

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie des Procédés

Mémoire de projet de fin d'Etudes

**Simulation du système de
refroidissement du résidu dans l'unité
TOPPING RA1K-Skikda**

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique

Présenté par :

Sebti Izdihar

Kara Hiba Rayane

Sous la Direction de :

Pr. Lahiouel Yasmina

2020-2021



Remerciements :

Ce travail a été réalisé à l'unité de distillation atmosphérique (U10)

De la raffinerie de Skikda (RAIK).

Nous exprimons notre gratitude à l'encadreur madame LAHIOUEL Y.,

Chef d'équipe au LSPN ; pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable qu'elle porte à tous les étudiants.

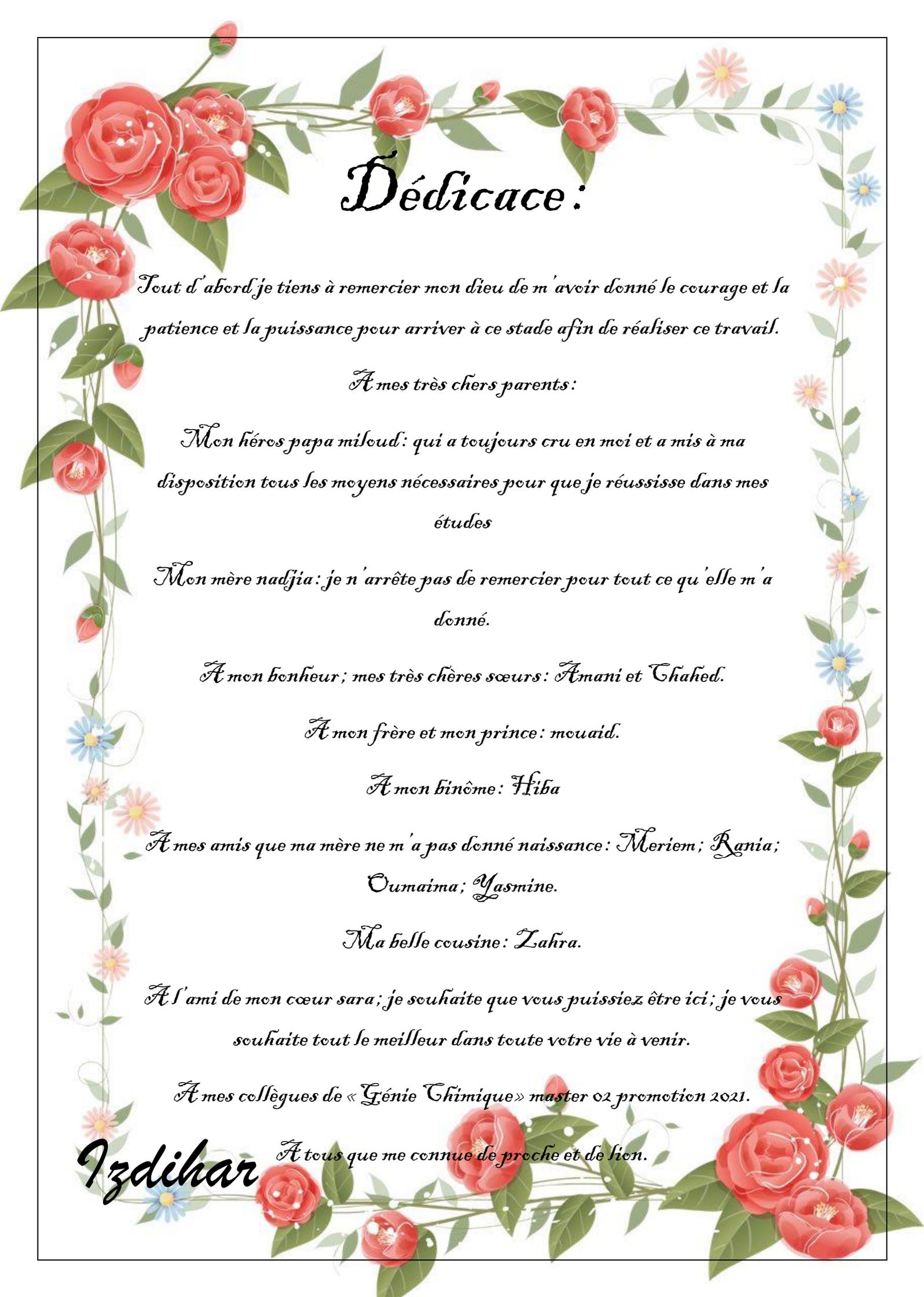
Nous remercions aussi monsieur SASANE M. L., chef de l'unité de distillation atmosphérique pour son aide.

Nous remercions également monsieur FRIHI RAOUF pour les efforts consentis afin de nous fournir les informations et les données sur l'unité.

Nous remercions aussi monsieur BAGHRICHE ILYES d'avoir supporté nos désagréments et toutes nos questions ; et de nous avoir aidées.

Nos remerciements vont aussi à tout le personnel de l'unité de distillation atmosphérique (U10) pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

Nous remercions enfin les membres du jury qui nous font l'honneur de juger notre travail, ainsi que tous les enseignants du département.



Dédicace :

Tout d'abord, je tiens à remercier mon dieu de m'avoir donné le courage et la patience et la puissance pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail.

À mes très chers parents :

Mon héros papa miloud : qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études

Mon mère nadjia : je n'arrête pas de remercier pour tout ce qu'elle m'a donné.

À mon bonheur ; mes très chères sœurs : Amani et Chahed.

À mon frère et mon prince : mouaid.

À mon binôme : Hiba

*À mes amis que ma mère ne m'a pas donné naissance : Meriem ; Rania ;
Oumaima ; Yasmine.*

Ma belle cousine : Zahra.

À l'ami de mon cœur sara ; je souhaite que vous puissiez être ici ; je vous souhaite tout le meilleur dans toute votre vie à venir.

À mes collègues de « Génie Chimique » master 02 promotion 2021.

Izdihar *À tous que me connue de proche et de loin.*

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents, pour leur amour,

Encouragements, sacrifice, soutien,

Affection et confiance en moi.

Mes chers frères Zakaria, Youcef

Et ma jolie sœur Aya.

Ma grande famille Kara et Bourouh.

Mon binôme Izdihar.

Mes amies : Amani, Soundous, Rania,

Oumaima, Meriem, Yasmine.

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Hiba

Table des Matières

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction **1**

Chapitre I : Présentation du site industriel

I.1. Historique sur l'organisation de l'activité raffinage **3**

I.2. Principales raffineries **3**

I.3. Présentation de la Raffinerie de Skikda (RA1/K) **4**

I.3.1. Introduction **4**

I.3.2. Présentation des différentes unités **4**

I.4. Unité de distillation atmosphérique 10/11 (TOPPING) **5**

I.5. Les Débits de la charge et les produits de l'U-10 **6**

Chapitre II : Description de l'unité Topping

II.1. Introduction **9**

II.2. Les processus **10**

II.2.1. Equipement **10**

II.3. Principaux circuits de l'installation **11**

II.3.1. Préchauffage du brut **11**

II.3.2. Fours **12**

II.3.3. Colonne de distillation **14**

II.4. Le résidu atmosphérique **16**

Chapitre III : Système de refroidissement

III.1. Introduction **17**

III.2. Système de refroidissement **17**

III.2.1. Equipement **17**

III.3. Les pompes **17**

III.3.1. Principe de fonctionnement des pompes centrifuges **18**

III.3.2. Amorçage **18**

III.3.3. Caractéristiques **18**

III.3.4. Utilisation **19**

III.3.5. Fonctionnement avec la canalisation de refoulement bouchée	20
III.3.6. Réglage du débit	20
III.4. Les échangeurs	20
III.4.1. Généralités sur les échangeurs	20
III.4.2. Principe de fonctionnement des échangeurs	21
III.4.3. Les types d'échangeurs de chaleur	21
III.5. Le condenseur	23
III.5.1. Bac à condensats	23
III.5.2. Réservoir d'alimentation en eau	23
III.5.3. Tour de refroidissement	23
III.6. Aéroréfrigérants	24
III.7. Conclusion	26
Chapitre IV : Description du simulateur HYSYS	
IV. 1. Introduction	27
IV .2. Définition du logiciel HYSYS	27
IV .3. Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS	27
IV .4. Concepts de base du simulateur HYSYS	28
IV .5. Les modèles thermodynamiques de HYSYS	29
IV .5.1. Les équations d'état	29
IV .5.2. Equation de REDLICH-K WONG (RK)	29
IV .5.3. Equation de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK)	29
IV .5.4. Equation de PENG-ROBINSON (PR)	30
IV .5.5.Choix du modèle thermodynamique	32
IV. 6. Conclusion	32
Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées	
V.1.Introduction	34
V.2. L'installation de système de refroidissement d'unité 10	34
V.3. Première solution	45
V.4. Deuxième solution	52
V.3. Discussion des résultats	57
Conclusion générale	58
Bibliographie	59

Résumé :

Les systèmes de refroidissement sont des équipements très utilisés dans l'industrie du raffinage et de la pétrochimie, de là le but de ce travail est d'apporter une solution au problème de hausse de la température du résidu atmosphérique qui n'est pas dans les normes requises après son passage dans le système de refroidissement au niveau de l'unité de distillation atmosphérique (U10) dans la raffinerie RA1K de Skikda avec l'utilisation du logiciel de simulation HYSYS.

Abstract:

Cooling systems are equipment widely used in the refining and petrochemical industry, hence the aim of this work is to provide a solution to the problem of the rise in temperature of the atmospheric residue which is not in the standards required after passing through the cooling system at the atmospheric distillation unit (U10) in the RA1K refinery in Skikda with the use of the HYSYS simulation software.

الملخص:

أنظمة التبريد هي معدات مستخدمة على نطاق واسع في صناعة التكرير والبتروكيماويات، وبالتالي فإن الهدف من هذا العمل هو توفير حل لمشكلة ارتفاع درجة حرارة بقايا التقطير الجوي التي ليست في المعايير المطلوبة بعد المرور عبر نظام التبريد بوحدة التقطير الجوي (U10) في مصفاة RA1K بسكيكدة باستخدام برنامج المحاكاة HYSYS.

Liste des abréviations

Symbole :	Le sens :
A	Pression interne
B	Covolume
P	Pression
P_c	La pression au point critique
T	Température
T_c	La température au point critique
R	Constante des gaz parfait
V	Volume
K_{ij}	Paramètre d'interaction binaire entre le corps i et le corps j
API	American petroleum institute.
BPSD	Behavioral and Psychological Symptoms in Dementia.
BS	Black Carbon
CCR	Procédé de reformage catalytique continu
CS	Chao-Seader
ERDP	L'entreprise nationale de raffinage et de distribution de produits pétrolières.
HF	Hydrofluoric acid
GS	Grayson-Streed
MBWR	Modification de l'équation Benedict Webb Rubin
Mt	Metric ton 1MT=1000Kg
MMTPA	Million metric ton per annum
NRTL	Non-Random Two Liquids
Parfums B.T.X	Le mixte de benzène et toluène et trois xylène isomères
PRSV	Peng-Robinson Stryjek-Vera
TEP	Tonne d'équivalent pétrole
TVR	Tension de vapeur reid
ZJ	Zudkevitch Joffee

Liste des figures

<u>FIGURE</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
Figure I.1	Principales raffineries en Algérie.	4
Figure I.2	Les différentes unités de RA1/K.	5
Figure II.1	Distillation atmosphérique.	9
Figure II.2	Four cabine d'U10.	12
Figure II.3	Serpentins du four topping.	13
Figure II.4	Schéma de distillation atmosphérique dans une seule colonne.	15
Figure III.1	Echangeur double tubes.	21
Figure III.2	Echangeur à faisceau et calandre.	22
Figure III.3	Echangeur à plaques.	22
Figure III.4	Circulation de l'air dans les aéroréfrigérants : A. Air induit. B. Air forcé	25
Figure V.1	Démarrage de HYSYS.	34
Figure V.2	Constitution de la matière.	35
Figure V.3	Liste des compositions de résidu atmosphérique.	36
Figure V.4	Ajouter l'eau.	36
Figure V.5	Choix de l'équation d'Etat dans Fluid Pkgs.	37
Figure V.6	Basis-1 « résidu-PR ».	37
Figure V.7	Basis-2 « eau-PR ».	38
Figure V.8	Ajout le premier échangeur E-63	39

Figure V.9	La feuille connections de l'échangeur E-63.	39
Figure V.10	La feuille « worksheet ».	40
Figure V.11	La feuille « composition ».	41
Figure V.12	Le reste des informations.	41
Figure V.13	L'installation de E-63.	42
Figure V.14	Les informations de l'échangeur E-83.	43
Figure V.15	Les informations de l'échangeur E-8.	43
Figure V.16	Les informations de l'échangeur E-22.	44
Figure V.17	L'installation de système de refroidissement.	44
Figure V.18	Les valeurs de sortie du résidu vers le stockage.	45
Figure V.19	Ajouté une pompe P-1.	46
Figure V.20	Feuille connections de la pompe P-1.	46
Figure V.21	La feuille de worksheet « conditions ».	47
Figure V.22	Composition.	47
Figure V.23	Le reste des informations.	48
Figure V.24	Les informations d'E-63.	49
Figure V.25	Les informations de E-83.	49
Figure V.26	Les informations de E-8.	50
Figure V.27	Les informations de E-22.	50
Figure V.28	Les informations de E-100.	51
Figure V.29	L'installation du système de refroidissement modifié.	52

Figure V.30	Les informations sur la pompe P-1.	53
Figure V.31	Les valeurs de sortie de E-63.	53
Figure V.32	Les valeurs de sortie de E-83.	54
Figure V.33	Les valeurs de sortie de E-8	54
Figure V.34	Ajout de la deuxième pompe	55
Figure V.35	Les valeurs de sortie de la deuxième pompe.	55
Figure V.36	Les valeurs de sortie de E-22.	56
Figure V.37	L'installation du système de refroidissement complet.	56

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Titre de tableau	Page
Tableau I.1	Les produits de la Raffinerie	6
Tableau I.2	les débits de la charge et les produits de l'U-10	7
Tableau I.3	Les caractéristiques de la charge brute de Hassi Messaoud	8
Tableau II.1	Les utilisations dans l'unité de distillation	10
Tableau IV.1	la différence entre les équations d'état (SKR et PR)	31
Tableau IV.2	comment faire le choix du modèle thermodynamique dans HYSYS	32

INTRODUCTION

Introduction

Dans l'unité de distillation atmosphérique (Topping) de RA1K de Skikda, divers matériaux sont produits parmi eux il y a le résidu qui est stocké à basse température pour éviter tout problème lors du stockage :

- l'explosion du baquet de stockage.
- gâcher l'installation vers le stockage.

Le résidu est alors refroidi par un système de refroidissement dans les deux unités (U10 et U11). Au cours de notre passage dans la raffinerie, on a constaté que dans l'unité 11 le système fonctionne normalement et le résidu est évacué vers le stockage avec une température de 67,41°C, une valeur dans les normes fixées. Par contre dans l'unité 10, le résidu sort du système de refroidissement à une température de 102°C, qui dépasse largement les normes fixées.

Notre objectif, dans ce mémoire de fin d'étude, est d'essayer de trouver une solution à ce problème qui n'est pas des moindres et dont les répercussions peuvent être très dangereuses pour la population avoisinante, du aux risques de l'explosion et pour l'usine aussi. Nous allons essayer d'utiliser la simulation numérique pour essayer de comprendre la défaillance du système de refroidissement du résidu et la localiser, pour pouvoir, ensuite proposer des solutions à ce problème. Le but est bien évidemment de tenter encore une fois la simulation numérique pour valider ou bien, à la limite, proposer d'autres solutions.

Sachant que le logiciel de simulation numérique HYSYS est un outil de travail très adapté aux installations destinées au pétrole et fractions pétrolières. L'utilisation de la simulation par ce logiciel HYSYS consiste à élaborer un schéma de procédé qui va nous permettre d'étudier un procédé existant ou en projet :

- Sur un procédé existant, elle permet la recherche des origines d'un dysfonctionnement et les alternatives pour y remédier afin d'améliorer leurs performances ;
- Sur un procédé en projet, elle permettrait d'étudier le futur fonctionnement, le dimensionnement des unités, la sécurité de l'installation jusqu'à la prévision de la rentabilité.

Introduction

Notre objectif est donc de réduire la température du résidu et pour ce faire, nous proposons quelques solutions à explorer par la simulation et qui sont axées sur les deux hypothèses suivantes :

- Faire baisser la température de l'eau de refroidissement,
- Ajouter un échangeur de chaleur dans l'installation.

Ces facteurs peuvent affecter considérablement la température du résidu sortant de la colonne de distillation.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DU

SITE INDUSTRIEL

I.1. Historique sur l'organisation de l'activité raffinage :

Au départ, le raffinage était une activité intégrée de la société nationale SONATRACH. A partir du 1^{er} janvier 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers ont été séparés et la société nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDN-NAFTAL) a été créée. ERDP a été par le décret n°80-101 du 6 avril 1980 (dans le cadre de la réorganisation de SONATRACH) et a été créé le 1^{er} janvier 1982. Depuis le 2 février 1985, E.R.D.P subit une transformation sous la dénomination commerciale NAFTAL, qui se subdivise en 04 unités, à savoir :

- Raffinage NAFTAL, distribution, port, unité de maintenance.

Les sociétés NAFTAL sont réparties dans tout le pays. A partir du 25 août 1987, la société nationale NAFTEC de la société nationale NAFTAL a été créée conformément au décret N°87-190, et a été créée le 2 janvier 1988. L'entreprise NAFTEC a pour mission de promouvoir, développer, gérer et organiser l'industrie du raffinage : traitement du pétrole brut et du condensat, ainsi que du brut réduit importé en vue d'obtenir des produits raffinés destinés à la consommation nationale et à l'exportation [Hendaoui.2017].

I.2. Principales raffineries :

Actuellement, cette société nationale de raffinage gère toutes les raffineries dans les cinq villes suivantes : Skikda, Alger, Arzew, In amenas et Hassi Messaoud. La capacité de traitement totale de l'entreprise est de 26 491 100 tonnes/an [Hendaoui.2017].

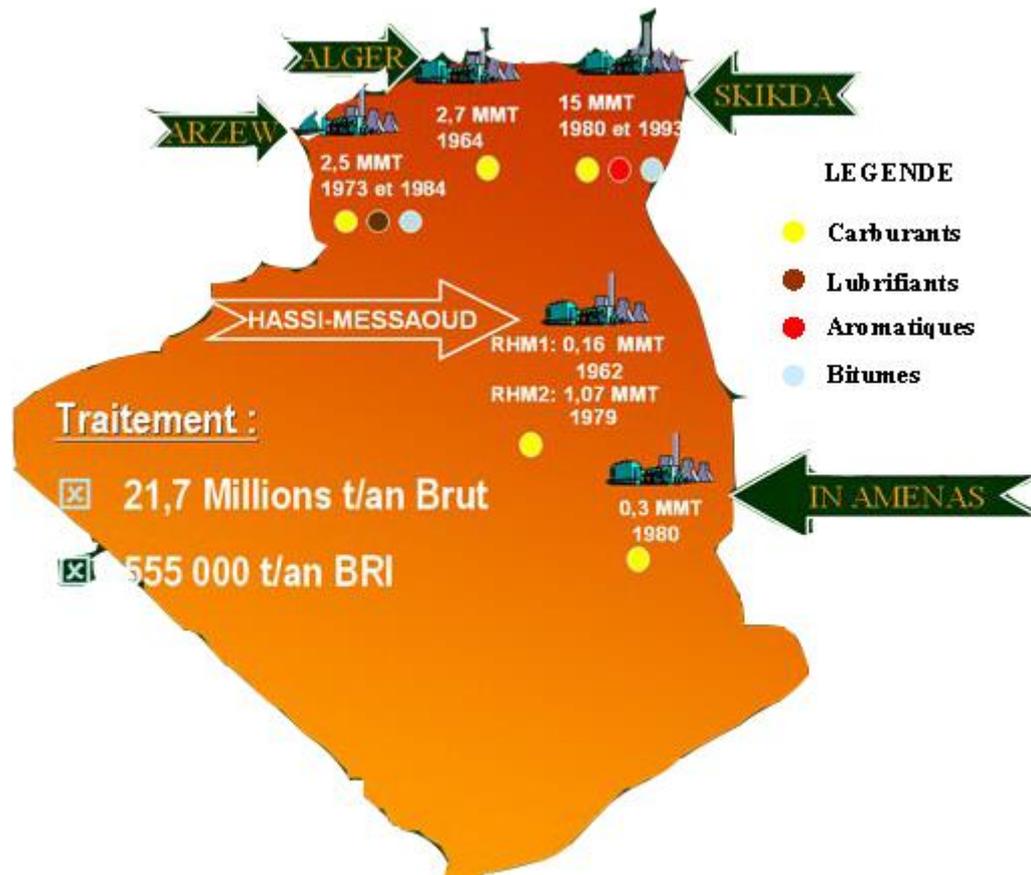


Figure I.1 : Principales raffineries en Algérie [Naftec].

I.3. Présentation de la Raffinerie de Skikda (RA1/K) :

I.3.1. Introduction :

- La raffinerie de SKIKDA s'appelle RA1/K et vise à : raffinage du pétrole brut de Hassi Messaoud avec une capacité de traitement actuelle de 16,5 millions de tonnes /an
- Traiter le Naphtha pour produire des arômes et des parfums B.T.X.
- Traiter le pétrole brut réduit importé pour produire de l'asphalte routier et oxydé (la capacité de traitement est de 277 000 tonnes/an)

I.3.2. Présentation des différentes unités : [Hendaoui, 2017].

Elle se compose des unités de production suivantes :

Département Production I :

- Unité de distillation atmosphérique 10/11(TOPPING).
- Unité 100, utilisée pour le prétraitement et le reformage catalytique du naphtha B (MAGNAFORMING).

Chapitre I : Présentation du site industriel

- Unité de prétraitement 101/103 : reformage catalytique du naphtha à 80% B et 20% C (formage en plate-forme).
- Unité de traitement et de séparation des gaz 30/31 et 104 (GPL).
- Unité de distillation sous vide 70 (fabriquée par Bitume).
- Dispositif 200 d'extraction d'aromatiques.
- Unité 400 pour la cristallisation et la séparation du p-xylène.
- L'unité 500, utilisée pour isomériser l'o-xylène et l'éthylbenzène en p-xylène.
- Naphtha A unité d'hydrotraitement 700.
- 701 unités d'isomérisation du Naphtha A.
- Unité d'hydrotraitement Naphtha A 702.
- 703 unités d'isomérisation du Naphtha A.
- Dispositif de purification d'hydrogène 900-901.

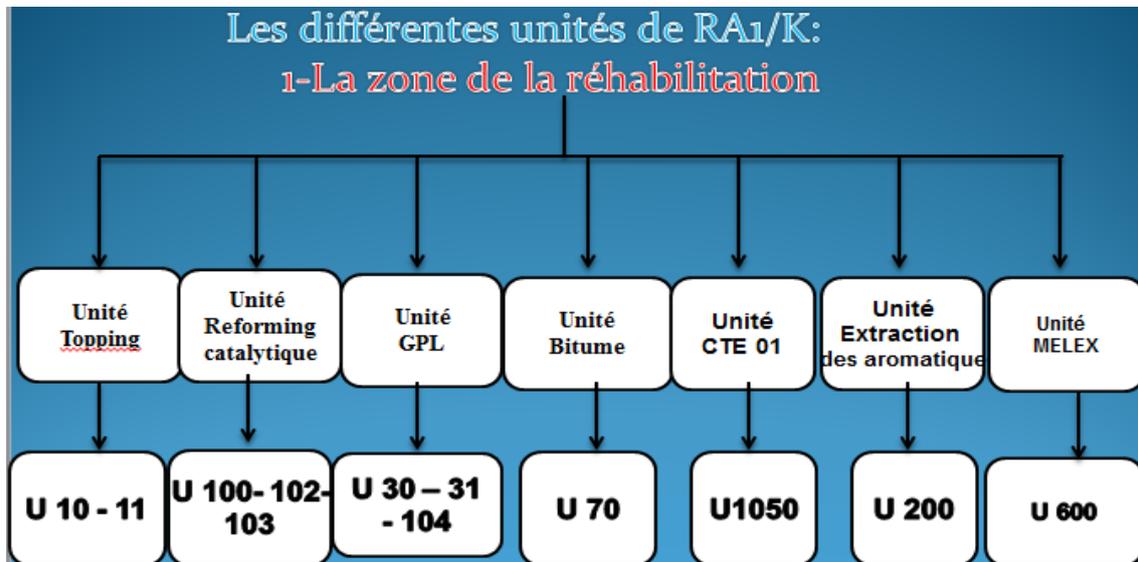


Figure I.2: Les différentes unités de RA1/K.

I.4. Unité de distillation atmosphérique 10/11 (TOPPING) :

Le topping ou distillation atmosphérique a pour but de diviser le pétrole brut en différentes fractions stables, qui peuvent être utilisées pour obtenir des produits fins (naphtha, gazole, jet, etc...), ou doivent être alimentées vers d'autres appareils situés en aval (magna forming, plat forming, usine à gaz). Après que la société SAMSUNG ait modifié ces deux unités, leur capacité annuelle de traitement du pétrole brut Hassi Messaoud a atteint 17 106 tonnes/an pour produire (Tableau I.1):

Chapitre I : Présentation du site industriel

Tableau I.1 : Les produits de la Raffinerie [Hendaoui, 2017].

Traitement actuel		Traitement	Brute (Hassi Messaoud) 10%
		Pétrole brute	16500000MT
BHM	150000MT	Brute réduit importé	277000MT
BRI	277000MT	MTBE/additifs	154000MT
La production actuelle		Totale	16931000MT
		Production	Produit
Propane	65000MT	GPL(C3/C4)	622000MT (129000MT/520000MT)
Butane	300000MT	Essence ordinaire	800000MT
Essence ordinaire	700000MT	Essence exportée	1000000MT
Essence super	300000MT	Pétrochimique NAPHTHA	2963000MT
Essence exporter	1180000MT	Kero/JET	1500000MT
NAPHTHA	1700000MT	Gasoil	4425000MT
Kero/JET	1500000MT	Carburant BTS	4744000MT
Gasoil	4250000MT	Benzène	178000MT
Carburant BTS	4300000MT	Toluène	16000MT
Carburant HTS	10000MT	Par xylène	220000MT
Benzène	40000MT	Soufre	8000MT
Toluène	11000MT	Carburant HTS	100000MT
Mix xylène	120000MT	Bitume de la route	150000MT
Par xylène	20000MT	Bitume oxydé	15000MT
Bitume de la route	150000MT		
Bitume oxydé	15000MT		

I.5. Les Débits de la charge et les produits de l'U-10 :

Charge brute par train = 8.25 MMTPA = 194.335 BPSD = 1.031 ton/h

Chapitre I : Présentation du site industriel

Tableau I.2 : Les débits de la charge et les produits de l'U-10 [Hendaoui, 2017].

Produits	Débits kg/h
FUEL GAS	168
GPL	38,883
C6 CUT	8,959
NAPHTHA A	41,896
NAPHTHA B	145,198
NAPHTHA C + EXCESS NAPHTHA	117,907
KEROSENE	93,751
LIGHT GAS OIL	217,533
HEAVY GAS OIL	77,090
RESIDUE	290,479
TOTAL	1031,696

- G.P.L → unité 30 et 31.
- Naphtha A → stockage.
- Naphtha B (65°C ÷ 150°C) → Reforming catalytique.
- Naphtha C (150°C ÷ 180°C) → Reforming catalytique.
- Kérosène (180°C ÷ 225°C) → jet, fuel, mélange des gasoils.
- Gasoil léger (225°C ÷ 320°C) → mélange des gasoils.
- Gasoil lourd (320°C ÷ 360°C) → mélange des gasoils.
- Résidu (>360°C) → huiles combustibles.

Chapitre I : Présentation du site industriel

Tableau I.3 : Les caractéristiques de la charge brute de Hassi Messaoud [Hendaoui, 2017]

Paramètres	Valeur
Gravité ; API	44,7
Densité à 15°C	0,8025
Facteur de caractérisation	12
Cinématique viscosité à 37,8°C	1,989
TVR à 100°F, psi	10,4
Point de trouble °C	(-)52
Point de flash °C	<20
Sulfure total, % massique	0,13
Teneur d'hydrogène sulfuriques , ppm	0
Teneur Ash, %massique	<0,005
Teneur de sel Na CL, %massique	<0,001(*)
Teneur en wax, % massique	2,4
Teneur Asphaltène % massique	0,06
CCR content, % massique	0,83
BS & W, vol %	Traces

CHAPITRE II

DESCRIPTION DE

L'UNITÉ TOPPING

Chapitre II : Description de l'unité Topping

II.1. Introduction :

La distillation atmosphérique est une méthode de séparation des fractions d'hydrocarbures contenues dans le pétrole brut les unes des autres. Il s'agit de la première étape du raffinage du pétrole : presque toutes les premières raffineries de pétrole étaient des tours de distillation.

Son fonctionnement est basé sur la différence de température d'ébullition de chaque produit pur contenu dans le pétrole [Pierre, 1999].

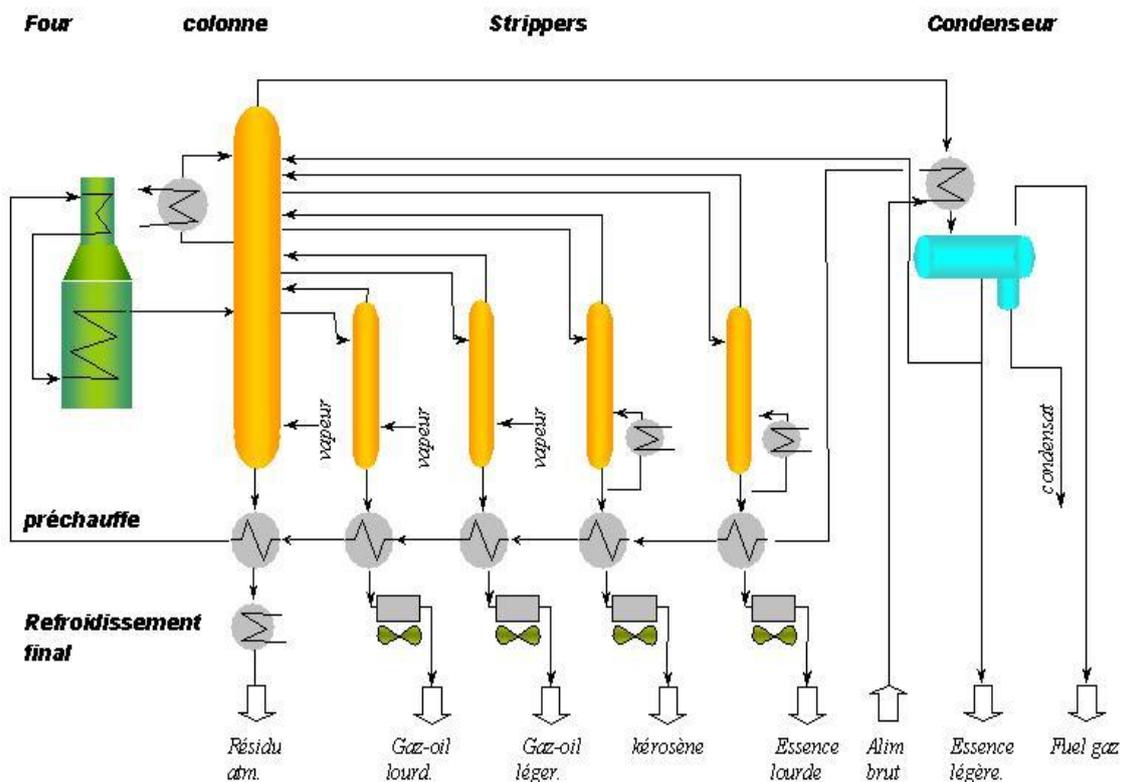


Figure II.1: Distillation atmosphérique [LEMEN, 2011].

Différents produits de distillation sont sortis de différentes hauteurs de la tour. Le produit le moins volatil est obtenu vers le bas de la tour, tandis que la vapeur est obtenue au sommet de la tour.

De haut en bas de la colonne, on suture ainsi :

- GPL
- La tête de colonne de laquelle on sépare le gaz du liquide (essence légère) par refroidissement.
- L'essence lourde (naphta).

Chapitre II : Description de l'unité Topping

- Le kérosène .
- Le gazole léger.
- Le gazole lourd.
- Le résidu atmosphérique (fond de colonne).

II.2. Les processus :

II.2.1. Equipement : Une unité de distillation comporte les équipements principaux suivants [A. SKOBLO, 1962] :

- Dessaleur : Elimination des sels.
- Colonne de distillation : Fractionnement du brut en diverses coupes.
- Colonne de stripping : Elimination des produits légers.

Ballon de pré flash (FLASH DRUM) : Permet de réduire la puissance du four et éviter la cavitation de pompe.

- Four de charge : Chauffage de l'alimentation.
- Ensemble de : Echangeurs – Ballons- Pompes.
- Colonne de stabilisation : Séparer les légers des essences.
- Colonne de splitter : Séparation des coupes d'essence.

Tableau II.1 : Les utilisations dans l'unité de distillation, [SKOBLO A., 1962].

Utilités	Produits chimiques
Vapeur d'eau surchauffée	Inhibiteur de corrosion
Electricité	
Eau de refroidissement	La soude (Na OH)
Gaz Combustibles (fuel gaz)	
Azote (N ₂)	Ammoniac (NH ₃)
Air instrument et service	

II.3. Principaux circuits de l'installation :

II.3.1. Préchauffage du brut :

La charge est acheminée vers l'équipement à un débit de 1350 m³/h à travers des pompes (P-71A/B) (charge brute) aspirée directement du réservoir de pétrole brut. Le flux de refoulement pénètre du côté du tube de l'échangeur (E-107-5A/B) de pétrole brut pour le préchauffage. La température du pétrole brut est passée de 25°C à 46°C. Retirer ensuite l'échangeur (E-72) de pétrole brut du côté tube de l'échangeur de pétrole brut et porter la température à 71°C.

La charge sortant de l'échangeur à une température de 71°C est envoyée au dessaleur pour éliminer le sel, les sédiments et les impuretés dans l'eau ; ensuite, le pétrole brut dessalé du dessaleur est envoyé à l'échangeur (E_93A-H) pour un chauffage supplémentaire, puis entre dans le pré-flash ballon (V1). Le pétrole brut est extrait du côté tube de l'échangeur (E_93A-H) de chaleur, où la température monte de 71°C à 148°C. Converge en un ruisseau et entre dans (V1), l'endroit où s'évaporent l'eau et les hydrocarbures plus légers ; après un chauffage supplémentaire, la vapeur en haut du réservoir de pré-flash est transportée vers la zone de la tour atmosphérique (C-1) par le côté coque de l'échangeur d'huile chaude sur le dessus du réservoir de pré-flash. La température de la vapeur au sommet a été portée à 226°C à travers un échangeur. Le liquide au fond du ballon de pré-éclair est pompé par la pompe du premier surpresseur de pétrole brut vers la deuxième étape de préchauffage du pétrole brut.

Le pétrole brut contenu dans (V1), pompé par la pompe (BOOSTER) est préchauffé par l'échangeur de chaleur côté coque de l'échangeur de chaleur Brut /HGO, et la température par litre passe de 140°C à 151°C avec HGO Stripper HGO; Après l'échange, le pétrole brut entre du côté du tuyau de l'échangeur de transfert de pompe / pétrole brut supérieur. Le commutateur est disposé en 2 modules parallèles et 2 modules en série.

La température du pétrole brut est portée à 174°C grâce à ces échangeurs. Côté coque, le liquide de la chambre de pompage supérieure de la tour atmosphérique est refroidi par ces échangeurs. Le pétrole brut chauffé se déplace vers le côté coque de l'échangeur Brut / RCO pour un chauffage supplémentaire. Ces échangeurs sont connectés en série et le pétrole brut échange de la chaleur avec de RCO (résidu de pétrole brut).

Chapitre II : Description de l'unité Topping

La température du pétrole brut a été élevée à 186°C par l'intermédiaire de l'échangeur. Ensuite, le pétrole brut passe par le côté tube de l'échangeur de chaleur supérieur pétrole Brut / pompe-I, où la température monte à 195°C. Dans cet échange, la chaleur est échangée en pompant le liquide environnant à travers la partie supérieure de la tour atmosphérique. Le pétrole brut est toujours déplacé vers le côté coque de l'échangeur Brut / pompe inférieur pour élever la température à 226°C ; Après avoir traversé l'échangeur, le pétrole brut entre du côté coque de l'échangeur pétrole brut / pompe.

L'environnement est bas ; la température est encore élevée à 233°C ; le dernier échangeur de la colonne est l'échangeur Brut / RCO ; dans ce cas, le pétrole brut entre du côté de la coque et atteint la température à 260°C. Les quatre échangeurs sont disposés en série, [SKOBLO A., 1962].

II.3.2. Fours :

Généralement un four est constitué de 03 zones :



Figure II.2 : Four cabine d'U10.

Chapitre II : Description de l'unité Topping

- **Zone radiante :**

Directement exposée à la flamme et la chaleur des fumées chaudes, la chaleur se propage aux tubes où passe le fluide à réchauffer, essentiellement par rayonnement (80% de chaleur échangée dans cette zone).



Figure II.3 : Serpentins du four topping.

- **Zone de convection :**

Placée dans la partie supérieure du four, les fumées qui propagent de la chaleur, essentiellement radiantes devraient, une fois cette fonction terminée, sortir du four encore très chaudes, on peut récupérer une partie de cette chaleur en mettant une portion du serpentin en contact avec les fumées avant qu'elles ne sortent de la cheminée afin qu'elles cèdent encore de la chaleur par convection. Cette zone, généralement placée pour la génération et le surchauffage de la vapeur à basse pression, est utilisée pour le stripping des produits.

- **La cheminée :**

C'est elle qui permet d'évacuer les fumées vers l'atmosphère ; par son tirage, elle met la chambre de combustion en dépression et provoque l'entrée de l'air nécessaire à la combustion. Donc, de tout ce qui a précédé, le brut absorbe de la chaleur dans la zone de convection d'abord et ensuite dans la

Chapitre II : Description de l'unité Topping

zone radiante, afin qu'il sorte à une température de 360°C et qui va à la zone de flash de la colonne de distillation C1 [SKOBLO A., 1962].

II.3.3. Colonne de distillation :

La colonne de distillation est un appareil cylindrique vertical avec une hauteur qui dépend du nombre de plateaux qu'il contient et la distance entre eux. Les plateaux sont de types à clapet qui permettent d'assurer un contact intime entre la phase liquide descendante et la phase vapeur ascendante. Elle est constituée de trois zones :

- **Zone d'alimentation ou zone de flash :**

C'est la zone d'injection de la charge chauffée à une température de 350°C, ou s'effectue la séparation en phase liquide et en phase vapeur. Elle doit assurer une bonne séparation des phases et protéger les parois contre l'érosion, pour ce là, la matière première entre par des tubulures tangentielles et se dirige vers le centre en spirale grâce à une plaque métallique placée verticalement. Il est compris entre le 5^{ème} et le 6^{ème} plateau.

- **Zone de rectification :**

On effectue la rectification à partir entre les plateaux 42 à 46. On peut obtenir des produits légers par pelage et étagère, de l'essence au diesel lourd.

- **Zone d'épuisement :**

Elle est située au bas de la colonne et comprend environ 5 plateaux. De cette zone, nous avons obtenu des résidus atmosphériques utilisés comme matière première pour la distillation sous vide pour produire de l'huile lubrifiante, injectée avec de la vapeur surchauffée à basse pression. Les composants volatils restants dans le résidu sont retirés et ne sont gardés que les produits que nous utilisons :

Stripping :

En général, les produits soutirés soit du fond de la colonne, soit latéralement ne sont pas corrects en leur point initial, ce qui incite à effectuer une opération de correction pour ces soutirages, et afin de limiter la teneur en hydrocarbures légers, par l'injection de la vapeur d'eau surchauffée à 400°C et à basse pression. Le stripping du kérosène et le solvant lourd qui nécessitent une absence totale d'eau se fait par re bouillage.

Chapitre II : Description de l'unité Topping

Soutirage : Les soutirages latéraux, à partir de la partie inférieure de la colonne vers le haut ont pour fonction d'absorber une quantité de la chaleur soit : kérosène, gasoil léger, gasoil lourd.

Reflux : Afin de contrôler la température dans les différentes parties de la colonne, on utilise les reflux suivants :

***Reflux de tête :** Il est injecté au sommet de la colonne, il s'agit des vapeurs de tête à l'état liquide après une condensation à une température qui varie généralement entre 40 à 45 °C, ce qui permet de régler la température en tête de la colonne. La quantité de reflux de tête varie de 2 à 4 fois la quantité d'essence légère.

***Reflux chaud :** Il est injecté au fond de la colonne après son chauffage par le rebouilleur pour augmenter la température du résidu afin d'évaporer les constituants les plus volatils.

***Reflux circulant intermédiaire et reflux circulant intérieur :** Ils sont utilisés pour contrôler la température le long de la colonne au niveau des plateaux de soutirages latéraux. Il y a deux reflux :

- Une fraction entre le gasoil léger et le gasoil lourd
- Une fraction entre le gasoil lourd et le résidu [Jean, 1998].

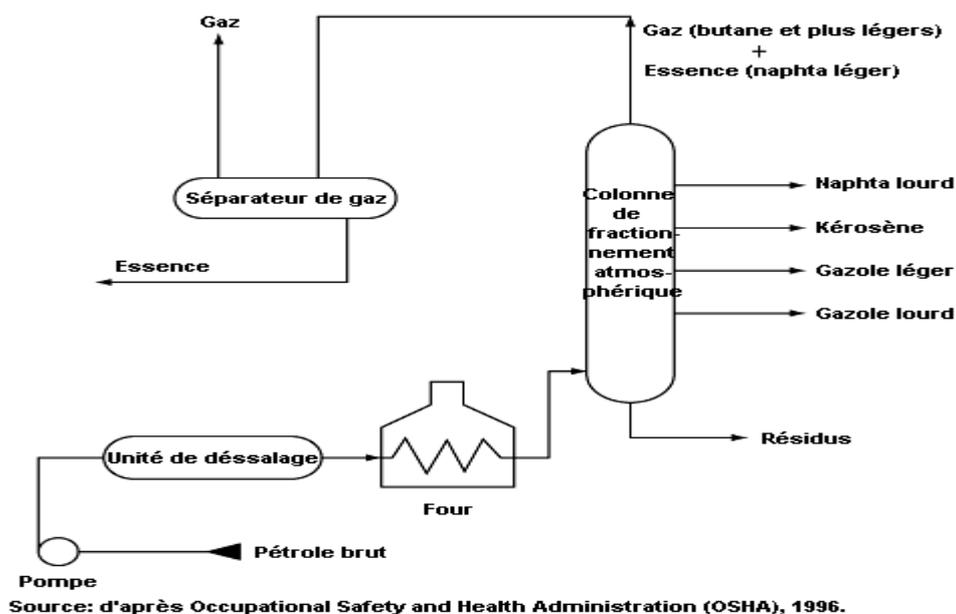


Figure II.4 : Schéma de distillation atmosphérique dans une seule colonne. [OSHA,1996]

II.4. Le résidu atmosphérique :

Ensuite, la partie non distillée (appelée résidu atmosphérique) est distillée sous pression réduite, de sorte que les composés dont le point d'ébullition est proche de 520°C puissent être vaporisés sans être dégradés. Le distillat recueilli en tête est généralement appelé gasoil sous vide, le produit retiré du côté est le distillat sous vide et le produit noir quittant le bas de la tour est le résidu sous vide, qui consiste en particules carbonées dispersées dans un milieu huileux (Asphaltène). Elle est causée par la floculation des asphaltènes par des solvants (propane, butane ou pentane).

En sortant de la colonne de distillation, le résidu doit être refroidi afin de le stocker dans les bacs de stockage à une température comprise entre 65°C et 70°C. Pour le refroidir, il passe dans le système de refroidissement, la température élevée du résidu diminue.

CHAPITRE III

SYSTÈME DE

REFROIDISSEMENT

III .1. Introduction :

De façon générale, tout procédé lié à une activité de type industriel, de conditionnement d'air ou de réfrigération, produit une certaine quantité d'énergie perdue sous forme de chaleur. Cette chaleur perdue devra être rejetée dans l'environnement et nécessite donc un refroidissement. De manière générale, quel que soit le procédé, plus la température à laquelle peut s'effectuer ce rejet sera basse, meilleur sera le rendement du procédé. Une tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui permet de rejeter de la chaleur dans l'air environnant sous forme à la fois de chaleur sensible et de chaleur latente du fait de l'augmentation de son humidité. Il est possible de refroidir un fluide jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à la température humide de l'air ambiant (et donc éventuellement inférieure à sa température sèche), ceci au prix d'une quantité d'eau consommée de l'ordre de 5% de celle que demanderait un refroidissement à eau. Tant sur le plan économique qu'environnemental, les tours de refroidissement sont des systèmes très intéressants, notamment en climat chaud et sec [Bekhadouma,2014].

III .2. Système de refroidissement :

III .2.1. Equipement :

Le système de refroidissement comporte les équipements principaux suivants :

- Pompes
- Aéroréfrigérant
- Echangeur
- Condenseur

III.3. Les pompes :

Les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales :

- **les pompes centrifuges** : le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge ;
- **les pompes volumétriques** : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide ;

Chapitre III : Système de refroidissement

III.3.1. Principe de fonctionnement des pompes centrifuges : Une pompe centrifuge est constituée par :

- une roue à aubes tournant autour de son axe
- un distributeur dans l'axe de la roue
- un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante.

L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixes) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie.

III.3.2. Amorçage :

Les pompes centrifuges ne peuvent s'amorcer seules.

L'air contenu nécessite d'être préalablement chassé. On peut utiliser un réservoir annexe placé en charge sur la pompe pour réaliser cet amorçage par gravité. Pour éviter de désamorcer la pompe à chaque redémarrage il peut être intéressant d'utiliser un clapet anti-retour au pied de la canalisation d'aspiration.

III.3.3. Caractéristiques :

Les hauteurs manométriques totales fournies ne peuvent dépasser quelques dizaines de mètres. Pour dépasser ces valeurs on utilise des pompes centrifuges multicellulaires où plusieurs roues sont montées en série sur le même arbre. Le refoulement d'une des pompes communique avec l'aspiration de la pompe suivante. Il est également possible de coupler en série plusieurs de ces pompes. Le rendement est de l'ordre de 60 à 70 % : il est inférieur à celui des pompes volumétriques. Les pompes centrifuges vérifient des lois (**lois de similitude**) qui à partir d'une courbe caractéristique établie pour une vitesse de rotation N de la roue de la pompe, permettent d'obtenir la caractéristique pour une vitesse de rotation N' quelconque.

Si on connaît pour une vitesse N , le débit Q_{vN} , la hauteur manométrique totale H_{tN} et la puissance absorbée P_N , on sait qu'il existe deux courbes caractéristiques (H_t en

Chapitre III : Système de refroidissement

fonction de Q_V et P en fonction de Q_V) pour la vitesse N' tels que les points définis par les coordonnées $(Q_{V_{N'}}, H_{t_{N'}})$ et $(Q_{V_{N'}}, P_{N'})$ en soient respectivement éléments.

Les lois de similitude permettent de déterminer $Q_{V_{N'}}$, $H_{t_{N'}}$ et $P_{N'}$:

$$Q_{V_{N'}} = Q_{V_N} \cdot \frac{N'}{N} \quad \text{(III.1)}$$

$$H_{t_{N'}} = H_{t_N} \cdot \left(\frac{N'}{N}\right)^2 \quad \text{(III.2)}$$

$$P_{N'} = P_N \cdot \left(\frac{N'}{N}\right)^3 \quad \text{(III.3)}$$

On peut ainsi reconstruire point par point les caractéristiques pour la vitesse de rotation N' en prenant des points différents des caractéristiques établies pour la vitesse N .

III.3.4. Utilisation :

Ce sont les pompes les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût. Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas :

- Utilisation de liquides visqueux : la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tels que le vin, le lait et la bière).
- Utilisation comme pompe doseuse : la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques. Par contre contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.

Chapitre III : Système de refroidissement

III.3.5. Fonctionnement avec la canalisation de refoulement bouchée :

Ce type de fonctionnement consécutif à une erreur est sans danger s'il ne se prolonge pas trop. Le risque à la longue est l'échauffement de la pompe, car le liquide n'évacue plus la chaleur. A ce moment la pompe peut se détériorer et ce d'autant plus qu'elle comporte des parties en plastique.

Remarque : pour une pompe centrifuge fonctionnant avec un moteur électrique, on comprend qu'il est préférable de démarrer la pompe centrifuge avec la vanne de refoulement fermée. En effet pour un débit nul, la puissance consommée est alors la plus faible ce qui constitue un avantage pour un moteur électrique car l'intensité électrique le traversant est alors la plus faible. Les contraintes mécaniques sont également les plus faibles dans ce cas. Bien entendu il faut assez rapidement ouvrir cette vanne sous peine d'entraîner un réchauffement de la pompe.

III.3.6. Réglage du débit :

Trois moyens sont possibles :

- variation de la vitesse de rotation de la pompe par un dispositif électronique
- vanne de réglage située sur **la canalisation de refoulement** de la pompe pour éviter le risque de cavitation : suivant son degré d'ouverture, la perte de charge du réseau va augmenter ou diminuer ce qui va entraîner la variation du point de fonctionnement
- réglage en "canard" avec renvoi à l'aspiration d'une partie du débit. Le réglage du débit est important pour des besoins dus au procédé mais aussi pour se placer dans des plages de fonctionnement où le rendement est meilleur [Anglaret, 2001].

III.4. Les échangeurs :

III.4.1. Généralités sur les échangeurs :

Dans une société industrielle, les échangeurs de chaleur sont un élément indispensable de tous les produits de politique d'économie d'énergie. La majeure partie (90%) de l'énergie thermique est utilisée. Le processus industriel doit traverser l'échangeur de chaleur au moins une fois, auto élimination, et dans le système de récupération de chaleur de ces systèmes. Ils sont principalement utilisés dans le secteur

Chapitre III : Système de refroidissement

industriel (chimie, pétrochimie, production d'énergie, etc.), transport (automobile, aviation) et logement (chauffage, climatisation, etc.) [Thilelli, 2016].

III.4.2. Principe de fonctionnement des échangeurs :

Les principes les plus courants sont de faire circuler deux fluides à travers des conduits mis en contact chaud. En général, deux fluides deviennent un contact thermique à travers les murs métallique les plus fréquents favorisant l'échange de chaleur. Nous avons un liquide chaud qui interfère généralement avec un liquide froid. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi. Le principal problème est de définir un échange suffisant entre deux fluides pour délivrer la quantité de chaleur requise dans une configuration donnée. La quantité de transfert de chaleur dépend de la surface d'échange entre les deux fluides, mais cela dépend de nombreux autres paramètres qui effectuent des recherches précises sur ces dispositifs composites. Le flux de chaleur transféré est défini par :

- Les caractéristiques thermiques du fluide
- La température d'entrée
- Le facteur de comptage de convection [Pascal, 2002].

III.4.3. Les types d'échangeurs de chaleur :

Il y a différents types d'échangeurs [Rafic, 2013] :

* Échangeur coaxial ou Échangeur double tubes

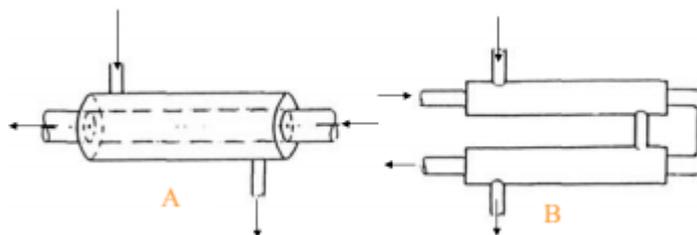


Figure III.1 : Echangeur double tubes.

III.5. Le condenseur :

Le condenseur est un échangeur multitube à un seul passage, à contre-courant. C'est à dire que l'eau provenant de la tour de refroidissement circule en sens inverse de la vapeur. Les condensats sont évacués par gravité dans le bac à condensats.

Le condenseur fonctionne normalement sous vide. La pompe à vide extrait l'air du condenseur lorsque l'installation est en service.

Pour éviter toute surpression au condenseur, il dispose d'une soupape de sécurité. De même, un système d'alarme prévient l'utilisateur lorsque la température de l'eau de refroidissement est trop élevée.

III.5.1. Bac à condensats :

C'est un récipient fermé qui reçoit les condensats émis par le condenseur. Sa capacité totale est d'environ 60 litres. En mode automatique, la pompe d'extraction se met en marche et s'arrête selon que le niveau détecté par un flotteur soit maximum ou minimum. Le volume entre ces deux niveaux est d'environ 20 litres. Ce bac dispose aussi d'un témoin de niveau. En mode manuel on peut mettre en marche et arrêter la pompe à volonté ce qui permet d'effectuer, grâce au témoin de niveau, des mesures de débit de condensats. Une alarme de niveau haut prévient des oublis.

III.5.2. Réservoir d'alimentation en eau :

Ce réservoir a une capacité d'environ 500 litres. C'est une réserve pour l'installation. Toute fuite du circuit principal devrait se traduire par une baisse du niveau dans le réservoir. Un flotteur contrôle ce niveau en actionnant une vanne qui laisse passer la quantité d'eau de compensation nécessaire, provenant de l'adoucisseur. Ce réservoir possède aussi un témoin de niveau.

III.5.3. Tour de refroidissement :

La tour APV HALL PN 16/600 est monobloc à ventilation forcée. Elle peut dissiper environ 300 kW lorsque la température d'eau est de 45°C et la température de bulbe humide de l'air ambiant est de 29°C.

Le refroidissement est provoqué par la mise en contact direct de l'eau chaude et de l'air ventilé. Pour obtenir une surface de contact maximum sous un volume minimum

on utilise une garniture en nid d'abeille. Les circulations d'air et d'eau chaude au travers de la garniture sont inverses. L'évaporation résultante contribue en majeure partie à refroidir l'eau chaude. Un flotteur permet de compenser l'évaporation en maintenant constant le niveau du bac de la tour de refroidissement [Christian, 2008].

III.6. Aéroréfrigérants :

Les aéroréfrigérants utilisent comme fluide réfrigérant l'air froid ambiant qui, après aspiration par des ventilateurs traverse des faisceaux de tubes généralement en ailettes à l'intérieur desquels circule un fluide à refroidir ou à condenser. Pour la plupart des aéroréfrigérants des produits pétroliers les faisceaux sont horizontaux.

Ils sont dits à air induit lorsque le ventilateur est placé au-dessus du faisceau (**figure III.4**) ; ils sont dits à air forcé lorsque les ventilateurs sont situés en dessous du faisceau.

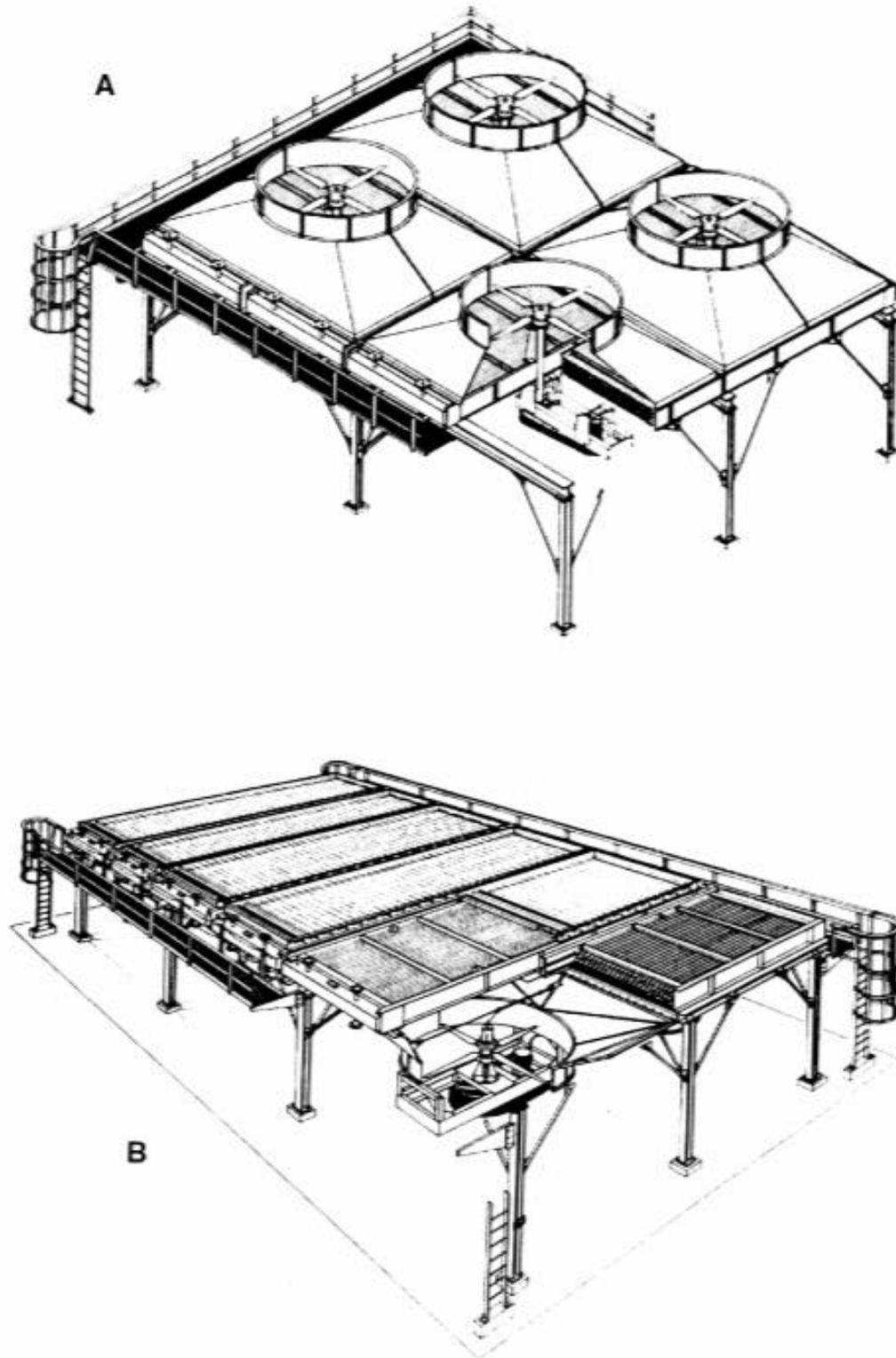


Figure III.4 : Circulation de l'air dans les aéroréfrigérants : A. Air induit. B. Air forcé
[Pierre, 1999].

III.7. Conclusion :

Le résidu atmosphérique entrant dans le système de refroidissement à une température élevée proche de 520°C devrait sortir à une température basse comprise entre 65°C et 70°C ; et dans l'unité 10, le système de refroidissement ne fonctionne pas conformément aux exigences de l'unité 11.

Dans le but d'essayer d'apporter une solution à ce problème, nous allons recourir à l'utilisation d'une simulation numérique du système de refroidissement par le logiciel de simulation HYSYS.

CHAPITRE IV
DESCRIPTION DU
SIMULATEUR
HYSYS

IV.1. Introduction :

Généralement, la simulation est un outil utilisé dans divers domaines de l'ingénierie et de la recherche. Elle permet d'analyser le comportement du système avant sa mise en œuvre, et d'optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et différentes conditions de fonctionnement. Il est basé sur le développement du modèle de système, et peut exécuter le programme et en déduire le comportement du système physique analysé.

Le modèle n'est pas une représentation précise de la réalité physique, mais il ne peut que restaurer les caractéristiques les plus importantes du système analysé.

Il existe plusieurs types de modèles de systèmes physiques : des modèles de représentation basés uniquement sur des relations mathématiques reflétant ses caractéristiques opérationnelles aux modèles de connaissances complexes qui dépendent principalement des objectifs poursuivis [DJEGBARI, 2014].

IV.2. Définition du logiciel HYSYS :

Aspen HYSYS est un outil de modélisation de processus de simulation en régime permanent, conception, surveillance, optimisation et planification des performances des produits chimiques, des spécialités chimiques, de la pétrochimie, de l'industrie et de la métallurgie [BOUDAA,2017].

IV.3. Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS :

Pour effectuer des simulations dans HYSYS, les étapes à suivre sont comme suit :

- Dans la première étape, il faut ouvrir une nouvelle page puis entrer la liste des composants dont nous avons besoin dans « **components** ».
- Dans la deuxième étape, nous choisissons l'équation d'état dans « **Fluid Pkgs** ».
- Après ces deux étapes on peut démarrer la simulation en appuyant sur « **Enter simulation environment** ».
- Lorsque on démarre la simulation on doit faire entrer les différents équipements, matières et/ou énergie de l'installation ainsi que les valeurs d'entrée de chaque

Chapitre IV : Description du simulateur HYSYS

équipement dans « **conditions** » et sans oublier les fractions molaires des composants de la matière dans « **composition** ».

Ces étapes seront bien montrées avec plus de détails au cours de la présentation de la partie simulation dans le chapitre qui suit.

IV .4. Concepts de base du simulateur HYSYS :

Afin de bien maîtriser l'outil de simulation HYSYS, nous allons définir les principaux concepts de base et le vocabulaire associé utilisés dans l'étape de construction du modèle de simulation :

- « **Flowsheet** » : il s'agit d'un ensemble d'objets "élément process"(matériaux, énergie, opérations unitaires, courants variables de fonctionnement), qui constituent tout ou une partie du processus de simulation, et utilisent la même base de données thermodynamique "fluide package". Il comporte de nombreuses entités spécifiques : "process flow diagram"(PFD), "Workbook".
- « **Fluid Package** » : il peut définir les composants chimiques et leurs effets dans le processus de simulation, ainsi que les propriétés chimiques et physiques contenues dans la base de données des substances pures. Il peut également définir des modèles thermodynamiques permettant de calculer les propriétés du mélange et de définir la cinétique des réactions chimiques impliquées dans le processus.
- « **Process Flow Diagram** » : cette partie graphique est utilisée pour visualiser le courant et le fonctionnement unique, représenté par les symboles dans le « Flowsheet », ainsi que la connectivité entre les opérations unitaires courantes et la table attributaire courante.
- « **Workbook** » : permet d'accéder aux informations de flux et de fonctionnement de l'unité sous forme de tableaux de données.
- « **Desktop** » : il s'agit de l'espace principal permettant à HYSYS d'afficher la fenêtre pendant la conception.
- « **Property view** » : contient des informations décrivant l'objet (opération ou courant).
- « **Simulation Case** » : c'est l'ensemble des « Fluid Packages », « Flowsheets » et « Flowsheet Elements » qui constituent le modèle [BOUDAA, 2017].

IV.5. Les modèles thermodynamiques de HYSYS :

IV.5.1. Les équations d'état :

Les modèles basés sur des équations d'état (RK, SRK, PR, etc.) sont souvent utilisés pour calculer les systèmes d'hydrocarbures et les systèmes proches des idéaux. Par rapport à d'autres modèles, leur avantage réside dans l'utilisation de coefficients d'interaction binaire. Habituellement, l'équation d'état est utilisée pour calculer toutes les caractéristiques du produit en termes de température et de fraction molaire [DJEJBARI, 2014].

IV .5.2. Equation de REDLICH-K WONG (RK):

Considérée comme l'équation d'état la plus simple, elle est largement utilisée pour prédire l'état de la phase gazeuse [DJEJBARI, 2014] :

$$P = \frac{RT}{V-b} - a/\sqrt{T} \frac{1}{V(V+b)} \quad (\text{IV.1})$$

IV.5.3. Equation de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK):

Cette équation modifie l'équation REDLICH-KWONG et introduit une fonction $a(T)$, qui dépend du facteur d'incitation [DJEJBARI, 2014].

L'équation de SOAVE est de la même forme générale que l'équation (IV.1)

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)} \quad (\text{IV.2})$$

SOAVE a introduit la relation suivante pour exprimer la fonction (T) :

$$a(T) = a_c a(T_R) \quad (\text{IV.3})$$

Avec :

$$a(T_R) = \left[1 + m(1 - \sqrt{T_R}) \right] \quad (\text{IV.4})$$

Le coefficient m est calculé en fonction du facteur acentrique ω :

$$m = 0.480 + 1.574\omega - 0.176\omega^2 \quad (\text{IV.5})$$

IV.5.4. Equation de PENG-ROBINSON (PR) :

La différence entre l'équation PENG-ROBINSON et l'équation SOAVE réside dans l'expression du terme d'attraction. Il a été introduit pour améliorer les résultats obtenus grâce à l'équation SAOVE, notamment dans le calcul de la densité de la phase liquide, sans modification du nombre de paramètres :

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)+b(V-b)} \quad (\text{IV.6})$$

Le terme $a(T)$ est défini comme suit :

$$a = 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} a(T_R) \quad (\text{IV.7})$$

Le terme $a(T_R)$ a la même forme générale que l'équation SOAVE. Elle suit la relation (II.4), mais la fonction qui associe le paramètre m au facteur acentrique ω est différente :

$$m = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 \quad (\text{IV.8})$$

Ces équations sont largement utilisées dans les modèles de simulation, la production et le traitement de gaz. L'équation la plus recommandée pour le système d'hydrocarbures est l'équation de PENG ROBINSON, car elle peut résoudre le problème d'équilibre plus précisément que d'autres équations et prédire la densité du liquide plus en adéquation avec la valeur réelle [DJEBBARI, 2014].

Dans le tableau ci-après, nous montrons les différentes formulations utilisées dans HYSYS pour les équations d'état SKR et PR qui sont fréquemment utilisées :

Chapitre IV : Description du simulateur HYSYS

Tableau IV.1 : La différence entre les équations d'état (SKR et PR) [Mohd].

	Soave-Redlich-Kwong	Peng-Robinson
	$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)}$ $Z^3 - Z^2 + (A-B-B^2)Z - AB = 0$	$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)}$ $Z^3 - (1-B)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z - (AB-B^2-B^3) = 0$
	Où	
$b =$	$\sum_{i=1}^N x_i b_i$	$\sum_{i=1}^N x_i b_i$
$b_i =$	$0.08664 \frac{RTc_i}{Pc_i}$	$0.077796 \frac{RTc_i}{Pc_i}$
$a =$	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij})$	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij})$
$a_i =$	$a_{ci} \alpha_i$	$a_{ci} \alpha_i$
$a_{ci} =$	$0.42748 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}}$	$0.457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}}$
$\alpha_i^{0.5} =$	$1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5})$	$1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5})$
m_i	$0.48 + 1.574\omega_i - 0.176\omega_i^2$	$0.37464 + 1.54226\omega_i - 0.26992\omega_i^2$
$A =$	$\frac{aP}{(RT)^2}$	$\frac{aP}{(RT)^2}$
$B =$	$\frac{bP}{RT}$	$\frac{bP}{RT}$

Chapitre IV : Description du simulateur HYSYS

IV.5.5. Choix du modèle thermodynamique :

Tableau IV.2 : Domaine de choix des modèles thermodynamiques dans HYSYS

[N. REBAI].

Type de système	Modèle recommandé
TEG Gas déshydratation	PR
eau acide	PR, Sour PR
Traitement des gaz cryogéniques	PR, PRSV
Séparation d'air	PR, PRSV
Tours de pétrole brut	PR, PR options, GS
Tours à vide	PR, PR Options, GS (<10 mmHg), Braun K10, EssoK
Tours d'éthylène	Lee Kesler Plocker
Systèmes à haute teneur en H ₂	PR, ZJ ou GS (voir T/P limite)
Systèmes de réservoir	PR, PR Options
Systèmes à vapeur	Steam Package, CS ou GS
Inhibition de l'hydratation	PR
Systèmes chimiques	Activity Models, PRSV
Alkylation HF	PRSV, NRTL (Contact Hyprotech)
TEG déshydratation avec aromatique	PR (Contact Hyprotech)
Systèmes d'hydrocarbures où la solubilité de H ₂ O dans HC est importante	Kabadi Danner
Systèmes avec certains gaz et hydrocarbures légers	MBWR

IV .6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons brièvement présenté le logiciel de simulation HYSYS, les étapes à suivre et les modèles thermodynamiques à utiliser.

La force de la simulation réside dans sa capacité d'être utilisée à n'importe quelle étape de conception et d'utilisation (fonctionnement) d'un procédé. Un logiciel de simulation permet d'installer de nouvelles unités ou d'améliorer leurs performances même en cours de fabrication.

Chapitre IV : Description du simulateur HYSYS

Nous nous sommes intéressées, dans ce qui suit, à apporter une amélioration au système de refroidissement en utilisant le logiciel de simulation HYSYS.

CHAPITRE V
SIMULATION DU
SYSTÈME DE
REFROIDISSEMENT
ET ÉVALUATION
DES SOLUTIONS
PROPOSÉES

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

V.1.Introduction :

Le logiciel HYSYS permet à la simulation d'installer de nouveaux équipements. Nous l'avons utilisé dans ce qui suit comme un outil d'aide pour résoudre le problème de la haute température finale du résidu atmosphérique destinée au stockage dans l'unité 10. Pour la résolution de ce problème, nous avons essayé de simuler l'installation du système de refroidissement de l'unité 10 tel qu'il est utilisé dans la raffinerie afin de vérifier les valeurs de sortie. Ensuite nous avons procédé à la simulation et l'évaluation de quelques propositions de solutions comme suit :

- Augmenter la température de l'eau et ajouter deux pompes dans l'installation ;
- Ajouter une pompe et un échangeur.

V.2. L'installation Initiale du système de refroidissement de l'unité 10 :

Démarrer le programme HYSYS :

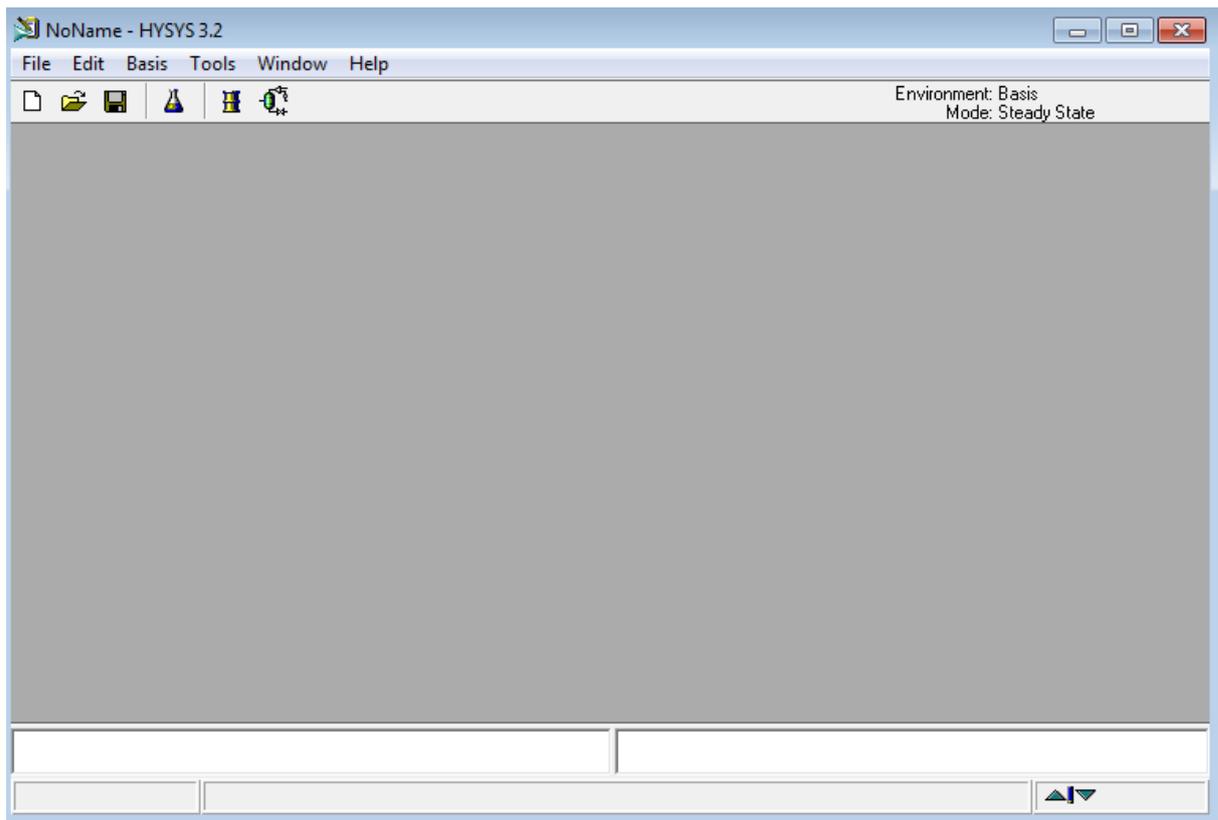


Figure V.1 : Démarrage de HYSYS.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

Sélectionner **File/New/Case**, en appuyant sur le bouton **01**. Pour commencer un nouveau **Case** ; et sélectionner les compositions en appuyant sur le bouton **02** « **Add** » (**Figure V.2**) :

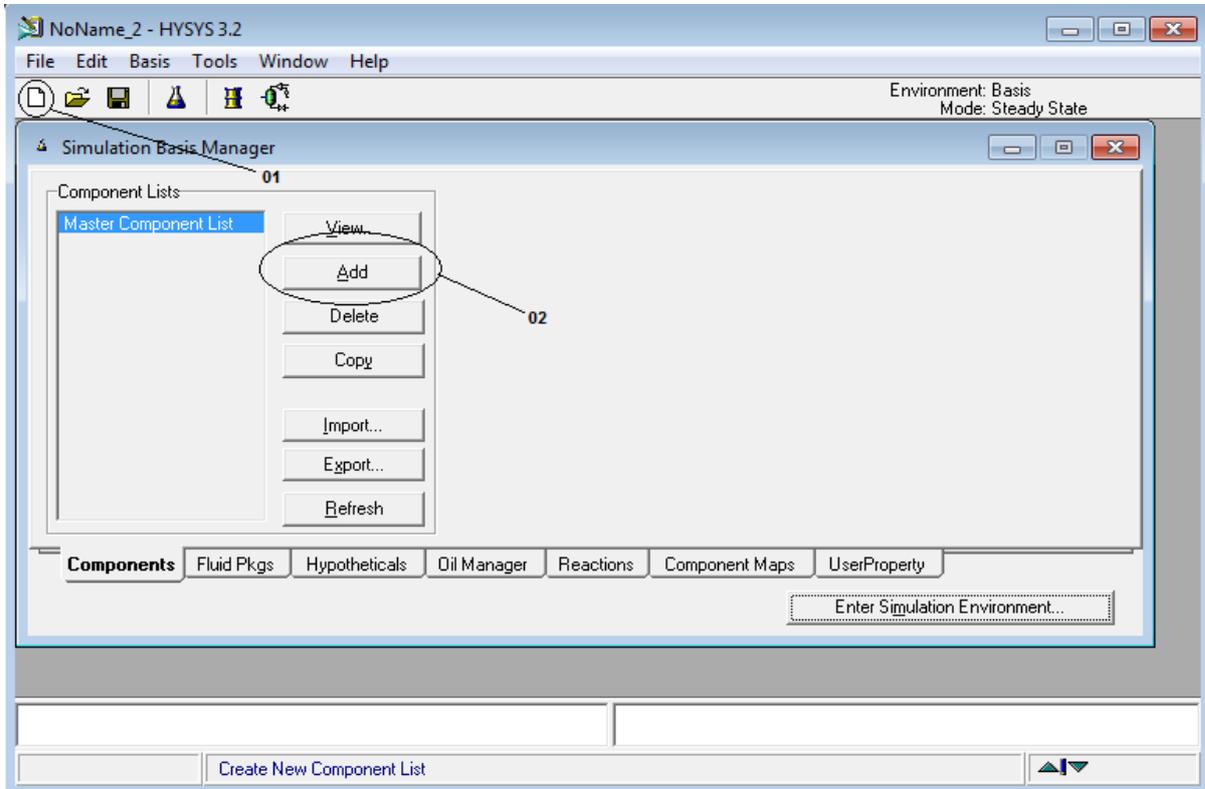


Figure V.2 : Constitution de la matière.

Sélectionner les éléments de la composition du résidu (**Figure V.3**) et l'eau destinés à la circulation dans les échangeurs de chaleur (**Figure V.4**), à partir la liste de la base de données de HYSYS :

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

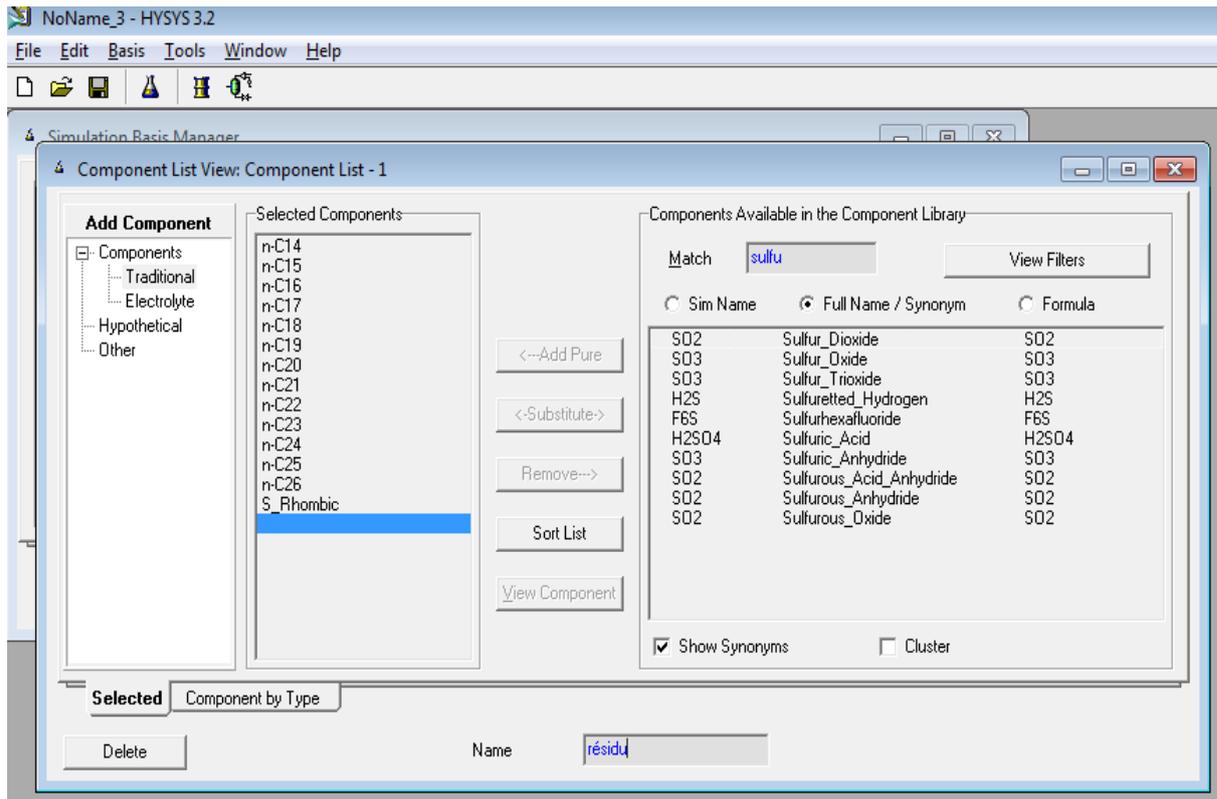


Figure V.3 : Liste des composés de résidu atmosphérique.

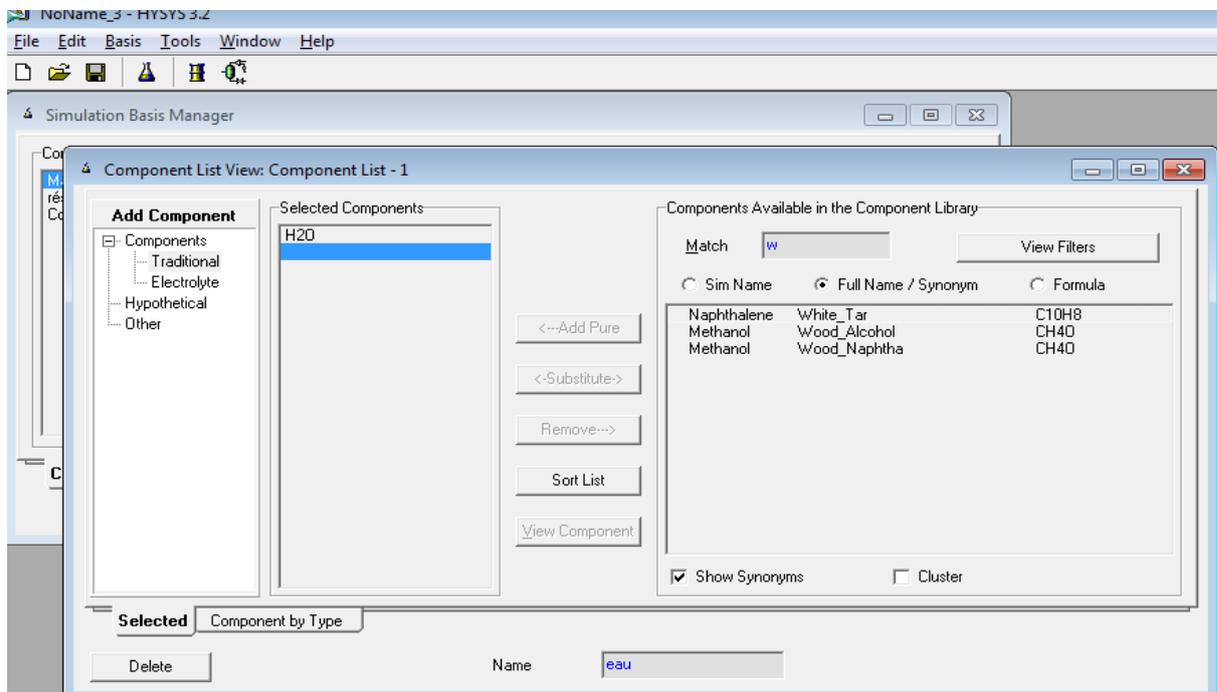


Figure V.4 : Ajouter l'eau

Choisir l'équation d'Etat en adéquation avec le sujet à traiter, soit l'Equation de Peng Robinson dans ce cas d'étude et la sélectionner dans **Fluid Pkgs (Figure V.5)** :

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

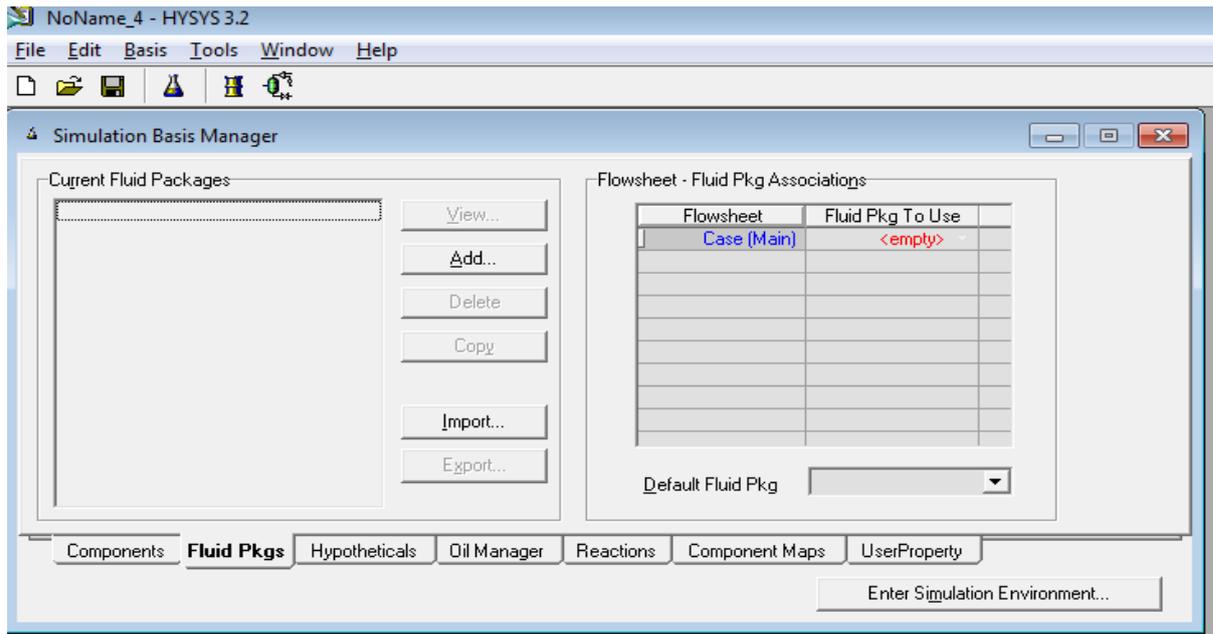


Figure V.5 : Choix de l'équation d'Etat dans Fluid Pkgs.

Dans la liste **Fluid Pkgs** ; sélectionner **EOS** et ensuite sélectionner **Peng-Robinson** :

A cette étape il faut créer deux bases « **Basis** » :

-Basis-1 reliant le résidu à PR (**Figure V.6**).

-Basis-2 reliant l'eau à PR (**Figure V.7**).

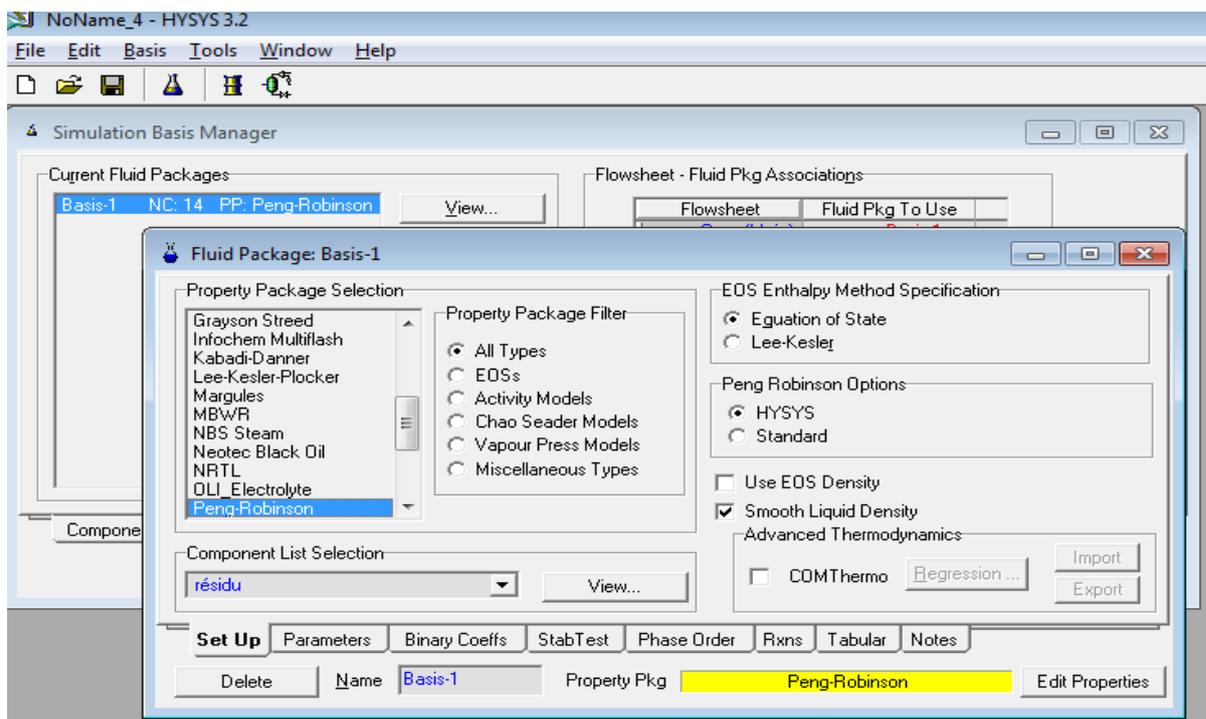


Figure V.6 : Basis-1 « résidu-PR».

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

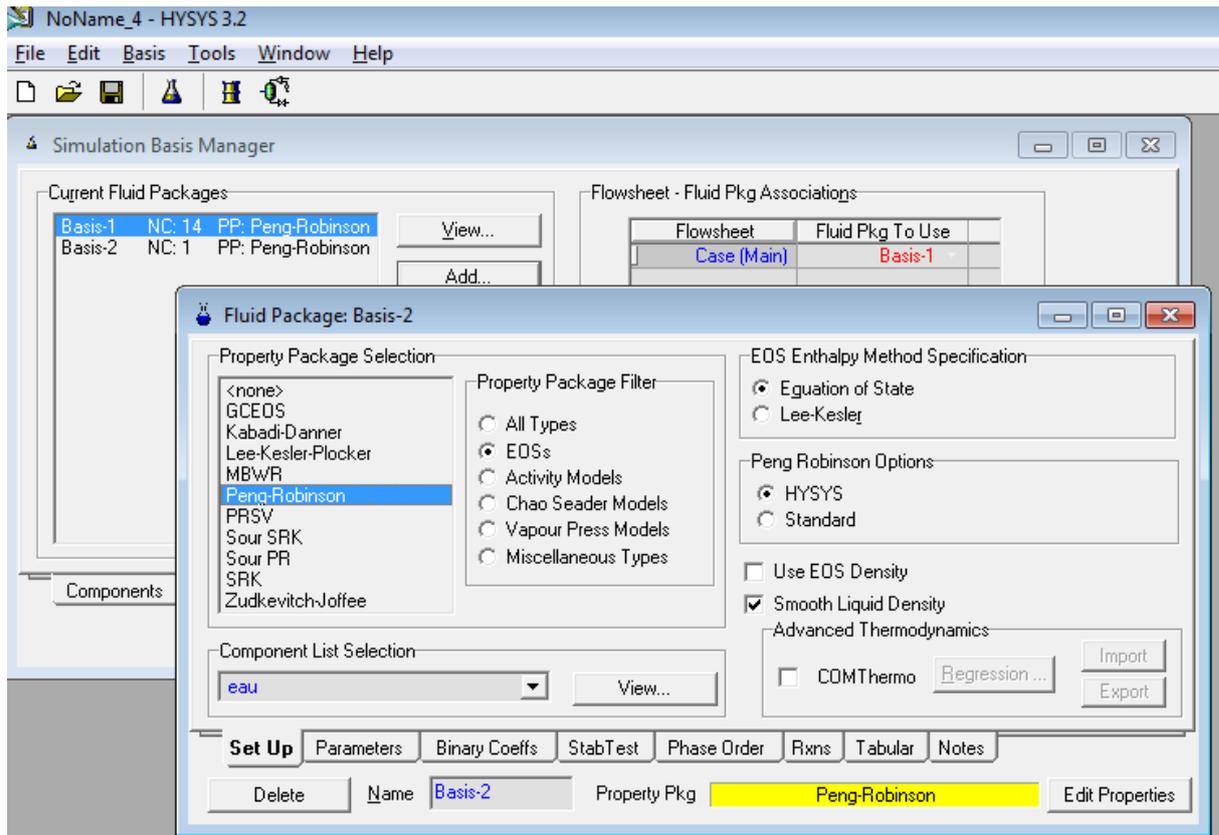


Figure V.7 : Basis-2 « eau-PR ».

Nous avons maintenant terminé toutes les saisies nécessaires pour commencer notre simulation ; Nous cliquons ensuite sur : **Enter Simulation Environment.**

Ajouter les équipements de l'installation du système de refroidissement : la série des échangeurs de chaleurs :

- E-63.
- E-83.
- E-8.
- E-22.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

- **Pour l'échangeur E-63 :**

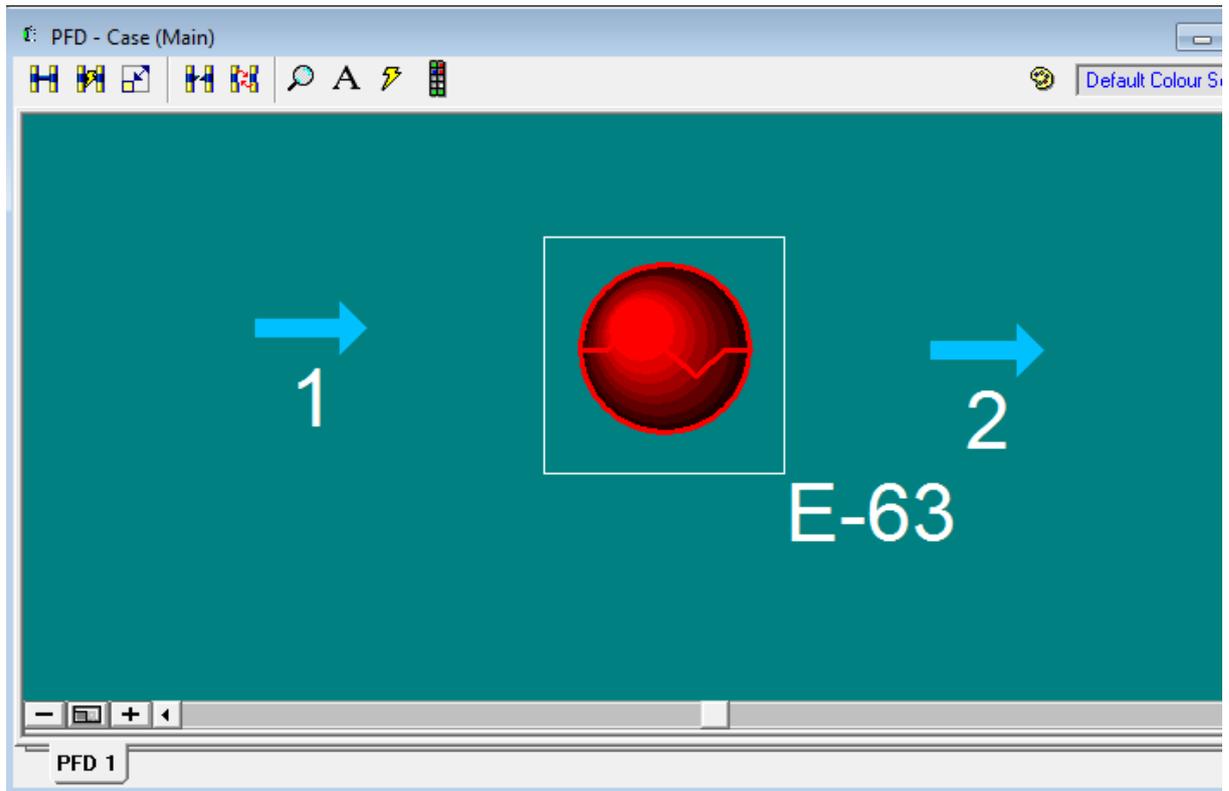


Figure V.8 : Ajout le premier échangeur E-63

Dans la feuille **Connections**, entrez les informations suivantes :

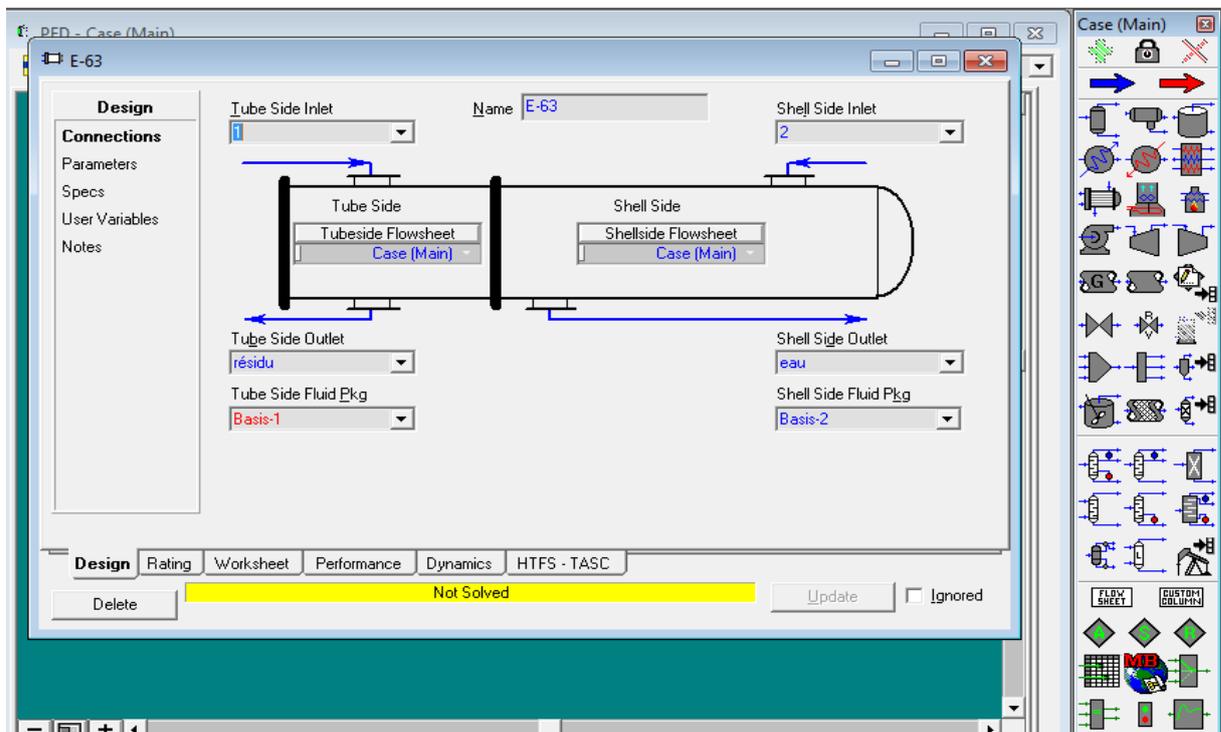


Figure V.9 : La feuille connections de l'échangeur E-63.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

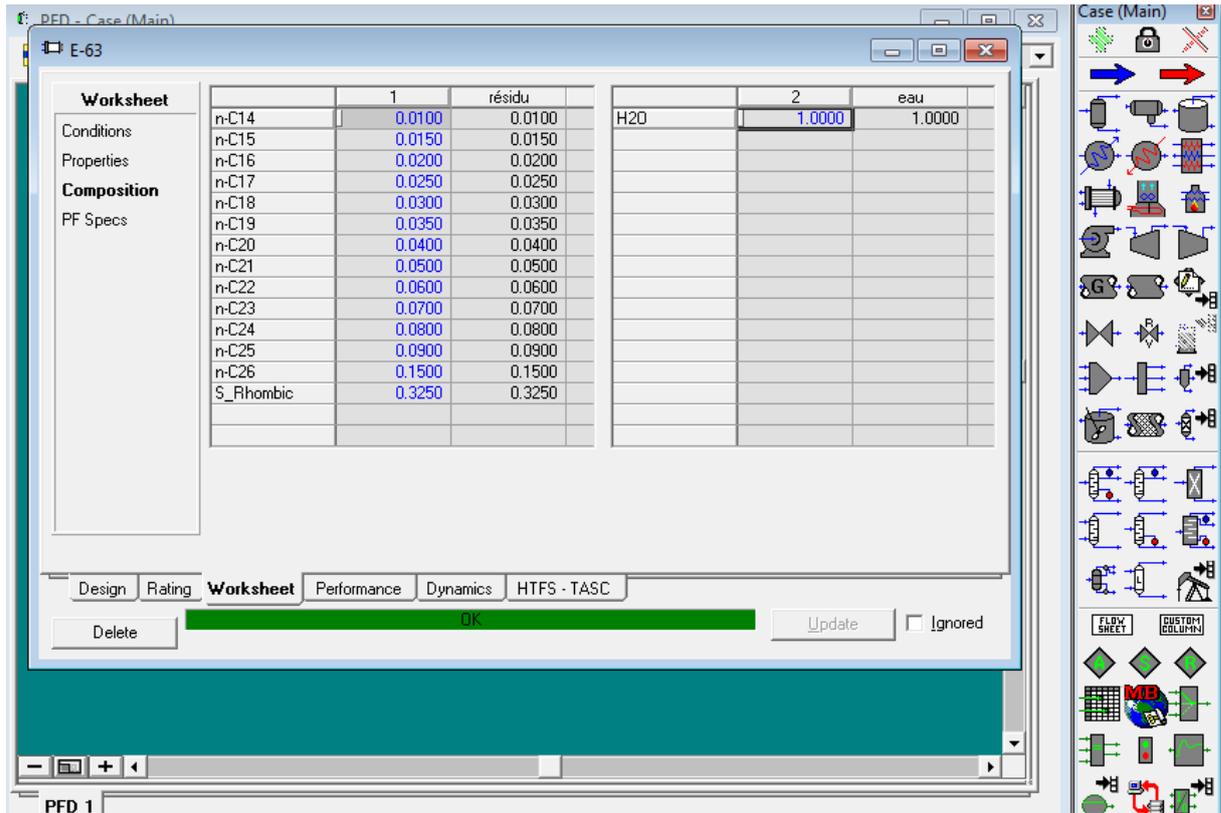


Figure V.11 : La feuille « composition ».

Le programme complète le reste des informations :

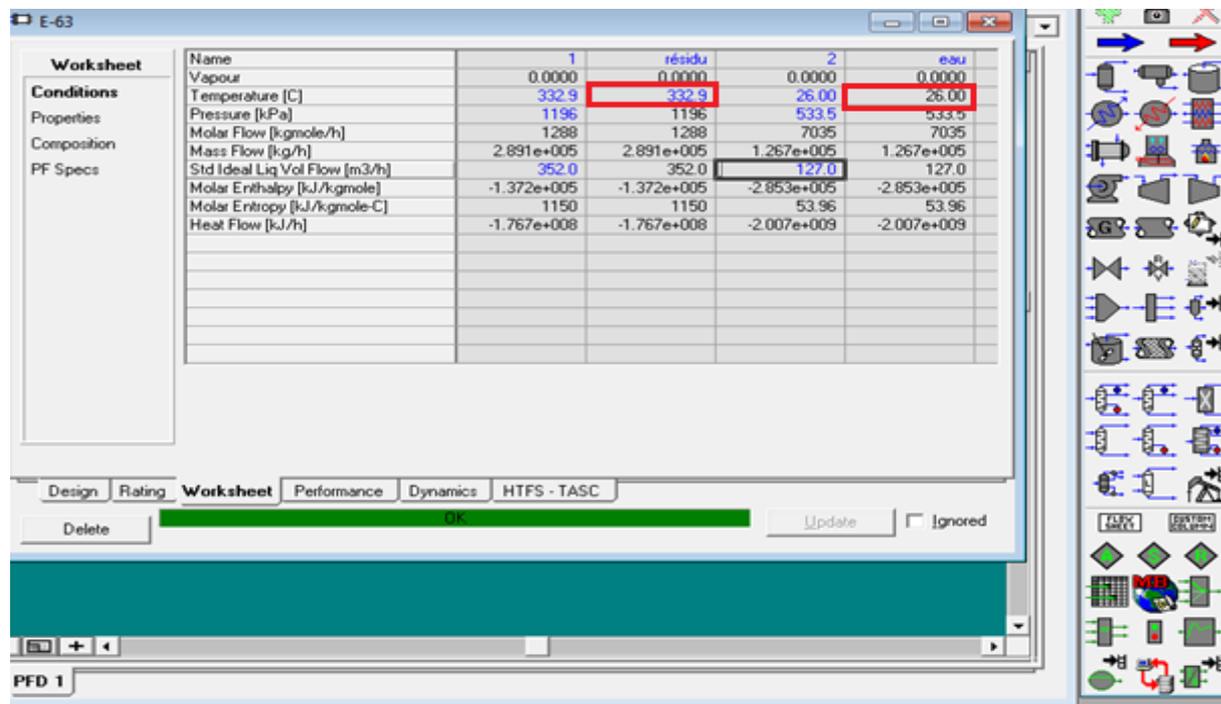


Figure V.12 : Le reste des informations.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

Dans l'échangeur E-63 la température du résidu à l'entrée est égale à la température à la sortie (**Figure V.12**).

L'installation de l'échangeur E-63 est alors terminée (**Figure V.13**) :

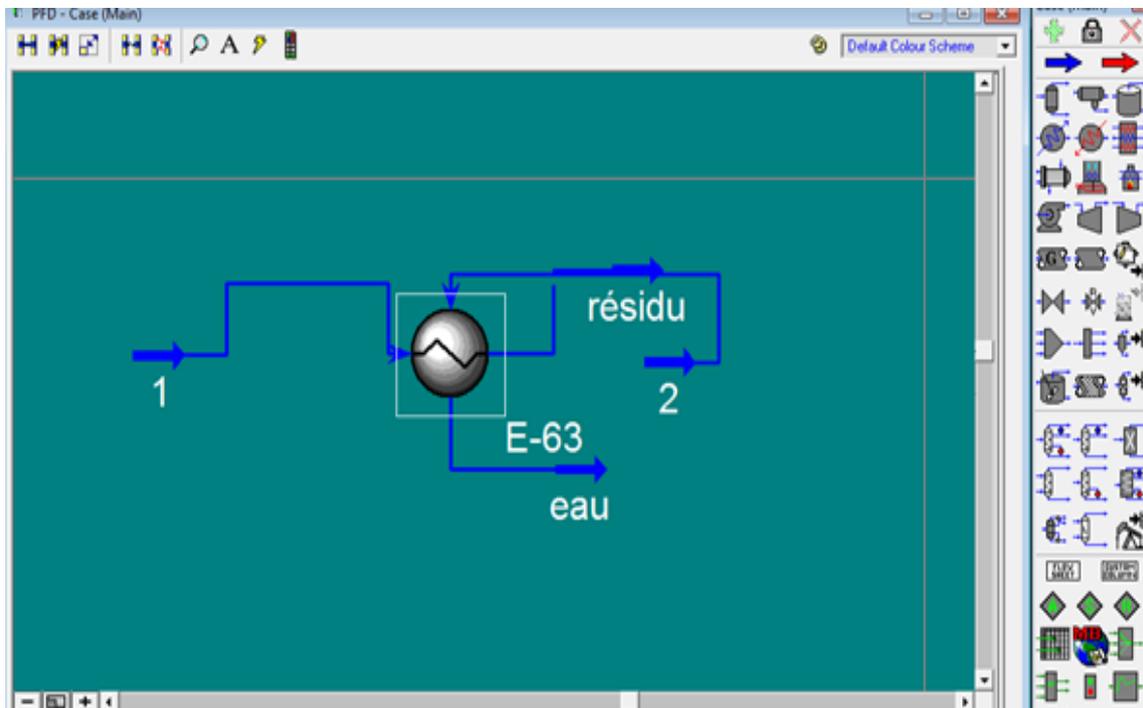


Figure V.13 : L'installation de E-63.

Lors de l'ajout des autres échangeurs à l'installation, les mêmes étapes que celles de l'échangeur E-63 sont répétées. Le résultat de ces étapes est le suivant :

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

▪ Pour l'échangeur E-83 :

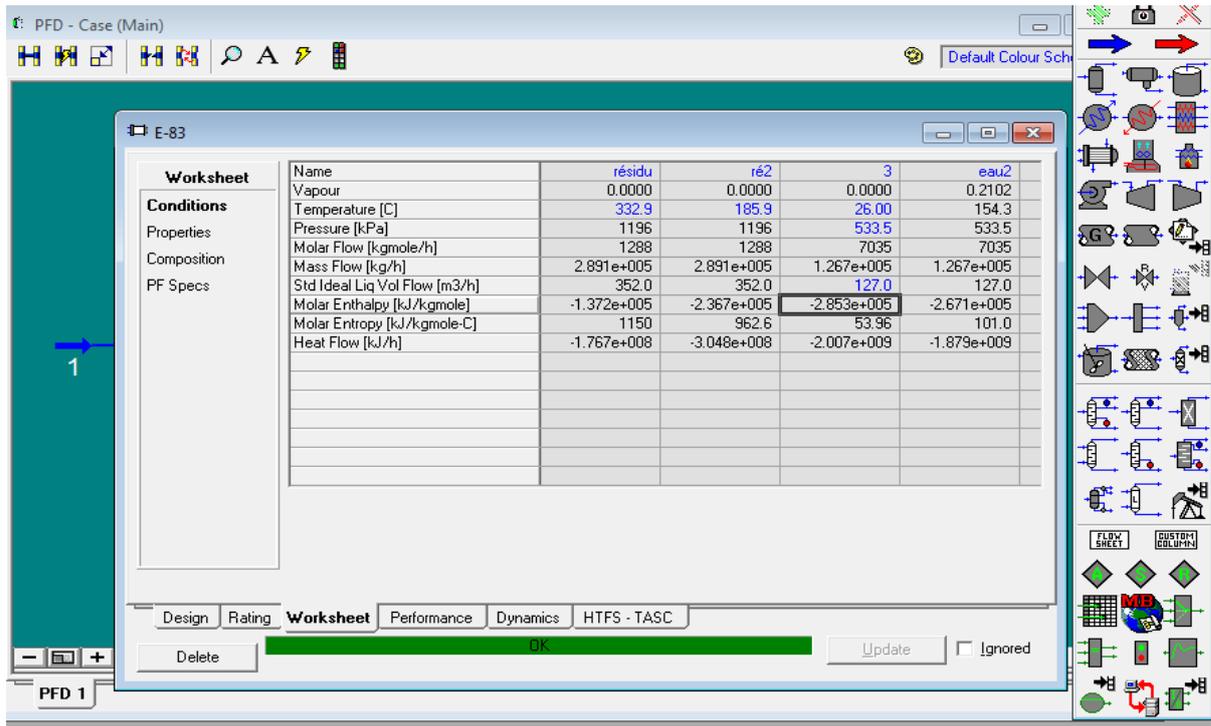


Figure V.14 : Les informations de l'échangeur E-83

▪ Pour l'échangeur E-8 :

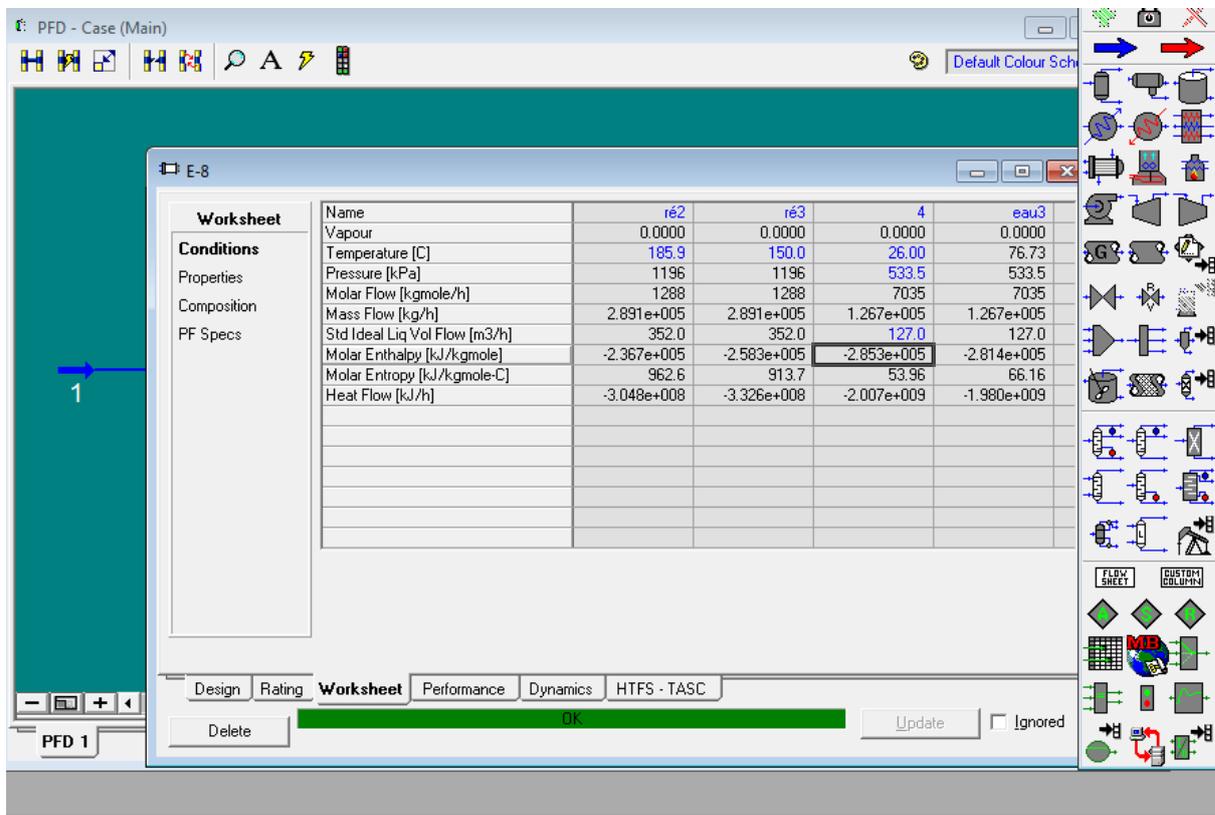


Figure V.15 : Les informations de l'échangeur E-8.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

▪ Pour l'échangeur E-22 :

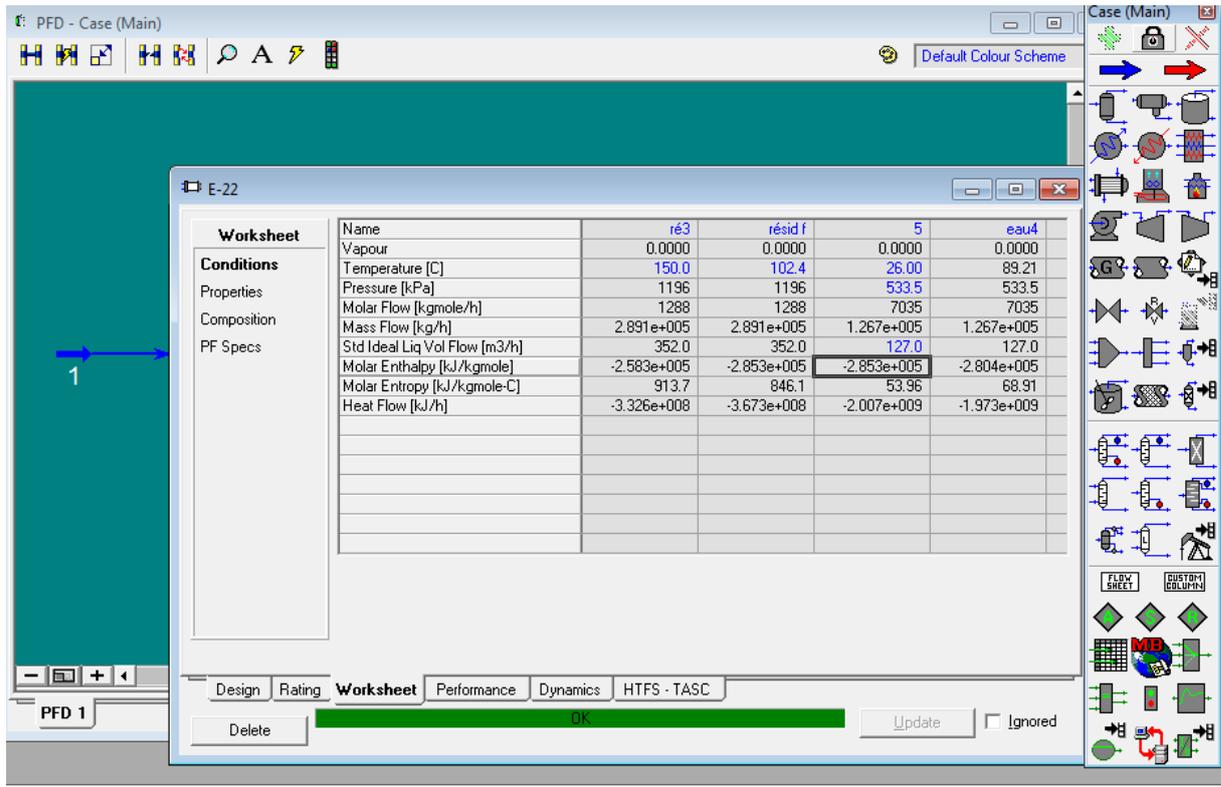


Figure V.16 : Les informations de l'échangeur E-22.

L'installation complète des différents échangeurs est comme montrée ci-après :

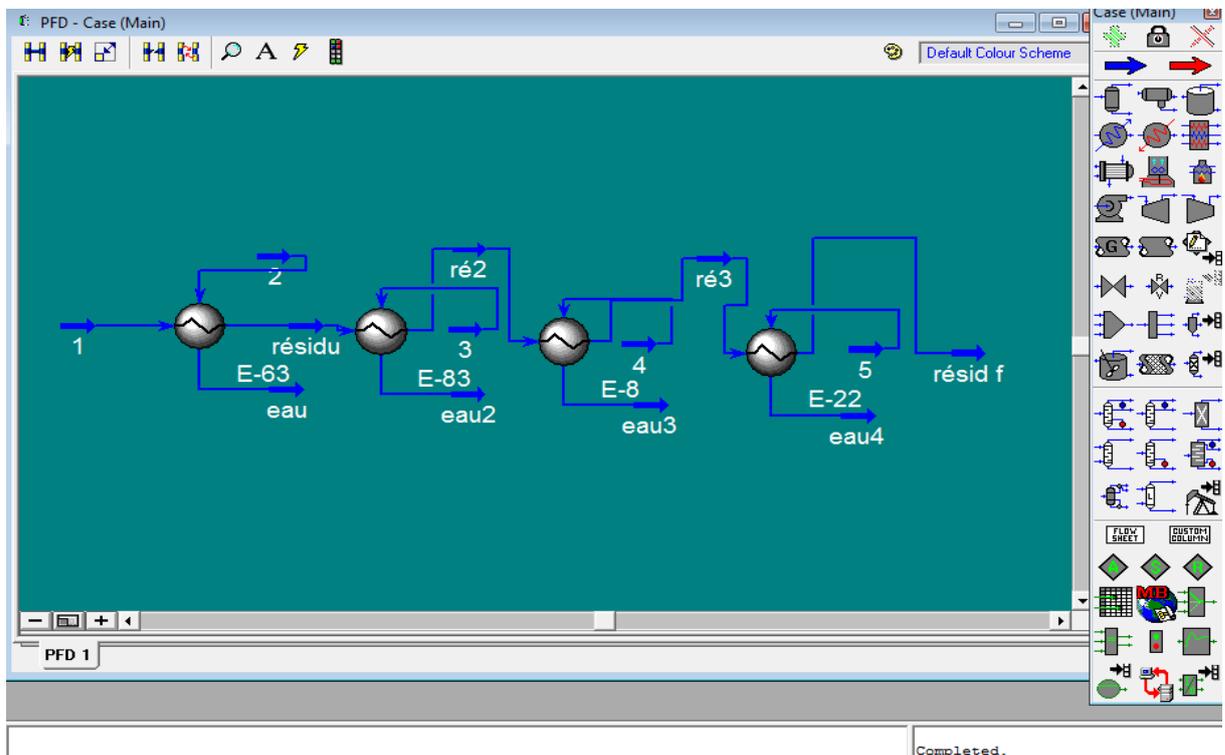
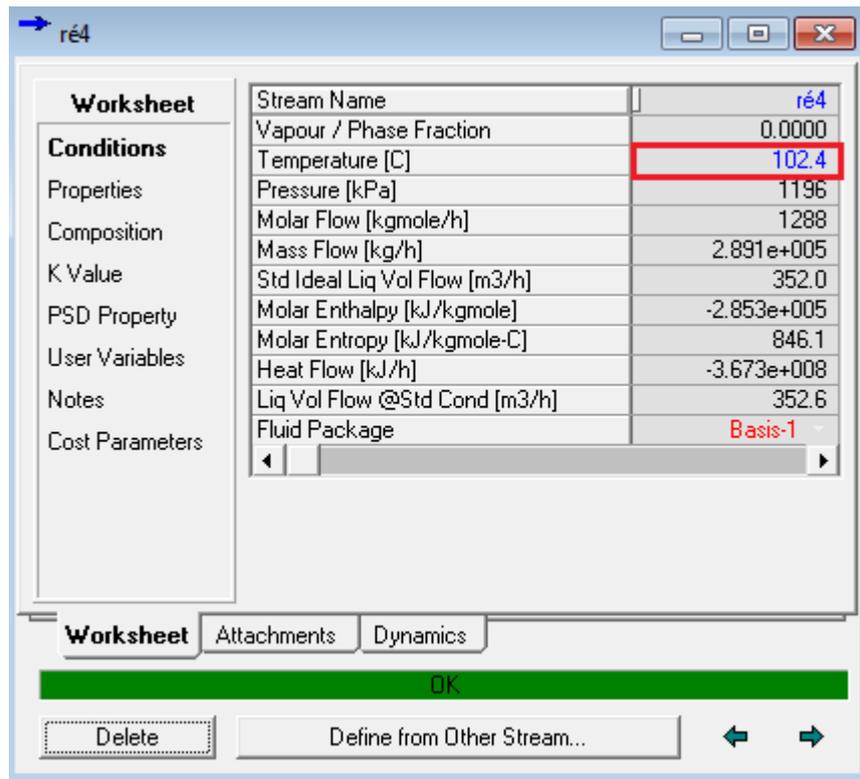


Figure V.17: L'installation du système de refroidissement

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées



Worksheet	
Stream Name	ré4
Vapour / Phase Fraction	0.0000
Temperature [C]	102.4
Pressure [kPa]	1196
Molar Flow [kgmole/h]	1288
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.853e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	846.1
Heat Flow [kJ/h]	-3.673e+008
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	352.6
Fluid Package	Basis-1

Figure V.18 : Les valeurs de sortie du résidu vers le stockage.

Pour rappel, la température du résidu atmosphérique vers le stockage doit être comprise entre 65 °C et 70°C, alors que force est de constater que la température à la sortie du système simulé est 102,4°C (**Figure V.18**). Cette température est très dangereuse pour l'usine et aussi pour l'environnement. Le ballon de stockage ne supporte pas une telle chaleur, cela provoquerait une explosion ou entraîne d'autres risques de danger.

Afin de trouver une solution à ce problème et essayer de mettre fin aux risques présents, nous avons essayé par le biais de la simulation quelques solutions.

▪ **V.3. Première solution :**

Ajouter une pompe et un échangeur pour diminuer la température finale du résidu :

On ajoute la pompe P-1 avant l'installation du système de refroidissement pour augmenter la pression du résidu atmosphérique (**Figure V.19**).

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

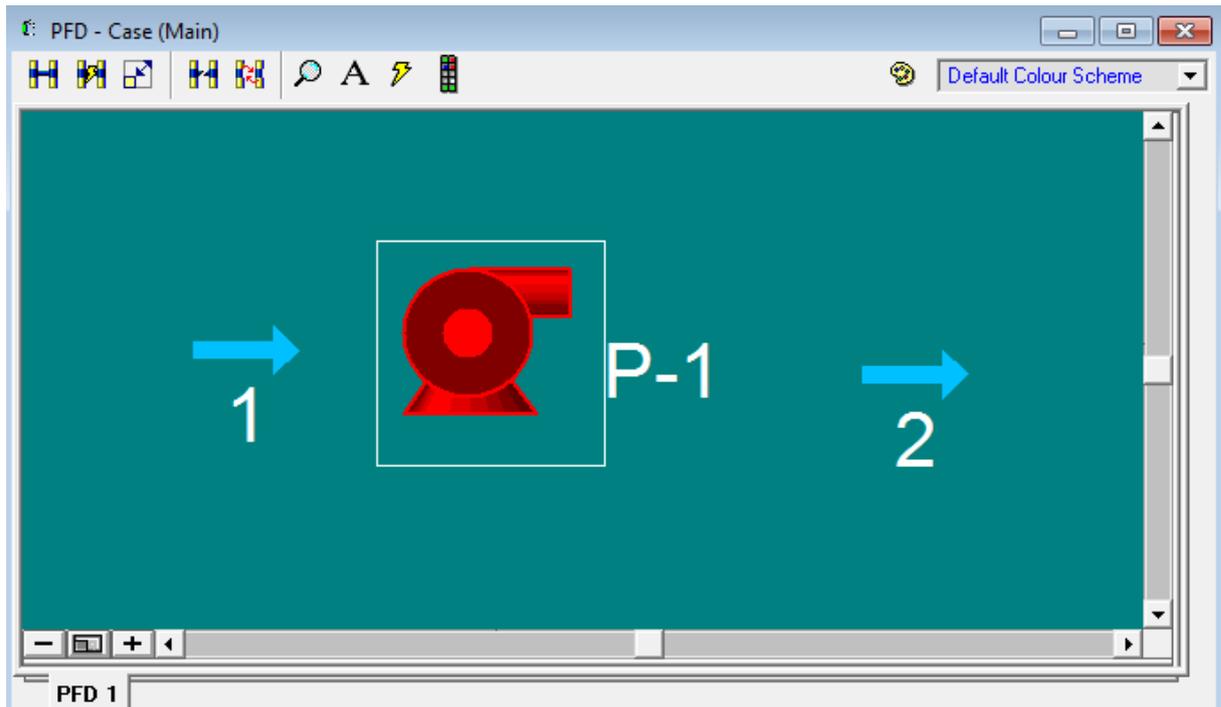


Figure V.19 : Ajout de la pompe P-1.

Sur la feuille **Connections**, il faut faire entrer les informations suivantes :

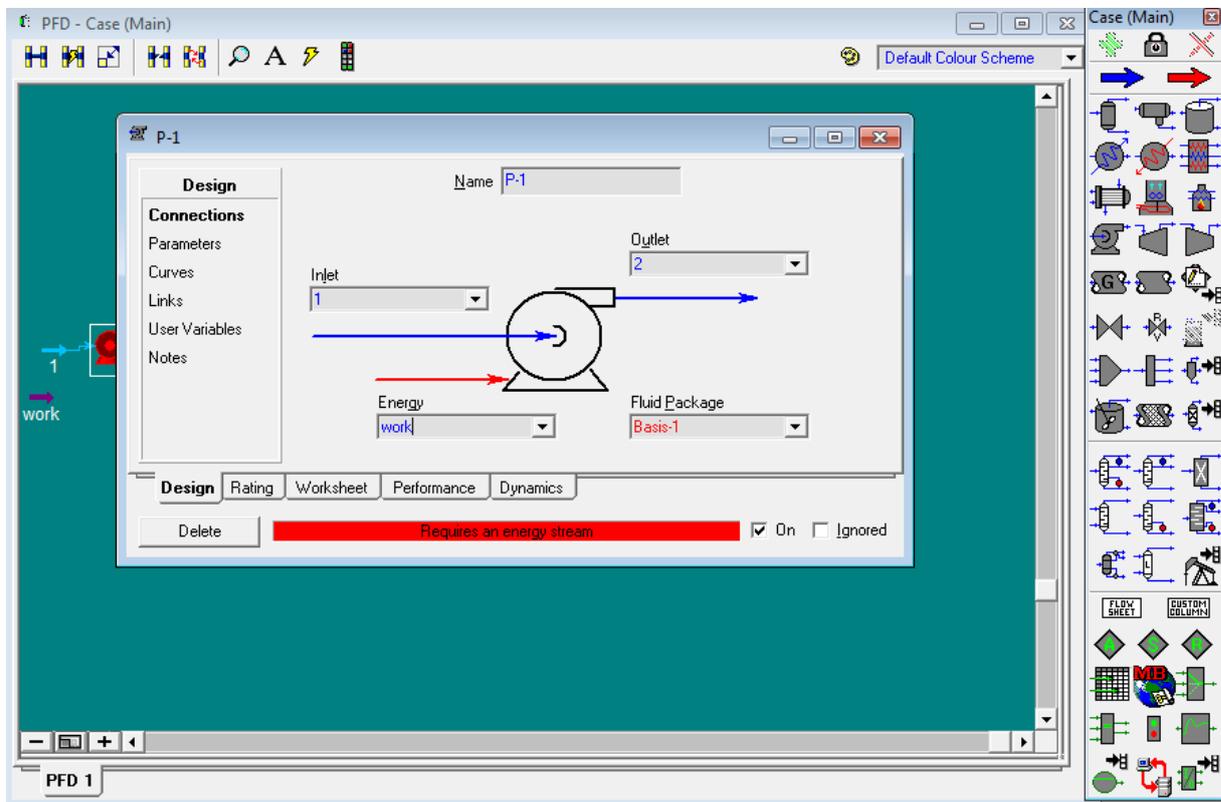


Figure V.20 : Feuille connections de la pompe P-1.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

Basculer vers la feuille **worksheet** ; sur la feuille **conditions** (Figure V.21), compléter les informations dans le tableau :

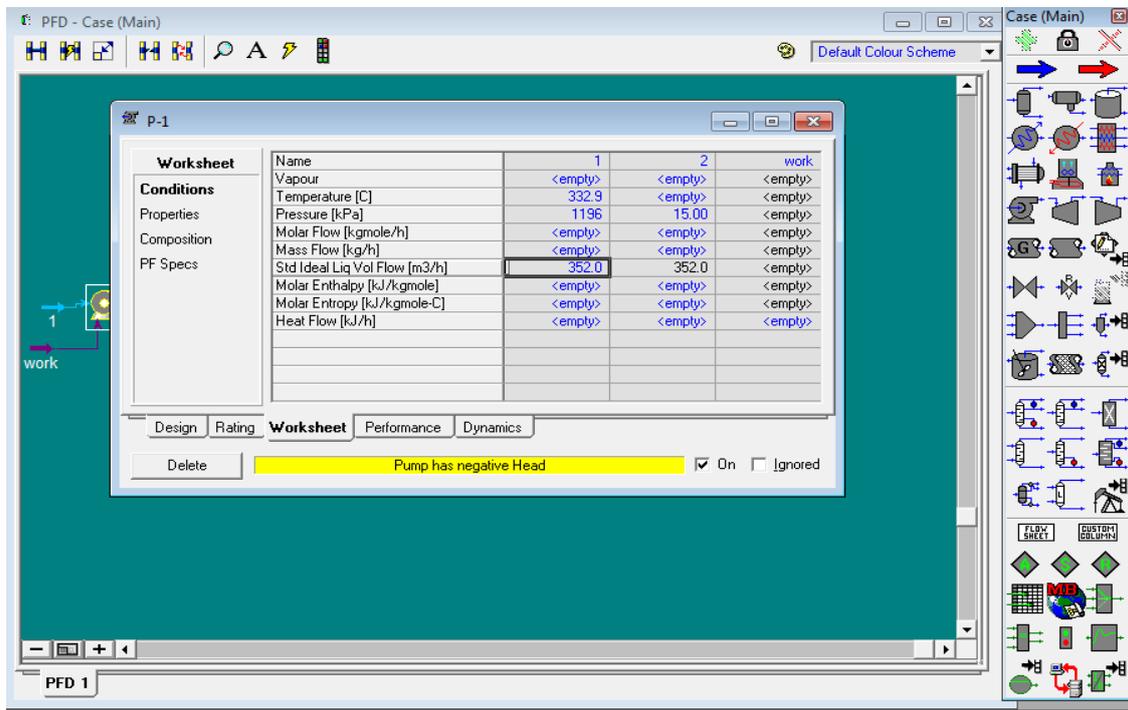


Figure V.21 : La feuille de **worksheet** « conditions ».

Ajouter les fractions molaires dans la composition :

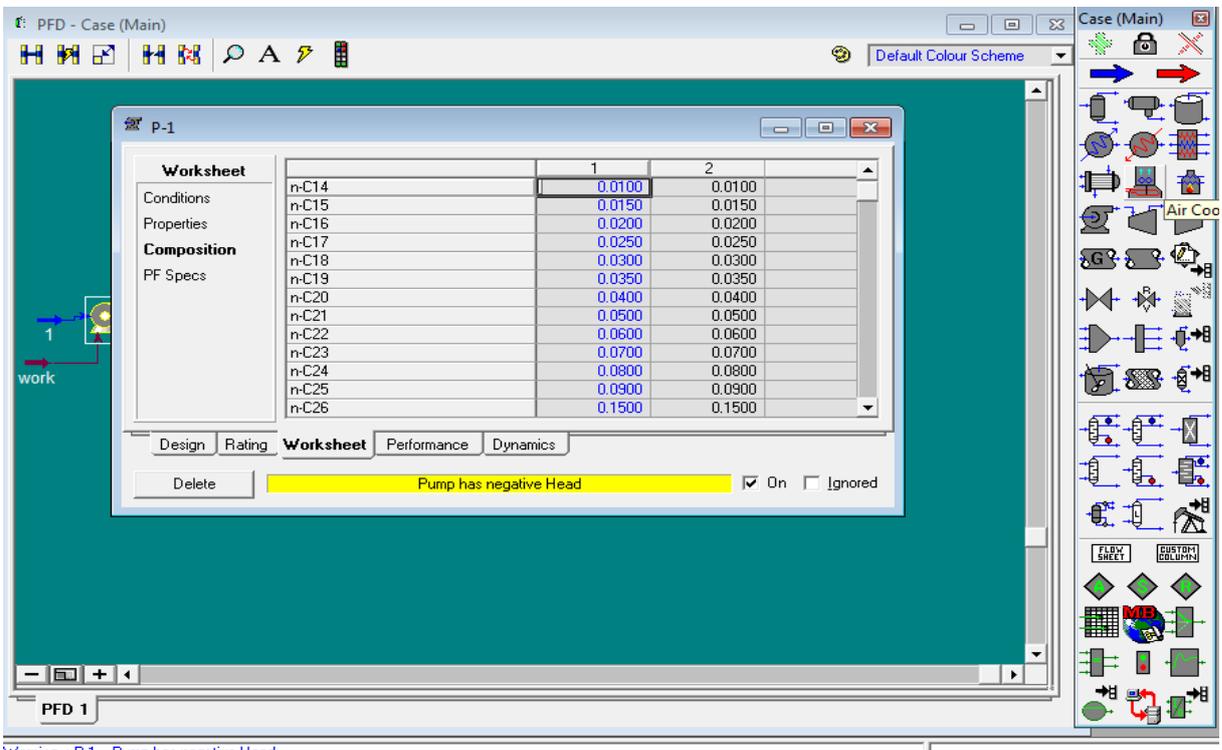


Figure V.22 : Composition.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

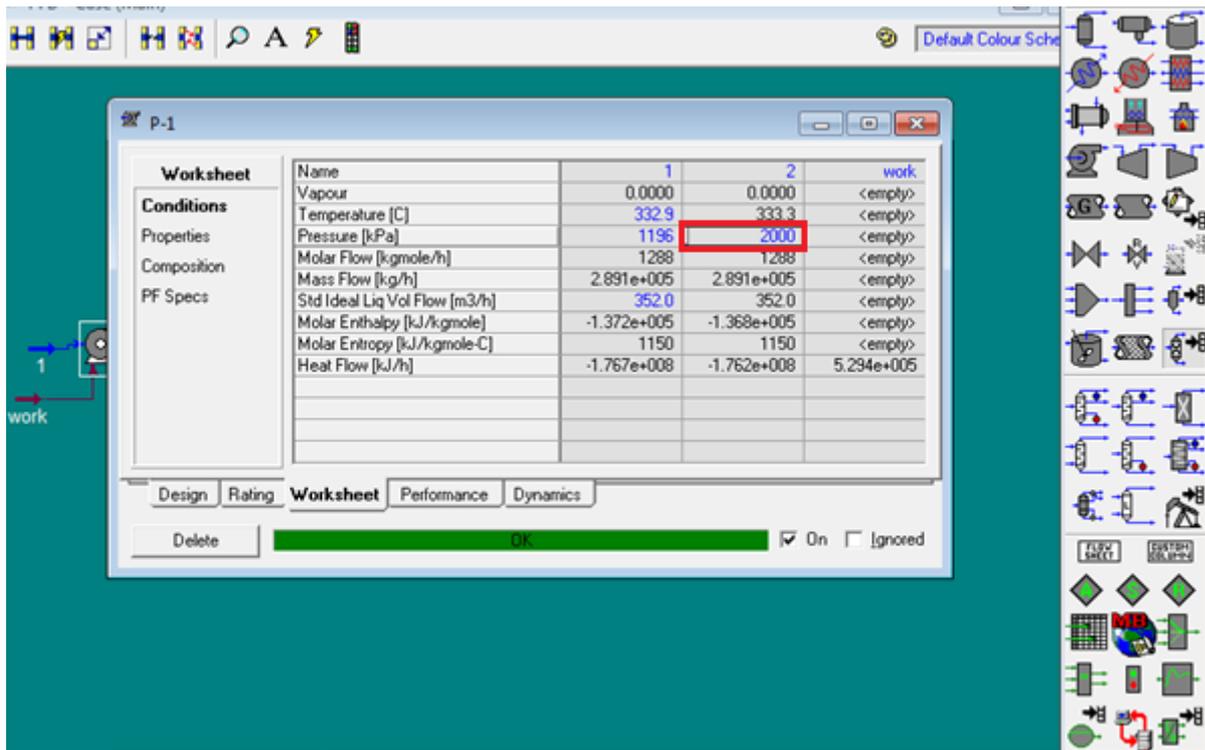


Figure V.23 : Le reste des informations.

On remarque que la pression de sortie « 2 » augmente (**Figure V.23**).

Quant à la série des échangeurs rouler comme précédemment, mais il est de rigueur de souligner la présence de changements :

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

- L'échangeur E-63 :

Figure V.24 displays the Aspen Plus interface for heat exchanger E-63. The 'Worksheet' tab is active, showing a data table with the following values:

Name	2	résidu	3	eau
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	333.3	280.0	26.00	114.9
Pressure [kPa]	2000	2000	533.5	533.5
Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.368e+005	-1.749e+005	-2.853e+005	-2.784e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	1150	1084	53.96	74.34
Heat Flow [kJ/h]	-1.762e+008	-2.252e+008	-2.007e+009	-1.958e+009

Figure V.24 : Les informations de E-63.

- L'échangeur E-83 :

Figure V.25 displays the Aspen Plus interface for heat exchanger E-83. The 'Worksheet' tab is active, showing a data table with the following values:

Name	résidu	ré2	4	eau2
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0289
Temperature [C]	280.0	185.9	26.00	154.3
Pressure [kPa]	2000	2000	533.5	533.5
Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.749e+005	-2.365e+005	-2.853e+005	-2.740e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	1084	962.5	53.96	84.78
Heat Flow [kJ/h]	-2.252e+008	-3.046e+008	-2.007e+009	-1.928e+009

Figure V.25 : Les informations de E-83.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

- L'échangeur E-8 :

Name	r62	r63	5	eau3
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	185.9	150.0	26.00	76.70
Pressure [kPa]	2000	2000	533.5	533.5
Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.365e+005	-2.581e+005	-2.853e+005	-2.814e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	962.5	913.5	53.96	66.15
Heat Flow [kJ/h]	-3.046e+008	-3.323e+008	-2.007e+009	-1.960e+009

Figure V.26 : Les informations de E-8.

- L'échangeur E-22 :

Name	r63	résid f	6	eau f
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	150.0	95.00	26.00	98.48
Pressure [kPa]	2000	2000	533.5	533.5
Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.581e+005	-2.890e+005	-2.853e+005	-2.797e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	913.5	835.2	53.96	70.91
Heat Flow [kJ/h]	-3.323e+008	-3.722e+008	-2.007e+009	-1.968e+009

Figure V.27 : Les informations de E-22.

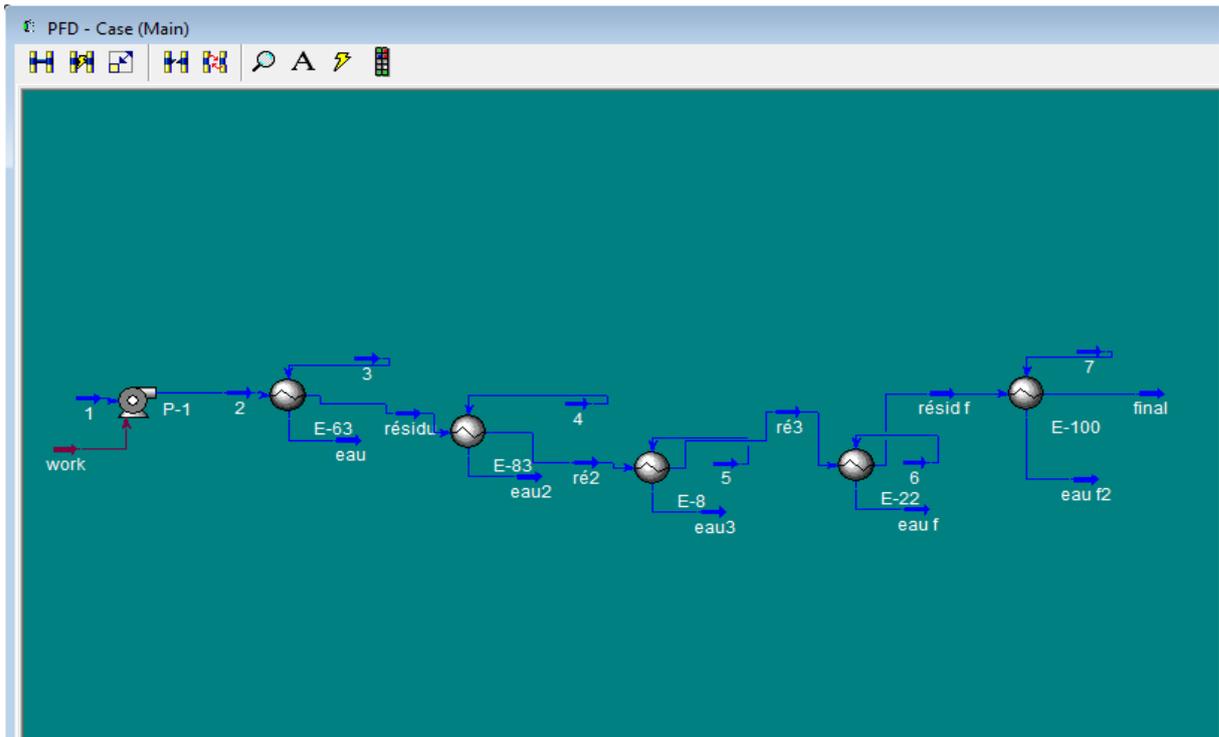


Figure V.29 : L'installation du système de refroidissement modifié.

▪ **V.4. Deuxième solution :**

La deuxième solution à explorer est l'ajout de deux pompes et faire baisser la température de l'eau pour diminuer la température finale du résidu :

On ajoute la pompe P-1 avant l'installation de système de refroidissement de la même manière que dans la première solution (**Figure V.19**).

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

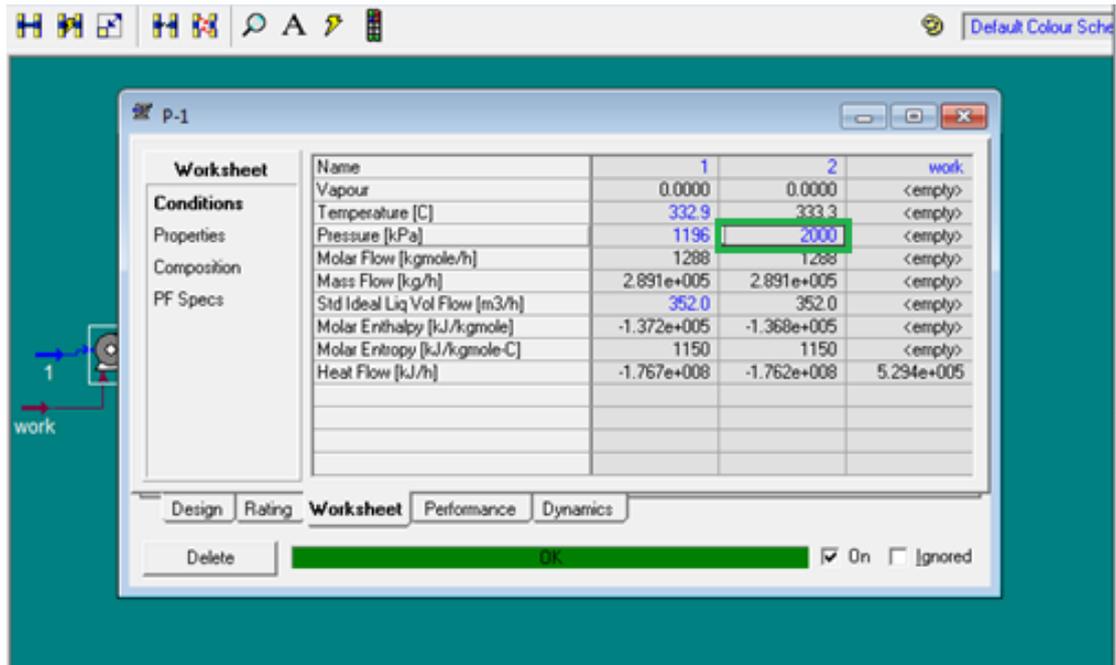


Figure V.30 : Les informations sur la pompe P-1.

Ensuite, nous connectons les échangeurs E-63 ; E-83 ; E-8 de la même façon en changeant la température de l'eau à 25 °C seulement :

- E_63 :

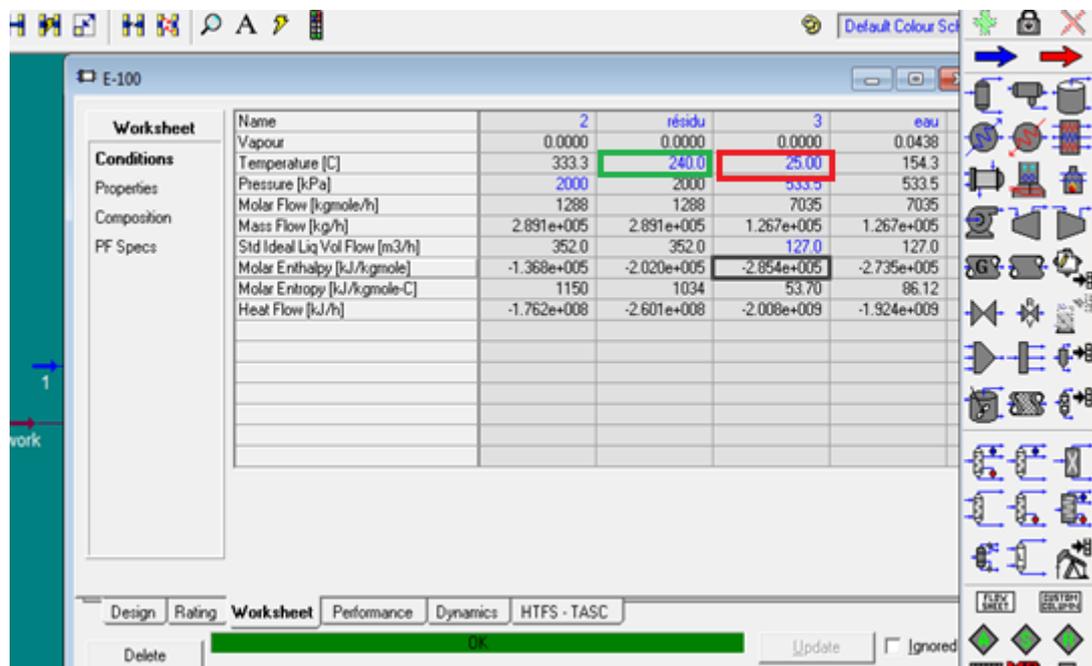


Figure V.31 : Les valeurs de sortie de E-63.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

- E-83 :

Name	r6idu	r62	4	eau2
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	240.0	160.0	25.00	141.4
Pressure [kPa]	2000	2000	533.5	533.5
Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.020e+005	-2.522e+005	-2.854e+005	-2.762e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	1034	927.3	53.70	79.69
Heat Flow [kJ/h]	-2.601e+008	-3.247e+008	-2.008e+009	-1.943e+009

Figure V.32 : Les valeurs de sortie de E-83.

- E-8 :

Name	r62	r63	5	eau3
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	160.0	100.0	25.00	104.9
Pressure [kPa]	2000	2000	533.5	533.5
Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.522e+005	-2.863e+005	-2.854e+005	-2.791e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	927.3	842.5	53.70	72.26
Heat Flow [kJ/h]	-3.247e+008	-3.687e+008	-2.008e+009	-1.964e+009

Figure V.33 : Les valeurs de sortie de E-8.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

Avant l'échangeur E-22, nous avons jugé bon d'ajouter une deuxième pompe :

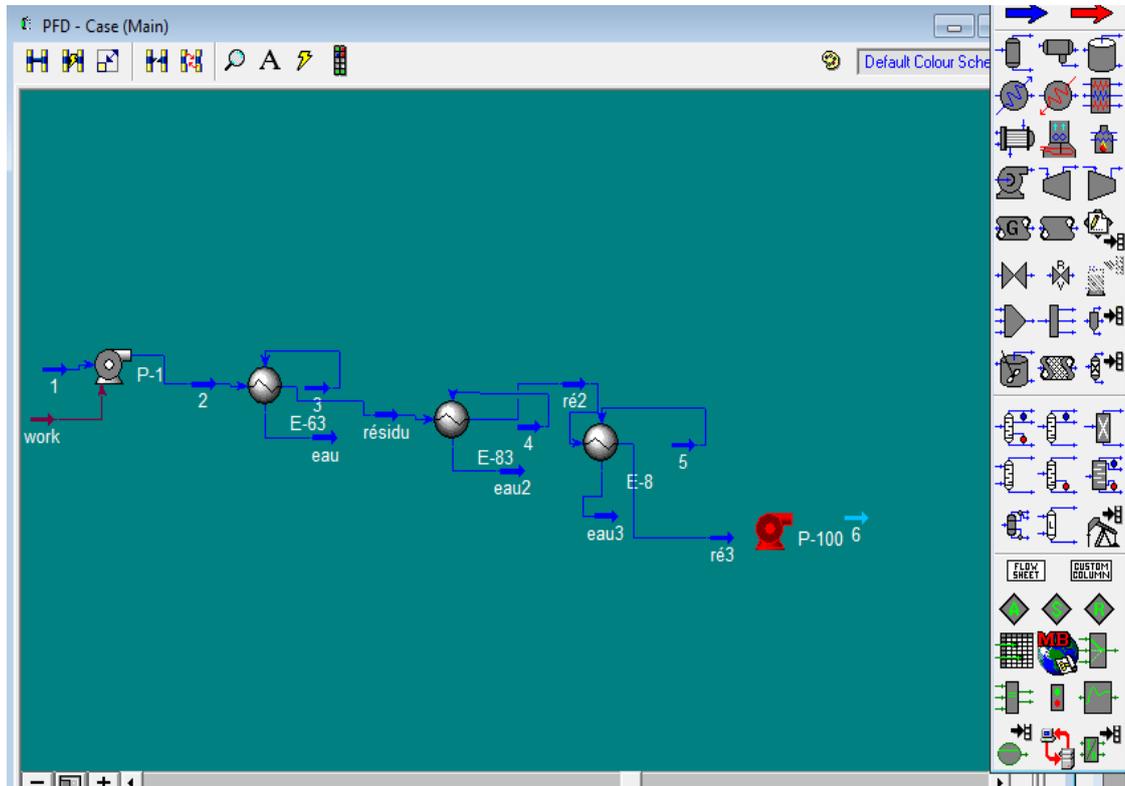


Figure V.34 : Ajout de la deuxième pompe

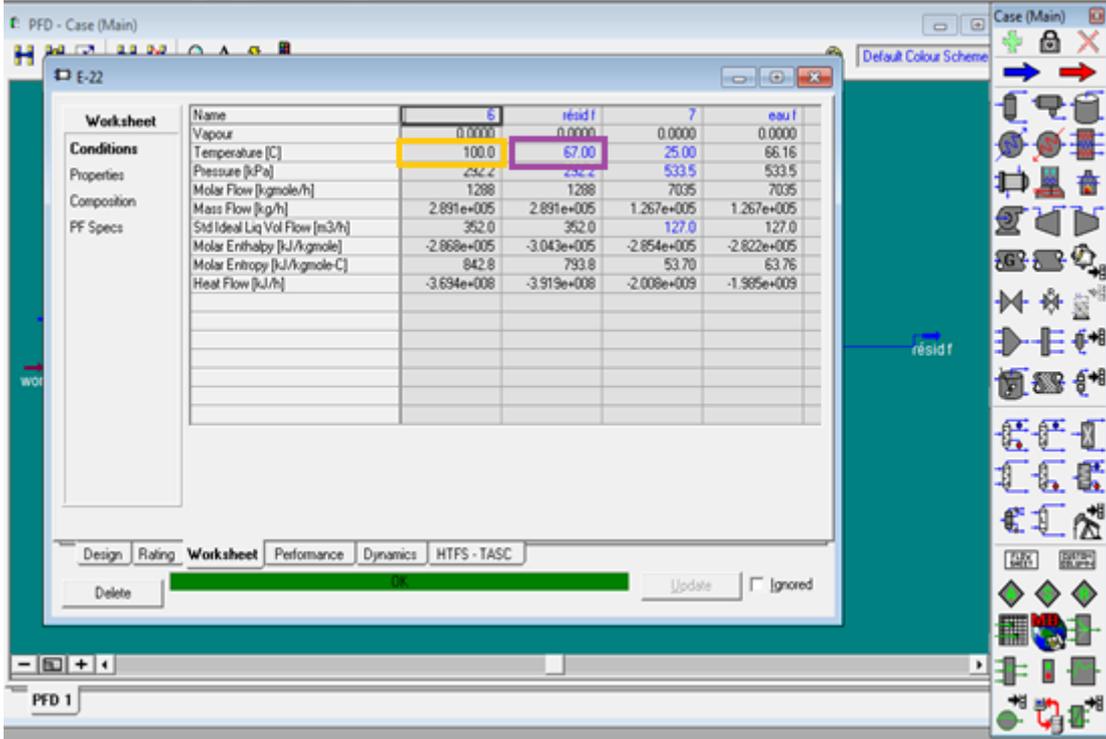
Worksheet	Name	ré3	6	thématique
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	100.0	100.1	<empty>
Properties	Pressure [kPa]	2000	2500	<empty>
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	<empty>
Composition	Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	<empty>
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	<empty>
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.863e+005	-2.861e+005	<empty>
PF Specs	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	842.5	842.6	<empty>
PF Specs	Heat Flow [kJ/h]	-3.687e+008	-3.685e+008	2.527e+005

Figure V.35 : Les valeurs de sortie de la deuxième pompe.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

Par la suite nous continuons le reste des équipements de l'installation :

- ajouter l'échangeur E-22 :



Worksheet	Name	5	résid f	7	eau1
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Properties	Temperature [C]	100.0	67.00	25.00	66.16
Properties	Pressure [kPa]	252.2	252.2	533.5	533.5
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	1288	1288	7035	7035
FF Specs	Mass Flow [kg/h]	2.891e+005	2.891e+005	1.267e+005	1.267e+005
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	352.0	352.0	127.0	127.0
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.868e+005	-3.043e+005	-2.854e+005	-2.822e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	842.8	793.8	53.70	63.76
	Heat Flow [kJ/h]	-3.694e+008	-3.919e+008	-2.008e+009	-1.985e+009

Figure V.36 : Les valeurs de sortie de E-22.

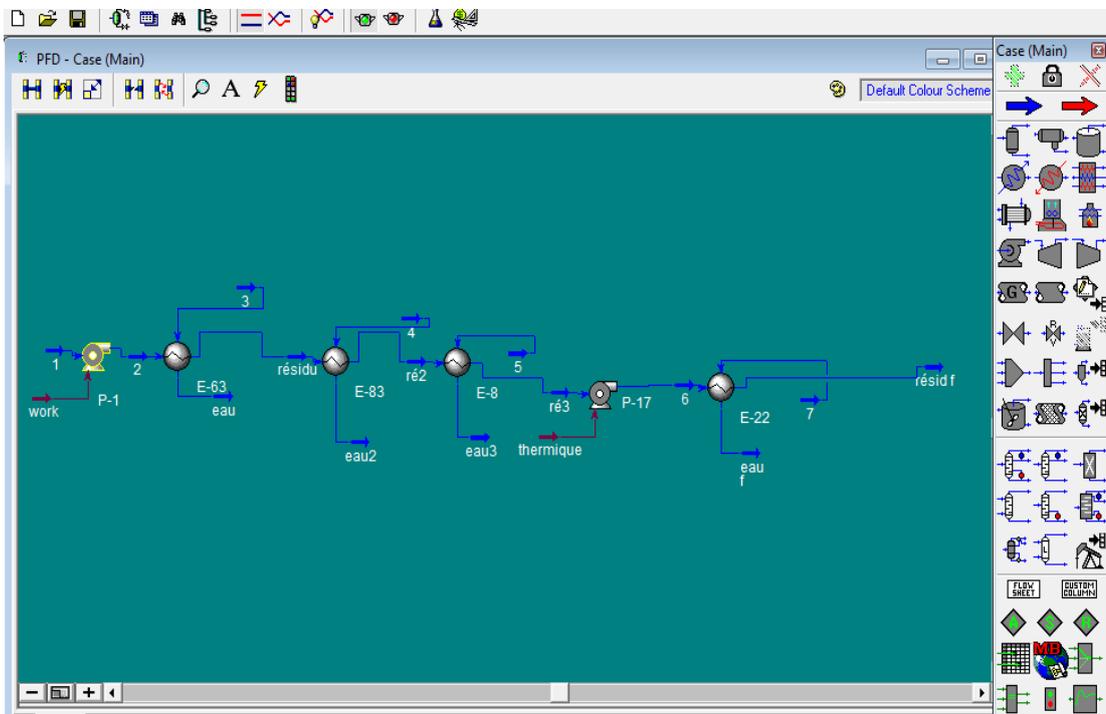


Figure V.37 : L'installation du système de refroidissement complet.

Chapitre V : Simulation du système de refroidissement et évaluation des solutions proposées

On constate que la température finale du résidu vers le stock est de 67°C (**Figure V.36**). Elle est devenue conforme aux exigences du systèmes et entre dans l'intervalle des limites fixées.

V.5. Discussion des résultats :

Comme nous l'avons vu précédemment, nous avons développé et exploité, par la simulation numérique, deux solutions pour réduire la température du résidu atmosphérique jusqu'à ce qu'elle soit dans les normes requises (entre 65°C-70°C).

A l'aide d'une simple analyse approximative, nous comparons les équipements requis dans les deux installations proposées comme solutions pour voir laquelle des deux solutions est la plus optimale pour l'usine.

Nous pouvons avancer que la deuxième solution, qui consiste à ajouter une pompe et réduire la température de l'eau de refroidissement de 1°C peut être considérée comme étant meilleure que celle proposant l'ajout d'un échangeur de chaleur car :

- l'installation de l'échangeur de chaleur, sur le plan technique, est plus difficile que l'installation d'une pompe supplémentaire.
- le coût de revient de la pompe et son installation est certainement inférieur au coût de l'échangeur de chaleur.

Donc, la meilleure solution pour résoudre ce problème est d'installer une pompe et de faire baisser légèrement la température de l'eau de refroidissement.

CONCLUSION

Conclusion

Le refroidissement est un processus très important dans de nombreuses usines et se fait via des systèmes de refroidissement spéciaux qui contiennent de nombreux échangeurs de chaleur, des pompes, des condenseurs et des aéroréfrigérants.

Le manque de refroidissement parfait peut entraîner de nombreux problèmes de stockage. Nous avons constaté qu'il y avait un problème dans le système de refroidissement de l'unité de distillation atmosphérique qui refroidit le résidu. De ce fait, nous nous sommes proposées d'essayer de trouver des solutions à ce problème. Nous avons fait recours à la simulation numérique, à l'aide du logiciel HYSYS pour trouver la cause de ce problème, ensuite de proposer et développer des solutions.

Au cours de la simulation, nous avons exploré quelques solutions que nous avons pu évaluer. Parmi ces solutions nous avons pu mettre l'accent sur deux d'entre elles qui peuvent être exploitées. Il s'agit de :

- Ajouter un échangeur de chaleur avant le stockage ;
- Mettre une pompe supplémentaire et baisser légèrement la température de l'eau de refroidissement.

Nous nous sommes basées sur une estimation approximative du coût des équipements et de l'installation, ensuite sur la difficulté d'installer des équipements dans un procédé déjà fonctionnel, nous avons conclu que l'ajout de la pompe supplémentaire et la légère baisse de la température de l'eau de refroidissement font de cette solution la meilleure et la plus accessible des alternatives. Son installation est beaucoup plus facile et moins coûteuse que l'ajout de l'échangeur de chaleur.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [Anglaret, 2001] : ANGLARET-KAZMIER CZAK ; Technologie Génie chimique. Tome 1.
- Technique de l'ingénieur articles relatifs aux pompes centrifuges.
- [A. SKOBLO, 1962] : A. SKOBLO, I, TREGOUBOUA, N. EGOROV ; méthode et appareil de l'industrie du pétrole. Tome II.
- [Bekhadouma, 2014] : Bekhadouma, Benali ; Amélioration de la qualité d'eau de refroidissement au sein de CP1/Z. Mémoire master ; Université des sciences et de la technologie. Mohamed Boudiaf d'Oran.
- [BOUDAA, 2017] : BOUDAA Dyhia, GACI Soumia ; ETUDE ET SIMULATION D'UNE INSTALLATION DE LIQUEFACTION ET SEPARATION DES GAZ DE L'AIR .2017.
- [Christian, 2008] : Christian Guilié ; Installation motrice à vapeur ; Institut Universitaire de technologie ; Département Génie Thermique et énergie. 186 rue de Lorraine/54400 Cosne et Romain ; septembre 2008.
- [DJEBBARI, 2014] : DJEBBARI Abdelbasset ; SIMULATION D'UNE UNITE DE PRODUCTION DE METHANOL A L'AIDE DE L'ASPEN PLUS HYSYS.2014.
- [Echangeur de chaleur] : IAP.CU. SKIKDA. Formation industrie. Chapitre 02. Du 11 au 15/03/2006.
- [Hendaoui.2017] : Hendaoui Bachir ; Etude et vérification de la performance du dessaleur V (51) De l'unité de topping
- [Pascal, 2002] : cours de pascal Tobaly, Échangeur -de- chaleur.pdf. <http://génie.industriel.iaa.free.fr>.
- [Jean, 1998] : Jean pierre WAUQUIER ; le raffinage du pétrole « Procèdes de séparation ».
- [LEMEN, 2011] : OWN WORK. Distillation atmosphérique. WIKIMEDIA COMMONS. 11january2011.
- [Mohd] : Mohd. Kamaruddin Abd Hamid ; HYSYS an introduction to chemical Engineering simulation.
- [Naftec] : carte d'identité ; Word press. Com <http://www.naftec.dz>.
- [N. REBAI] : Cours Initiation au simulateur HYSYS.
- [OSHA,1996] : d'après occupational safety and health Administration.

Références bibliographiques

- [Pierre, 1999] : Pierre Trambouze ; matériels et équipement.vol.4, Paris ; technip.coll. « Le raffinage de pétrole ». 785.p.(ISPN2-7108-07416, lire en linge).
- [Rafic ; 2013] : Rafic Younes ; les échangeurs de chaleur. Université libanaise. ULFG-S9 ; Département mécanique.
- [N. REBAI] : Cours Initiation au simulateur HYSYS.
- [Thielli, 2016] : Abbas Thielli, Kacel Katia ; Etude thermique de l'aéroréfrigérant eau / air de la centrale électrique HAMMA II. Université mouloud Mammeri TIZI-OUZOU. Faculté du génie de la construction ; Département Génie mécanique.