA1K incluant l'installation de l'Unité 400 [4].



**Figure I.4. Schéma-bloc simplifié du Projet Réhabilitation RA1K. [3]**

#### **I.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons commencé par montrer l'importance de l'industrie pétrolière SONATRACH dans le domaine énergétique et économique, en particulier la raffinerie de Skikda-Algérie. Ensuite, nous avons discuté l'unité de récupération du paraxylène Unité 400-RA1/K, offrant ainsi une vue d'ensemble de ses installations, et ceci après avoir présenté l'organisation des différentes activités du complexe, ainsi que les principales installations.

En tant que futurs ingénieurs, ce stage nous a permis de développer nos compétences le long période effectué pour la réalisation et le traitement du sujet proposé. Notre sujet était un défi semble difficile au début, et cela nous a permis d'instruire comment savoir faire et être professionnel. Nous avons commencé par la définition de problème, l'acquisition, la compilation et l'analyse de données, formulation d'hypothèses et de recommandations. Ensuite agir et exploiter nos connaissances pour la résolution du problème étudiée. C'est une véritable expérience très importante pour nos futures carrières.

## Chapitre II : Etude bibliographique

### II.1. Introduction

Les trois isomères de xylènes constituent une place importante, ils sont des hydrocarbures de première génération placés après le benzène et le toluène et dédiés pour la production des carburants. Les xylènes purs sont également utilisés comme matières premières dans les procédés pétrochimiques. Plus de 90 % de la production mondiale provient du reformage catalytique et du vapocraquage du naphta. Ces composés doivent respectés des critères stricts de pureté pour facilité leurs commercialisations [5].

La cristallisation qui a fait l'objectif de notre stage pédagogique, semble la meilleure technique de séparation car le paraxylène a un point de congélation élevé contrairement aux autres isomères, ce qui facilite sa séparation par cristallisation.

### II.2. Généralités sur Les Xylènes

L'xylène ou le *diméthylbenzène*, est un dérivé du benzène, est présenté comme un liquide incolore, d'odeur remarquable et avec une haute inflammabilité, de formule chimique  $C_8H_{10}$ . Les xylènes se trouvent généralement sous forme d'un mélange d'isomères aromatiques dont les points d'ébullition se situent entre [135-145] °C [6]

La production des xylènes, leurs usages, transport et stockage sont soumis à des réglementations, notamment celles applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Ils sont considérés comme des liquides inflammables selon les rubriques de 1431 à 1434 de cette nomenclature. [7]

Les xylènes sont utilisés dans la fabrication de textiles artificiels tels que le tergal ou le térylène [8]. Il est également employé comme solvant dans la synthèse d'insecticides, dans les produits pharmaceutiques ainsi que dans l'industrie du caoutchouc [9]. Le paraxylène intervient dans la production de plastifiants, de polyesters et des peintures [10]. Les xylènes sont généralement utilisés dans l'industrie pharmaceutique comme matière première [11].

Plusieurs techniques, comme la distillation, l'adsorption, la distillation azéotropique, la distillation extractive et l'extraction par solvant, sont généralement utilisées pour avoir des composés aromatiques de haute pureté à partir des composés obtenues par le vapocraquage ou la reformation catalysée. La cristallisation est devenue une méthode efficace car elle assure une meilleure séparation à basse température, ce qui justifie son utilisation dans divers procédés.

### II.3. La Cristallisation

La cristallisation est considérée comme la première méthode industrielle utilisée pour extraire le paraxylène des autres isomères aromatique. Elle repose sur la formation de cristaux solides de dimension uniforme à haute pureté dans une solution homogène [3]. Cette méthode est basée en premier sur plusieurs étapes tels que le séchage, cristallisation, refroidissement et en fin la distillation du solvant. La solution quand elle est refroidie jusqu'à un point de congélation d'un composé à séparé, il commence a former des cristaux purs ce qui facilite sa séparation en laissant les autres composés dans la solution mère, à cet effet la cristallisation devient une méthode de séparation efficace pour ce genre de solution. [8]

Les températures d'ébullition et de congélation des isomères  $C_8$  sont regroupées dans le tableau II.1.

Composé	Point d'ébullition normale, °C	Point de congélation, °C
Ethylbenzène	136.2	- 94.9
Paraxylène	138.3	+ 13.2
Métaxylène	139.1	- 47.9
Orthoxylène	144.3	- 25.2

Le paraxylène commence à former des cristaux à une température de 130°C, en revanche les autres isomères ont des points de congélation inférieurs à cette valeur. Donc le mélange est refroidi à fin de cristalliser le paraxylène puis on le sépare à l'aide d'une centrifugeuse.

#### II.4. Les échangeurs de chaleur

L'échangeur de chaleur est un dispositif dédié à transférer un flux de chaleur entre deux fluides, il est largement utilisé dans les différentes industries notamment l'industrie pétrochimique et d'autres, les deux fluides qui circulent sont séparés par une paroi qui génère une résistance au transfert de chaleur. Dans des autres équipements comme le condenseur et l'évaporateur, l'un des fluides subit un changement de phase. [12]

##### II.4.1. Classification des échangeurs

Les échangeurs sont classés par : 1) *modèle de conception technique* ; 2) *mode de transfert* ; 3) *Ecoulement des fluides* ; 4) *taux de compacité*.

Dans les échangeurs, les fluides peuvent transférer la chaleur en contact direct ou être séparés par une paroi comme dans le cas des échangeurs tubulaires, à plaques ou bien à faisceaux et calendres.

On distingue trois types d'échangeurs selon le sens d'écoulement : [13]

- **Co-courant** : Les deux fluides (chaud et froid) circulent dans le même sens et en parallèle dans ce dispositif jusqu'à leur sortie dans l'autre côté;
- **Contre-courant** : Les deux fluides (chaud et froid) circulent dans des directions opposées
- **Courants croisés** : Les deux fluides circulent dans deux directions perpendiculaires

##### II.4.2. ECHANGEUR AVEC CHANGEMENT DE PHASE :

Selon les conditions de fonctionnement, le fluide peut changer de phase et peut rester sur son état principal, donc on parle d'une circulation diphasique ou monophasique. Ces dispositifs thermiques qui agissent sur la phase du fluide sont caractérisés par trois cas différents :

- Des échangeurs utilisés dans les machines frigorifiques, où l'un des fluides se vaporise et l'autre subit une condensation
- L'évaporateur dans lequel l'un des fluides s'évapore et l'autre reste sur son état en transférant sa chaleur
- Le condenseur dans lequel l'un des fluides se condense en transmettant sa chaleur à l'autre fluide qui reste sur son état principal. [13]

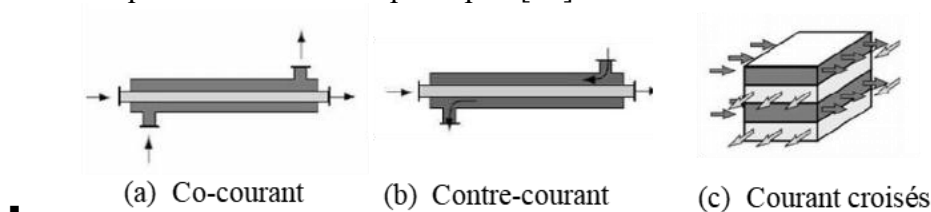


Figure II.1. Différent type d'écoulement dans un échangeur de chaleur

##### II.4.3. Le condenseur

Un condenseur est un dispositif thermomécanique qui transforme un corps à l'état gazeux en liquide, en refroidissant le gaz par détente ou échange thermique avec un fluide réfrigérant. La condensation d'une vapeur se fait par l'extraction et la transmission de sa quantité de chaleur au fluide froid qui est généralement l'eau ou l'air.

Les industries chimiques et pétrochimiques utilisent largement les condenseurs notamment pour condenser des vapeurs ou bien pour produire de l'énergie ou bien pour la technique du froid.

Les deux types principaux du condenseur :

- **Condenseur à air** : Sont les aéroréfrigérants qui utilisent l'air comme fluide de refroidissement, sont constitués des tubes très fins (généralement un centimètre de diamètre) et à pas triangulaire ou carré, à fin de limiter la perte de charge ;
- **Condenseur à eau** : Sont des condenseurs qui utilisent l'eau comme fluide de refroidissement [14]

### **II.5.Conclusion :**

Ce chapitre a pour objet de développer les principes théoriques permettant d'appréhender le procédé qui consiste à séparer le paraxylène des autres isomères xyléniques par cristallisation et aussi comprendre le principe de fonctionnement des échangeurs de chaleur, comme le condenseur qui est l'objectif de notre étude.

La cristallisation est l'opération de séparation du paraxylène choisi, du fait des propriétés physico-chimiques des isomères (C<sub>8</sub>), ainsi que leurs avantages thermiques.

Pour le bon fonctionnement de l'unité U-400, il est nécessaire de garantir une bonne production de l'énergie pour améliorer le taux de la condensation. A cet effet, le choix du type de l'échangeur de chaleur 400-E-85 se traduit automatiquement par une augmentation de la quantité de condensât traité.

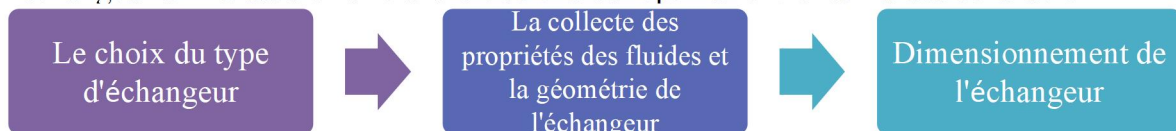
## Chapitre III. Dimensionnement d'un échangeur de E-85 dans l'unité 400

### III.1. Introduction

Le bon fonctionnement des unités de production industrielle repose largement sur la maîtrise des transferts thermiques, dont les échangeurs de chaleur. Au sein de l'unité 400, l'échangeur de chaleur E-85 est indispensable à la condensation du propane, source directe d'efficacité énergétique. Or, les dysfonctionnements observés ont révélé la nécessité de redimensionner cet équipement. Ce chapitre a donc pour but d'étudier et dimensionner un échangeur correspondant aux exigences opérationnelles actuelles, via les données de service, les propriétés thermo-physiques des fluides. L'objectif étant d'optimiser les performances thermiques de l'unité tout en s'assurant de la fiabilité à long terme.

### III.2. Partie calcul des bilans énergétiques

La phase de calcul permet d'approximer la solution la plus aboutée thermiquement. La sélection du type d'échangeur de chaleur adapté au problème posé est la première étape à suivre. Ensuite, la phase de dimensionnement thermique qui vise à calculer l'aspect géométrique. Cette phase consiste à calculer l'aspect thermique et géométrique nécessaire de l'échangeur afin d'assurer un transfert de chaleur optimal entre les fluides considéré



**Figure III.1. Procédure du dimensionnement d'un échangeur de chaleur**

Dans notre cas, L'échangeur « 400-E-85 » examiné dans cette étude est un échangeur thermique conçu pour transformer la vapeur en liquide (**par condensation**) grâce à une surface refroidie au moyen d'un fluide réfrigérant. Dans notre étude, les fluides impliqués sont le « **Propane** » en tant que fluide chaud circule dans la calandre, et « **L'Eau de mer** » en tant que fluide froid circule dans le tube.

Le calcul constitue une étape cruciale pour vérifier et valider les performances de l'échangeur thermique. La collecte de différentes conditions de fonctionnement, les propriétés physiques et chimiques des fluides, les caractéristiques de tube et de la calandre sont présentées dans les tableaux suivants :

**Tableau III.1. Les propriétés physiques du propane dans l'échangeur E85**

Propriétés physiques	Fluide chaud (Propane)
Débit massique (kg /h)	164395
Température d'entrée (°C)	68,9
Température de sortie (°C)	45
Température de condensation (°C)	44,2
Pression (KPa)	1534,33
$\Delta P$ (kPa)	19,614
Chaleur spécifique (KJ/Kg °C)	2,091
Conductivité thermique (W/m °C)	0,0225
Chaleur latente (KJ/Kg)	356
Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	28,84
Viscosité (mN-s/m <sup>2</sup> )	0,0099

**Tableau III.2. Les propriétés physiques de l'eau dans l'échangeur E-85**

Propriétés physiques	Fluide froid (eau)
Débit massique (kg /h)	1045696
Température d'entrée (°C)	29
Température de sortie (°C)	42
Pression (KPa)	539,366
$\Delta P$ (kPa)	147,1
Chaleur spécifique (KJ/Kg °C)	4,191
Conductivité thermique (W/m °C)	0,6057
Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	997,56
Viscosité (mN-s/m <sup>2</sup> )	0,8178

**Tableau III.3. Les caractéristiques de tube**

Caractéristiques de tube	Valeur
Diamètre intérieur (mm)	14,83
Diamètre extérieur (mm)	19,05
Longueur (mm)	6096
Épaisseur (mm)	2,11
Pas (mm)	23,83
Nombre de passe	4

**Tableau III.4. Les caractéristiques de la calandre**

Caractéristiques de la calandre	Valeur
Diamètre intérieur (mm)	1803,4
Diamètre extérieur (mm)	1844,68
Nombre de passe	1

**III.2.1. CALCUL DE L'ÉCHANGEUR**

Pour dimensionner l'échangeur on commence par le calcul de la puissance thermique qui présente la quantité de chaleur échangée par unité du temps à fin de calculer les autres paramètres essentiels comme la surface d'échange, nombre de tubes...

**1. La puissance thermique absorbée**

$$Q_{eau} = m_f \times C_{p_f} \times (T_{fs} - T_{fe})$$

$$Q_{eau} = 15784,2 \text{ kW}$$

**2. La puissance thermique transférée**

$$Q_{propane} = m_c \times L_v$$

$$Q_{propane} = 16256,84 \text{ kW}$$

**3. La puissance moyenne :**

$$Q_{moy} = \frac{Q_{eau} + Q_{propane}}{2}$$

$$Q_{moy} = 16020,52kW$$

#### 4. La différence de température logarithmique moyenne

La différence de température logarithmique moyenne est exprimée par la formule suivante :

$$DTLM = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)}$$

- **Co -courant**  
 $\Delta T_{max} = T_{ce} - T_{fe}$   
 $\Delta T_{min} = T_{cs} - T_{fs}$   
**DTLM = 14,25°C**
- **Contre-courant**  
 $\Delta T_{max} = T_{ce} - T_{fs}$   
 $\Delta T_{min} = T_{cs} - T_{fe}$   
**DTLM = 20,98°C**

Avec :

$\Delta T_{max}$ : Différence de température maximale ;  $\Delta T_{min}$ : Différence de température minimale  
 Pour avoir une efficacité thermique plus élevée, on choisie la plus grande différence de température logarithmique moyenne (DTLM), donc le choix d'un échangeur de chaleur en contre-courant est fondé. En effet, cette configuration permet de maximiser les gradients de température au fil de l'échange. Ce faisant, la chaleur peut être transférée au mieux entre les deux fluides. En contre-courant, la température de sortie du fluide chaud est, au mieux, égale à la température d'entrée du fluide froid, ce qui est nécessaire pour respecter les performances thermiques des systèmes qui atteignent un bon rendement. Cette configuration est plus à même de se prêter à la récupération thermique maximale dans les procédés industriels.

#### 5. La différence de température logarithmique moyenne corrigée

Pour calculer la  $DTLM_{corrigée}$  on doit en premier calculer le facteur de correction. Ce facteur est déterminé à partir des relations expérimentales basées sur des recherches (Annexe 1). Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau III.5. Résultats du calcul de la  $DTLM_{corrigée}$**

Variable	Equation	Résultat
R	$\frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{fs} - T_{fe}}$	1,84
P	$\frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$	0,325
F	/	0,86
$DTLM_{corrigée}$ (°C)	$DTLM \times F$	18,04

#### 6. Coefficient de convection interne :

Pour calculer le coefficient de convection interne on doit calculer en premier le nombre de Reynolds, Prandtl, et Nusselt :

Le nombre de Reynolds « Re »	$Re = \frac{V \cdot \rho \cdot D}{\mu}$	37264,92
Le nombre de Prandtl « Pr »	$Pr = \frac{C_p \times \mu}{\lambda}$	5,658
Le nombre de Nusselt « Nu »	$Nu = 0.023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,3}$	175,62

Le coefficient de convection interne est donné par la relation de **Sieder et Tate** suivante :

$$h_i = \frac{Nu \times \lambda}{D} \qquad h_i = 7172,82 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$$

### 7. Le coefficient de convection externe

Les résultats du calcul du nombre de Nusselt sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.6.** Résultats du calcul du nombre de Nusselt

Equations	Résultats
$\Delta T = T_p - T_c$	6,375°C
$T_p = \frac{T_m + T_c}{2}$	50,575°C
$T_m = \frac{T_{ce} + T_{cs}}{2}$	56,95°C
$Nu = 0,728 \times \left[ \frac{g \times \rho_l \times (\rho_l - \rho_v) \times L_c \times D_e^3}{\mu_{ff} \times \lambda_{ff} \times \Delta T} \right]^{\frac{1}{4}}$	404,425

Le coefficient de convection externe est calculé par la relation suivante :

$$h_e = \frac{Nu \times \lambda}{De} \qquad h_e = 477,67 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$$

### 8. Le coefficient de transfert Global

Le transfert de chaleur et son efficacité sont liés par le coefficient global d'échange.

Pour un échangeur de type tube et calandre et selon la nature des fluides qui circulent à l'intérieur de ce dispositif, la valeur du coefficient global contient à cet intervalle [500 – 1500] W/m<sup>2</sup>.°C. [18]

Pour cela, on prend :

$$U = 500 \text{ W/m}^2.\text{C}$$

### 9. La surface d'échange

D'après la loi de Fourier, la surface d'échange est exprimée par la formule suivante :

$$A = \frac{Q_{moy}}{U \times DTLM_{corrigée}} \qquad A = 1776,11 \text{ m}^2$$

### 10. Choix et caractéristiques de l'échangeur

La sélection de l'échangeur de chaleur dépend des spécifications disponibles, à savoir le choix d'écoulement des fluides cotes tube et cote calandre ; les caractéristiques des tubes. En déterminant ces caractéristiques, nous arrivons à sélectionner un échangeur de chaleur adapté à nos besoins spécifiques, avec des dimensions précises.

La surface d'échange d'un tube	$A_t = \pi \times d \times L$	<b>0,365 m<sup>2</sup></b>
<b>Le nombre de tube</b>	$N_t = \frac{A}{A_t}$	4866 tubes
<b>Le nombre de tube par passe</b>	$N_p = \frac{N_t}{\text{nombre de passe}}$	1216 tubes

### 9. L'efficacité

$$\eta = \frac{Q_{réel}}{Q_{max}} \times 100$$

$$C_c = \dot{m}_c \times Cp_c = 95,48 \text{ KW}/^\circ\text{C}$$

$$C_f = m_f \times Cp_f = 1217,36 \text{ KW}/^\circ\text{C}$$

Donc  $C_{min}$  correspond à la capacité thermique du fluide chaud (propane).  
Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant:

**Tableau III.7. Résultat de l'efficacité**

Equations	Résultats
$Q_{réel} = C_{min} \times (T_{ce} - T_{cs})$	2281,972 W/ °C
$Q_{max} = C_{min} \times (T_{ce} - T_{fe})$	3809,652 W/ °C

$$\eta = \frac{2281,972}{3809,652} \times 100 = 59,9\%$$

### III.3. Conclusion :

Ce chapitre présente le dimensionnement de l'échangeur E85 en se basant sur les propriétés physiques des deux fluides circulant dans l'échangeur et les conditions opératoires.

Les calculs effectués nous a permis de déterminer des grandeurs caractéristiques telles que la surface d'échange, les coefficients de convection interne et externe et le coefficient de transfert global. Les résultats obtenus valident le fonctionnement de l'échangeur dans les conditions existantes.

## Chapitre IV. Simulation d'un échangeur E-85 dans l'unité400 par Aspen-Hysys

### IV.1. Introduction

Le domaine de simulation dans le génie des procédés est devenu indispensable, il permet notamment la conception, l'analyse et l'optimisation des procédés chimique et les systèmes énergétique, la simulation nous a permis de passer du calcul classique long à une application rapide et pratique sur les logiciels, parmi les simulateurs les plus utilisés on trouve : Aspen Hysys, et EDR, qui font l'objectif de notre étude.

### IV.2. Présentation d'Aspen Hysys :

Hysys abréviation de **HyprotechSystems**, ce logiciel de modélisation de procédés développé par Aspen Tech est utilisé pour simuler et faire la conception des différents procédés industriels en régime permanent et dynamique on les suit en tout point et à différentes conditions opératoires, il sert aussi à l'optimisation et l'évaluation économique des procédés à l'aide de calculs complexes (modèles, équations, calculs mathématiques, régressions, etc) [15].

L'un des meilleurs avantages est que Hysys dispose déjà d'une base de données existante d'espèces et de leurs paramètres régressés purs/binaires. Il peut également gérer des processus très complexes, tels que :

- Unités d'exploitation dédiées à l'industrie du raffinage (craqueurs, cokeurs, reformeurs, unités FCC)
- Systèmes de séparation à colonnes multiples
- Réacteurs chimiques
- Recyclage complexe.[15]

### IV.3. Présentation Aspen EDR :

EDR (Exchanger Design And Rating) fait partie du logiciel Aspen Hysys, il est spécialisé dans la simulation des équipements thermiques et principalement les échangeurs de chaleur. Aspen EDR permet la conception de tous les principaux types des échangeurs thermiques quel que soit le type de procédé (chauffage, refroidissement, ébullition ou la condensation). [16]

Le calcul est basé principalement sur le type de l'échangeur après l'intégration des propriétés des fluides (débits, températures, pressions), la saisie de la géométrie de l'échangeur, tout cela est pour obtenir : les températures et les pressions à la sortie de l'échangeur côté tube et calandre, le nombre des tubes et le nombre des passes [17].

### IV.4. La simulation de l'échangeur E-85 par le simulateur Aspen EDR et Aspen Hysys:

Cette partie présente la simulation de l'échangeur E85 qui a été effectuée à l'aide du logiciel Aspen EDR (Exchanger Design and Rating) et Aspen Hysys (Hyprotech systems), pour avoir des résultats logiques et fiables, il est important de bien choisir les éléments qui constituent le système.

#### Étape 1 : le choix du type d'échangeur

La simulation par EDR commence par le choix du type d'échangeur, dans notre cas est un échangeur à tube et calandre avec l'eau est le fluide froid qui circule dans les tubes et le propane est le fluide chaud qui circule dans la calandre

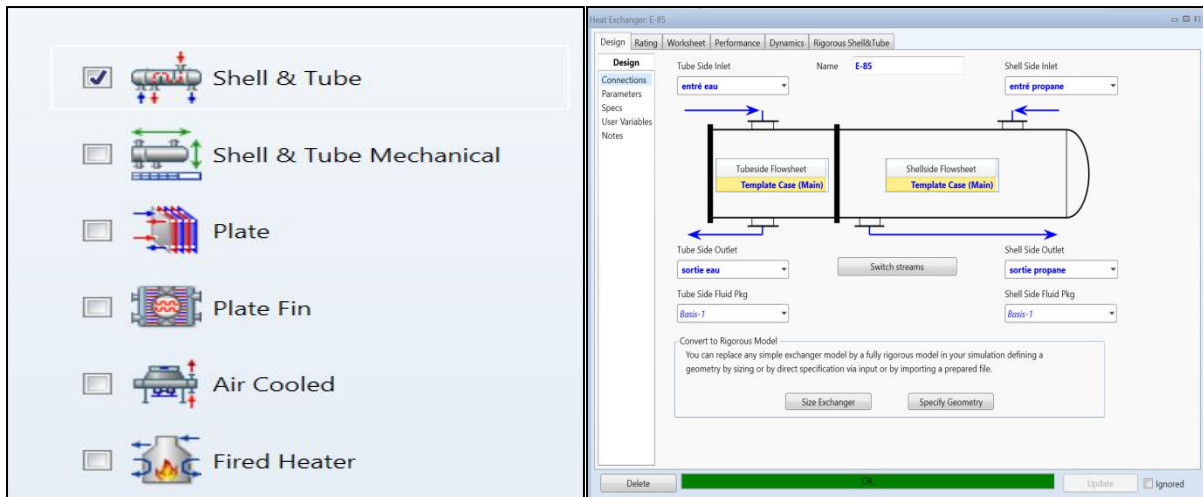


Figure IV.1. Type d'échangeur EDR/Hysys

### Étape 2 : intégration des composants et leurs propriétés

Cette étape consiste à saisir les composants du système : l'eau ( $H_2O$ ) et le propane ( $C_3H_8$ ) et les paramètres qui les caractérisent (températures d'entrées, débits massiques, pressions d'entrées,  $\Delta P$ , encrassement)

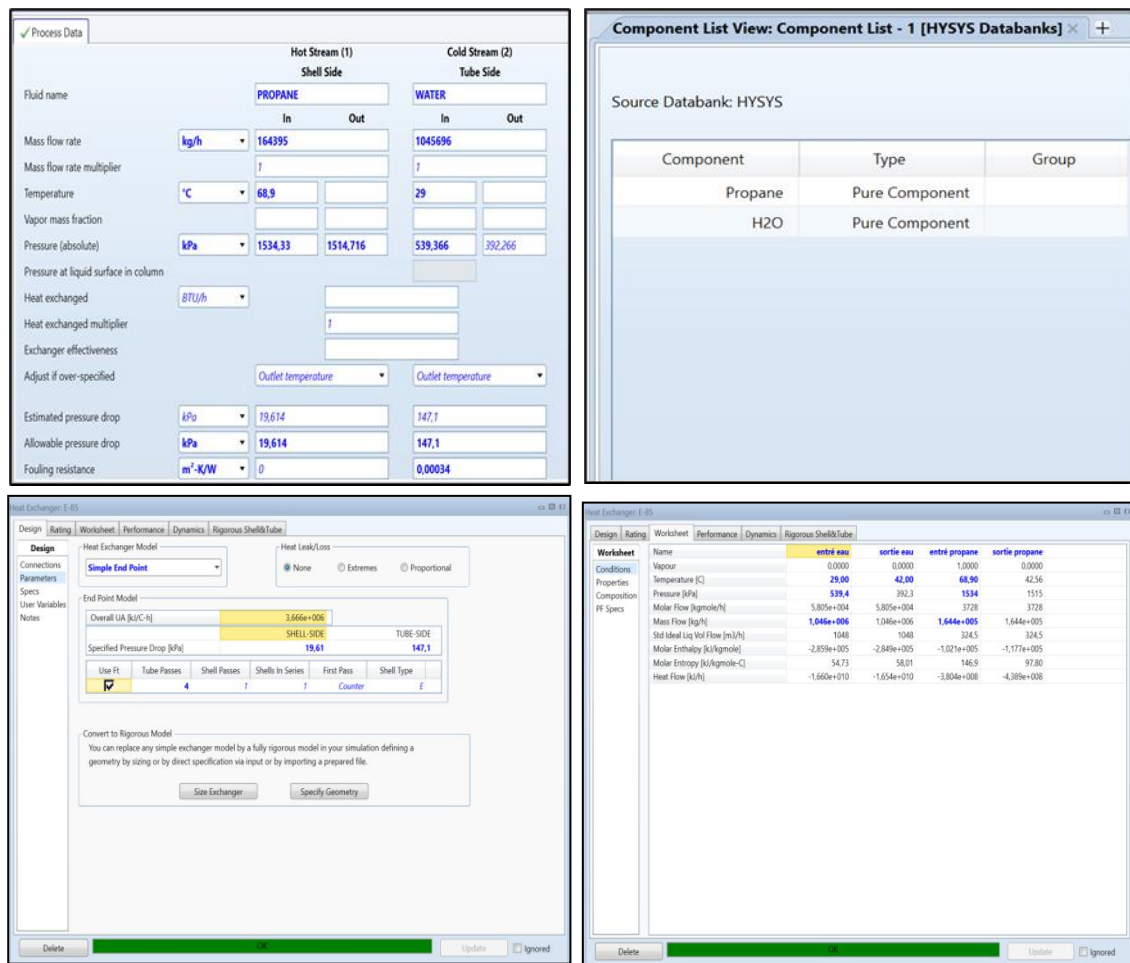


Figure IV.2. La saisie des composants et leurs propriétés EDR/Hysys

### Étape 3 : définir la géométrie de l'échangeur

Dans cette partie on introduit les caractéristiques coté tube et coté calandre (les diamètres extérieurs et intérieurs, le nombre et la longueur de tube, le nombre de passe, épaisseur)

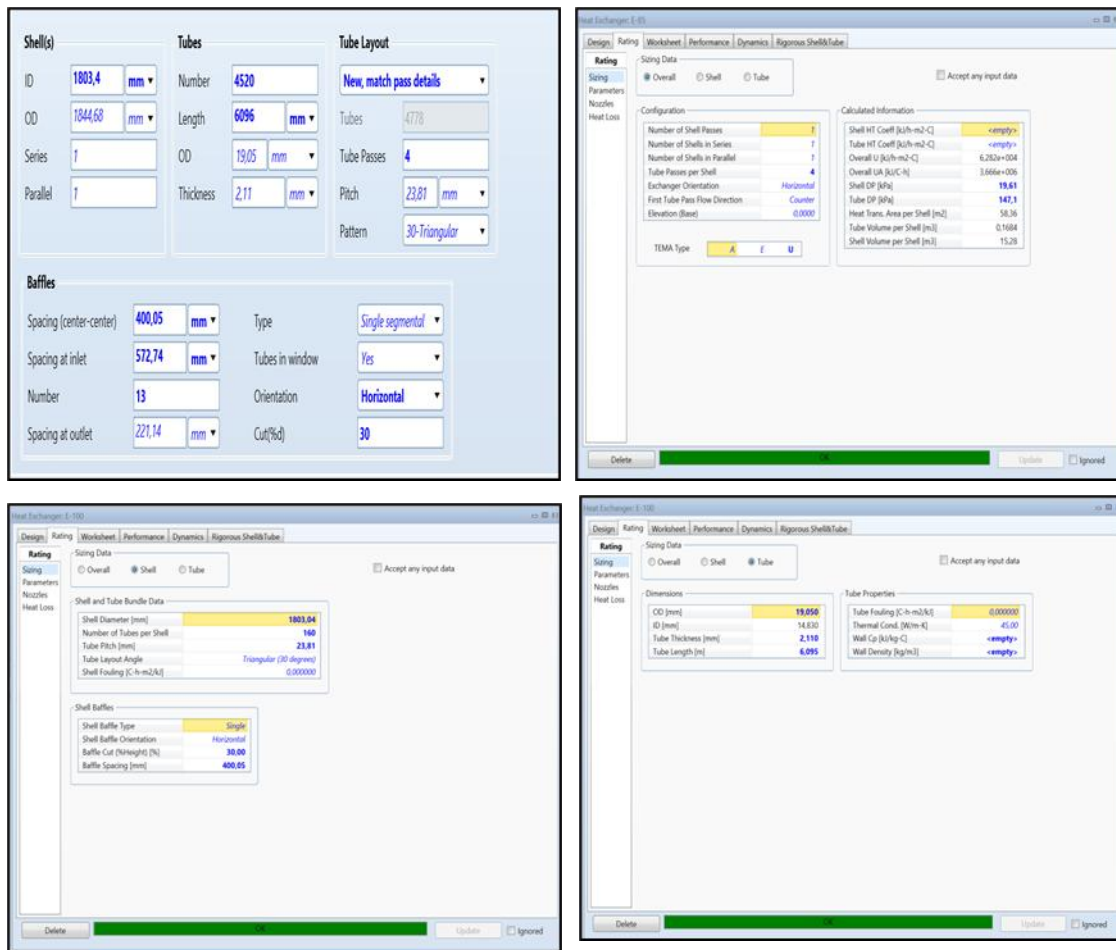


Figure IV.3. Géométrie de l'échangeur EDR/Hysys

#### Étape 4 : le choix de fluide package

Le modèle thermodynamique choisie est **Peng-Robinson** en raison de sa précision dans la simulation des hydrocarbures légers avec changement de phase et aussi pour sa compatibilité avec l'eau liquide dans les plages de température et pression de notre étude.

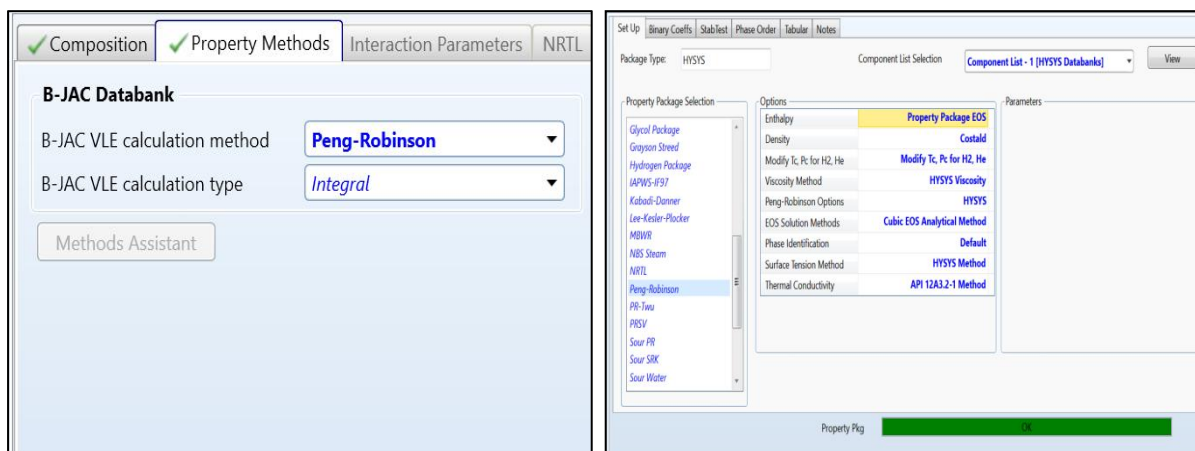


Figure IV.4. Fluide package EDR/Hysys

## Étape 5 : le choix du matériau

Cette partie consiste à sélectionner le matériau approprié pour les tubes et la calandre de l'échangeur. Le choix s'est porté sur l'acier au carbone, en raison de sa large disponibilité, de sa bonne résistance aux hautes pressions ainsi que de son coût relativement faible, ce qui en fait un matériau couramment utilisé dans les applications industrielles.

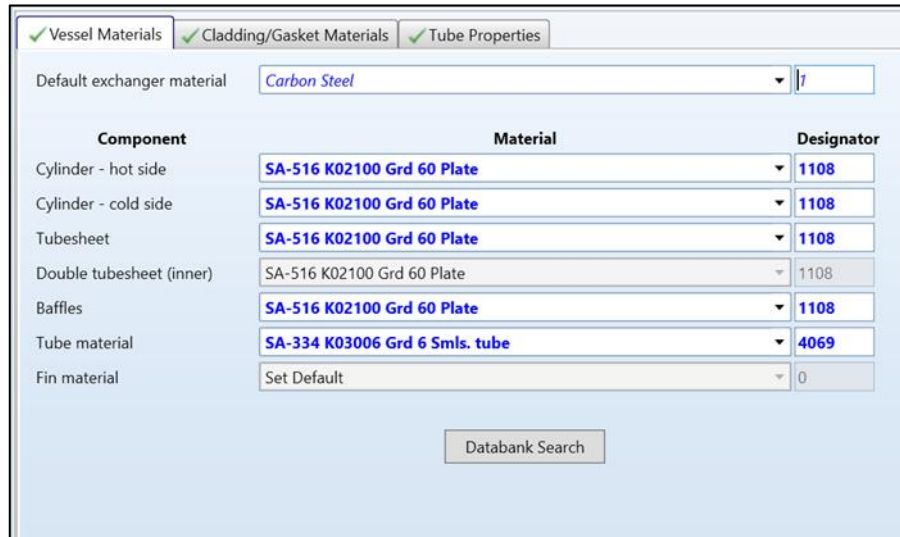


Figure IV.5. Matériau de l'échangeur

Tableaux récapitulatifs des résultats simulés :

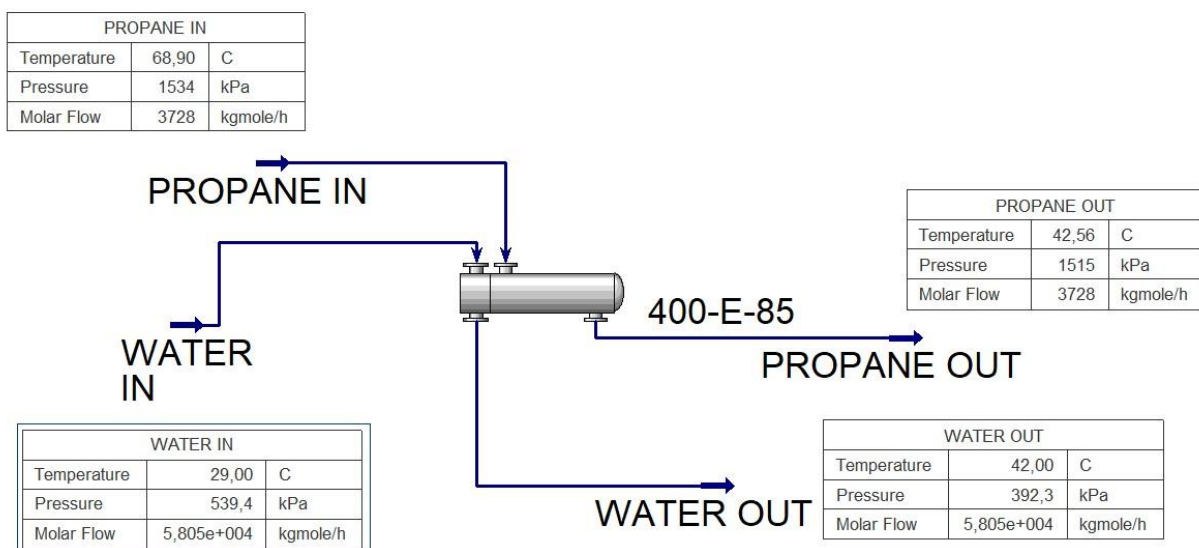


Figure IV.6. Tableaux récapitulatifs des résultats simulés

Paramètres	Résultats simulés par Hysys	Résultats simulés par EDR
La puissance thermique(kW)	16250,01	15066,2
DTLM(°C)	19,47	21,54

<b>Coefficient de transfert global (W/m<sup>2</sup>.C°)</b>	596,09	551,4
<b>La surface d'échange (m<sup>2</sup>)</b>	1714,37	1761,2
<b>Nombre des tubes</b>	4520	4520
<b>La perte de charge <math>\Delta P</math> côté tube (kPa)</b>	147,1	147,1
<b>La perte de charge <math>\Delta P</math> côté calandre (kPa)</b>	19,61	19,614

Après avoir analysé les résultats, on remarque une proximité entre les données obtenues par les calculs et simulées. Ainsi, on conclue que le dimensionnement de l'échangeur est conforme aux choix pour les deux logiciels.

#### **IV. Conclusion**

La simulation de l'échangeur de chaleur E-85 avec les logiciels Aspen HYSYS ainsi qu'Aspen EDR a servi à confirmer le dimensionnement de l'équipement car les deux outils ont donné des résultats semblables. L'évaluation précise des performances thermiques du système a été possible, moyennant une modélisation rigoureuse tenant compte des propriétés des fluides, la géométrie de l'échangeur, les conditions opératoires ainsi que le choix du fluide caloporteur et du matériau. Les deux simulateurs sont donc fiables pour l'analyse ainsi que pour l'optimisation des procédés thermiques. Cette fiabilité est confirmée par les résultats obtenus, comme la puissance thermique échangée, la surface d'échange et le coefficient de transfert global. En ingénierie des procédés, bien sûr, cette approche par simulation est bien un outil indispensable pour concevoir comme pour améliorer les unités industrielles.

## V. RESULTAT ET DISCUSSION

### V.1. Discussions des résultats :

Après avoir effectué le dimensionnement de l'échangeur de chaleur E-85, Aspen EDR nous a permis de faire une simulation de cet échangeur pour valider les résultats obtenus précédemment par le calcul. Selon les données techniques et les conditions de fonctionnement de l'échangeur la simulation génère la fiche technique de type TEMA Sheet qui synthétise l'ensemble des caractéristiques thermique

- ✓ La quantité de chaleur calculée est de  $16020,52kW$  tandis que celui obtenu par le simulateur est de  $15066,2kW$ , l'écart trouvé due aux hypothèses idéalisées et les approximations dans le calcul, au contraire le logiciel de simulation prend des conditions plus réelles de l'opération ce qui influence la valeur de la quantité de chaleur.
- ✓ La surface d'échange trouvée par le calcul est  $1776,11 m^2$  et la simulation donne une valeur de  $1761,2 m^2$ , on constate que les deux valeurs sont très proches ce qui explique la bonne correspondance entre le calcul manuel et la simulation et la validité du dimensionnement
- ✓ Le nombre de tube calculé est  $4866 tubes$  et la simulation estime une valeur de  $4520 tubes$ , cette différence montre que le logiciel prend en considération les contraintes de la conception réelle alors que dans le calcul le nombre de tube est déterminé à partir de la surface d'échange
- ✓ Le coefficient global obtenu par calcul est  $500W/m^2 °C$  tandis que celui trouvé par l'EDR est  $551,4 W/m^2 °C$ , l'écart obtenu due aux formules simplifiées utilisés lors du calcul, en revanche le logiciel prend en considération les détails techniques de l'échangeur

### V.2. Effet des paramètres thermique sur l'efficacité de l'échangeur :

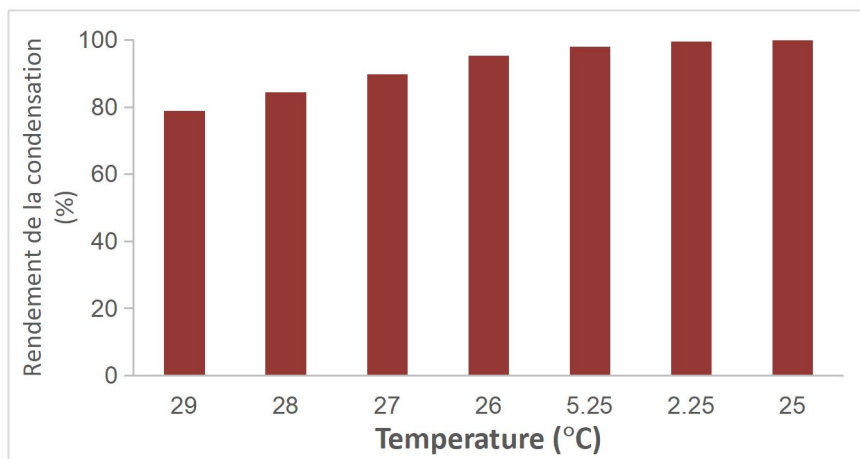
A fin d'améliorer les performances thermiques de notre échangeur E-85, nous avons effectués des variations sur quelques conditions de fonctionnement de ce dispositif. Afin de mieux comprendre l'impact de ces modifications, nous avons réalisés plusieurs tableaux après chaque variation pour résumer les résultats obtenus et donner des informations précieuses pour évaluer les effets des modifications apportées sur les performances de cet échangeur. Dans le but d'optimiser la condensation du propane à la sortie, plusieurs paramètres ont été étudiés : **débit d'eau à l'entrée, la température d'entrée d'eau, la pression et la température de propane à l'entrée.**

#### V.2.1. Effet de la température d'eau d'entrée sur le rendement de condensation

On fait la variation de la température de l'entrée de l'eau froid jusqu'à avoir une condensation totale de propane à la sortie de condenseur.

**Tableau V.1. Effet de la température d'eau d'entrée**

Température °C	Phase vapeur (in/out) Kg/s		Rendement(%)
29	45,6653	9,6338	78,90
28	45,6653	7,1445	84,35
27	45,6653	4,6387	89,84
26	45,6653	2,1011	95,39
25,5	45,6653	0,938	97,94
25,2	45,6653	0,2217	99,51
25	45,6653	0	100



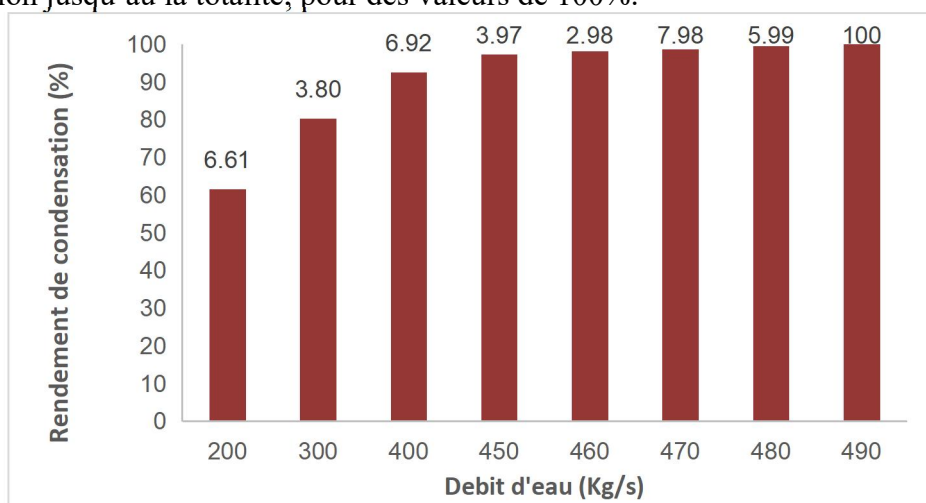
**Figure V.1. Effet de la température d'entrée d'eau sur le rendement de la condensation**  
 L'efficacité du condenseur augmente avec l'abaissement de la température d'entrée de l'eau. A des températures élevées, la fraction de la vapeur à la sortie de condenseur augmente par et la condensation diminue. D'après ces résultats que nous avons obtenus de logiciel on constate que la condensation totale ( $\eta=100\%$ ) se produit à une température de 25 °C .

**V.2.2. Effet du débit massique d'eau sur le rendement de la condensation**

**Tableau V.2. Effet du débit massique d'eau**

Débit (Kg/s)	Phase vapeur (in/out) Kg/s		R(%)
200	45,6653	17,5309	61,6
300	45,6653	8,9814	80,3
400	45,6653	3,3754	92,6
450	45,6653	1,1931	97,3
460	45,6653	0,8213	98,2
470	45,6653	0,5628	98,7
480	45,6653	0,2171	99,5
490	45,6653	0	100

L'amélioration du rendement de condenseur dépend du débit de l'eau à l'entrée. Les résultats obtenus montrent une relation inverse entre le débit et le rendement de condensation. A des faibles valeurs du débit, des traces de vapeurs sont observés dans le flux de propane à la sortie, ce qui signifie que la condensation n'est pas totale. L'augmentation du débit améliore la condensation jusqu'à la totalité, pour des valeurs de 100%.



**Figure V.2. Effet de la température d'entrée d'eau sur le rendement de la condensation**

### V.2.3.Effet de la pression d'entrée du propane sur le rendement de condensation

Tableau V.3.Effet de la pression d'entrée du propane

Pression (kPa)	Phase vapeur (in/out)		Rendement (%)
	Kg/s		
1200	45,6653	39,6078	13,2
1300	45,6653	30,472	33,2
1400	45,6653	21,4843	52,9
1500	45,6653	12,7666	72
1600	45,6653	4,0235	91,1
1700	45,6653	0	100

D'après la variation de pression de propane à l'entrée on remarque que la condensation de fluide ce fait à des hautes pressions. On observe aussi que quand la pression est de valeur 1200kPa le rendement de la condensation est 13,2% cette valeur indique que le condenseur n'est pas performant, bien que a des valeurs plus grandes on atteint la condensation totale est la fraction de vapeur à la sortie est zéro.

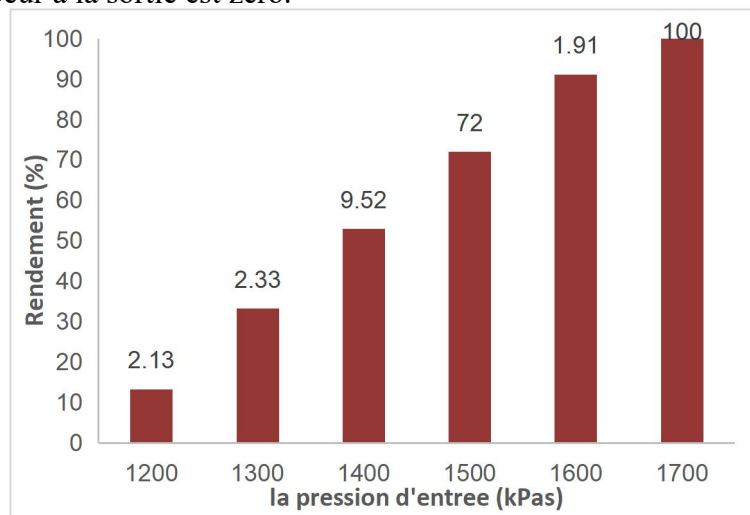


Figure V.3. Effet de la température d'entrée d'eau sur le rendement de la condensation

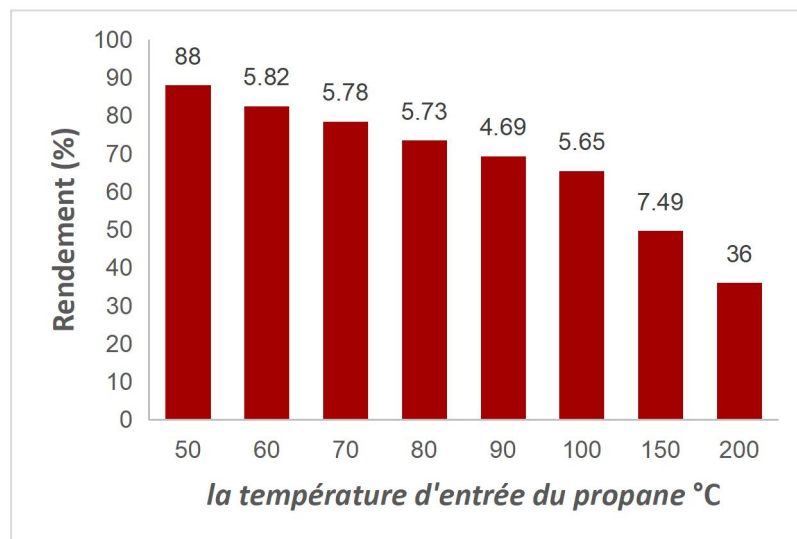
### V.2.4. Effet de la température d'entrée du propane sur le rendement de condensation

Tableau V.4.Effet de la température d'entrée du propane

Température (°C)	Phase vapeur (in/out)		Rendement (%)
	Kg/s		
200	45,6653	29,2197	36
150	45,6653	22,9597	49,7
100	45,6653	15,7505	65,5
90	45,6653	13,9685	69,4
80	45,6653	12,0786	73,5
70	45,6653	9,8136	78,5
60	45,6653	7,9703	82,5
50	45,6653	5,4315	88
45	0	0	/

Dans le but de l'identification et la confirmation de la température de condensation du propane nous avons accompli une étude basant sur la variation de la température du propane à l'entrée de condenseur et son influence sur le rendement de condensation. Les résultats

obtenus montre que l'intervalle de température plus de 40 °C implique une faible condensation du propane. En revanche, lorsque la température atteint les 45°C il y pas une condensation est le propane entre sous forme de liquide dans le condenseur. De ce fait donc, cette étude permet bien de confirmer la température de condensation du propane est 45°C.



**Figure V.4. Effet de la température d'entrée du propane sur le rendement de la condensation**

#### V.2.5. Effet de l'encrassement du tube sur le rendement de condensation

**Tableau V.5.Effet de l'encrassement du tube**

L'encrassement	Phase vapeur (in/out)		Rendement (%)
	Kg/s		
0,005	45,6653	40,1024	12,1
0,001	45,6653	20,817	54,4
0,0005	45,6653	12,9803	71,5
0,0003	45,6653	8,6675	81
0,0002	45,6653	6,3224	86,1
0,0001	45,6653	3,7698	91,7
0,00005	45,6653	2,4346	94,6
0,00001	45,6653	1,4528	96,8
0,0000005	45,6653	0,9	98
0,00000001	45,6653	0,8825	98

D'après les résultats, on conclut que plus la valeur de l'encrassement est importante, plus la condensation du propane sera limitée. Cela signifie qu'il y a une limitation dans le transfert thermique. Tandis que si l'on abaisse la valeur de l'encrassement, le rendement de condensation augmente jusqu'à une valeur de 98 %. C'est une valeur maximale on ne peut pas dépasser cette valeur car il est impossible d'éliminé à 100% l'effet de l'encrassement qui est causé par l'eau de refroidissement.

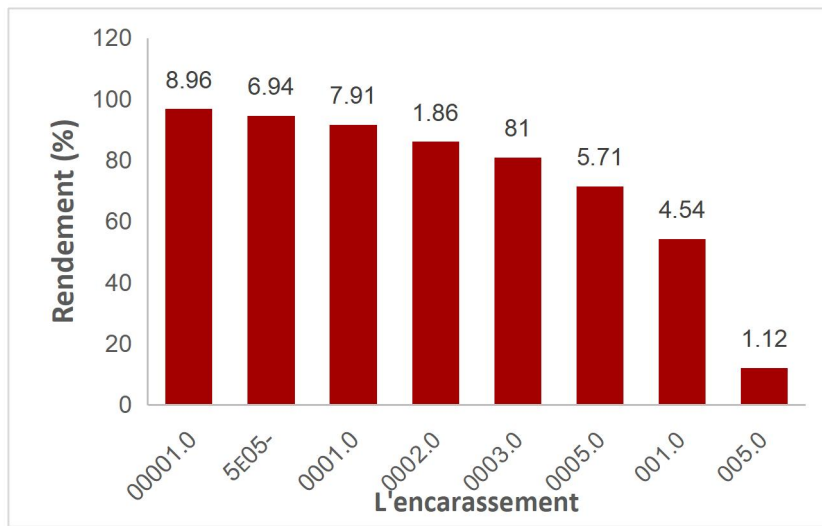


Figure V.5. Effet de l'encrassement propane sur le rendement de la condensation

### V.2.6. Étude d'invariance paramétrique dans le système simulé :

Tableau V.6. Variables indépendants/ dépendants

Variables indépendants	Variables dépendants	Résultats / Remarque
La longueur des tubes	La température de l'eau	Pas d'effet significatif sur la température de l'eau
Diamètre intérieur de tube	La fraction de vapeur à la sortie	Pas une influence sur la fraction vapeur de propane

### V. 3. Etude comparative de solutions pour améliorer la condensation du propane

Les conditions thermiques du procédé influencent directement la condensation du propane à la sortie ce qui font elles influencent l'efficacité et le bon fonctionnement de l'échangeur, à cet effet ce chapitre propose une solution pour abaisser la température de propane avant d'entrée dans le condenseur c'est pour cela on a choisi le refroidisseur.

#### IV.3.1. Les étapes de simulation :

##### Etape 1 : Le choix des composants

Première phase de la simulation du procédé avec Aspen HYSYS est de définir la liste de tous les composants existants dans le procédé étudié.

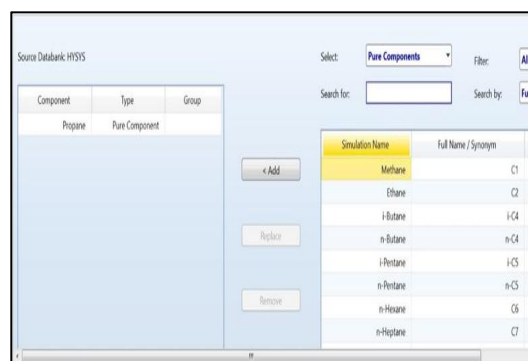
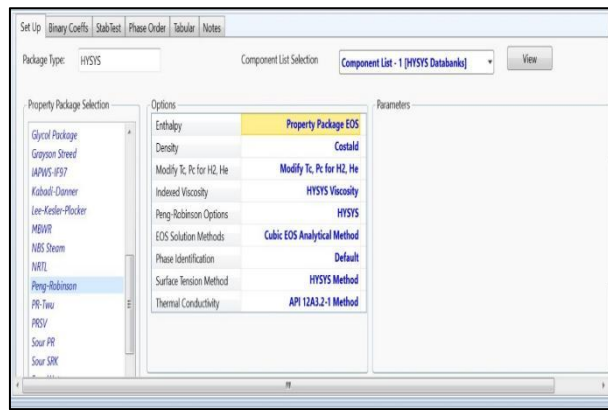


Figure V.6. Components List

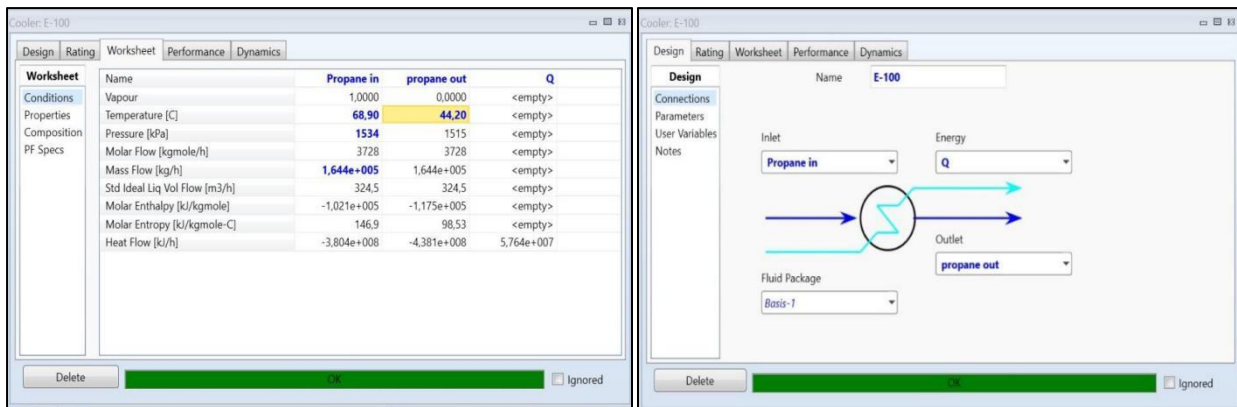
##### Etape 2 : Le choix de fluide package :



**Figure V.7.Fluide package**

Dans le cadre de cette étude, le modèle thermodynamique sélectionné est *Peng-Robinson (PR)*. Il convient aux systèmes complexes du secteur de la pétrochimie. Nous choisissons le modèle PR surtout car il est fiable sur de larges plages soit de température soit de pression. En outre, il modélise avec efficacité les composants majeurs du système.

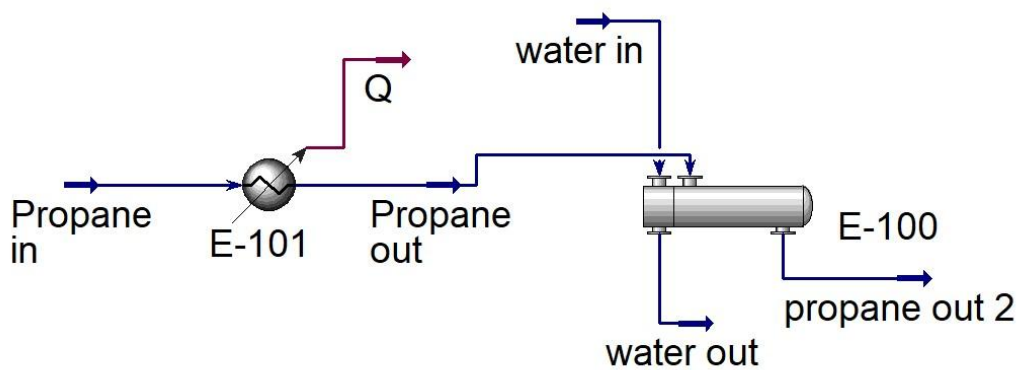
**Etape 3 : L'intégration des paramètres de fluide**



**Figure V.8.Worksheet/Design**

Dans Aspen HYSYS, on entre les paramètres du fluide en se basant sur les données que l'on trouve dans la fiche technique. Cela inclut ordinairement la température ainsi que la pression, le débit massique du fluide et la fraction massique.

**Etape 4 : Le résultat de simulation :**



**Figure V.9.Simulation d'un refroidisseur**

#### **IV.8.Conclusion :**

Après une discussion avec les ingénieurs de Sonatrach nous aient spécifié qu'il n'était pas possible de modifier l'ensemble des paramètres du procédé tel que la pression et le débit, sauf que la température et le seul paramètre que on peut le varier, nous avons tout de même tentais des essais en faisant varier plusieurs paramètres, pour avoir un bon rendement de condenseur est assure la condensation optimale.À partir de ces résultats obtenus on a déterminé que la température d'eau à l'entrée de condenseur est le paramètre qui favorise la condensation complète du propane. Certainement, le transfert de chaleur s'améliore lorsque le gradient thermique entre le propane chaud et l'eau froide augmente avec une eau de refroidissement plus froide. Cette amélioration favorise la condensation du propane, car elle abaisse sa température en dessous de son point de rosée. Inversement, la quantité de propane condensé est limitée par une eau d'entrée plus chaude, laquelle réduit l'efficacité de l'échange thermique. De ce fait, l'eau entrant plus froide accroît directement la condensation. Ce paramètre est important donc afin de contrôler thermiquement le procédé.

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce projet était l'étude de performance d'un échangeur de chaleur E-85 de type tube et calandre de l'unité 400 du RA1K afin d'améliorer la condensation du propane. Un calcul a été réalisé pour confirmer les résultats obtenus par le concepteur, et la simulation qui a été mise en œuvre par Aspen Hysys et Aspen EDR nous a permis de trouver les conditions optimales pour assurer une condensation efficace du propane.

Dans un premier lieu un calcul a été réalisé en basant sur les propriétés thermodynamiques des deux fluides circulant dans le condenseur pour confirmer les résultats du concepteur de cet échangeur, où on a commencé par le calcul de la quantité de chaleur échangée, la différence de température logarithmique moyenne et celle corrigée pour avoir une surface d'échange de  $1776,11m^2$  et un coefficient global d'échange d'une valeur de  $500 W/m^2C$ .

Dans le but d'obtenir une condensation maximale, deux solutions ont été réalisées par le simulateur Hysys et EDR, la première solution est de faire abaisser la température d'eau à l'entrée jusqu'à  $25^{\circ}C$ , cette solution conduit à une condensation 100% du propane qui est un objectif visé de cette étude, d'autres variations ont été effectuées sur longueur des tubes et le diamètre intérieur de tube, le résultat obtenu indique que ces paramètres n'ont pas une influence sur la condensation du propane, une autre variation est mise en œuvre dont on a varié la pression, le débit cela vérifie que ces paramètres de fonctionnement sont fixes et non ajustables en raison de la sécurité du procédé existant. La température est le seul paramètre que l'on peut le varier dans le cas réel.

La deuxième solution est de placer un refroidisseur en amont de l'échangeur E-85 dans le but de pré-refroidir le propane avant son entrée dans l'échangeur principale, cette solution garantit l'entrée du propane dans l'échangeur E-85 à une température proche à celle de sa condensation ce qui assure une condensation totale du propane et aussi réduire la charge thermique sur l'échangeur principal.

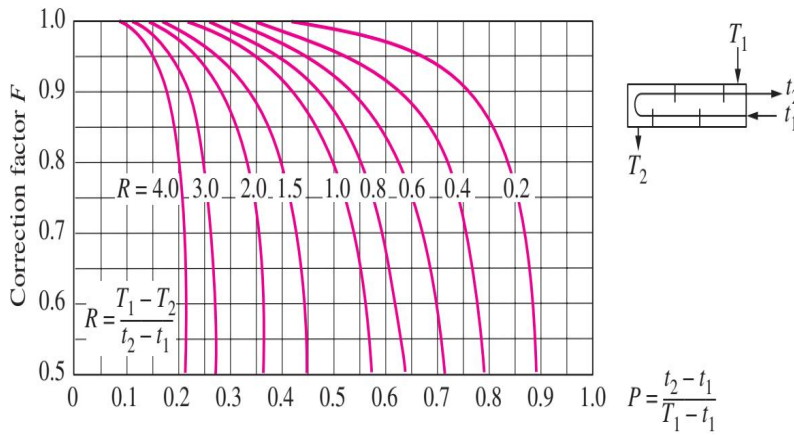
Ce projet a mis en évidence que l'optimisation des conditions opératoires de l'échangeur de chaleur ainsi que l'installation du refroidisseur favorise son fonctionnement et assure un meilleur résultat par rapport à la condensation du propane, et que l'utilisation des simulateurs est importante et facilite la prise des décisions concernant les procédés industriels.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdelfattah, Nouri.Extraction des aromatiques étude d'un échangeur 200-E2. 2014.
2. Sonatrach.Rapport Annuel . 2022.
3. Noureddine, Ghedairi et Abdeltouab, Chacha Mohamed.Étude Le circuit de réfrigération dans la cristallisation du paraxylène. 2022.
4. Manuel d'opération et de maintenance, unité de récupération paraxylène (unité NO:400). SKIKDA, ALGERIE : s.n., 2012.
5. procédés de séparation, le raffinage du pétrole. WAUQUIER, J.P. s.l. : Editions Technip, 1998.
6. Institut National Polytechnique De Lorraine Ecole Doctorale Sciences Et Ingénierie Des Ressources, Procédés, Produits, Environnement Laboratoire De Réactions Et Génie Des Procédés ( Application A La Séparation Réactive Des C8 Aromatiques) .
7. XYLENE. J.-M.BRIGNON. 2006.
8. Manuelle opératoire de l'unité 400 de cristallisation du paraxylène RA1K.
9. Données technico- économiques sur les substances chimiques en France – Xylène [PDF]. Portail Substances Chimiques. INERIS. 2005.
10. Manuel Opératoire unité 200 GTC.
11. Toxicological Profile for Xylene. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. (ATSDR), Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007.
12. Introduction aux échangeurs thermiques industriels et au calcul des échangeurs de chaleur. Oran : Faculté de Chimie, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), 2022.
13. Critères de classement des échangeurs. Bontemps, A., Garrigue, A., Goubier, C., Huetz, J., Marvillet, C., Mercier, P. & Vidil, R. france : s.n., 1995.
14. Quiri Exchanges Thermiques. [En ligne] [Citation : 17 04 2025.] <https://www.quiri.com/fr/echangeur-thermique/glossaire-echangeurs-thermiques/condenseur/>.
15. Chemical Engineering Guy. [En ligne] [Citation : 02 05 2025.] <https://chemicalengineeringguy.com>.
16. Imene, Fodil Pacha et Hadjila, Trad.Etude et dimensionnement d'un échangeur de chaleur multitubulaire. 2019.
17. FATIMA, BOUDEN.Etude du Remplacement de L'échangeur de Chaleur A Plaque par un Echangeur Tubes-Calandre. 2017.
18. E.Ludwig, Ernest.Applied precess design for chamental and petrochemical plants. s.l. : Gulf professional publishing .

# ANNEXES

## Annexe 1: Graphe pour calculer le facteur de correction



## Annexe 2: Data sheet

KRUEGER ENGINEERING & MFG CO., INC				Page
				SI/Hr Units
1	Customer MHI			Job No.
2	Address			Reference No.
3	Plant Location			Proposal No.
4	Service of Unit Propane Condenser			Date 400-E-85
5	Size 1803.40 x 6096.00 mm			Item No. 400-E-85
6	Type AJ21U			Horz. Connected In 1 Parallel 1 Series
7	Surf/Unit (Gross/Eff) 4180.96 / 4120.41 m <sup>2</sup>			Surf/Shell (Gross/Eff) 4180.96 / 4120.41 m <sup>2</sup>
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT			
9	Fluid Allocation		Shell Side	Tube Side
10	Fluid Name		Propane	Cooling Water
11	Fluid Quantity, Total		164395	1045695
12	Vapor (In/Out)		164395	1045695
13	Liquid		164395	1045695
14	Steam			1045695
15	Water			1045695
16	Noncondensables			29.00
17	Temperature (In/Out) C		68.90	45.00
18	Specific Gravity		0.4507	0.9966
19	Viscosity		0.0758	0.8144
20	Molecular Weight, Vapor		44.1	18.0
21	Molecular Weight, Noncondensables			
22	Specific Heat, kJ/kg-C		2.4244	3.1938
23	Thermal Conductivity, W/m-C		0.0262	0.0886
24	Latent Heat, kJ/kg		291.401	291.863
25	Inlet Pressure, kPa		1534.33	539.366
26	Velocity, m/s		0.95	2.05
27	Pressure Drop, Allow/Calc, kPa		19.614	6.780
28	Fouling Resistance (min), m <sup>2</sup> -K/W			147.100
29	Heat Exchanged, MegaWatts 15.9071		MTD (Corrected) 10.6 C	0.000344
30	Transfer Rate, Service 365.94 W/m <sup>2</sup> -K		Clean 893.02 W/m <sup>2</sup> -K	Actual 408.22 W/m <sup>2</sup> -K
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL			
32	Design/Test Pressure, kPaG		1861.35 / PV Code	1520.05 / Code
33	Design Temperature, C		150.00 / -43	100.00 / 0.0
34	No Passes per Shell		1	4
35	Corrosion Allowance, mm		3.2	3.2
36	Connections, In		2 @ 12" 300#	1 @ 20" 300#
37	Size & Out, mm		1 @ 16" 300#	1 @ 20 300#
38	Rating		Intermediate	@
39	Tube No. #2600		OD 19.050 mm	Thk(Avg) 2.108 mm
40	Tube Type		Low Fin	Length 6.096 m
41	Shell ID 1803.40 mm		SA-516-60N	Material Seamless SA-334
42	Channel or Bonnet		SA-516-60N	Shell Cover
43	Tubesheet-Stationary		SA-516-60N	Channel Cover
44	Floating Head Cover			Tubesheet-Floating
45	Baffles-Cross		CS	Impingement Plate
46	Baffles-Long		CS	Impingement Plate
47	Support-Tube		U-Band	Impingement Plate
48	Bypass Seal Arrangement		Tube-Tubesheet Joint	Impingement Plate
49	Expansion Joint		Type	Impingement Plate
50	Rho-V2-Inlet Nozzle		3278.83 kg/m <sup>2</sup>	Bundle Entrance 541.71
51	Gaskets-Shell Side			Bundle Exit 272.47
52	Floating Head			kg/m <sup>2</sup>
53	Code Requirements		ASME Sect. VIII, Div.1	TEMA Class R
54	Weight/Shell 46300		Filled with Water 66900	Bundle 31160
55	Remarks: Quoting 'single segmental' baffles.			
56	Full support plate at U-bends. Anti-vibration baffles at shell inlet nozzles.			
57	Exchanger includes 10% excess surface area.			
58	Tube wall thickness is prior to finning.			
59	Insulation Thickness - N/A			