

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Département Génie des Procédés Chimiques et  
Pharmaceutiques



## Mémoire de Master

Présenté par

Mlle NEMRI Aya

&

Mlle RENDI Amina Inias

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie des Procédés-Raffinage

---

*Le calcul dimensionnement des aéroréfrigérants  
11-E16 de la tête de la colonne principale (topping)  
de la raffinerie d'Arzew (RA1Z)*

---

Devant le jury :

Mme. BEDDA Kahina	MCA	UMBB	Présidente
Mr. SAOUD Abdesselam	MCA	UMBB	Examineur
Mr. KADDOUR Omar	Prof	UMBB	Encadrant

Année Universitaire : 2023/2024

## Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous remercions vivement notre encadrement de recherche, Mr KADDOUR Omar, pour son encadrement, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce projet. Ses encouragements et son expertise ont été indispensables à l'aboutissement de ce travail.

Nous souhaitons également remercier l'ensemble des professeurs et membres du département de Génie des Procédés pour leur enseignement de qualité et leur disponibilité. Leur rigueur scientifique et leur passion pour la discipline ont été une source d'inspiration.

Nous sommes particulièrement reconnaissants envers la Raffinerie d'Arzew pour nous avoir fourni les données nécessaires et pour nous avoir permis d'accéder aux installations indispensables à la réalisation des expériences de ce mémoire. Nos remerciements vont tout spécialement aux ingénieurs du département technique et de la zone 4, dont l'expertise et l'assistance ont été inestimables.

Un grand merci à nos collègues et amis pour leur soutien moral et leurs discussions enrichissantes qui ont souvent éclairé notre chemin. Leur amitié et leur encouragement ont été d'un grand secours dans les moments de doute.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos familles pour leur amour, leur patience et leur soutien inébranlable tout au long de nos études. Sans leur présence bienveillante, ce projet n'aurait pas été possible.

Merci à tous pour votre contribution précieuse à l'accomplissement de ce travail.

## **Dédicace**

Je dédie cette thèse à :

**A mon cher père,**

Ma source d'espoir et mon guide du savoir, son courage et sa patience me serviront toujours d'exemple ; et ses conseils éclaireront toujours mon chemin vers l'avenir.

**La fleur de ma vie, ma mère**

Qui a sacrifié les plus belles années de sa vie pour me voir grandir et réussir et qui a toujours été ma source de tendresse.

**A mes frères Kadi, Ghassen, Tarek, Faiz, et à mes chères sœurs Heba et Lamis,**

Pour votre soutien constant et votre présence réconfortante. Vous avez toujours été là pour moi et ce travail est aussi le vôtre.

**A mon binôme exceptionnel Aya,**

Pour ton partenariat sans faille et ton soutien tout au long de ce projet. Ce mémoire est le fruit de notre travail commun et de notre détermination.

**A mes chères copines de chambre Houda et Aya,**

Pour vos encouragements, vos moments de détente et votre amitié précieuse. Vous avez rendu ce parcours plus agréable et supportable.

**A mon neveu adoré Louay et à mes deux nièces chéries Tasbih et Toulina**

Pour votre joie de vivre et votre énergie positive qui m'ont toujours inspirée.

**A mes chères copines de stage amina et meriem**

**A tous mes chères amies et surtout la famille fdc**

Une pensée très spéciale envers nos collègues et nos amies pour leur soutien moral et leur esprit de groupe

Ainsi que tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Avec toute ma gratitude

**Ines**

## Dédicace

{وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ}

الحمد لله عند البدء وعند الختام، فما تناهى دربُّ، ولا خُتم جهد، ولا تم سعي الا بفضلِهِ.  
من قال أنا لها نالها، وأنا لها وإن أبت رغماً عنها أتيت بها، لم تكن الرحلة قصيرة ولا  
الطريق محفوفا بالتسهيلات لكني فعلتها فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات

اهدي هذا النجاح **لنفسي** الطموحة اولاً، الى نفسي العظيمة القوية التي تحملت كل العثرات  
واكملت رغم الصعوبات للوصول الى المبتغى، بدأت بحلم وطموح وانتهت بنجاح  
الى من احمل اسمه بكل عز وافتخار، الى من تحمل معي عناء الطريق ومهده لي بجهد  
وتعبه، **ابي الغالي**

الى المرأة التي صنعت مني فتاة طموحة تتحدى الصعوبات، الى من ضحت في سبيل  
نجاحي، قدوتي الاولى، نبض قلبي وجنتي، **امي حبيبة قلبي**  
الى الكتف الذي لا يميل والظل الذي احتمي به، الى العمود الثابت في حياتي، القلب النابض  
بصدق الحب والمشاعر، **اخي حبيبي**

الى صديقتي وشريكتي في النجاح، الى من تقاسمت معي لحظات الحزن والفرح، ممتنة  
لوجودك معي، **ايناس**  
الى استاذتي بالثانوي، **الاستاذة خيذر** التي آمنت بقدراتي ودعمتني حتى لحظة الوصول الى  
المبتغى

الى صاحبة السنين، صديقتي واختي، **دلال**  
الى صديقات الإقامة والغرفة، **آية وهدى** لدعمها الصادق واللحظات التي قضيناها معا  
الى **أمينة ومريم** صديقات وهران

الى كل الاصدقاء خاصة عائلة FDC على المساندة من قريب او من بعيد

**Aya**

## Résumé :

Cette étude s'est concentrée sur un problème courant rencontré avec les aéroréfrigérants 11-E16 de la raffinerie (RA1Z), à savoir l'encrassement et l'obturation des tubes. Les aéroréfrigérants 11-E16, situés dans la section de préfractionnement de l'unité 11, ont pour fonction de faire circuler la vapeur de tête dans les tubes provenant des échangeurs de chaleur 11E-1 A/B/C/D/E/F à une température de 68°C. Ils sont considérés comme des équipements stratégiques de la raffinerie RA1Z.

Le maintien du taux de fonctionnement dépend de plusieurs facteurs, et une gestion et un contrôle rigoureux du comportement des aéroréfrigérants 11-E16 sont devenus essentiels pour éviter toute perturbation. Cette étude vise à examiner l'impact de l'encrassement et de la dégradation des tubes des aéroréfrigérants 11-E16 sur le taux de fonctionnement de l'unité.

**Mots clés :** aéroréfrigérant, faisceaux tubulaires, encrassement, vapeur de tête, refroidissement, taux de fonctionnement

## The abstract

This study focused on a common issue encountered with the 11-E16 air coolers at the refinery (RA1Z), namely the fouling and blockage of the tubes. The 11-E16 air coolers, located in the prefractionation section of Unit 11, are designed to circulate overhead vapor through the tubes from heat exchangers 11E-1 A/B/C/D/E/F at temperature 68°C. They are considered strategic equipment at the RA1Z refinery.

Maintaining the operational rate depends on several factors, and rigorous management and control of the behavior of the 11-E16 air coolers have become essential to avoid any disruptions. The purpose of this study is to examine the impact of the fouling and degradation of the tubes of the 11-E16 air coolers on the operational rate of the unit.

**Keywords :** air cooler, tubular bundles, fouling, overhead vapor, cooling, operational rate.

## المخلص

وقد ركز هذا العمل على مشكلة تكثر مواجهتها مع مبردات الهواء المثبتة في المصفاة وهي تلوث وانسداد انابيب مبردات الهواء الموجودة على ارتفاع قسم التجهيز للوحدة 11 وتمثل وظيفتها في تدوير البخار العلوي في الانابيب القادمة من المبادلات الحرارية عند درجة حرارة 68 درجة مئوية وهي مصنفة ضمن المعدات الاستراتيجية للمصفاة.

يعتمد الحفاظ على معدل التشغيل على عدة شروطة اصبح من الضروري ادارة و مراقبة سلوك مبرد الهواء لتجنب اي اضطراب في هذا الاخير.

الغرض من هذا العمل هو تقديم دراسة توضح تأثير ظاهرة تلوث وتدهور أنابيب مبردات الهواء على معدل تشغيل الوحدة.

مبرد الهواء, حزم الانبوب, القاذورات, البخار العلوي, التبريد, دورة العمل الكلمات المفتاحية

# Sommaire

## Liste d'abréviation

## Liste des tableaux

## Liste des figures

Introduction générale : .....	1
• <b>Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)</b>	
I.1.Introduction : .....	4
I.2. Définition de naphta : .....	4
I.2.1. Composition chimique du naphta : .....	4
I.2.2. Familles chimiques d'hydrocarbures .....	4
I.2.3. Composés hétéro-atomiques .....	5
I.2.4 Origine de naphta .....	6
I.2.5. La qualité de condensat Algérien .....	8
• <b>Chapitre II : présentation de l'unité</b>	
II.1. Historique : .....	12
II.2. Localisation de la raffinerie : .....	12
II.3. Evolution de la capacité de production de la RA1Z : .....	13
<i>Nature du produit</i> .....	13
<i>Quantité</i> .....	13
<i>Unité</i> .....	13
II.4. Présentation des zones : .....	14
II.4.1.DRH (Unité administrative) : .....	14
II.4.2. Sécurité industrielle : (Département HSE) : .....	14
II.4.2.1. Service de surveillance : .....	14
II.4.2.2. Service de prévention : .....	14
II.4.2.3. Service d'intervention : .....	15
II.4.3. Présentation des installations de production : .....	17
II.4.3.1. Département de production P1 .....	17
II.4.3.2. Département de production P2 .....	17
II.4.3.3. Département de production P3 .....	18
II.4.3.4. Département de production P4 .....	18

- **CHAPITRE III : l'utilisation du naphta**

III.1. Usages du condensat .....	21
III.1.1 Utilisation en raffinage .....	21
III.1.2 Utilisation en pétrochimie .....	22
III.1.3 Utilisation comme fuel .....	23

- **Chapitre IV : généralités sur le pétrole**

IV.1 Introduction : .....	25
IV.2 Définition du pétrole : .....	25
IV.3 Classification du pétrole .....	26
IV.3.1 Classification selon la densité .....	26
IV.3.2 Selon la teneur en Soufre .....	26
IV.3.3 Selon la composition chimique majoritaire .....	26
IV.4 Composition chimique du pétrole brut.....	27
IV.4.1 Hydrocarbures saturés (Alcanes) .....	27
IV.4.2 Hydrocarbures aromatiques monocycliques BTEX .....	28
IV.4.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP.....	28
IV.4.4 Hydrocarbures insaturés.....	29
IV.4.5 Composés polaires .....	30
IV.4.5.1 Composés soufrés .....	30
IV.4.5.2 Composés oxygénés .....	31
IV.4.5.3 Composés azotés.....	31
IV.4.5.4 Composés organométalliques .....	31
IV.4.6 Coupes pétrolières .....	31

- **Chapitre V : La distillation atmosphérique**

V.1 Généralités .....	36
V.2 Fonctionnement de la distillation atmosphérique : .....	37
V.2.1 Section de fractionnement principal .....	37
V.2.2 SECTION DE STABILISATION.....	39
V.3 Qualité de fractionnement : .....	40

V.4 Modification des points de coupe.....	42
V.4.1 Température de la zone de Flash .....	42
V.4.2 Température de tête .....	43
V.4.3 Pression.....	44
V.5 Protection contre la corrosion : .....	44
• <b>Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur</b>	
VI.1. Introduction : .....	49
VI.2.-Les modes de transfert de chaleur : .....	49
VI.2.2. La convection .....	51
VI.2.3. La radiation .....	51
VI.3. Définition d'un échangeur : .....	52
VI.4. Principe de fonctionnement d'un échangeur tubulaire : .....	52
VI.5. Les différents types d'échangeurs : .....	53
VI.5.1. Les échangeurs à plaques .....	53
VI.5.2. Les échangeurs tubulaires : .....	54
VI.5.2.1. Principe des échangeurs tubulaires.....	54
VI.5.2.3. Les échangeurs type KETTLE (AKT) : .....	58
VI.5.2.4. Les échangeurs à tête flottante .....	58
VI.5.2.5. Les échangeurs à tubes en "U" .....	59
• <b>Chapitre VII : les aéroréfrigérants</b>	
VII.1. Introduction : .....	62
VII.2. Définition d'un aéroréfrigérant : .....	62
VII.3. Champ d'application des aéroréfrigérants : .....	62
VII.4. Fonctionnement et Régulation des Aéroréfrigérants .....	63
VII.5. Classification des aéroréfrigérants : .....	65
VII.5.1. Aéroréfrigérants à air induit .....	65
VII.5.2. Aéroréfrigérants à air forcé .....	66
VII.6.2 Le pare-gouttelettes : .....	68
VII.6.3 Les rampes de dispersion (rampes de pulvérisation) .....	69
VII.6.4 Le bassin de rétention .....	70

VII.6.5 Les ventilateurs :	71
VII.6.6 L'échangeur intermédiaire :	71
VII.6.7 La pompe de circulation additionnelle :	71
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Chapitre VIII : Calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %</b></li> </ul>	
I. La présentation du problème :	74
II. Introduction :	74
III. Les caractéristiques géométriques :	74
IV. Les calculs à 108% du naphta :	76
1) Calcul de la surface 2	76
a) La surface d'échange totale exprimée par rapport au diamètre extérieur :	76
b) La surface faciale installée :	76
2) La quantité de chaleur échangée :	76
a) <i>Le débit massique du naphta :</i>	77
b) <i>Température de l'air a la sortie (t2) :</i>	77
c) <i>le débit massique d'air : (Qm<sub>a</sub>)</i>	78
d) <i>le débit volumique d'air : (Qv<sub>a</sub>)</i>	78
e) <i>Coefficient de transfert de chaleur :</i>	78
V. Calcule de la vitesse de corrosion :	91
1. La vitesse de corrosion moyenne de design :	91
1.1 Calcule de la température moyenne,	91
1.2 Calcule de la vitesse de corrosion :	92
2. La vitesse de corrosion actuelle :	92
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Chapitre IX :Simulation de l'aéroréfrigérant</b></li> </ul>	
I. Introduction :	95
II. Problématique de la simulation :	95
III. Généralités sur la simulation :	96
1.Définition de la simulation :	96
2.simulateurs :	97
1.Utilisation de la simulation	98
2.Présentation du simulateur Aspen HYSYS :	98
IV. Le choix du modèle thermodynamique :	98

•	Introduction des modèles thermodynamiques : .....	98
V.	Simulation de cas de design de l'aéroréfrigérant : .....	99
1)	Introduction : .....	99
2)	Caractéristiques de la charge .....	99
3)	Vérification des performances du logiciel Aspen HYSYS : .....	99
4)	Résultats de la simulation .....	101
VI.	Simulation du cas actuel : .....	103
1)	Introduction .....	103
2)	Caractéristiques de la charge .....	103
3)	Résultats de simulation du cas actuel de l'aéroréfrigérant. ....	103
	Interprétation des résultats : .....	104
•	<b>Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant</b>	
I.	Introduction .....	106
II.	Objectif de l'optimisation .....	106
III.	Méthodologie : .....	106
IV.	L'optimisation des paramètres opératoires de l'aéroréfrigérant : .....	106
1)	Etude de l'effet de la variation de la température sur la composition du naphta : .....	108
2)	Étude comparative entre le cas actuel et optimisé : .....	110
•	<b>Chapitre XI : Argumentation et conclusion</b>	
	Argumentation : .....	113
	Conclusion Générale : .....	116

## **Recommandation**

## **Références bibliographiques**

## **Les annexes**

## Liste d'abréviation :

**GN** : Gaz naturel

**Jet AI** : Carburant pour aviation (Kérosène)

**RAIZ** : Raffinerie d'Arzew

**LGO** : Gasoil léger

**HGO** : Gasoil lourd

**GPL** : Gaz du pétrole liquéfier

**API**: American Petroleum Institute

**ASME**: American Standard for Mechanical Engineering

**grad (T)** : Gradient de température

**Lcpl** : Densité de flux de chaleur (W/m<sup>2</sup>)

**I** : Conductivité thermique du milieu (W I m.°C)

**T** : Température (°C)

**<I>** : Flux de chaleur échange par convection (W)

**H** : Coefficient d'échange thermique par convection (W/m<sup>2</sup>. °C)

**S** : aire de la surface d'échange paroi/fluide e (m<sup>2</sup>)

**F** : Facteur de correction

**Tp, Tf** : Température de la paroi et température du fluide respectivement (°C)

**TM** : Taux de marche

**Pr** : Nombre de Prandtl

**Re** : Nombre de REYNOLDS

**Nu** : Nombre de NUSSELT

**DTLM** : Moyenne logarithmique de la différence de température

## Liste des tableaux

TableauI. 1: Résultats des caractérisations physico-chimique du condensât algérien selon leurs normes spécifiées.....	7
TableauI. 2: Les paramètres physico-chimiques du condensat algérien d'Arzew et Bejaïa .....	10
TableauII. 1: Le traitement du brut au niveau de la RA1/Z .....	13
TableauIV. 1: Classification du brut selon la densité. ....	26
TableauIV. 2: Propriétés physiques de deux isomères. ....	27
TableauIV. 3: Points d'ébullition de quelques alcanes. ....	27
TableauIV. 4: Propriétés physiques de quelques hydrocarbures aromatiques .....	29
TableauIV. 5: Compositions organiques hétéro-atomiques des quelques brutes dans le monde.....	33
TableauVI. 1: Exemples de conductivité des fluides .....	50
TableauVI. 2: Exemple des valeurs de conductivité thermique des matériaux .....	51
TableauVIII. 1: les caractéristiques géométriques des tubes. ....	75
TableauVIII. 2: Caractéristiques géométrique des ailettes .....	75
TableauVIII. 3: Les propriétés du naphta et de l'air : .....	76
TableauVIII. 4: les vitesses faciales pour chaque nombre de rangées.....	77
TableauVIII. 5: récapitulation des résultats obtenus. ....	90
TableauVIII. 6: l'année de fuite de chaque aéroréfrigérant.....	92
TableauIX. 1: Composition molaire de la charge sortante de la tête de la colonne. ....	95
TableauIX. 2: domaine d'application des modèles thermodynamique.....	99
TableauIX. 3: paramètres opératoires de la charge. ....	101
TableauIX. 4: résultats obtenus à partir du modèle thermodynamique. ....	101
TableauIX. 5: paramètres opératoires de la charge actuelle. ....	103
TableauX. 1: comparaison entre les paramètres opératoires. ....	109
TableauX. 2: comparaison entre les paramètres opératoires. ....	110

## Liste des figures

FigureII. 1: Localisation de la raffinerie.....	12
FigureII. 2: Organisation hiérarchique du département HSE.....	15
FigureII. 3: LE PLAN DE MASSE DE LA RAFFINERIE D'ARZEW.....	16
FigureIV 1: points de fusion des alcanes linéaires.....	28
FigureIV. 2 : Procédés de séparation des fractions lourdes .....	32
FigureIV. 3: Répartition du brut en fonction des températures d'ébullition et le nombre de carbone ..	34
FigureV. 1: Schéma de principe de la distillation atmosphérique .....	37
FigureV. 2: schéma simplifié de la distillation atmosphérique.....	39
FigureV. 3: la qualité de fractionnement parfaite et médiocre .....	41
FigureV. 4:Spécifications des produits .....	42
FigureV. 5: section de fractionnement principal .....	46
FigureV. 6: section de stabilisation.....	47
Figure VI. 1: La conduction .....	49
Figure VI. 2: La convection.....	51
Figure VI. 3: Principe de fonctionnement d'un échangeur.....	52
Figure VI. 4: Échange de chaleur entre deux fluides dans un échangeur .....	53
Figure VI. 5: Exemple d'un échangeur à plaques .....	54
Figure VI. 6: Principe de l'échangeur tubulaire .....	54
Figure VI. 7: Échangeur tubulaire .....	55
Figure VI. 8: Chicane de la calandre .....	55
Figure VI. 9: Cloisonnement de la calandre .....	55
Figure VI. 10: Échangeur « double » contre-courant.....	56
Figure VI. 11: Exemple d'un échangeur tubulaire .....	56
Figure VI. 12: Faisceau tubulaire .....	56
Figure VI. 13: La calandre.....	56
Figure VI. 14: Les calottes .....	57
Figure VI. 15: Exemple de faisceau tubulaire.....	57
Figure VI. 16: Intérieur d'un échangeur tubulaire.....	57
Figure VI. 17: Échangeur type Kettle.....	58

Figure VI. 18: Échangeur à tête flottante .....	59
Figure VI. 19: Exemple d'un échangeur à tubes en "U" .....	59
Figure VI. 20: Vue écorchée d'un échangeur à tubes en "U" .....	59
Figure VI. 21: Composition d'un échangeur à tubes en "U" .....	60
FigureVII. 1: Vue générale d'un aéroréfrigérant .....	62
FigureVII. 2: Exemple d'aéroréfrigérant.....	63
FigureVII. 3: Batterie d'aéroréfrigérants à air induit .....	64
FigureVII. 4: Principe de l'aéroréfrigérants à air induit.....	65
FigureVII. 5: Aéroréfrigérants à air forcé .....	66
FigureVII. 6: principe de l'aéroréfrigérants à air forcé.....	66
FigureVII. 7: les principaux composants d'un tour de refroidissement .....	67
FigureVII. 8: Times New Roman .....	68
FigureVII. 9: Corps d'échange de type gouttes .....	68
FigureVII. 10: Exemples de pare-gouttelettes.....	69
FigureVII. 11: Système de dispersion du fluide à refroidir.....	70
FigureVII. 12: Exemples de bassin de rétention avec point de vidange.....	70
FigureVII. 13: ventilateurs centrifuge et axial.....	71
FigureVII. 14: Exemple d'un échangeur tubulaire intégré dans un tour de refroidissement fermé.....	72
FigureVIII. 1: zones de condensation du naphta dans l'aéroréfrigirants.....	81
FigureIX. 1: Structure générale du simulateur de procédés Aspen Plus.....	97
FigureIX. 2: le schéma de procédé de l'aéro. ....	100
FigureX. 1: effet de la variation de la température sur les fractions vaporisées du naphta.....	110

### **Introduction générale :**

La consommation mondiale d'énergie continuera sa croissance dans les prochaines années du fait de l'augmentation de la population et de l'élévation du niveau de vie.

Le pétrole continuera à dominer le paysage énergétique mondial, ce qui rend les capacités de raffinage de l'Algérie essentielles pour répondre à la demande croissante de produits pétroliers. Ces capacités devront être modernisées et optimisées pour garantir une production efficace, respectueuse de l'environnement

La raffinerie d'Arzew est le troisième important complexe pétrochimique dans cette région. Elle répond aux impératifs et aux besoins national et international.

Le raffinage du pétrole constitue une opération continue qui comporte un grand nombre d'unités de fabrication liées intimement.

La mission de la raffinerie d'Arzew est d'assurer dans les normes une production adaptée aux exigences et aux besoins du marché national et international en termes d'énergie et ses dérivés.

La température joue un rôle crucial dans les procédés pétroliers, influençant diverses réactions et opérations telles que la distillation et les transformations chimiques. Trois types d'équipements sont principalement utilisés pour contrôler cette variable : les fours, les échangeurs de chaleur et les aéroréfrigérants.

Ces derniers, essentiels dans les industries pétrolières et chimiques, doivent répondre à des normes strictes en termes de sécurité, d'efficacité thermique et de flexibilité opérationnelle. Cependant, la conception et la maintenance de ces équipements présentent des défis, notamment la corrosion des tubes.

Dans le présent travail, une étude sur l'impact d'encrassement et l'obturation des tubes d'Aéroréfrigérants et le taux de marche a été menée selon le plan suivant :

- **Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)**
- **Chapitre II : présentation de l'unité**

- **Chapitre III : l'utilisation du naphtha (condensat)**
- **Chapitre IV : généralités sur le pétrole**
- **Chapitre V : la distillation atmosphérique**
- **Chapitre VI : les échangeurs de chaleur**
- **Chapitre VII : les aéroréfrigérants**
- **Chapitre VIII : calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %**
- **Chapitre IX : simulation de l'aéroréfrigérant**
- **Chapitre X : optimisation de l'aéroréfrigérant**
- **Chapitre XI : Argumentation et conclusio**

# **Chapitre I : généralités sur le naphtha (condensat)**

# Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

## I.1.Introduction :

Le naphta est un terme largement utilisé dans l'industrie pétrolière pour désigner un mélange d'hydrocarbures légers, généralement liquides, issus de la distillation du pétrole brut. Ce liquide inflammable et volatil est constitué principalement d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques de chaînes carbonées relativement courtes. Sa composition exacte peut varier en fonction de la source et du processus de raffinage du pétrole brut. Le naphta est souvent utilisé comme matière première dans de nombreuses industries, notamment la pétrochimie, la fabrication de carburants, la production d'engrais et la synthèse de divers produits chimiques. En raison de sa polyvalence et de sa capacité à être fractionné en composants plus spécifiques, le naphta joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale et dans de nombreux secteurs industriels clés. Cette introduction souligne la nature fondamentale du naphta dans le domaine de la chimie et de l'industrie, tout en mettant en lumière son importance en tant que composant essentiel du processus de raffinage du pétrole.

## I.2. Définition de naphta :

Le naphta représente les coupes légères (essences) plus importantes par rapport à celles du brut en général. Il s'agit de tout mélange d'hydrocarbures composé de  $C_5+$  et peut être considéré comme un produit liquide obtenu par condensation à partir du gaz naturel.

C'est un produit volatil et léger, avec une densité API proche de 80, et il est instable. Il peut être assimilé à un pétrole brut léger et peut être utilisé comme charge en raffinage pour l'obtention de coupes pétrolières désirées.

### I.2.1. Composition chimique du naphta :

Le naphta est essentiellement composé de molécules résultant de la combinaison d'atomes de carbone et d'hydrogène appelées hydrocarbures.

Il contient également du soufre, du chlore ( $Cl_2$ ) et de l'azote ( $N_2$ ), on retrouve aussi les métaux, Hg, Ni, V, As, Pb...etc. [2]

### I.2.2. Familles chimiques d'hydrocarbures

Le naphta peut être divisé en trois familles d'hydrocarbures. [2]

#### I.2.2.1. Hydrocarbures paraffiniques

Ce sont des hydrocarbures saturés ; la formule générale est  $C_nH_{2n+2}$ . Ils peuvent être structurés en chaîne droite et ce sont les paraffines normales et les iso paraffinés. Leurs points

## Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

d'ébullition, leurs masses volumiques et leurs poids moléculaires s'élèvent avec le nombre d'atomes de carbone. [2]

### I.2.2.2. Hydrocarbures cycliques saturés ou naphènes

Ce sont des hydrocarbures saturés ; la formule générale est  $C_nH_{2n+2}$ . Dans le pétrole et dans le naphta, les plus fréquemment rencontrés sont ceux à cinq ou six atomes de carbone. Dans ces cycles, chaque atome d'hydrogène peut être substitué par une chaîne paraffine. [2]

Les formules générales des cyclanes sont constituées de 2,3,4, cycles accolés. [2]

### I.2.2.3. Hydrocarbures aromatiques

Ce sont des hydrocarbures insaturés ; la formule générale est  $C_nH_{2n}$ . Les hydrocarbures aromatiques sont caractérisés par le rapport C/H plus élevés que celui que l'on observe dans les autres hydrocarbures. [2]

### I.2.2.4. Hydrocarbures mixtes

Ce sont des hydrocarbures insaturés ; la formule générale est  $C_nH_{2n-2}$ . Les familles précédentes peuvent être qualifiées de la famille primaire, les réactions de substitution permettent leur union pour donner naissance à une molécule présentant l'hérédité des caractères communs à ces dernières. [2]

## I.2.3. Composés hétéro-atomiques

### I.2.3.1 Composés soufrés

Le soufre est l'hétéro élément le plus répandu dans le pétrole et le naphta. Dans les fractions à bas point d'ébullition, on trouve l'hydrogène sulfures  $H_2S$ , les mercaptans  $R-SH$ , les sulfures  $R-S-R$ , les disulfures  $R-S-S-R$  et certains sulfures. Dans les fractions plus lourdes, on trouve des composées polycycliques les plus importants sont les thiophènes et leurs dérivés. [2]

### I.2.3.2 Composés azotés

On les trouve dans le pétrole et dans le condensat de deux à dix fois moins que les composés soufrés. Ils sont essentiellement présents dans les fractions lourdes sous forme :

- D'amides saturés, ou aromatiques.
- D'amides  $R-NH_2$ ,  $R-NH-R$ , ou  $(R)_3-N$ .
- De carbazoles.
- De pyridines. [2]

## Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

### I.2.3.3 Composées oxygénés

Le naphta et le pétrole brut contiennent généralement moins d'oxygène que de soufre.

L'oxygène se trouve sous forme d'acides carboxyliques (R-COOH), d'esters (R-CO-R), de phénol, et des composés de type furane et benzofurane. [2]

### I.2.3.4 Les métaux

Dans les fractions les plus lourdes telles que les résines et les asphaltènes se trouvent des éléments métalliques comme le Nickel et le Vanadium sous forme de porphyrines, ou le métal au centre de cet ensemble sous forme de  $Ni^{2+}$  ou  $V^{5+}$ . On trouve aussi les traces de Fer, Zinc, Chrome, Manganèse et cobalt. La présence des métaux conduit à des problèmes de pollution, d'empoisonnement des catalyseurs et de corrosion. [2]

### I.2.4 Origine de naphta

Les produits pétroliers et gazeux sortent souvent des gisements sous forme de mélange liquide. Ces hydrocarbures sont collectés par des conduites et évacués vers un centre de traitement. La séparation du gaz est obtenue essentiellement par détente. Après le traitement, on distingue deux types de gaz qui impliquent deux traitements différents. [2]

#### I.2.4.1 Gaz humide

Il est riche en fractions condensables. Dans ce cas, le traitement va combiner les techniques de séparation par détente et le fractionnement par distillation. Grâce à une série de détentes, on obtient un refroidissement du gaz jusqu'à moins de 60 °C, ce qui va permettre une récupération maximale d'hydrocarbures liquides tels que : les GPL et les naphtas. Ces derniers ensuite sont séparés par fractionnement dans une raffinerie puis expédiés par canalisation. [2]

Les liquides de gaz naturel, quant à eux peuvent être considérés comme une sorte de pétrole léger très recherché par les raffineurs, et souvent utilisé, comme matière première pour la pétrochimie. Le gaz de Hassi-R'mel avec une teneur en hydrocarbures liquides d'environ 220g/m<sup>3</sup> permet annuellement l'extraction de près de 15 .10<sup>6</sup> tonnes de GPL. [2]

#### I.2.4.2 Gaz sec

Celui-ci est pauvre en fractions condensables. Il est essentiellement constitué de méthane. Le traitement va donc consister à éliminer les éventuelles impuretés. [2]

## Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

Voici le tableau 1 qui résume les caractéristiques physico-chimiques du condensât algérien.

TableauI. 1: Résultats des caractérisations physico-chimique du condensât algérien selon leurs normes spécifiées

Caractéristiques	Résultats	Normes
Densité à 20°C	0.7045	ASTM D4052
Densité à 15 °C	0.7041	ASTM D4052
°API	69.3	ASTM D 4052
Indice de réfraction à 20°C	1.4012	ASTM D 1218
Viscosité cinématique en cst à		
- 20°C/68°F	0.6280	ASTM D445
- 37.8°C/100°F	0.5350	
Tension de vapeur Reid à 37.8 °C		
- Kg/cm <sup>2</sup>	0.734	ASTM D323-82
- Psi	10.48	
Teneur en eau en extraction, °/° vol	Nulle	ASTM D95
Teneur en eau et sédiments, BSW, °/° vol	Nulle	ASTM D1796

## Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

Teneur en soufre, ppm	<20	ASTM D5453
Point d'éclair, vase fermé, °C	<0	NFM 07-011
Point d'écoulement, °C	<-75	ASTM D97
Point de trouble, °C	-81.0	ASTM D2500
Indice d'acidité, mg KOH/g	0.0202	UOP 375
Point d'aniline, °C	63	ASTM D974
Couleur ASTM	0.5 L	ASTM 1500
Corrosion à la lame de cuivre 3 heure à 50°C	Négatif	NF M07-011
Facteur de caractérisation, Kuop	12.31	Abaque P.Wuithier
Poids moléculaire, g/mol	99	Méthode ndPA
Pouvoir calorifique supérieur, Kcal/Kg	>11200	UOP 375
Teneur en mercure, ppb	19.3	Absorption atomique
Teneur en métaux, ppm		
Ni	0.0	Analyse spectromètre
Pb	0.0	
V	0.0	
Teneur en carbone (PNA) :		
°/° C <sub>N</sub>	10.86	P.Wuithier
°/° C <sub>P</sub>	20.47	
°/° C <sub>A</sub>	68.67	

### I.2.5. La qualité de condensat Algérien

Le condensat algérien se présente comme un mélange d'hydrocarbures dont le point final de distillation est voisin de 380°C.

On peut donc le considérer comme un pétrole brut très léger (densité = 0,720), paraffinique. Sa teneur en soufre est très basse, 40 à 50 fois moins sulfuré que le mélange Saharien, d'acidité nulle.

Vu la bonne qualité de ce condensat, il constitue pour le raffineur un mélange d'excellente qualité et n'exige aucun prétraitement particulier.

## Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

Un traitement classique de séparation par distillation permet l'obtention des : GPL, des essences, naphta, kérosène, gasoil et fuel, de très bonnes qualités. Il peut être utilisé comme charge directe de vapocraquage, dont 53,9% du condensat algérien est utilisé pour le vapocraquage. Il peut être aussi mélangé aux bruts pour améliorer son rendement en condensat.

Le condensat algérien grâce à ses caractéristiques de haute qualité paraffinique peut être utilisé comme matière première en pétrochimie, mais le seul inconvénient est qu'il nécessite un perfectionnement avant l'utilisation comme matière première pour les crackers. Le naphta algérien se distingue en deux qualités :

- Le condensat d'Arzew (HR720) provenant de Hassi R'mel, qui a une teneur élevée en paraffine, avec présence de mercure.

Il présente une bonne charge pétrochimique.

- Le condensat de Bejaia (AR720) provenant d'Adrar, Rhourde Nousse et Hamra, est un condensat colorer (présence des iso paraffines), car il est altéré par des traces de brut (le développement des champs au sud de Hassi R'mel, a imposé l'évacuation par bouchons du condensât vers Bejaia à travers l'OB1). Ce naphta est moins apprécié par les pétrochimistes.

[2]

Les paramètres physico-chimiques du condensât algérien avec ses deux qualités sont mentionnés dans le tableau.

## Chapitre I : généralités sur le naphta (condensat)

TableauI. 2: Les paramètres physico-chimiques du condensat algérien d'Arzew et Bejaïa

CARACTERISTIQUES	ARZEW	BEJAIA
Origine	Hassi R'mel	HEH (Mélange de Rhourde Nousse, Hamra et Alrar)
Qualité moyenne :		
d 15	0,7140 ; 66,64 API	0,7190 ; 65,3API
Viscosité Cst		
0°C	0,91	1,1
20°C	0,436	0,77
37,8°C	0,383	0,66
Pt de trouble °C	-55	-50
Pt d'écoulement °C	<-65	-60
Pt d'aniline °C	63,3	66
Eau et BSW (%vol)	0,075 et 0	0
Hg ppb	53,8	16
S total ppm	20	9
PM moyen	117	117,6

Par comparaison entre les deux condensats, nous pouvons dire que le condensât d'Arzew est de meilleure qualité que celui de Bejaïa.

En général, le condensât algérien est un produit hautement paraffinique utilisé comme feed-stock, en pétrochimie pour la fabrication de l'éthylène et le propylène (la base du caoutchouc) et en raffinage pour la fabrication des essences. [2]

# **Chapitre II :** **présentation de** **l'unité**

## Chapitre II : Présentation de l'unité

### II.1. Historique :

La raffinerie d'Arzew est l'une des cinq raffineries de pétrole en Algérie, gérée par Sonatrach. La construction du complexe a été confiée à la société japonaise Japan Gazoline Company (JGC Corporation), et la raffinerie a été mise en service en 1973.

Les unités de production de bitumes ont été étendues à partir de 1975 pour répondre à la demande du marché. Par exemple, le 26 septembre 1972, le navire « Séraphine » a livré 20 000 tonnes de brut réduit, transférées au bac 43T107.

La construction d'un ensemble intégré de production d'huiles de base a débuté en 1978, avec un démarrage de la production en 1984. En 1997, une nouvelle unité de conditionnement des huiles finies a été lancée. En 2012, plusieurs projets de réhabilitation ont été entrepris, incluant la construction d'une unité d'isomérisation et l'augmentation de la capacité de traitement de brut (Unité 11).

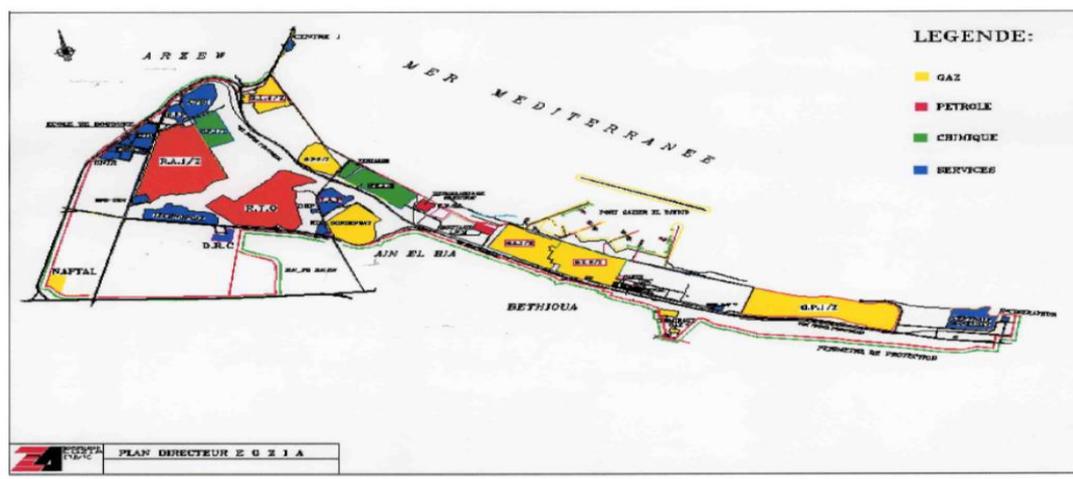
### II.2. Localisation de la raffinerie :

-La raffinerie d'Arzew RA1/Z est localisée à 40 km de la ville d'Oran, dans une zone industrielle située à proximité de la ville d'Arzew, le long d'une baie méditerranéenne facilitant les exportations de produits industriels.

-La raffinerie est située :

- Le long de la Rue Nationale RN13.
- A environ 1,7 km à l'ouest de la Méditerranée.
- A 1 km au sud d'Arzew.

La raffinerie d'Arzew est considérée comme un important complexe industriel, elle occupe une superficie de 170 hectares de la zone industrielle sur le plateau d'El Mohgoun à environ 40 kilomètres d'Oran



FigureII. 1: Localisation de la raffinerie.

### II.3. Evolution de la capacité de production de la RA1Z :

La raffinerie d'Arzew a été conçue pour répondre aux impératifs suivants :

- De valoriser le pétrole brut de Hassi Messaoud le 20.10.1972. Le pétrole brut de Hassi Messaoud a été stocké pour la première fois dans les bacs T101 et T102.
- De satisfaire les besoins locaux de consommation en carburants (région ouest) et en lubrifiants et bitumes (marché national).
- D'exporter sur le marché international des produits finis tels que naphta, kérosène, fiouls et les huiles de base.

La raffinerie d'Arzew traite selon le nouveau design (après réhabilitation) 3,75 millions tonnes par an de pétrole brut durant 333 jours en continu.

Le traitement du brut au niveau de la RA1/Z est présenté par le tableau suivant :

TableauII. 1: Le traitement du brut au niveau de la RA1/Z

<i>Nature du produit</i>	<i>Quantité</i>	<i>Unité</i>
Propane	30 000 T	Zone 4/Unité13
Butane	92 000 T	Zone 4/Unité13
Naphta	450 000 T	Zone 4/Unité11
Kérosène	400 000 T	Zone 4/Unité11
Gas-oil	530 000 T	Zone 4/Unité11
Fuel (BTS)	540 000 T	Diverses unités
Fuel (HTS)	50 000 T	Diverses unités
Essence Normale	390 000 T	Zone28
Essence Super	103 000 T	Zone28

## Chapitre II : Présentation de l'unité

Huiles de base	130 000 T	Zone 7/Zone5
Huiles finies	150 000 T	Zone6 et Unité 3000
Graisses	1950 T	Zone6 et Unité 3000
Bitumes routiers	120 000 T	Zone 10/Unité 14
Bitumes oxydés	20 000 T	Zone 10/Unité 15

### II.4. Présentation des zones :

#### II.4.1.DRH (Unité administrative) :

-Elle est destinée pour les prestations du personnel de production et la direction de tout le personnel du complexe.

- Elle est gérée par différents départements installés au niveau du bac administratif ou dans d'autres infrastructures du complexe

#### II.4.2. Sécurité industrielle : (Département HSE) :

- La présence d'un nombre important d'unités dans la raffinerie pose des problèmes de sécurité, alors de ce principe, la direction de la raffinerie a mis au point un système de sécurité se composant de trois services : service de surveillance, service de prévention service d'intervention.

##### II.4.2.1. Service de surveillance :

Conçu dans le but de surveiller toute conduite anormale du personnel control au niveau des postes gardes.

##### II.4.2.2. Service de prévention :

Se compose d'un chef de service et de neuf inspecteurs travaillant sur les lieux (unité de production, ateliers...etc.)

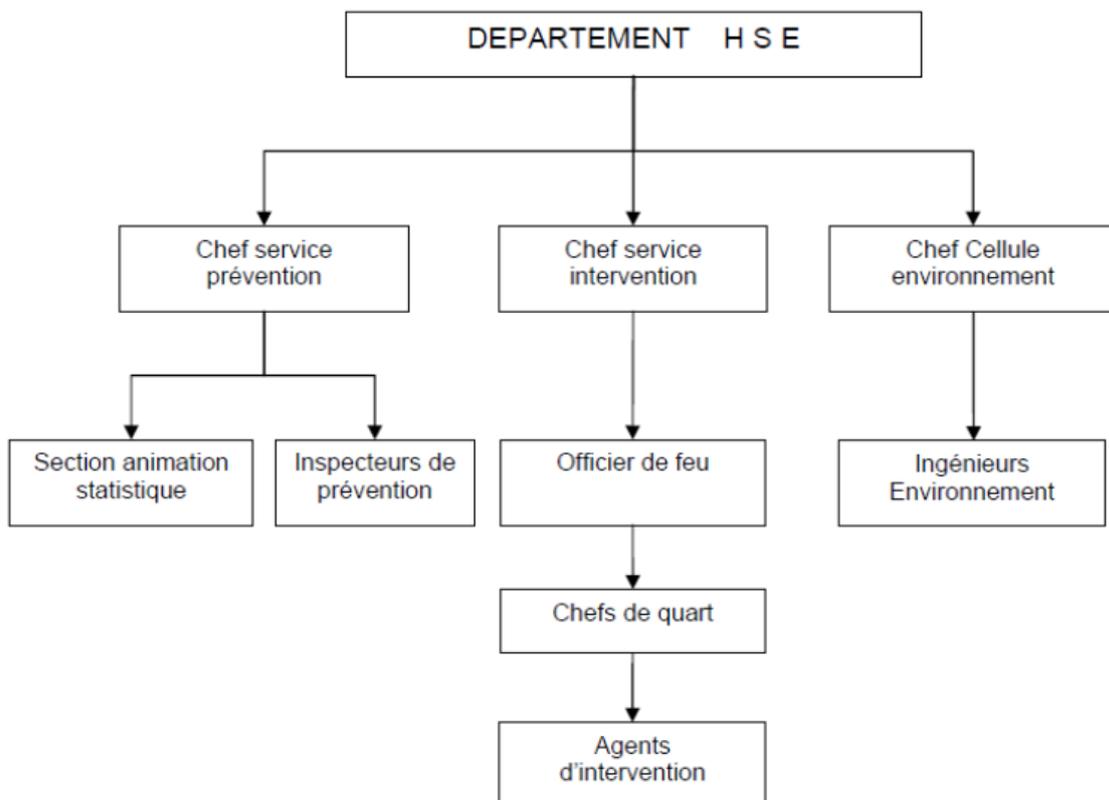
Ces inspecteurs avertissant le chef de zone en cas d'incendie ou d'une fuite aura lieu et c'est au chef de zone d'atelier le service d'intervention.

## Chapitre II : Présentation de l'unité

### II.4.2.3. Service d'intervention :

Présent et prêt à n'importe quel moment travaillant 24h/24, et il a pour but déprotéger les unités, malgré l'existence des moyens propres.

Pour pouvoir assurer la mission il est nécessaire de mettre en places les moyens adéquats.



FigureII. 2: Organisation hiérarchique du département HSE



FigureII. 3: LE PLAN DE MASSE DE LA RAFFINERIE D'ARZEW

## Chapitre II : Présentation de l'unité

Le complexe est constitué de plusieurs zones ayant des activités spécifiques

### II.4.3. Présentation des installations de production :

La raffinerie d'Arzew (RA1/Z) comprend différents départements de production :

#### II.4.3.1. Département de production P1

##### II.4.3.1.1. Zone 03 / 19 : Les Utilités

Système d'alimentation d'eau brute

Les zones 03 et 19 sont comporté 6 unités principales

**Unité 31/unité 1100** : production de vapeur, d'électricité et récupération des condensats

**Unité 32/unité 1600** : Unité de production d'eau distillée

**Unité 33/unité 1300** : Unité de conditionnement et distribution de l'eau de refroidissement

**L'unité 35 /1400** : Unité de réception et distribution de gaz naturel riche en méthane

**Unité 36 /unité 1500** : Unité de production d'air service et d'air instrument.

**Unité 37 /280** : Unité de stockage et de distribution d'azote.

##### II.4.3.1.2. Zone 04 : Les Carburants

**Unité 11** : distillation atmosphérique

**Unité 12** : Reforming catalytique

**Unité 17** : Hydrotraitement et isomérisation du naphta léger

**Unité 13** : traitement du gaz

#### II.4.3.2. Département de production P2

**Zone 05/ 07** : Production de lubrifiants (Les huiles de bases)

**Unité 100 / 21** : Distillation sous vide

**Unité 200 /22** : Désasphaltage au propane

**Unité 300/ 23** : Extraction au furfural

**Unité 400/24** : Déparaffinage au MEC/Toluène

**Unité 500/25** : Hydrofinishing

## Chapitre II : Présentation de l'unité

**Unité 600** : L'hydrofinishing des paraffines

### II.4.3.3. Département de production P3

#### II.4.3.3.1. Zone 06 : Les huiles finies

**Unité 51** : fabrication et remplissage des huiles finies

**Unité 52** : production et conditionnement des graisses

**Unité 53** : traitement de la paraffine

**Unité 54** : moulage de la paraffine.

**Unité 3900** : L'emballage divisionnaire

**Unité 300** : Mélange, conditionnement et expédition des lubrifiants

#### II.4.3.3.2. Zone 10 : Les bitumes

Unité de flash sous vide, pour la production du bitume routier.

Unité d'oxydation des bitumes.

### II.4.3.4. Département de production P4

**Zone 28** : zone de stockage

**Autres :**

**Zones 8A, 8B** : stockage intermédiaire des huiles de base

**Zone 9** : Stockage du brut et résidus

**Zone 11, 12,13** : Stockage du brut provenant de « HASSI-MESSAOUD ».

**Zone 16** : Stockage du NAPHTA et stockage d'eau brut pour incendie

**Zone 17** : Stockage du kérosène et stockage de l'essence de la première distillation.

**Zone 18** : Stockage du fuel pour mélange et stockage du slop.

**Zone 22 et 23** : Stockages des carburants

**Zone 24** : Stockage du gas-oil.

**Zone 25** : Stockage du fuel.

**Zone 26** : Stockage Gaz de pétrole liquéfié (LPG)

## Chapitre II : Présentation de l'unité

**Zone 29** : Stockage du BRI.

**Zone 14** : Administration générale

**Zone 15** : Laboratoire

**Zone 20** : Réception et approvisionnement des produits chimiques et pièces de rechanges.

**Zone 27** : Stations de traitement des eaux usées PPI/API.

**Zone 28** : Zone d'expédition : essences, gas-oil, kérosène et propane butane.

**CHAPITRE III :**  
**l'utilisation du**  
**naphtha**

### III.1. Usages du condensat

Le condensat est assimilé à un pétrole brut léger. Il peut être utilisé comme charge de raffinage pour l'obtention des coupes pétrolières désirées, et comme matière première de la pétrochimie pour l'obtention de l'éthylène.

Il est à noter qu'il peut aussi être utilisé comme constituant d'un brut « blending », quand les conditions le permettent. [2]

#### III.1.1 Utilisation en raffinage

Dans le raffinage, le condensât peut suivre une des deux alternatives suivantes :

##### a) La distillation

Elle permet d'obtenir une gamme de produits légers, moyens et lourds. Les plus légers montent vers le haut de la colonne de distillation, tandis que les plus lourds se déposent en bas de la colonne.

On obtient ainsi dans la colonne du haut en bas : GPL, naphta, gasoil, fuel. Le condensât est utilisé comme charge d'alimentation dans un topping.

D'après les récentes études effectuées, il ressort que le condensât ne peut pas être pris comme charge d'alimentation à 100% dans des unités de distillation, en raison des contraintes observées en tête de colonne.

Le condensât étant très léger, prend plus de place qu'un pétrole brut en tête de colonne, ce qui induit une perte de charge dans des échangeurs thermiques dans la colonne, mais l'apparition des toppings spéciaux pour le condensât montre que l'affirmation précédente est sans fondement.

Néanmoins, une proportion substantielle de condensât peut-être ajoutée au brut d'alimentation et distillée sans aucune difficulté.

La proportion possible varie énormément selon les différentes raffineries et le brut disponible. Cependant, au moins 20% de l'alimentation totale seulement, peut être possible avec n'importe quel brut.

Comme charge d'alimentation on peut utiliser :

100% condensât, mélange : condensât + pétrole léger, mélange : condensât + pétrole lourd.

[2]

### b) Le blending

C'est un cas qui s'est présenté durant la guerre des prix de 1986, lorsque le fuel soviétique « E4 » avait des prix très faibles.

Dans le blending : le condensât a deux utilisations : soit alléger un pétrole brut lourd, soit reconstitué un pétrole brut.

Dans le 1er cas : le mélange de condensât avec un brut lourd entraînera la formulation d'un brut léger.

Dans le 2ème cas : le condensât mélangé avec résidu lourd tel le fuel permet l'obtention d'un brut reconstitué, autrement dit : brut synthétique.

Enfin, le condensât peut-être utilisé pour la production des solvants, c'est-à-dire : des essences spéciales. [2]

### III.1.2 Utilisation en pétrochimie

La pétrochimie est une industrie lourde qui utilise comme matière première certaines coupes pétrolières exemple : le naphta sortant du raffinage du condensât ou le pétrole brut, à partir d'un procédé « vapocracking ».

Dans la 1ère étape de cette industrie on obtient les produits de base suivants :

- L'éthylène.
- Le propylène.
- Le Butadiène.
- Les aromatiques ...etc.

A partir de chacun de ces produits de base, on fabrique selon des procédés très complexes, un nombre infini de dérivés qui servent à la production des matières plastiques, caoutchoucs synthétiques, résines, solvants, détergents, engrais, colorants, encres, peintures, fibres, textiles synthétiques, revêtements divers, produits pharmaceutiques, etc. [2]

## CHAPITRE III : l'utilisation du naphta

### III.1.3 Utilisation comme fuel

Le Naphta, par sa nature peu sulfureuse, pourra aussi être utilisé comme fuel dans le cas où son prix serait très faible. La législation interdit l'usage d'un fuel de haute teneur en soufre.  
[2]

Les différents équipements installés au niveau de la raffinerie RA1Z tel que les fours, colonnes, échangeurs, pompes et bacs de stockage, etc., jouent un rôle plus au moins névralgique dans l'exploitation de l'ensemble des unités de la raffinerie.

Les échangeurs de chaleur occupent un lot très important vu leurs nécessités en matière de refroidissement et/ou d'apport de chaleur dans le process afin d'assurer des conditions de service relativement conforme au design,

# **Chapitre IV : généralités sur le pétrole**

### IV.1 Introduction :

Le pétrole, une ressource naturelle essentielle, est un liquide complexe dont la découverte a révolutionné l'industrie mondiale. Dans ce chapitre, nous explorons sa définition, sa classification et les processus clés de distillation et de raffinage.

Le pétrole est une substance hydrocarbonée naturelle classée en pétrole conventionnel et non conventionnel selon sa composition et sa densité. Le processus de distillation, comprenant la distillation atmosphérique et sous vide, sépare le pétrole brut en fractions telles que le naphtha, le kérosène et le diesel, chacune ayant des caractéristiques uniques.

Ces fractions, aux propriétés distinctes de densité, point d'ébullition et composition chimique, sont ensuite traitées dans un circuit de processus comprenant la conversion, le craquage et l'hydrotraitement pour produire une gamme de produits finis répondant aux normes de qualité et de sécurité.

Ce chapitre explore en détail ces aspects fondamentaux du pétrole et de son raffinage, mettant en lumière l'importance de cette industrie pour l'économie mondiale.

### IV.2 Définition du pétrole :

Le pétrole brut est un fluide visqueux, à forte odeur, inflammable, ayant un aspect qui varie du noir au brun foncée selon sa composition, c'est un mélange extrêmement complexe comprenant plusieurs milliers de molécules différentes, il se compose principalement de trois types d'hydrocarbures : les paraffines ou alcanes, les naphthéniques ou cycloalcanes et les aromatiques, à cause de leurs instabilités les composés aliphatiques insaturés comme les oléfines et les dioléfines ne sont pas présents dans le pétrole brut mais seront produits dans les procédés de raffinage [1].

Dans les pétroles bruts, certains atomes de carbone sont liés à des hétéroatomes comme le soufre, l'azote, l'oxygène. Le soufre est le plus répandu dans les pétroles bruts, sa teneur en masse peut varier de 0,1 % à plus de 8 % selon le gisement. Les pétroles bruts peuvent contenir également de faibles quantités d'azote entre 0,1% et 0,5 % en masse et d'oxygène entre 0,2 % et 2 %.[3], Le pétrole contient aussi des traces de métaux particuliers comme le Vanadium, le Molybdène et le Nickel ainsi que de l'eau et des gaz acides comme le dioxyde de carbone et hydrogène sulfuré, ainsi que de l'azote [4].

### IV.3 Classification du pétrole

A cause de la grande disparité dans la composition du pétrole brut, ses caractéristiques physico-chimiques sont aussi extrêmement différentes. La qualité du brut est classée selon sa viscosité, sa densité, sa teneur en soufre et de ses constituants majeurs.

#### IV.3.1 Classification selon la densité

La densité d'un pétrole reflète la répartition relative de ses différents constituants : gaz, essences, fractions moyennes et lourdes. La densité du brut varie généralement entre 0.8 et 1.0 bien que certains bruts puissent avoir une densité supérieure à 1. Dans le tableau I.1 on expose les différents types de pétroles selon leurs densités °API et la densité mesurée à 15 °C. Le pétrole léger de type Saharien ou Libyen conduisent, dès le stade de la distillation à des rendements élevés en essences et coupes moyennes. Les bruts moyens proviennent généralement du Moyen-Orient. Le pétrole lourd provenant généralement du Canada, le Venezuela et l'Iran fournissent par distillation directe jusqu'à 80% de fuels.

Tableau IV. 1: Classification du brut selon la densité.

Type de pétrole brut	Densité °API	Densité $d^{15}_4$
Pétrole léger	$^{\circ}API > 31.1$	0.800-0.836
Pétrole moyen	$22.3 < ^{\circ}API < 31.1$	0.825-0.875
Pétrole lourd	$10 < ^{\circ}API < 22.3$	0.890
Pétrole extra lourd	$^{\circ}API < 10$	1

#### IV.3.2 Selon la teneur en Soufre

Le brut ayant une faible teneur en soufre est qualifié de pétrole doux généralement sa concentration est inférieure à 0,5%, alors qu'un pétrole ayant une forte teneur en soufre est dit soufré, sa concentration est de 0,5% à 2 %. La présence du soufre dans le brut est considérée comme polluant car c'est un élément corrosif qu'il faut s'en débarrasser au cours des opérations de raffinage [5].

#### IV.3.3 Selon la composition chimique majoritaire

Un pétrole riche en paraffines est dit pétrole paraffinique généralement avec une concentration en paraffine supérieur à 50 %. Un pétrole à caractère naphthénique contient plus de 50 % de dérivés naphthéniques, enfin un brut est dit aromatique si le pourcentage en hydrocarbures benzénique est supérieur à 35 % [5].

### IV.4 Composition chimique du pétrole brut

Du point de vue chimique le pétrole est un mélange d'hydrocarbure qui se compose de carbone et d'hydrogène groupés selon les familles suivantes : alcanes, composés cycliques et composés aromatiques : monocycliques (BTEX) et polycycliques (HAP) et éventuellement des hydrocarbures insaturés.

#### IV.4.1 Hydrocarbures saturés (Alcanes)

-Les alcanes sont des molécules composées uniquement de carbone et d'hydrogène, toutes ses structures sont basées sur la tétravalence du carbone. Deux types de configurations sont possibles :

-Les aliphatiques ayant une formule générale  $C_nH_{2n+2}$ , on distingue les alcanes linéaires et les alcanes ramifiés, appelé aussi iso-alcanes. Dans l'industrie pétrolières ces composés sont appelés paraffines et iso-paraffines. Ainsi pour une molécule ayant une même formule brute existe plusieurs isomères caractérisés par des propriétés physiques distinctes.

Dans le tableau 5 est illustré une comparaison des propriétés physiques du n-butane et l'isobutane.

Tableau IV. 2: Propriétés physiques de deux isomères.

Nom hydrocarbure	Formule brute	Formule développée	Masse Molaire(g/mol)	Temp d'éb. ((°C, 1atm)	Densité $d^{15}_4$
n-Butane	$C_4H_{10}$	C-C-C-C	58.1	-0.5	0.585
Isobutane	$C_4H_{10}$	$  \begin{array}{c}  C-C-C \\    \\  C  \end{array}  $	58.1	-11.7	0.563

-Les cycloalcanes sont des composés cycliques de formule brute  $C_nH_{2n}$ , dans l'industrie pétrolières ces composés sont appelés naphènes ou cyclo-paraffines. Les températures d'ébullition des alcanes s'élèvent avec l'augmentation du nombre de carbone et d'hydrogène attribuée aux forces de Van der Waals qui s'établissent entre les molécules. Dans le tableau I.3 les températures d'ébullition de l'hexane et de l'heptane sont respectivement 69 °C et 98 °C, une différence de 29 °C pour chaque unité de CH<sub>2</sub> ajouté. On pourrait prévoir une température d'ébullition de l'octane égale à 127 °C qui est très proche de la valeur expérimentale égale à 126 °C.

Tableau IV. 3: Points d'ébullition de quelques alcanes.

## Chapitre IV : généralités sur le pétrole

Nombre de Carbone	Formule brute	Température d'ébullition (°C, 1atm)
6	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	69
7	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	98
8	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	126

Les températures de fusion des alcanes s'ajustent avec le nombre de carbone et une bonne corrélation existe lorsque le nombre de carbone est pair ou impair comme il est montré sur la figure.

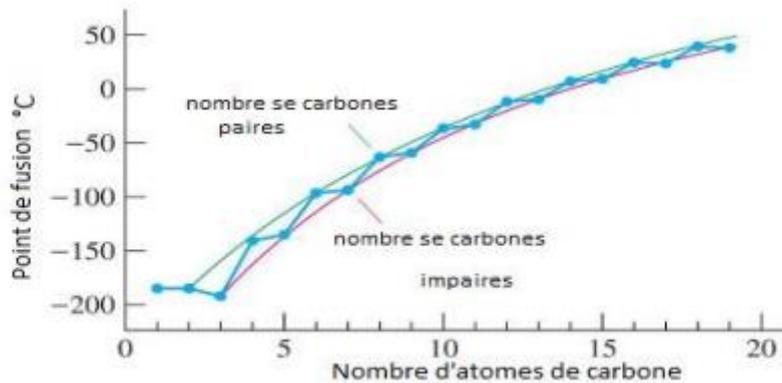


Figure IV1: points de fusion des alcanes linéaires

Les alcanes sont volatils pour les composés de C5 à C12 et sont modérément volatils pour les composés de C12 à C26 et sont faiblement soluble à l'eau.

La masse volumique augmente avec le poids moléculaire : 0,626 kg/l pour le pentane (5 atomes de carbone), 0,791 kg/l pour le pentacosane (25 atomes de carbone), néanmoins elle reste toujours très inférieure à 1.

### IV.4.2 Hydrocarbures aromatiques monocycliques BTEX

Ce sont des hydrocarbures cycliques polyinsaturés de formule brute générale C<sub>n</sub>H<sub>2n-6</sub> présents en forte concentration dans les pétroles bruts. La présence dans leur formule d'un cycle à trois doubles liaisons conjuguées leur confère des propriétés remarquables. Le benzène, le toluène, l'Éthylbenzène (styrène) et le xylène (Para, Orto et Méta) sont des matières premières fondamentales de la pétrochimie comme pour l'essence ils contribuent à augmenter l'indice d'octane [6].

### IV.4.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des molécules organiques comportant plusieurs noyaux benzéniques. Leurs propriétés sont conditionnées par le nombre

## Chapitre IV : généralités sur le pétrole

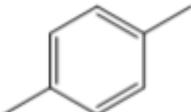
de cycles benzéniques. Ils sont en général néfastes pour l'environnement, la santé publique, la détérioration de l'activité de catalyseurs par leur capacité à former du coke [6].

Dans le **tableau IV. 4** on a répertorié des exemples de quelques aromatiques ainsi que quelques propriétés physiques

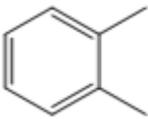
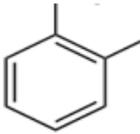
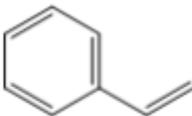
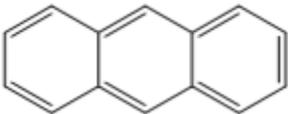
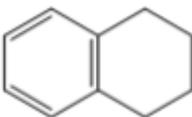
### IV.4.4 Hydrocarbures insaturés

Dans les hydrocarbures insaturés certains atomes de carbone liés aux autres atomes par une ou plusieurs doubles et triples liaisons carbone-carbone de formule brute générale  $C_nH_{2n}$  pour les oléfines et  $C_nH_{2n-2}$  pour les acétylènes. A cause de la multiplicité d'incidence des insaturations, le nombre des isomères augmente par rapport aux alcanes. Ainsi une configuration en cis signifie que les deux substitutions sont du même côté par rapport au plan perpendiculaire à celui de l'insaturation alors qu'une configuration en trans signifie que les deux substitutions sont dans deux côtés opposés par rapport à la double liaison. Les oléfines et les acétylènes ne se rencontrent pas ou très peu dans le pétrole brut ou les produits de distillation directe mais peuvent être présents dans les recettes des procédés de raffinage, particulièrement dans les fractions provenant des procédés de conversion thermique ou catalytique des fractions lourdes. Les premiers termes de cette famille sont également des matières de base très importantes de la pétrochimie comme l'éthylène, le propène, etc. [6]

Tableau IV. 4: Propriétés physiques de quelques hydrocarbures aromatiques

Nom de L'hydrocarbure	Formule brut	Formule développée	Masse molaire [g/mol]	Température d'ébullition [°C, 1atm]	Densité g/cm <sup>3</sup>
Benzène	<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>		<b>78.1</b>	<b>80.1</b>	<b>0.878</b>
Para-Xylène	<b>C<sub>8</sub>H<sub>10</sub></b>		<b>106.16</b>	<b>138.35</b>	<b>0.861</b>

## Chapitre IV : généralités sur le pétrole

Ortho-Xylène	$C_8H_{10}$		106.16	144.4	0.88
Méta-Xylène	$C_8H_{10}$		106,16	139°C	0,86
Styrène	$C_8H_8$		104.15	145.14	0.88
Anthracène	$C_{14}H_{10}$		178.23	341.3	1.28
Tétralin	$C_{10}H_{12}$		132.2	207	0.970

On peut trouver dans les effluents de procédés de conversion les dioléfines et les hydrocarbures acétyléniques comme 1,3-butadiène et l'isoprène qui sont des monomères de base pour les polymères.

### IV.4.5 Composés polaires

Correspond à des molécules hétérocycliques, telles que des composés oxygénés, soufrés et azotés.

#### IV.4.5.1 Composés soufrés

Le soufre est l'hétéro élément le plus répandu dans les pétroles bruts. Sa concentration peut aller de 0,1 à plus de 8 % en poids, sa teneur permet de classer le brut en pétrole léger ou lourd. Le soufre peut être présent sous forme élémentaire, Hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S,

Oxysulfure de carbone COS ou engagé dans des molécules organiques. Les composés soufrés sont nocifs à plusieurs égards ; odeur désagréable, production des SO<sub>x</sub> par combustion, empoisonnement des catalyseurs [6].

### IV.4.5.2 Composés oxygénés

Le pétrole brut contient aussi des dérivés oxygénés bien que peu abondant par rapport aux dérivés soufrés, l'oxygène est responsable de l'acidité des pétroles. On trouve l'oxygène dans le pétrole sous forme de phénols, furanes, des acides carboxyliques et des esters [6].

### IV.4.5.3 Composés azotés

Dans le pétrole brut, l'azote se trouve préférentiellement dans les fractions de point d'ébullition supérieur à 250 °C et est particulièrement concentré dans les résines et les asphaltènes comme il se trouve sous forme d'azote dans les coupes légères du pétrole à la suite du craquage catalytique ce qui pourrait détériorer la qualité de celles-ci. Généralement l'azote est présent sous forme d'amide, amines et de carbazoles où un cycle azoté est condensé à un ou plusieurs cycles aromatiques [6].

### IV.4.5.4 Composés organométalliques

On trouve ces composés dans les fractions les plus lourdes telles que les résines et les asphaltènes, il s'agit des atomes métalliques comme le Nickel et le Vanadium.

## IV.4.6 Coupes pétrolières

Il s'agit des fractions les plus lourdes du pétrole qualifié de coupes chimiquement mal définis,

Ainsi on a :

- **Les Asphaltènes**

Les asphaltènes sont des solides noirs, brillants, leurs masses moléculaires peut varier de 103 à 106 g/mol. Leur forme ressemble à celle des feuillets de graphite et sont constitués de cycles poly-aromatiques condensés, reliés par des chaînes saturées. Les Asphaltènes précipite en présence d'un solvant paraffinique comme l'heptane ou le pentane [5].

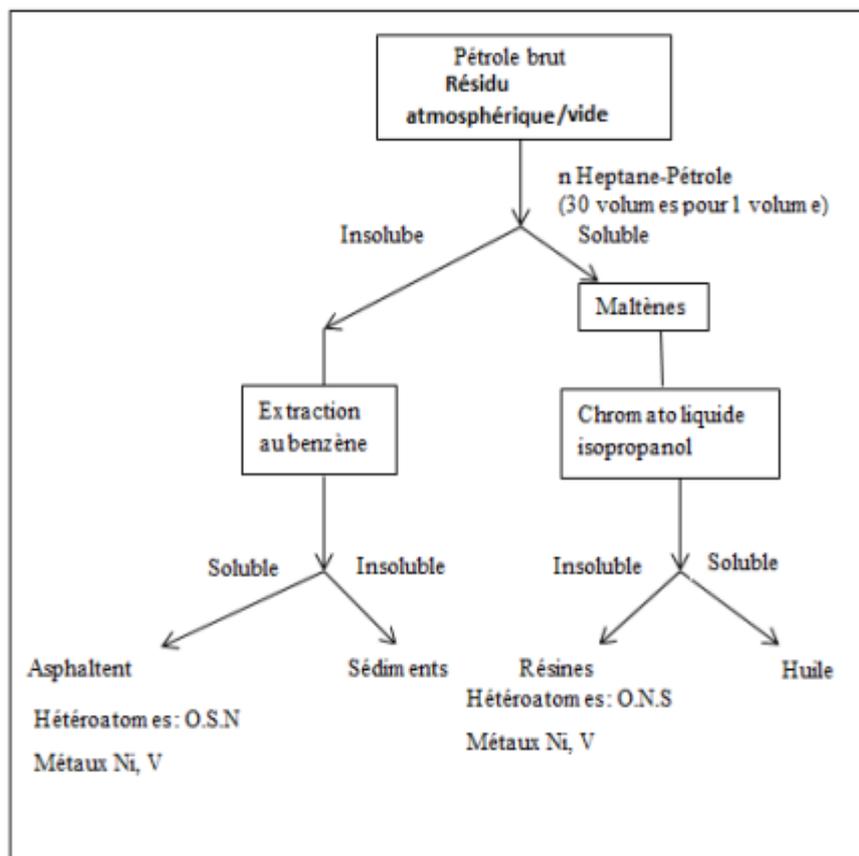
- **Les Résines**

Sont en général des molécules à caractère aromatique très marqué qui renferme des hétéro éléments comme l'azote, l'oxygène le soufre et parfois du Nickel et du Vanadium. Leurs masses moléculaires peut varier de 500 à 10<sup>3</sup> g/mol [5].

## Chapitre IV : généralités sur le pétrole

La FigureIV. 2montre le procédé de séparation des fractions lourdes qui se fait au n-heptane pour l'obtention de deux fractions : une fraction soluble qui est formé principalement par les maltènes qui par une séparation par chromatographie liquide avec l'isopropanol permet de le séparer en une résine qui est la fraction insoluble ainsi que l'huile qui est la fraction soluble. Une deuxième fraction non soluble qui, après une extraction au benzène donne deux phases, une phase soluble au benzène ce sont les asphaltènes et une deuxième phase non soluble sont les sédiments.

Dans le TableauIV. 5sont représentés les bruts de quelques pays avec leurs compositions hétéroatomiques ainsi que leurs teneurs en asphaltènes. On remarque que le brut algérien est caractérisé par une faible teneur en soufre qui est inférieur à 0.1% en poids, en azote entre 0.34 % à 0.38% en poids et par une forte teneur en composés oxygénés. Le brut de HassiMessaoud contient des métaux avec une teneur inférieur à 0.2 % ppm en Nickel et Vanadium ainsi qu'une faible concentration en Asphaltène en comparaison avec les autres bruts. La figure I.3 montre la répartition de la composition chimique du pétrole brut en fonction de leur température d'ébullition et le nombre d'atomes de carbone [6].



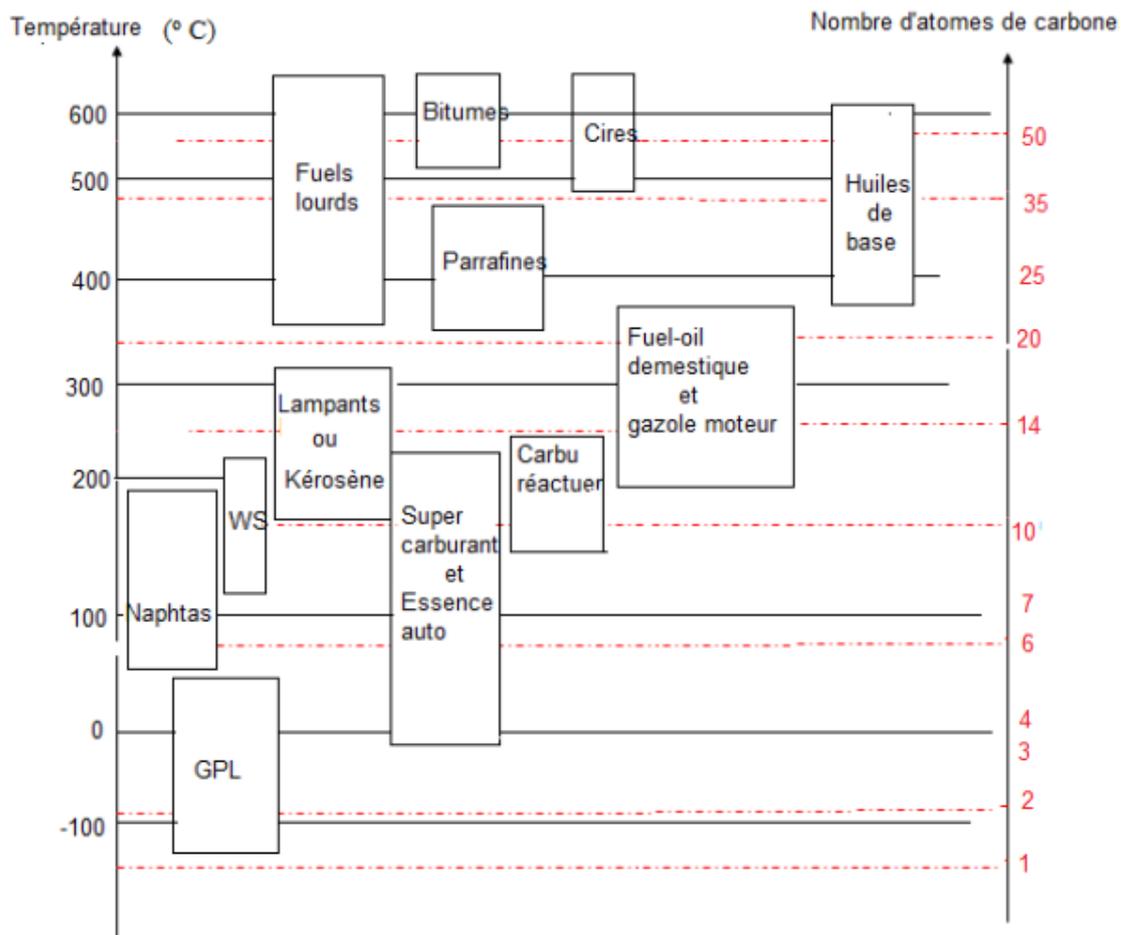
FigureIV. 3 : Procédés de séparation des fractions lourdes

## Chapitre IV : généralités sur le pétrole

TableauIV. 6: Compositions organiques hétéro-atomiques des quelques brutes dans le monde

Brut	Origine	Viscosité (mm <sup>2</sup> /sec)	O (% pds)	N (% pds)	S (% pds)	Ni (ppm)	V (Ppm)	Asphaltène (pds %)
Batirman	Turquie	1180	0.53	0.49	7.04	99	153	22.1
Boscan	Venezuela	595	0.79	0.74	5.46	125	1220	14.1
Emeraude	Congo	113	1.10	0.56	0.57	64	9	1.7
Edjeleh	Algeria	5.3	0.73	0.34	<0.10	1.5	2.3	0.1
Hassi Messaoud	Algeria	2.32	1.93	0.38	<0.10	<0.2	<0.2	0.1

## Chapitre IV : généralités sur le pétrole



FigureIV. 4: Répartition du brut en fonction des températures d'ébullition et le nombre de carbone

# **Chapitre V :**

# **La distillation**

# **atmosphérique**

# Chapitre V : La distillation atmosphérique

## V.1 Généralités

La distillation atmosphérique est un procédé qui consiste à séparer les fractions d'HCs contenues dans le pétrole brut.

Le qualificatif « atmosphérique » de cette opération se justifie par le fait qu'elle se déroule à la pression ambiante (1.5 à 1.8bars) dans les conditions proches de la pression atmosphérique (1.013bar)

Cette distillation est basée sur la différence de température d'ébullition de chacun des produits purs contenus dans le brut

Ainsi en fonction de la volatilité des divers constituants une séparation est réalisée dans la colonne de distillation atmosphérique, muni en général de 30 à 50 plateaux à clapets 5 Le système utilisé en générale est une colonne de distillation à soutirage multiple qui permettra d'obtenir plusieurs coupes (gaz ; essence ; kérosène ; gasoil léger et moyen ; résidu atmosphérique)

La coupe gaz +essence est obtenue en tête de colonne, les coupes kérosène, gasoil léger et lourds sont soutirées latéralement, Le produit obtenu au fond de la colonne est appelé résidu atmosphérique, il correspond à une coupe 350°C+, cela signifie que le résidu est constitué encore d'une coupe résiduelle de gasoil et bien entendu des distillats.

Leur séparation s'opère par la distillation sous vide Le schéma simplifié de la distillation atm présente 05 éléments majeurs :

- Bacs de stockage
- Le train d'échange
- Le dessaleur
- Le four
- La colonne de distillation

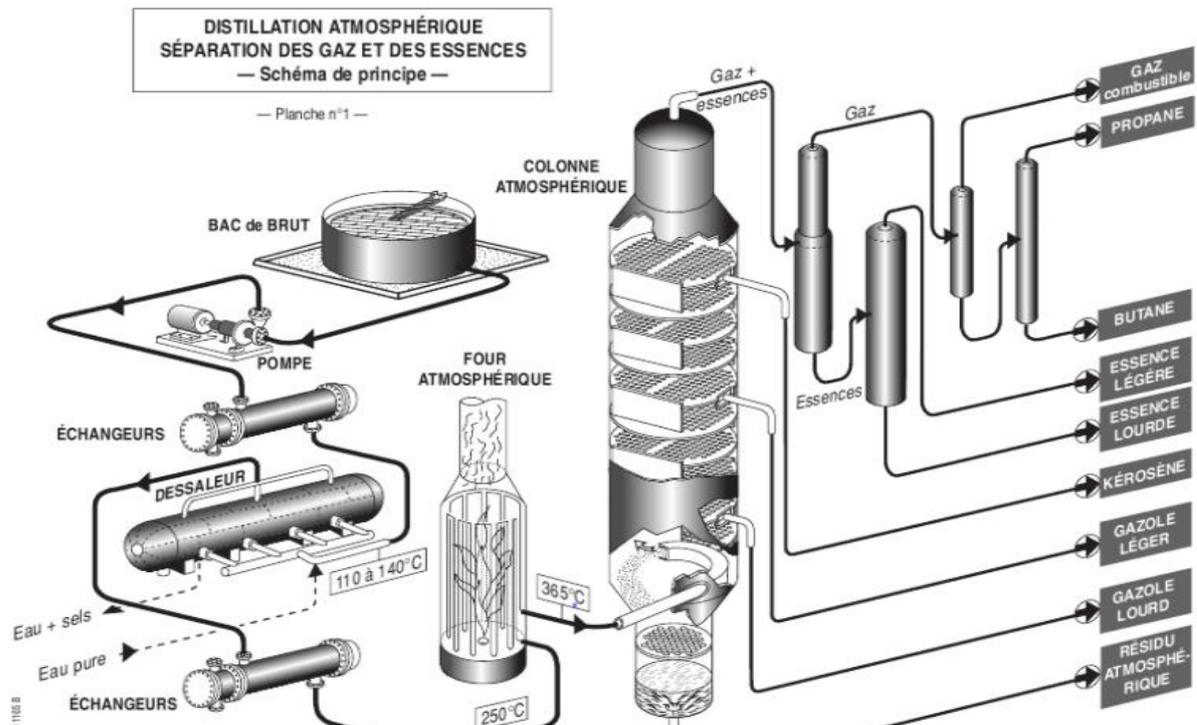


Figure V. 1: Schéma de principe de la distillation atmosphérique

## V.2 Fonctionnement de la distillation atmosphérique :

L'unité de distillation atmosphérique comprend deux sections principales :

- Section de fractionnement principale
- Section de stabilisation de gaz de tête de la colonne.

### V.2.1 Section de fractionnement principal

#### 1. chauffage du brut

Le brut réceptionné est stocké dans un bac où l'eau contenue dans le brut sera séparée par simple décantation.

Le brut est aspiré par une pompe de charge et est refoulé dans un 1<sup>er</sup> train d'échange de chaleur.

Sa température est portée à 110°C par les gaz de tête est le soutirage latéral du kérosène.

A cette température le brut est admis dans un dessaleur pour se débarrasser des sels grâce à un champ électrostatique et par l'adjonction de l'eau à hauteur de 3 à 8% et d'un émulsifiant.

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

Le pétrole brut dessalé passe ensuite dans un **2ème train** d'échange pour récupérer la chaleur des soutirages latéraux **des gasoils** et le **brut réduit** pour porter sa température de 150°C Et être admis par la suite dans un ballon de pré-flash à une pression de 3 bars.

Le brut est séparé des gaz formés dans cette étape de 1ère chauffe.

A sa sortie du ballon de pré-flash le brut est chauffé à une température de 250°C par le **reflux circulant** et le **brut réduit** dans une série d'échangeur.

Le brut est chauffé par la suite dans un **four** (type cabine) qui fournit la chaleur complémentaire nécessaire pour le ramener à sa température désirée.

A la sortie à une température de 340°C le brut est admis dans la zone de flash de la colonne de distillation.

### 2. Soutirages des produits

Les vapeurs les fractions légères contenues dans le pétrole brut montent vers la partie haute de la colonne appelée section de rectification.

La fraction la plus lourde au fond de la colonne appelée zone d'épuisement.

Une injection de vapeur basse pression et surchauffée (vapeur de stripping) permet de vaporiser les produits légers contenus encore dans les fractions lourdes et de corriger ainsi la qualité de cette coupe appelée **résidu atmosphérique**.

La coupe gaz + essences est condensée en tête de colonne puis soutirée du ballon de reflux ;

Une partie du liquide du ballon retourne à la colonne pour assurer le reflux.

L'échange et transfert de matières, base de tout fractionnement par distillation, est réalisée dans des plateaux munis de clapets,

Il s'établit dans la colonne, de haut en bas, un gradient de température allant de 110°C en tête à 340°C en bas de la colonne.

En tête de colonne est ainsi recueillie la fraction dite légère contenant les Gaz Incondensables, les Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL) et les Naphtas (léger et lourd).

Puis par des soutirages latéraux placés à des niveaux judicieux le long de la colonne sont soutirés le kérosène, le gazole léger et le gazole lourd.

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

Les fractions soutirées latéralement de la colonne sont soumises à un fractionnement complémentaire dans des colonnes appelées stripper et ce pour éliminer les parties légères entraînées et dissoute.

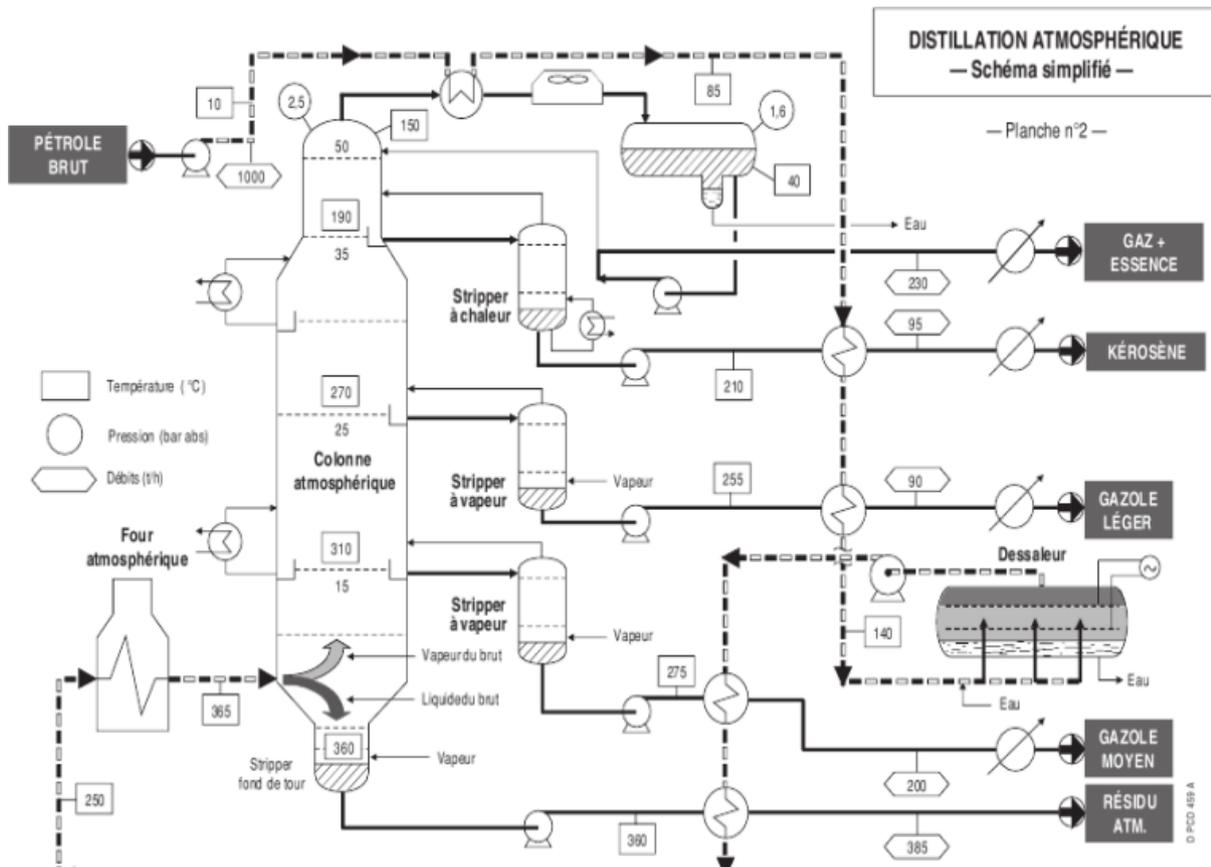


Figure V. 2: schéma simplifié de la distillation atmosphérique

### V.2.2 SECTION DE STABILISATION

La fraction légère récupérée en tête de la colonne de la distillation atmosphérique est envoyée comme charge dans la section séparation et stabilisation.

Cette section fonctionne avec un taux de reflux très élevée et sous pression (5 à 10 bars) afin d'éliminer tous les gaz et ajuster la tension de vapeur des naphtas.

Une fois refroidi et condensé les gaz de tête de la colonne de la distillation atmosphérique entre dans un ballon receveur de tête.

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

Le liquide du ballon receveur contenant les essences et GPL est envoyé vers la colonne « SPLITTER » équipée de 27 plateaux pour séparer les légers des essences lourdes « HSRN » récupéré au fond et qui va servir comme charge du reforming catalytique.

Les vapeurs de tête du Splitter sont refroidies et condensées, une partie retourne vers la colonne comme reflux

L'autre est envoyé dans une colonne de stabilisation équipée d'une quarantaine (40) de plateaux.

Au fond est récupérée naphta légère (LSRN) charge de l'unité d'isomérisation.

En tête les GPL qui sont envoyés vers l'unité GAZ PLANT pour séparer le propane et le butane.

### V.3 Qualité de fractionnement :

Les qualités de fractionnement sont souvent formulées en termes de Gap ou de Overlap des produits considérés.

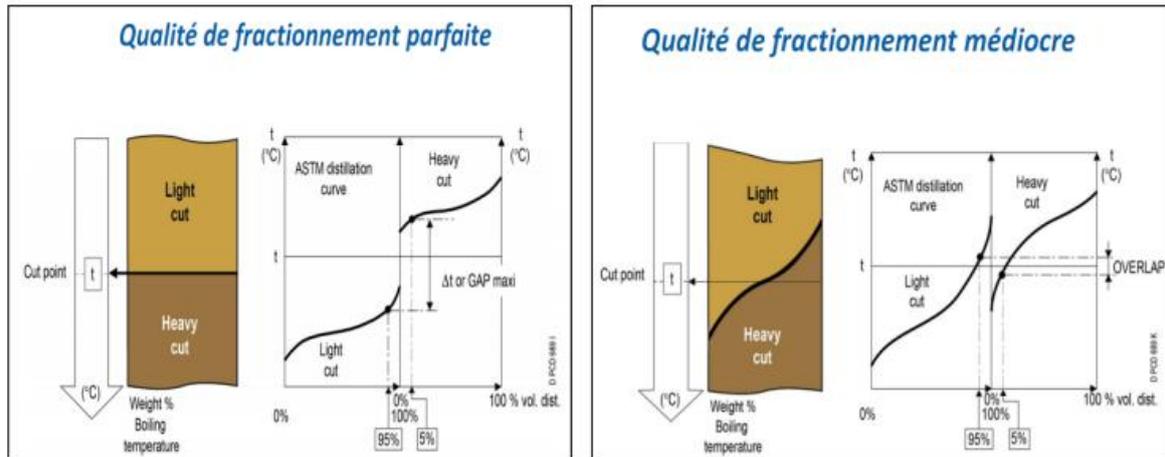
Si le fractionnement est parfait, le point final de la coupe légère serait confondu avec le point initial de la coupe lourde.

Les courbes ASTM des deux produits présenteraient un décalage positif appelé **Gap**, dans le cas contraire c.à.d. décalage négatif (recouvrement) **Overlap**.

Les points 5% et les points 95% qui sont retenus pour déterminer la qualité de fractionnement.

La figure suivante illustre les notions de **Gap** et **Overlap**

## Chapitre V : La distillation atmosphérique



$$\begin{aligned}
 t_{5\% \text{ heavy cut}}^{\circ} - t_{95\% \text{ light cut}}^{\circ} > 0 &: \text{gap.} \\
 t_{5\% \text{ heavy cut}}^{\circ} - t_{95\% \text{ light cut}}^{\circ} < 0 &: \text{overlap.}
 \end{aligned}$$

Figure V. 3: la qualité de fractionnement parfaite et médiocre

D'autres spécifications internes à l'unité sont couramment contrôlées :

- ♣ Point d'éclair du kérosène et des gazoles.
- ♣ Point de congélation du kérosène et des gazoles.
- ♣ Point final de distillation ASTM D 86 de l'essence lourde, généralement inférieur à 185°C (respect de la valeur commerciale).
- ♣ Point de trouble du gazole lourd.
- ♣ Point d'éclair du résidu atmosphérique

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

PRODUITS	DENSITE	P.INITIAL °C	P. 90% °C	P.FINAL °C	TVR Kg/cm <sup>2</sup>	F.POINT °C	VISCO Cst
LSRN	0.66	41+/-3	65+/-6	85	0.7-0.8		
HSRN	0.73	90	149+/-3	165	0.1-0.2		
KEROSENE	0.78	162	210+/-6	225		38	
LGO	0.83	225	312+/-6	330		115	
HGO	0.85	290	355+/-3	<365		140	
BRA	0.9	>395				150	8-12

FigureV. 4:Spécifications des produits

### V.4 Modification des points de coupe

L'opération de la **distillation atmosphérique** est affectée par la pression, la température, le taux de soutirage des effluents, le reflux. Chacune de ces variables peut être modifiée selon les produits désirés.

En règle générale :

- l'augmentation du débit de soutirage des produits augmentera le point final de la coupe latérale
- et diminuer le débit de ce soutirage diminue le point final.

L'indication du point final est la température de soutirage de la coupe latérale qui sort de la colonne.

L'Augmentation de la quantité du produit soutiré, augmente la température de soutirage et de même le point final du produit.

#### V.4.1 Température de la zone de Flash

La température de la zone de flash peut varier en raison à des changements dans la composition des matières premières.

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

La température doit être suffisamment élevée pour assurer qu'il y a suffisamment de reflux interne (over flash, petite quantité d'évaporation supplémentaire).

Cela permettra le fractionnement et de prévenir le séchage des plateaux en raison de l'absence de reflux.

La couleur du produit gazole est un bon signe de fractionnement immédiatement au-dessus de la zone de flash.

L'Augmentation de cette température conduit à amélioration du pouvoir de séparation Pour chaque coupe :



### V.4.2 Température de tête

Le point final du produit naphta de tête peut être réglé en changeant le point de consigne sur le contrôleur de température "TRC" de tête de la colonne

Exemple de l'effet de ce contrôle, une consigne de température plus basse augmente le débit du reflux externe de tête et abaisse le point final et la quantité du produit de tête (Naphta) conséquences :

- Le débit de la coupe de tête est réduit. Cela se traduit par une diminution de la température du point de coupe et un point final plus bas pour l'essence.
- Les autres produits sont impactés l'un après l'autre leurs températures de soutirage ou les points de coupe diminuent.
- Les débits des soutirages latéraux restent constants mais tous les produits deviennent plus légers :
  - point final et initial plus bas du kérosène :
  - point final plus bas pour les coupes gasoil
  - et une diminution du point de trouble et du freezing point.
  - Une augmentation du débit de résidu atmosphérique et en conséquence une réduction de sa viscosité et de sa densité.

Reflux circulant intermédiaire

Le reflux circulant doit être bien contrôlé pour obtenir des produits visés.

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

Si le débit du reflux circulant est trop élevé ou trop bas, la vaporisation dans la colonne est différente, avec des conséquences d'une mauvaise répartition des produits.

Une extraction de chaleur faible par le reflux circulant en résultera en une pression élevée dans la colonne, et en zone de flash et par conséquent un mauvais fractionnement

L'évacuation excessive de la chaleur par le reflux circulant peut entraîner des difficultés dans le maintien de certains points finaux des coupes, et peut causer des débordements internes, de l'entraînement du liquide et une chute de pression de la colonne

### V.4.3 Pression

La pression de fonctionnement de la colonne dépend de la pression contrôlée à l'accumulateur de tête.

La pression dans le système de la colonne de distillation du brut est affectée par la quantité de vapeurs produites.

La vaporisation dans des conditions de pression constante dépend de la composition du brut, la température à laquelle, il est chauffé et le degré de stripping qu'il subit.

Si la pression diminue toutes les coupes sont plus lourdes.

### V.5 Protection contre la corrosion :

La lutte contre la corrosion met en œuvre les étapes suivantes :

- ♣ Dessalage du pétrole brut
- ♣ Neutralisation des sels minéraux résiduels par la soude
- ♣ Protection des équipements du circuit de tête de la colonne par injection d'une amine filmant
- ♣ Neutralisation de des acides HCl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> présent en tête de colonne par une amine neutralisante

Contrôle de la corrosion

A - Mesure des chlorures dans le ballon de tête :

Les Cl<sup>-</sup> présents dans l'eau de tête peuvent avoir trois origines :

- chlorures d'amine résultant de la neutralisation de l'HCl

## Chapitre V : La distillation atmosphérique

- chlorures de fer résultant de la corrosion

- présence d'HCl dans l'eau

Globalement, ils ont tous pour origine l'hydrolyse des sels non éliminés par le dessalage ou par la neutralisation complémentaire à la soude.

Toute dégradation de fonctionnement du dessaleur se traduit par une augmentation de la teneur en chlorures dans les eaux de tête.

Des teneurs inférieures à 10 ppm peuvent être atteintes avec un dessaleur performant et un dispositif de neutralisation à la soude complémentaire.

**B-** Contrôle de la teneur en Fer dans les eaux du ballon de tête :

La teneur en fer de l'eau du ballon reflète l'importance du phénomène de corrosion.

Un traitement efficace peut permettre de maintenir des teneurs de l'ordre du ppm

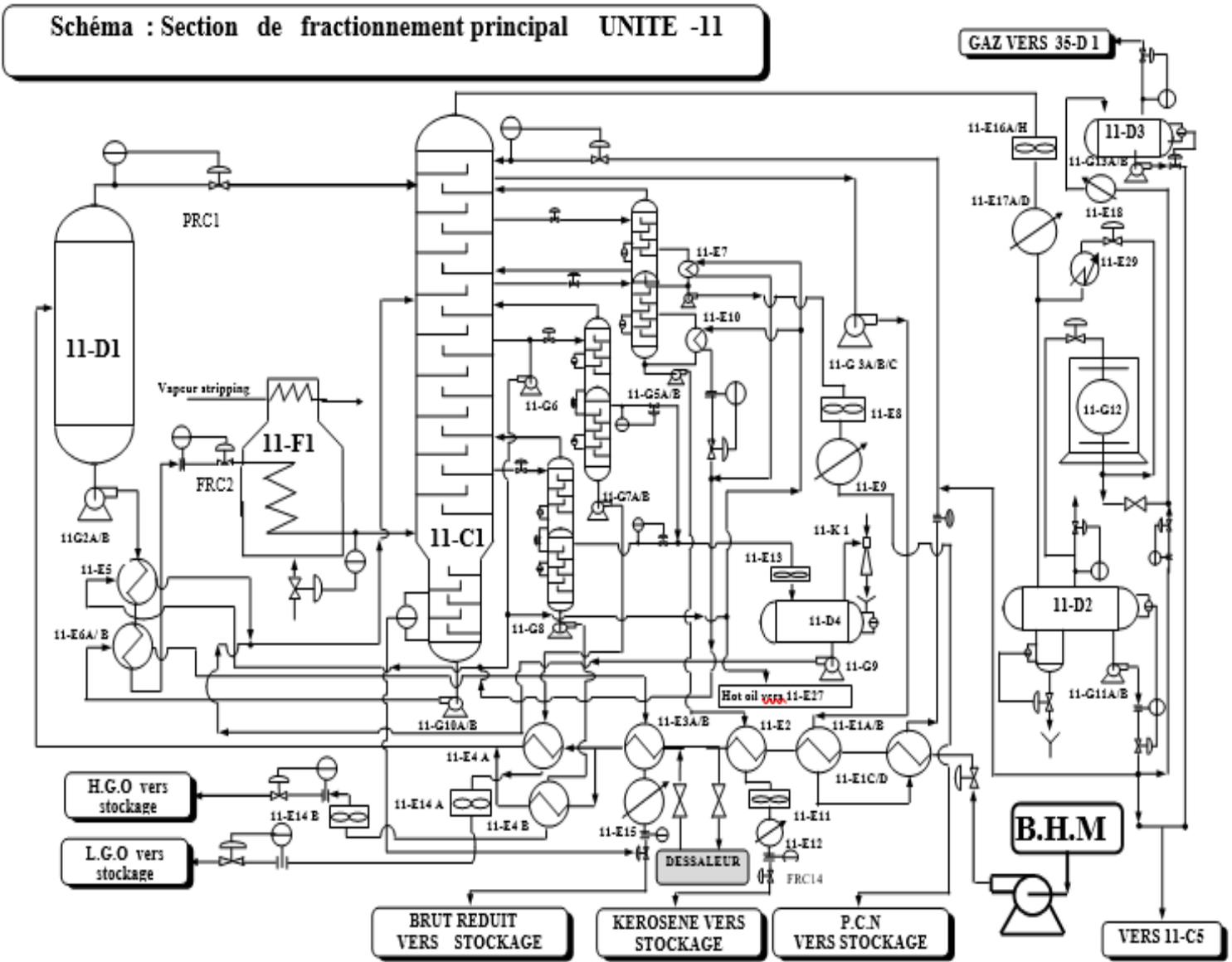


Figure V. 5: section de fractionnement principal



# **Chapitre VI :**

# **Rappel de Transfert**

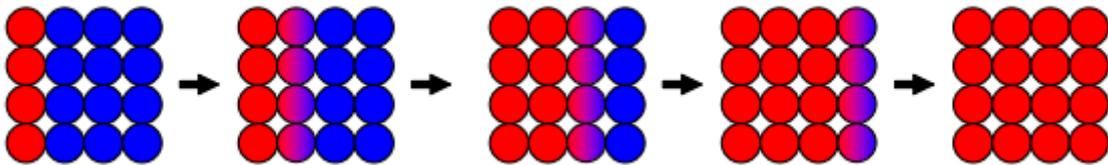
# **de Chaleur**

### VI.1. Introduction :

On appelle transfert de chaleur, les processus par lesquels de l'énergie est échangée sous forme de chaleur entre des corps ou des milieux à des températures différentes T1 et T2. La chaleur peut être transmise par conduction, convection ou rayonnement. Bien que les trois processus puissent avoir lieu simultanément, l'un des mécanismes est généralement prépondérant. Par exemple, la chaleur est principalement transmise par conduction à travers les murs en brique d'une maison ; l'eau dans une casserole placée sur une cuisinière est surtout chauffée par convection ; la Terre reçoit sa chaleur du Soleil en grande partie par rayonnement.

### VI.2.-Les modes de transfert de chaleur :

**VI.2.1. La conduction :** Les atomes se transmettent la chaleur de proche en proche



*Figure VI. 1: La conduction*

C'est le mode de propagation à l'intérieur des solides, ou des fluides au repos

#### Paramètres :

- Le flux de transfert de chaleur dépend de la conductivité thermique du produit.

Exemple de conductivité des fluides :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_{ed}} + \frac{d_e \ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right)}{2\lambda} + \frac{d_e}{d_i} \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_e}{d_i} \frac{1}{h_i}$$

U : Coefficient global de transfert de chaleur, Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>

he : Coefficient de transfert de chaleur du film externe, Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>

hi : Coefficient de transfert de chaleur du film interne, Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>

hed : Coefficient d'encrassement du film externe, Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>

hid : Coefficient d'encrassement du film interne, Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

$\lambda$  : Conductivité thermique,  $Wm^{-2}K^{-1}$

$d_e$  : Diamètre externe des tubes, m

$d_i$  : Diamètre interne des tubes, m

TableauVI. 1: Exemples de conductivité des fluides

Fluide	$h_{ed}, h_{id}$ ( $W / m^2 K$ )
Eau de rivière	3 000 – 12 000
Eau de mer	1 000 – 3 000
Eau refroidissement (tour)	3 000 – 6 000
Eau de ville (dureté faible)	3 000 – 5 000
Eau de ville (dureté élevée)	1 000 – 2 000
Condensats de vapeur d'eau	1 500 – 5 000
Vapeur d'eau (sans traces)	4 000 – 10 000
Vapeur d'eau (traces d'huiles)	2 000 – 5 000
Saumure	3 000 – 5 000
Air, gaz industriels	5 000 – 10 000
Fumées	2 000 – 5 000
Vapeurs organiques	5 000
Liquides organiques	5 000
Hydrocarbures légers	5 000
Hydrocarbures lourds	5 000
Liquide organique bouillant	2 5000
Liquide chauffage	5 000
Solutions salines	3 000 – 5 000

- Plus la surface d'échange est importante, plus le transfert de chaleur est important.

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

TableauVI. 2: Exemple des valeurs de conductivité thermique des matériaux

Matériaux	Conductivité thermique ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ) Valeurs pour une température de 20 °C
Aluminium (pureté de 99,9%)	237
Carbone	129
Platine	71,6
Acier doux	46
Acier inoxydable (18% Chrome, 8% Nickel)	26
Eau	0,6
Bois de pin (parallèle aux fibres)	0,36
Bois de pin (perpendiculaire aux fibres)	0,15
Air (100 kPa)	0,0262

**VI.2.2. La convection :** Les molécules sont en mouvement, les molécules chaudes se mélangent avec les molécules froides et leurs transmettent de la chaleur :

-C'est le mode de propagation de la chaleur à travers des liquides et des gaz.

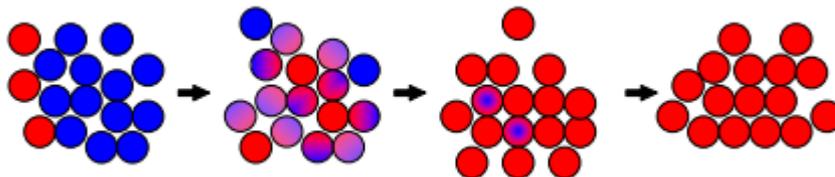


Figure VI. 2: La convection

**Paramètres :**

- Le flux du transfert de chaleur dépend de la nature chimique du produit.
- Plus la surface d'échange est importante, plus le transfert de chaleur est important.
- Plus l'écoulement est turbulent, plus le transfert de chaleur est rapide.

**VI.2.3. La radiation :** La lumière du soleil est une forme de radiation qui est rayonnée à travers l'espace jusqu'à à notre planète.

Le soleil transfère sa chaleur à travers des millions de kilomètres sans aucune aide de support quelconque. La radiation est la faculté d'augmenter ou de diminuer la température d'un solide

sans le toucher.

La congélation est une autre forme de radiation

### VI.3. Définition d'un échangeur :

Un échangeur peut avoir différentes fonctions dans une installation et avoir d'autres noms :

**-Échangeur** : Il permet le transfert de calorie d'un fluide vers un autres sans changement d'état de ces fluides.

**-Condenseur** : Il permet le changement d'état d'un fluide : exemple passer de l'état liquide à l'état gazeux.

**-Rebouilleur** : Échangeur de chaleur utilisé pour réchauffer ou vaporiser un fluide.

**-Réchauffeur** : Il permet d'augmenter la température d'un fluide ou d'un solide pour l'utiliser dans un système exemple réchauffage de l'huile pour une meilleure circulation dans les pipes, réchauffage du gaz avant l'entrée dans une turbine.

**-Cooler** : Il permet de refroidir un gaz ou un fluide après que celui-ci ait été utilisé exemple soustraire les calories emmagasinées par de l'huile lubrification d'un moteur thermique.

Chacune de ces différentes applications nécessite des techniques de mise en œuvre particulière.

### VI.4. Principe de fonctionnement d'un échangeur tubulaire :

-Deux fluides sont mis en contact par l'intermédiaire d'une paroi :

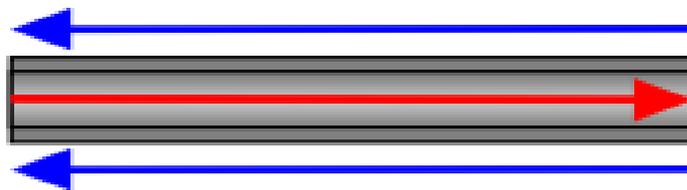


Figure VI. 3: Principe de fonctionnement d'un échangeur

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

L'échange de chaleur entre les deux fluides suit trois étapes :

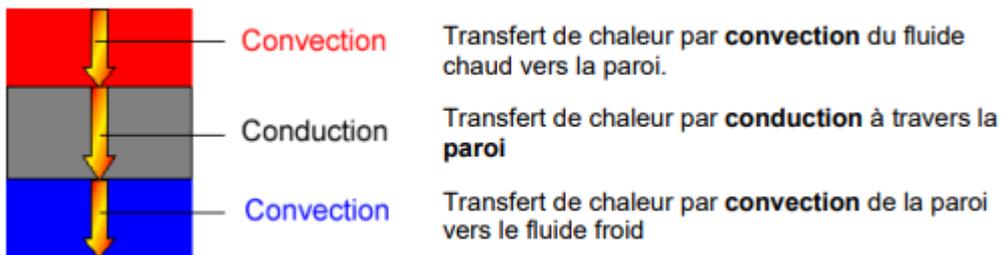


Figure VI. 4: Échange de chaleur entre deux fluides dans un échangeur

-Le bon fonctionnement d'un échangeur est caractérisé par le delta T entre l'entrée et la sortie du fluide, c'est à dire une différence de température entre les deux fluides. Pour calculer le taux de transfert de chaleur dans un échangeur. Il peut être calculé à partir des différences de température la plus grande et la plus petite  $T_1 - t_2$  et  $T_2 - t_1$ . La première valeur à connaître est la différence de température moyenne logarithmique. Cette valeur peut être calculée ou prise sur les abaques suivantes elles dépendent des températures entrées et sorties des fluides et aussi de la configuration de l'échangeur.

$$Q = U_0 * A * \Delta T$$

Q = taux de transfert de chaleur

U<sub>0</sub> = coefficient global de transfert de chaleur

A = surface de transfert

Delta T = différence de température moyenne logarithmique (LMTD)

### VI.5. Les différents types d'échangeurs :

#### VI.5.1. Les échangeurs à plaques

Un échangeur à plaques est constitué d'un ensemble de plaques métalliques embouties au travers desquelles s'effectue le transfert de chaleur entre deux fluides

-Les **plaques** sont serrées entre un bâti fixe et un bâti mobile. Elles sont positionnées et guidées par 2 barres support inférieure et supérieure.

-Les **bâtis** maintiennent les plaques serrées au moyen de tirants. Les deux barres guides sont elles même supportées par un pied support.

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

-Un joint par plaque assure l'étanchéité de l'échangeur ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques.



Figure VI. 5: Exemple d'un échangeur à plaques

### VI.5.2. Les échangeurs tubulaires :

#### VI.5.2.1. Principe des échangeurs tubulaires

Un des fluides circule dans un faisceau de tubes monté sur deux plaques tubulaires. Ce faisceau est logé dans une calandre munie de tubulures d'entrées et de sortie pour le fluide circulant à l'extérieur des tubes du faisceau. Ce fluide suit un trajet imposé entre les chicanes. Celles-ci ont pour rôle entre autres de supporter les tubes du faisceau afin d'éviter leurs déformations.

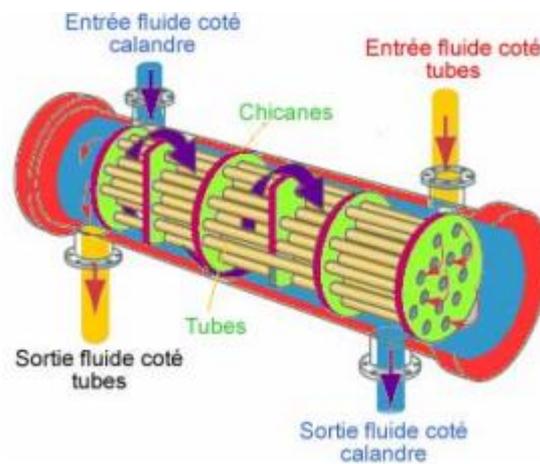


Figure VI. 6: Principe de l'échangeur tubulaire

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

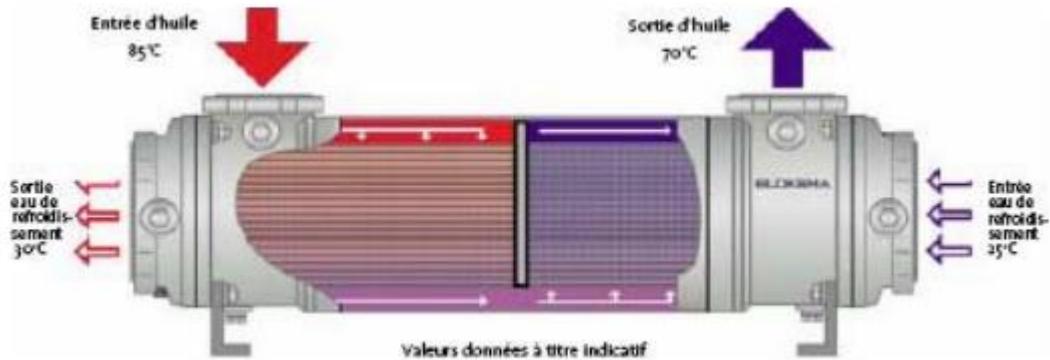


Figure VI. 7: Échangeur tubulaire

-Les échangeurs tubulaires sont équipés de chicanes ou cloisonnements :

### **-Chicanage de la calandre :**

On place des cloisonnements sur le trajet du fluide pour éviter qu'il ne suive un chemin préférentiel. La turbulence créée améliore également le transfert.

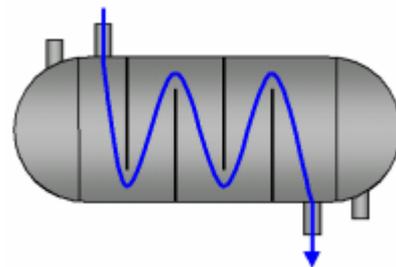
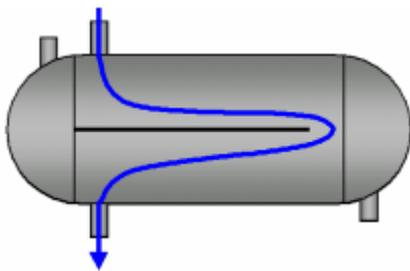


Figure VI. 8: Chicane de la calandre

### **-Cloisonnement pour la circulation dans les tubes ou dans la calandre :**



On obtient ainsi des échangeurs multi passes coté calandre

Figure VI. 9: Cloisonnement de la calandre

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

On augmente ainsi les longueurs de circulation

(donc la surface d'échange) et on peut ainsi

réaliser un échangeur avec un "double" contrecourant.

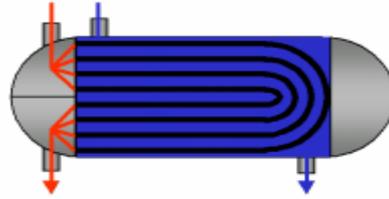


Figure VI. 10: Échangeur « double » contre-courant

-Trois types d'échangeurs de chaleur sont différenciés pour la direction du flux de fluide :

- Contre-courant (Counter flow)
- Flux parallèle (parallel flow)
- Écoulement en travers (cross flow)

### VI.5.2.2. Les échangeurs à faisceau tubulaire :

Les échangeurs tubulaires sont constitués :

- D'un faisceau tubulaire
- D'une calandre
- De boîtes de distribution et de retour



Figure VI. 11: Exemple d'un échangeur tubulaire

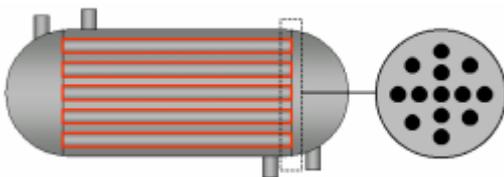


Figure VI. 12: Faisceau tubulaire

Le **faisceau tubulaire** est composé de deux à plusieurs centaines de tubes soudés ou dudgeonnés à leur extrémité sur une plaque

La calandre est un tube cylindrique de gros diamètre dans laquelle est placé le faisceau tubulaire.

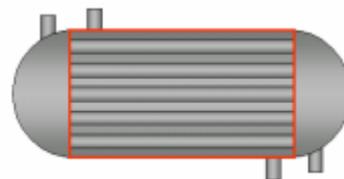


Figure VI. 13: La calandre

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

Les **boîtes de distribution et de retour** sont fixées aux extrémités et servent de collecteur pour le fluide circulant dans les tubes.

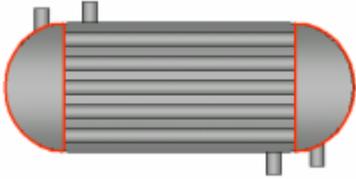


Figure VI. 14: Les calottes



Figure VI. 15: Exemple de faisceau tubulaire

De nombreux arrangements sont possibles pour tenir compte des conditions de service ainsi que de la dilatation des éléments.

Il est plus facile de nettoyer l'intérieur des tubes que l'extérieur.

Pour cette raison, on fait généralement circuler le fluide le plus sale dans les tubes. Sauf si le liquide est trop visqueux ce qui perturberais la turbulence dans les tubes.

Néanmoins, afin d'autoriser le nettoyage extérieur et éventuellement le remplacement du faisceau, il est nécessaire de prévoir dans l'implantation une aire de moulage de faisceau.



Figure VI. 16: Intérieur d'un échangeur tubulaire

La plaque de séparation de passe sert à obliger le passage du fluide dans un certain sens

### Possibles échanges :

- Vapeur – Eau
- Eau – Eau
- Huile - Eau
- Eau surchauffée - Eau
- Fluide thermique – Eau

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

- Process

### VI.5.2.3. Les échangeurs type KETTLE (AKT) :

Cet appareil, est utilisé quand il s'agit de vaporiser partiellement ou totalement un liquide et, est conçu pour assurer la séparation des deux phases. Le liquide à vaporiser vient baigner le faisceau tubulaire à l'intérieur duquel circule le fluide chaud. Un déversoir maintient le niveau liquide juste au-dessus du faisceau, sauf dans le cas des générateurs de vapeur

La calandre est d'un diamètre nettement supérieur à celui du faisceau, ce qui aménage une zone de désengagement de la vapeur et permet d'éviter les entraînements de liquide. La vapeur produite sort par la ou les tubulures situées sur la partie supérieure de la calandre.

Le liquide non vaporisé passe au-dessus du barrage et il est soutiré de l'appareil généralement sous contrôle de niveau (les prises de niveau apparaissent sur le schéma).

Ici, le faisceau (à deux passes) est du type en U mais on utilise également des fonds flottants.

Ce type d'appareil tolère des taux de vaporisation élevés. Mais le temps de séjour du liquide y est relativement grand, ce qui favorise l'encrassement.

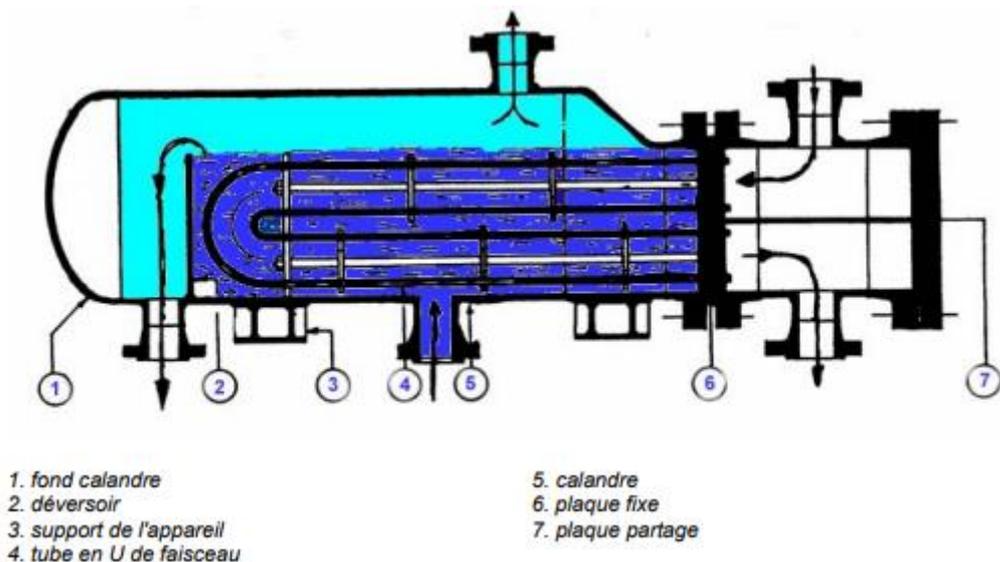


Figure VI. 17: Échangeur type Kettle

### VI.5.2.4. Les échangeurs à tête flottante

L'une des plaques tubulaires est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre inférieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre.

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

Ces appareils, permettant l'expansion thermique du faisceau ainsi que son nettoyage mécanique, constituent la presque totalité des échangeurs utilisés avec les tubes en U

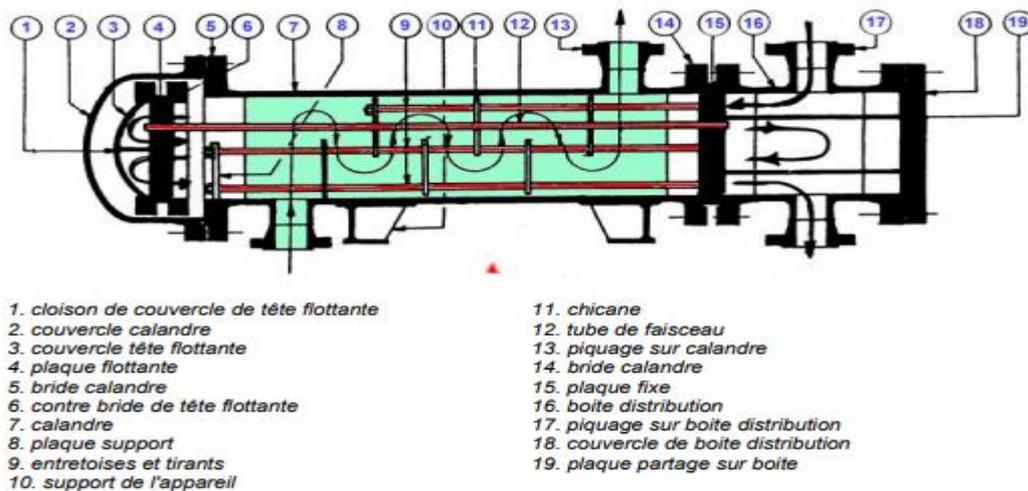


Figure VI. 18: Échangeur à tête flottante

### VI.5.2.5. Les échangeurs à tubes en "U"

L'utilisation des tubes en forme d'épingles à cheveux supprime une plaque tubulaire, tout en conservant les propriétés d'expansion de la tête flottante.

Le nombre de tubes est plus faible que dans

les autres appareils par suite du diamètre minimal de cintrage des tubes. Ces faisceaux seront utilisés à chaque fois que le fluide coté tube est propre exemple : Eau douce, Gaz, Gazole.



Figure VI. 19: Exemple d'un échangeur à tubes en "U"

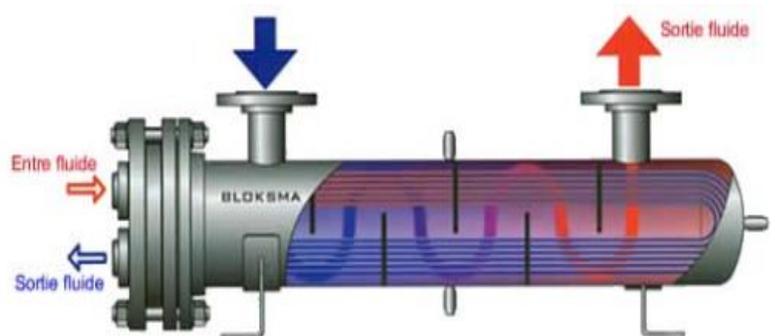


Figure VI. 20: Vue écorchée d'un échangeur à tubes en "U"

## Chapitre VI : Rappel de Transfert de Chaleur

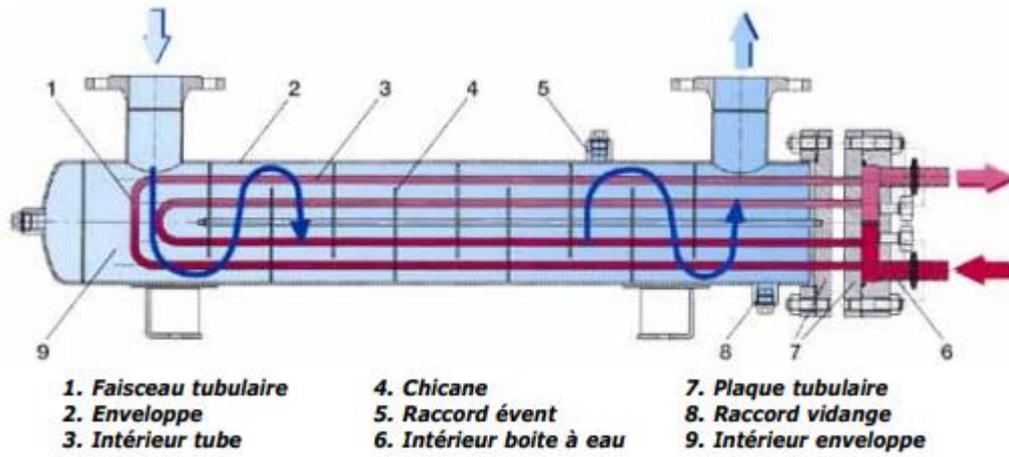


Figure VI. 21: Composition d'un échangeur à tubes en "U"

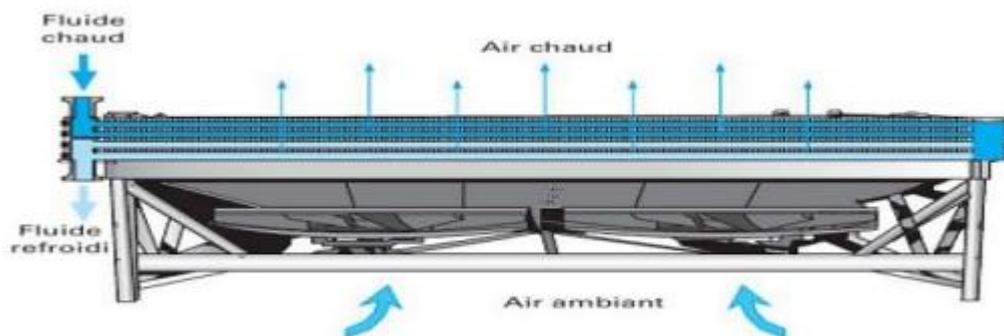
# **Chapitre VII : les aéroréfrigérants :**

### VII.1. Introduction :

Les aéroréfrigérants, également appelés refroidisseurs d'air, jouent un rôle crucial dans les procédés industriels, en particulier dans l'industrie pétrolière. Leur fonction principale est de refroidir les fluides en utilisant l'air ambiant comme moyen de refroidissement, ce qui permet une gestion efficace de la température des procédés. Ces équipements sont essentiels pour garantir la sécurité et l'efficacité des opérations, en aidant à maintenir les températures dans des plages optimales pour les réactions chimiques et les séparations physiques. De par leur conception variée et leur capacité à gérer des charges thermiques importantes, les aéroréfrigérants sont indispensables pour optimiser les performances des installations industrielles.

### VII.2. Définition d'un aéroréfrigérant :

Un aéroréfrigérants est un échangeur qui utilise l'air ambiant froid comme fluide frigorigène qui, après avoir été aspiré par un ventilateur, traverse un faisceau de tubes, généralement des ailettes, qui font circuler le fluide à refroidir ou à condenser à l'intérieur du faisceau de tubes. La circulation d'air et de fluide côté tube se fait en flux croisé. [1] (Voir figure 11)



FigureVII. 1: Vue générale d'un aéroréfrigérant

### VII.3. Champ d'application des aéroréfrigérants :

- Industries pétrolières
- Stations de compression de gaz
- Stockage de gaz

- Unité de production de PVC, polyéthylène, fibre de verre
- Usines de soude caustique
- Usines de coke
- Usines de transport et de manipulation d'ammoniaque
- Usines de caoutchouc
- Industrie du froid et du conditionnement de l'air

### VII.4. Fonctionnement et Régulation des Aéroréfrigérants

Les aéroréfrigérants utilisent l'air ambiant comme fluide de refroidissement, cet air après aspiration (Tirage for c ) par des ventilateurs axiaux traverse des faisceaux de tubes comportant des ailettes extérieures. A l'intérieure de ces tubes circule le fluide à refroidir ou à condenser.



*Figures VII. 2: Exemple d'aéroréfrigérant*

Les faisceaux de tubes sont la plupart du temps disposés horizontalement, la circulation de l'air et du fluide coté tubes à effectuant à courant croisés.

Les aéroréfrigérants sont dits à :

- **Air for c ** : lorsque les ventilateurs sont placés au-dessous des faisceaux.
- **Air induit** : lorsque les ventilateurs sont placés au-dessus des faisceaux.

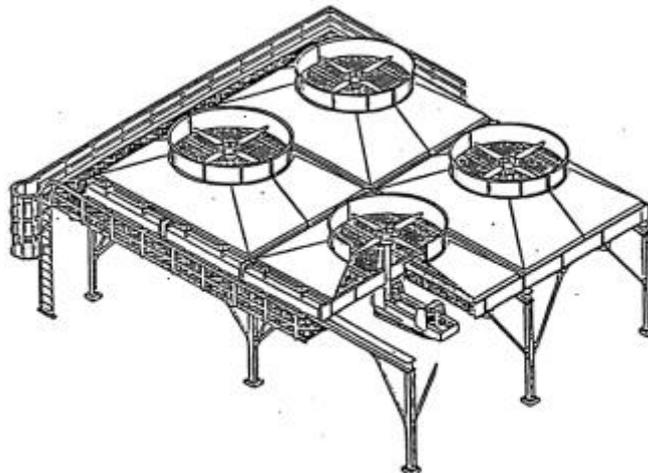
## Chapitre VII : les aéroréfrigérants

Le débit d'air peut être réglé par des ventelles (volets orientables) placées à l'entrée ou à la sortie de l'air. Une batterie d'aéroréfrigérants comporte plusieurs cellules pour lesquelles on définit deux aires importantes :

- **Aire de passage** : Surface permettant à l'air de passer à travers l'aéro (Aire facial)
- **Aire d'échange** entre l'air et le fluide circulant à l'intérieur des tubes (Aire échange)

  l'intérieur des tubes ailettes circule le produit en condensation, ou en réfrigération. Le faisceau aboutit à des boîtes de distribution ou collecteurs, qui répartissent le débit en une ou plusieurs passes.

Ces boîtes de distribution peuvent être à couvercle démontable ou soudé. Dans ce dernier cas, un bouchon fileté se trouve dans l'axe de chaque tube ce qui permet de le nettoyer, ou de le condamner le cas échéant.



*Figures VII. 3: Batterie d'aéroréfrigérants à air induit*

La température de l'air étant sujette à variations, il existe différents systèmes de régulation de ces appareils dont les principaux sont :

- Arrêt ou mise en service d'un ou plusieurs ventilateurs,
- Pales à inclinaison variable permettant de faire varier le débit d'air en circulation soit d'une manière continue en marche, soit par un changement de réglage à l'arrêt,
- Vitesse variable des ventilateurs,

- Utilisation des persiennes ou ventelles placées au-dessus du faisceau permettant de réguler le débit d'air.

Il est également possible de réaliser des échanges entre l'air et l'eau.

### VII.5. Classification des aéroréfrigérants :

On distingue deux grandes classes d'aéroréfrigérants :

- Les aéroréfrigérants à **air induit**
- Les aéroréfrigérants à **air forcé**

#### VII.5.1. Aéroréfrigérants à air induit

Les aéroréfrigérants à tirage induit : le ventilateur est au-dessus du faisceau.

**Avantages :**

- Bonne protection du faisceau
- Moins de risques de recirculation d'air (vitesse de sortie de l'air plus grande)
- Bonne distribution de l'air, bon tirage naturel par effet de cheminée quand les ventilateurs sont arrêtés (conserve 30 à 40 % de son efficacité)
- Place libre sous le faisceau pour l'installation d'autres équipements sous réserve des problèmes de sécurité

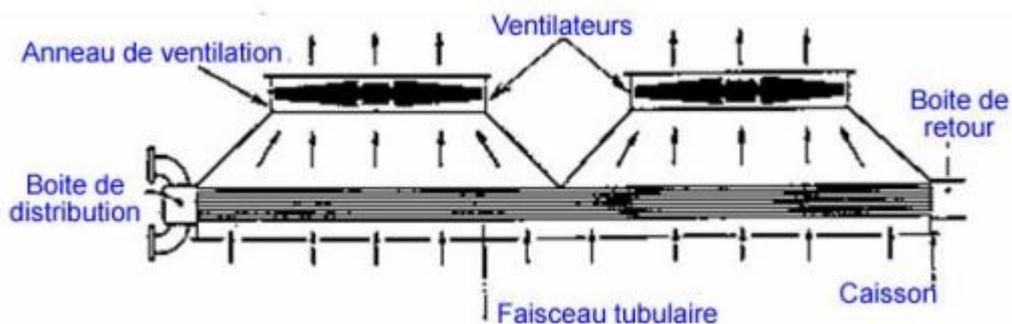


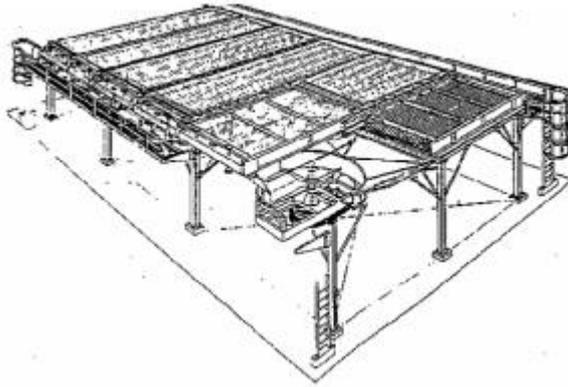
Figure VII. 4: Principe de l'aéroréfrigérants à air induit

### VII.5.2. Aéroréfrigérants à air forcé

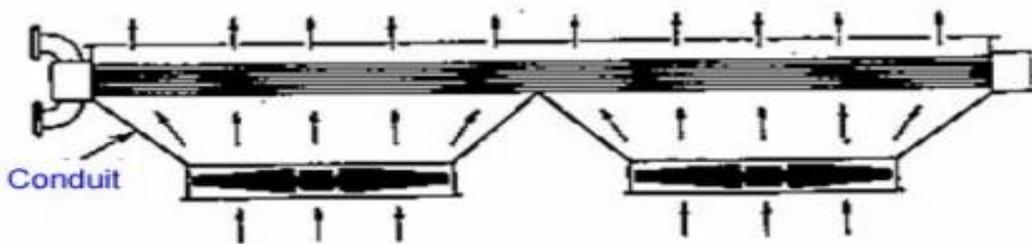
Les aéroréfrigérants à tirage forcé : le ventilateur est sous le faisceau.

#### Avantages :

- Bonne disposition de l'ensemble moto ventilateur qui travaille dans l'air froid
- Puissance consommée plus faible
- Bonne accessibilité du faisceau
- Pas d'axe traversant le faisceau
- Moins de vibrations
- Maintenance plus facile
- Possibilité d'intervention sur un ventilateur hors arrêt



FigureVII. 5: Aéroréfrigérants à air forcé



FigureVII. 6: principe de l'aéroréfrigérants à air forcé

### VII.6. Descriptions des composants des aéroréfrigérants :



Figures VII. 7: les principaux composants d'un tour de refroidissement

Les principaux composants d'un aéroréfrigérants sont :

#### VII.6.1 Le corps d'échange ou packing

Il est constitué :

- D'un empilement de parois ondulées ou en nid d'abeille sur lesquelles les gouttelettes d'eau s'écoulent sous forme de film.

## Chapitre VII : les aéroréfrigérants

- D'un empilement de lattes sur lesquelles l'eau s'éclate en gouttes successives.

Les matières plastiques généralement utilisées éliminent le risque de corrosion. Ces corps d'échange sont sensibles à l'encrassement et surtout à l'entartrage.

Les figures suivantes illustrent des exemples de corps d'échange utilisés couramment :



*Figure VII. 8: Times New Roman*



*Figure VII. 9: Corps d'échange de type gouttes*

Pour réduire l'encrassement et l'entartrage des corps d'échange, il est recommandé de veiller à garantir une accessibilité optimale, en vue du nettoyage et détartrage (ce dernier est nécessaire en cas de traitement d'eau non approprié) au minimum une fois par an. Une porte d'accès doit en outre permettre le contrôle visuel de la surface d'échange.

Un échange standard du Packing peut également s'avérer être une solution économique.

### **VII.6.2 Le pare-gouttelettes :**

Ils sont appelés aussi éliminateur de gouttes, séparateur de gouttelettes. Il est très important pour prévenir le risque d'entraînement de gouttelettes potentiellement infectées par les légionelles. Sa conception doit être telle que le taux d'entraînement soit limité le plus possible.

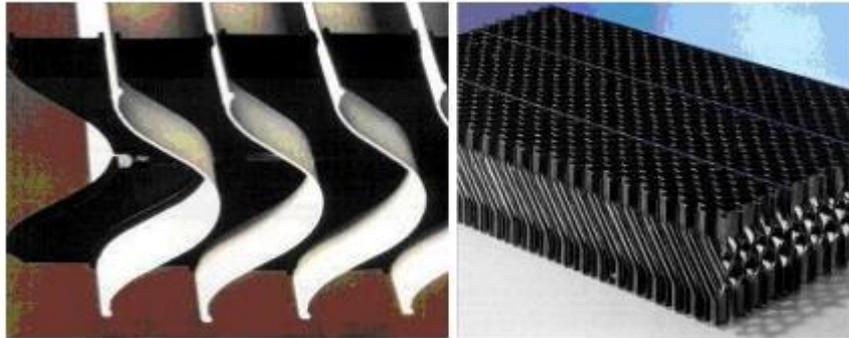
## Chapitre VII : les aéroréfrigérants

Le taux d'entraînement (appelé aussi entraînement v sriculaire) ne doit pas être supérieur à 0,01% du débit d'eau en circulation (valeur donnée pour le point de fonctionnement nominal, car le taux d'entraînement varie selon les conditions de fonctionnement d'une tour aéroréfrigérante).

Il revient donc aux exploitants de s'assurer auprès du fabricant de la tour de refroidissement que ce seuil est respecté.

La même démarche doit être effectuée lors d'un changement d'un des composants de la tour.

Les matériaux utilisés pour ce composant sont principalement des matières plastiques. Il est aussi nécessaire de tenir compte de l'accessibilité à ce composant pour faciliter son nettoyage.



FigureVII. 10: Exemples de pare-gouttelettes

### VII.6.3 Les rampes de dispersion (rampes de pulvérisation)

Ces rampes servent à la dispersion du fluide sous forme de gouttelettes sur le corps d'échange. Il est préférable d'utiliser des systèmes permettant une dispersion à des pressions faibles pour éviter les  claboussements.

Les disperseurs à basse pression (environ 0,5 bar) sont préférés.



Figure VII. 11: Système de dispersion du fluide à refroidir

De même que pour les autres composants, les résistances à la corrosion, à l'entartrage et à l'encrassement doivent être prises en compte pour leur sélection. Les disperseurs sont généralement en matières plastiques, ce qui élimine le risque de corrosion, mais pas ceux d'encrassement, ni d'entartrage.

Ces derniers aspects sont en prendre en compte lors de l'exploitation

### VII.6.4 Le bassin de rétention

Il est situé sur la partie basse de la tour afin de récupérer l'eau non évaporée après qu'il passe dans le corps d'échange. Cet élément doit être conçu de façon à être fermé et non poreux, tout en facilitant sa maintenance, en privilégiant les pentes d'écoulement et l'accessibilité. Il doit comprendre un point de vidange situé à son point bas, ainsi qu'une purge de déconcentration. Le remplissage en eau d'appoint y est généralement régulé par un contrôleur de niveau soit mécanique, soit électronique. Les matériaux utilisés pour les bacs de rétention sont généralement l'acier galvanisé, l'inox, les polyesters et le béton « pour les applications industrielles de puissances thermiques supérieures à 4 MW ».

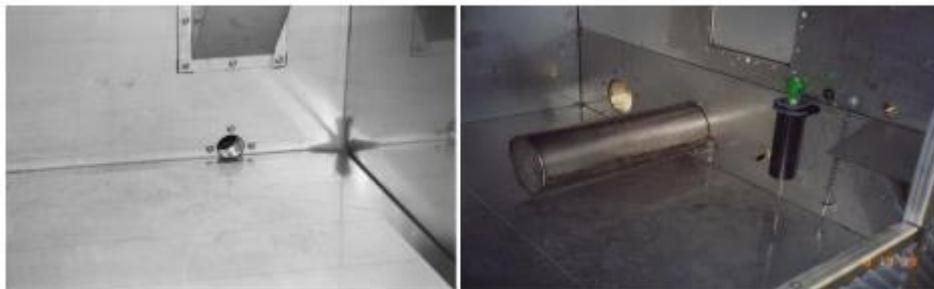


Figure VII. 12: Exemples de bassin de rétention avec point de vidange

### VII.6.5 Les ventilateurs :

Ces ventilateurs assurent la circulation de l'air à traversant le corps d'échange, deux types de ventilateurs sont utilisés sur les tours de refroidissement :

- ◆ Les ventilateurs axiaux.
- ◆ Les ventilateurs centrifuges.

Les ventilateurs peuvent soit être en accouplement direct avec le moteur qui les entraîne, soit équipés de transmission, ils exigent dans le second cas une maintenance renforcée. La vitesse des ventilateurs est régulée pour maintenir la température de sortie d'eau souhaitée qu'elles soient les conditions ambiantes.

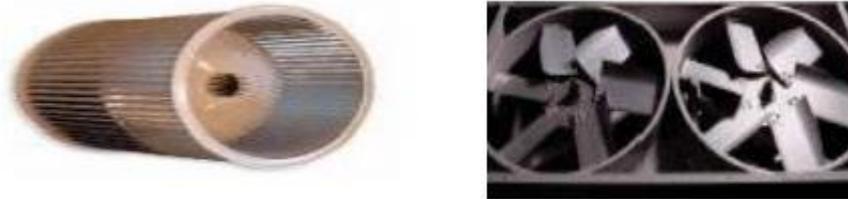


Figure VII. 13: ventilateurs centrifuge et axial

Dans le cas d'un tour de refroidissement ouvert avec un échangeur intermédiaire distant, deux autres composants font partie du système de refroidissement.

### VII.6.6 L'échangeur intermédiaire :

Il est disposé entre le circuit d'eau de la tour et le circuit du procédé à refroidir. Celui-ci peut être un échangeur à plaques ou un échangeur tubulaire (  l'Institut Pasteur il est un échangeur à plaque). Cet échangeur intermédiaire doit résister à la corrosion, l'entartrage et à l'encrassement.

### VII.6.7 La pompe de circulation additionnelle :

Elle assure la circulation de l'eau de la tour au procédé à refroidir. Les composants d'un tour de refroidissement fermé : Comparativement à une tour ouverte, le principal changement est la suppression du corps d'échange (packing) sur laquelle ruisselait l'eau du procédé à refroidir et son remplacement par un échangeur tubulaire. La figure suivante montre un exemple du type d'échangeur couramment utilisé :



*Figure VII. 14: Exemple d'un échangeur tubulaire intégré dans un tour de refroidissement fermé*

Cet échangeur tubulaire est généralement en acier galvanisé, parfois en inox. Les aspects encrassement et entartrage sont des points essentiels à prendre en considération au moment de la conception de l'installation et lors de son exploitation.

**Chapitre VIII :**  
**calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %**

**Chapitre VIII :**  
**Calcul de**  
**l'aéroréfrigérant avec**  
**une augmentation de**  
**charge de 108 %**

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

#### I. La présentation du problème :

Comme toutes les autres raffineries, la raffinerie d'Arzew est exposée au problème d'encrassement et de dégradation des tubes des aéroréfrigérants. L'intensité de ce problème apparaît dans les énormes dépenses qu'engendre cet encrassement.

La circulation du fluide à l'intérieur des tubes d'aéroréfrigérant 11E16, a pour but de libérer l'énergie potentielle emmagasinée dans le fluide et de la transmettre à un air caloripporteur forcé par les ventilateurs à travers les ailettes des tubes.

Pour que la chaleur libérée par le fluide (naphta + GPL) au niveau des aéroréfrigérant 11E16 soit transmise à l'air de la meilleure façon. Il est nécessaire de réunir plusieurs conditions ; il faut assurer principalement, un débit d'air optimal traversant les ailettes des tubes de l'extérieur, un débit de fluide (naphta + GPL) minimum selon le taux de marche de la production, il faut également faire de sorte que l'énergie libérée le soit sous forme la plus favorable aux échanges entre les deux fluides (absence d'encrassement, circulation homogène des produits, conditions climatiques adéquates, une surface d'échange maximale).

Actuellement les aéroréfrigérants 11E16 sont encrassés, c'est pour cette raison qu'on a fait notre étude qui vise à calculer le coefficient d'échange global ainsi que la surface d'échange des aéroréfrigérants 11E16 correspondante aux conditions de service actuelles, afin de voir l'influence de la résistance thermique due à l'encrassement sur le coefficient d'échange global d'une part, ainsi l'élimination des tubes d'autre part.

#### II. Introduction :

L'objectif de ce travail est de comparer les performances de l'aéroréfrigérant 11-E16 à 100% et à 108%. Pour effectuer cette comparaison, il est nécessaire de calculer :

- La surface d'échange.
- La chaleur échangée ou la capacité de refroidissement.
- Les températures de sortie de chaque zone.

#### III. Les caractéristiques géométriques :

Les dimensionnements des tubes et des ailettes de la batterie d'aéroréfrigérant (E16) sont données dans les tableaux suivants :

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

Tableau VIII. 1: les caractéristiques géométriques des tubes.

<b>DIMENSIONS DES TUBES</b>	
<b>Diamètre extérieur (<math>d_o</math>), m</b>	0,0254
<b>Diamètre intérieur (<math>d_i</math>), m</b>	0,021184
<b>Epaisseur (<math>e</math>), m</b>	0,0027
<b>Conductibilité thermique, kcal/mh<sup>0</sup>C</b>	0.021
<b>Longueur (L), m</b>	9,144
<b>Pas des tubes (triangulaires), (<math>S_1</math>), m</b>	0,0668
<b>Nombre de rangées (Nr)</b>	4
<b>Nombre de tubes par rangée</b>	210
<b>Nombre de passes (Np)</b>	4
<b>Nombre de tubes total (Nt)</b>	1680
<b>Nombre de cellules</b>	4
<b>Nombre de faisceaux</b>	4
<b>Nombre de ventilateurs</b>	8
<b>Diamètre de ventilateur, m</b>	3,658
<b>Vitesse de ventilateur(rpm)</b>	318

Tableau VIII. 2: Caractéristiques géométrique des ailettes

<b>DIMENSIONS DES AILETTES</b>	
<b>Diamètre extérieur (<math>D_f</math>), m</b>	<b>0,0572</b>
<b>Epaisseur (<math>e</math>), m</b>	<b>0,000406</b>
<b>Hauteur (l), m</b>	<b>0,0159</b>
<b>Espacement (s), m</b>	<b>0,0019</b>
<b>Nombre d'ailettes par mètre</b>	<b>433</b>

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

#### IV. Les calculs à 108% du naphta :

Tableau VIII. 3: Les propriétés du naphta et de l'air :

Caractéristiques	Naphta	L'air
Fluides	Naphta	L'air
Débit : m <sup>3</sup> /h	226	
Masse volumique : kg/m <sup>3</sup>	702,7	1,184
Température d'entrée (T1) : C°	124	25
Températures de sortie (T2) : C°	68	
Pression d'entrée : bar	1	1
Pression de sortie : bar	1,2	
Température de condensation : C°	91,04	

##### 1) Calcul de la surface 2

###### a) La surface d'échange totale exprimée par rapport au diamètre extérieur :

$$A_d = \pi d_0 \times L \times N_T$$

$$A_d = 3,14 \times 0,0254 \times 9,144 \times 1599$$

$$A_d = 1166,13289 \text{ m}^2$$

###### a) La surface faciale installée :

$$F = L \times \text{La largeur des cellules} \times \text{Le nombre de cellule}$$

$$F = 9,144 \times (4,88) \times 4$$

$$F = 178,5 \text{ m}^2$$

##### 2) La quantité de chaleur échangée :

Les bilans thermiques :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Bilan thermique naphta : } Q_n = Q_{m_n} \times (H_{T1} - H_{T2}) \\ \text{Bilan thermique air : } Q_a = Q_{m_a} \times C_a \times (t_2 - t_1) \end{array} \right.$$

Avec :

**Q:** Quantité de chaleur échangée, Kcal/h

**Q<sub>m<sub>n</sub></sub>:** Débit massique de naphta, Kg/h

**Q<sub>m<sub>a</sub></sub>:** Débit massique d'air, Kg/h

**H<sub>T1</sub>** : Enthalpies des vapeurs de tête de la colonne à T1, Kcal/Kg

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$H_{T2}$  : Enthalpies du mélange de tête de la colonne à T2, Kcal/Kg

$Ca$  : Chaleur spécifique de l'air, Kcal/Kg °C

$t_1, t_2$  : Températures d'entrée et de sortie de l'air

$T_1, T_2$  : Températures d'entrée et de sortie du produit

On a :

**a) Le débit massique du naphta :**

$$Q_{m_n} = Q_{v_n}$$

La masse volumique de naphta : 702,7 Kg/m<sup>3</sup>

Le débit volumique de naphta : 226 m<sup>3</sup>/h

Le débit molaire de naphta : 226 m<sup>3</sup>/h

$Q_{m_n} = Q_{v_n}$

$$Q_{m_n} = Q_{v_n} \times \rho = 226 \times 702,7$$

$$= 158810,2 \text{ Kg/h}$$

➤ La quantité de chaleur :

$$Q_n = Q_{m_n} \times (H_{T2} - H_{T1})$$

$$= 158810,2 \times (46,38 - 162,6)$$

$$Q_n = 18456921,44 \text{ Kcal/h}$$

Avec:  $Q_n = Q_a$

Les données des enthalpies de data :

$$\text{Donc on a } \begin{cases} HT1(T = 124) = 162,6 \text{ Kcal/Kg} \\ HT2(T = 68) = 46,38 \text{ Kcal/Kg} \end{cases}$$

**b) Température de l'air a la sortie (t2) :**

TableauVIII. 4: les vitesses faciales pour chaque nombre de rangées.

Nombre de rangées	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12
Vitesse faciales $V_f$ (m/s)	3,02	3,02	2,87	2,75	2,58	2,48	2,36	2,26		2,16	2,16

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$Q = 18456921,44 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = V_f \times C_a \times F_A \times \int \times (t_2 - t_1) = 18456921,44$$

$$18456921,44 = 3,02 \times 3600 \times 0,24 \times 178,5 \times 1,184 \times (t_2 - 25)$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{Q}{V_f \times C_a \times F_A \times \int} + t_1$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow &= \frac{18456921,44}{3,02 \times 3600 \times 0,24 \times 178,5 \times 1,184} + 25 \text{ C} \\ &= 33,47 + 25 \text{ C}^\circ \\ &= 58,47 \text{ C}^\circ \end{aligned}$$

}

#### c) le débit massique d'air : (Q<sub>m<sub>a</sub></sub>)

$$Q_{m_a} = \frac{Q}{(t_2 - t_1) \times C_a}$$

$$Q_{m_a} = \frac{18456921,44}{(58,47 - 25) \times 0,24}$$

$$Q_{m_a} = 2297694,632 \text{ Kg/h}$$

#### d) le débit volumique d'air : (Q<sub>v<sub>a</sub></sub>)

$$Q_{v_a} = \frac{Q_{m_a}}{\int_{\text{air}}}$$

$$Q_{v_a} = \frac{2297694,632}{1,184}$$

$$Q_{v_a} = 1940620,466 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_f = 3,02 \text{ m/s} = 3,02 \times 3600 \text{ m/h}$$

$$C_a = 1005 \text{ J/kg.C}^\circ = 0,24 \text{ Kcal/Kg.C}^\circ$$

$$1 \text{ KJ} \Rightarrow 0,239 \text{ Kcal} \quad X = 0,24 \text{ kcal}$$

$$1,005 \Rightarrow X$$

$$F_A = 178,5 \text{ m}^2$$

On devise sur la masse volumique d'air  
 $\int$  pour éliminer le Kg/m<sup>3</sup>

#### e) Coefficient de transfert de chaleur :

##### 1) Coté air :

$$Nu = 0,134 \times Re^{0,681} \times Pr^{1/3} \times (S/I)^{0,2} \times (S/t)^{0,1134} \times A_t/A_0$$

Avec :

A<sub>t</sub> : Surface totale des tubes y compris les ailettes, m<sup>2</sup>

A<sub>0</sub> : Surface totale des tubes nus, m<sup>2</sup>

$$A_t/A_0 = 9400/408.61 = 23$$

S : Espacement entre ailettes, mm

l : Hauteur de l'ailette, mm

t : Epaisseur de l'ailette, mm

On a :

$$A_t/A_0 = 23$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{d_o \times G_{max}}{\mu_a}$$

Nombre de Prandlt:

$$Pr = \frac{Ca \times \mu_a}{\lambda_a}$$

Vitesse massique :

$$G_{max} = \frac{Q_{ma}}{F_a \times 3600} \times \frac{V_m}{V_f} \quad \text{Avec : } \frac{V_m}{V_f} = 2$$

$$G_{max} = \frac{Q_{ma}}{F_a \times 3600} \times 2$$

$$G_{max} = \frac{2297694,632}{178,5 \times 3600} \times 2$$

$$G_{max} = 7,15124 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{d_o \times G_{max}}{\mu_a}$$

$$Re = \frac{d_o \times G_{max}}{\mu_a}$$

$$Re = \frac{0,0254 \times 7,15124}{18,1 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 10035,44177$$

Avec :

$d_o$  : diamètre extérieure de tube

$\mu_a$  : viscosité dynamique de l'air a la température de 25

$$\mu_a = 18,1 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.h}$$

$\lambda_a$  : Conductivité thermique d'air en Kcal/mh°C

$$\lambda_a = 0,000025 \text{ Kwat/m.k}$$

$$\lambda_a = 0,023 \text{ Kcal/h.m.C}^\circ = 0,023/3600 \text{ Kcal/s.m.C}^\circ$$

Ca = chaleur spécifique d'air

Nombre de Prandlt:

$$Pr = \frac{Ca \times \mu_a}{\lambda_a}$$

$$Pr = \frac{0,24 \times 18,1 \times 10^{-6}}{0,023/3600} \Rightarrow \lambda_a = 0,023/3600$$

$$Pr = 0,679$$

Nombre de nusselt :

$$Nu = 0,134 \times Re^{0,681} \times Pr^{1/3} \times (S/I)^{0,2} \times (S/t)^{0,1134} \times A_t/A_0$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$Nu = 0,134 \times 10035,44177^{0,681} \times 0,679^{1/3} \times (0,0019/0,0159)^{0,2} \times (0,0019/0,000406)^{0,1134} \times 23$$

$$Nu = 0,134 \times 530,9411098 \times 0,87893466 \times 0,653839 \times 1,191252 \times 23$$

$$Nu = 1120,237336$$

**Le coefficient de transfert de chaleur :**

$$\alpha_a = \frac{Nu \lambda_a}{d_o}$$

$$\alpha_a = \frac{1120,237336 \times 0,023}{0,0254}$$

$$\alpha_a = 1014,388139 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}^\circ$$

#### 2) Coté tube (naphta) :

La condensation des vapeurs de tête de la colonne dans la batterie d'aéroréfrigérants 11E16 se déroule en trois étapes :

**Zone de désurchauffe** : cette phase se fait par refroidissement des vapeurs de naphta atmosphérique de la température T1 et T'1 au niveau de l'échangeur.

**Zone de condensation** : elle se fait par condensation des vapeurs de naphta atmosphérique saturées à une température constante T'1 = T'2

**Zone de sous-refroidissement** : elle se fait par refroidissement de naphta de T'2 à T2.

⇒ Pour chaque étape on doit calculer :

- ❖ La chaleur échangée
- ❖ La température de l'air
- ❖ Le coefficient de transfert de vapeur de tête de colonne
- ❖ La différence de température logarithmique moyenne
- ❖ La surface d'échange (la somme des surfaces d'échange des étapes nous donne la surface d'échange totale) :

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

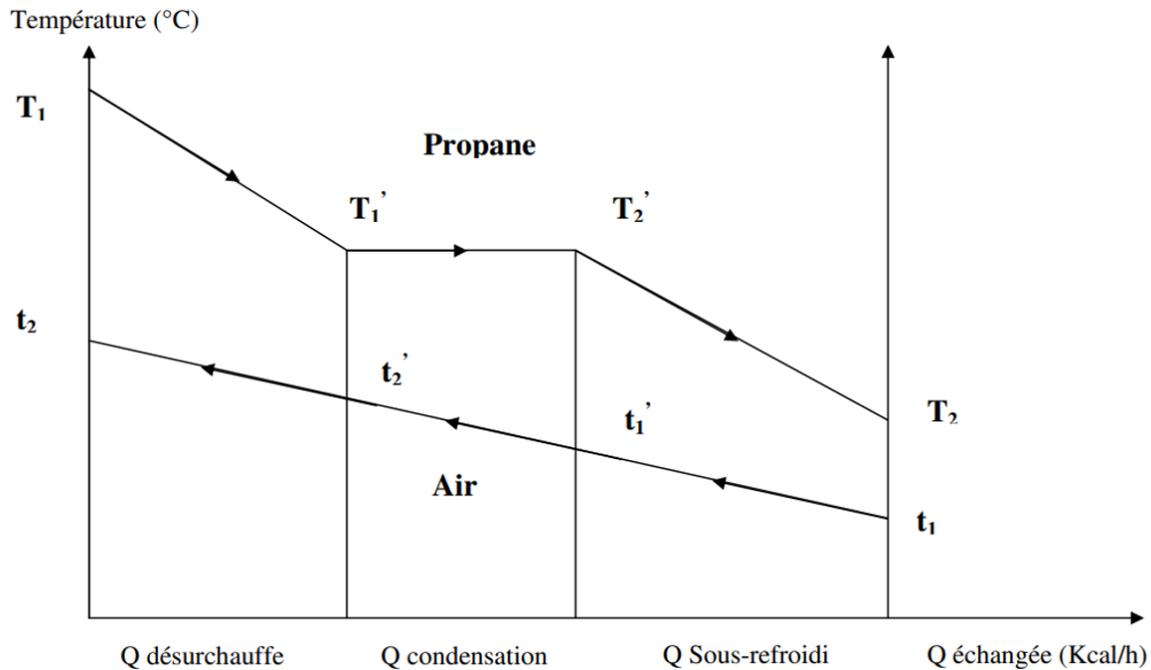


Figure VIII. 1: zones de condensation du naphta dans l'aéroréfrigérants

**a) Zone de désurchauffe : (  $T_{124} - T_{91,04}$  ) :**

- La chaleur échangée :

$$Q_1 = Q_{m_n} (H_T - H_{T1})$$

$$Q_1 = 158810,2 \times (116,615 - 162,6)$$

$$Q_1 = 7302887,047 \text{ Kcal/h}$$

- La température de l'air  $t'_2$ :

$$Q_1 = Q_{m_a} \times c_a \times (t_2 - t'_2) \quad \rightarrow \quad t'_2 = t_2 - \frac{Q}{Q_{m_a} \times c_a}$$

$$t'_2 = 58,47 - \frac{7302887,047}{2297694,362 \times 0,24}$$

$$t'_2 = 45,22 \text{ C}^\circ$$

- **Différence de la température logarithmique DTLM :**

$$DTLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

D'où :

$\Delta T_1$  : différence de température à l'entrée ;  $\Delta T_1 = T_1 - t_2$

$$\Delta T_1 = 124 - 58,47 \quad \rightarrow \quad \Delta T_1 = 65,53 \text{ °C}$$

$\Delta T_2$  : différence de température à la sortie ;  $\Delta T_2 = T'_1 - t'_2$

$$\Delta T_2 = 91,04 - 45,22 \quad \rightarrow \quad \Delta T_2 = 45,82$$

$$\begin{aligned} \text{DTLM} &= \frac{65,53 - 45,82}{\ln\left(\frac{65,53}{45,82}\right)} \\ &= 55,0885 \text{ °C} \end{aligned}$$

- Coefficient de transfert de chaleur du naphta atmosphérique vapeur  $\alpha_{i1}$ :

$$\alpha_{i1} = \frac{\text{Nu} \times \lambda_a}{d_t}$$

$$\text{Nu} = 0,023 \times \text{Re}^{0,8} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

- Nombre de Reynolds Re :

$$\text{Re} = \frac{Gt \times d_i}{\mu v}$$

$$\text{Avec : } Gt = \frac{Qn}{at} \quad \text{et} \quad at = \frac{Nt \times \pi \times d_i^2}{4 \times Np}$$

$$at = \frac{1599 \times 3,14 \times 0,021184^2}{4 \times 4}$$

$$at = 0,1408 \text{ m}$$

$$\text{donc : } Gt = \frac{158810,2}{0,1408}$$

$$Gt = 1,127 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2\text{h}$$

$$\text{Re} = \frac{1,127 \times 10^6 \times 0,021184}{0,0093 \times 10^{-3} \times 3600}$$

$$\text{Re} = 713093,42$$

- Nombre de Prandtl Pr :

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$Pr = \frac{Cv \times \mu v}{\lambda v}$$

Avec

**Cv** : chaleur spécifique de naphta vapeur ; kcal/ kg °C

**μv**: viscosité de naphta, cp

**λv** : conductivité thermique de naphta, kcal/ mh°C

$$Pr = \frac{0.498 \times 0.0093 \times 10^{-3}}{\frac{0.0212}{3600}}$$

$$Pr = 0,786$$

- **Nombre de nuisselt Nu :**

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0,023 \times 713093,42^{0,8} \times 0,786^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 1021,84$$

- **Coefficient de transfert α<sub>i1</sub> :**

$$\alpha_{i1} = \frac{Nu \times \lambda v}{di}$$

$$\alpha_{i1} = \frac{1021,84 \times 0,0212}{0,021184}$$

$$\alpha_{i1} = 1022,61 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

- **Coefficient de transfert par rapport à la surface extérieure α<sub>ie1</sub> :**

$$\alpha_{ie1} = \alpha_{i1} \times \frac{di}{d0}$$

$$\alpha_{ie1} = 1022,61 \times \frac{0,021184}{0,0254}$$

$$\alpha_{ie1} = 852,87 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

- **Coefficient global de transfert de chaleur (U1)**

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$U1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_{ie1}} + r_1 \times \frac{d_0}{d_i} + \frac{e}{\lambda t}}$$

Tel que :

$H_a$  : Coefficient de transfert de chaleur de l'air, Kcal/m<sup>2</sup>h°C.

$\alpha_{iet}$  : Coefficient de transfert de chaleur du naphta vapeur, Kcal/m<sup>2</sup>h°C.

$r_1$  : Résistance d'encrassement coté tubes, m<sup>2</sup>h°C/Kcal

$e$  : Epaisseur du tube, m ( $2,7 \times 10^{-3}$ )

$\lambda$  : Conductivité thermique du tube, Kcal/mh°C

$$U1 = \frac{1}{\frac{1}{1022,61} + \frac{1}{852,87} + \left(0,0002 \times \frac{0,0254}{0,021184}\right) + \frac{2,7 \times 10^{-3}}{39}}$$

$$U1 = 406,59 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

- **La surface d'échange calculée  $A_1$  :**

$$Q_1 = U1 \times A1 \times \Delta TLM$$

$$\text{Donc } A_1 = \frac{Q_1}{U1 \times \Delta TLM_1}$$

$$A_1 = \frac{7302887,047}{406,59 \times 55,0885}$$

$$A_1 = 326,044 \text{ m}^2$$

#### b) La zone de condensation

Condensation des vapeurs de naphta saturées à température constante.

- **La quantité de chaleur échangé  $Q_2$  :**

Selon le data shift on trouve les enthalpies de 90,04°C = 13,45

$$Q_2 = Q_{m_n} \times (H_{T_2'} - H_{T_2})$$

$$Q_2 = 158810,2 \times 13,45$$

$$Q_2 = 2135997,19 \text{ Kcal/h}$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

- La température d'air  $t_1'$  :

$$Q_2 = Q_{ma} \times Ca \times (t_2' - t_1')$$

Tel que

$t_1'$  : Température de l'air à l'entrée de la zone de condensation, °C

$t_2'$  : Température de l'air à la sortie de la zone de condensation, °C

$$t_1' = t_2' - \frac{Q_2}{Q_{ma} \times Ca}$$

$$t_1' = 45,22 - \frac{2135997,19}{2297694,362 \times 0,24}$$

$$t_1' = 41,34 \text{ °C}$$

- La Différence de température logarithmique moyenne DTLM :

$$DTLM_2 = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

D'ou :

$\Delta T_1$  : différence de température à l'entrée ;  $\Delta T_1 = T_2' - t_1'$

$$\Delta T_1 = 91,04 - 41,34 \quad \rightarrow \Delta T_1 = 49,7 \text{ °C}$$

$\Delta T_2$  : différence de température à la sortie ;  $\Delta T_2 = T_1 - t_2'$

$$\Delta T_2 = 91,04 - 45,22 \quad \rightarrow \Delta T_2 = 45,82$$

$$DTLM_2 = 47,73 \text{ °C}$$

- Coefficient de transfert de chaleur du naphta atmosphérique  $\alpha_{i2}$  :

Pour un faisceau de tubes horizontaux, on prend

$$\Gamma' = \frac{Q_{mn}}{0,5 \times Nt \times L}$$

Avec

$Q_{mn}$  : Le débit de naphta condensé

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

**Nt** : Nombre de tubes total

**L** : Longueur du tube, m

$$\Gamma' = \frac{158810,2}{0,5 \times 1599 \times 9,144}$$

$$\Gamma' = 21,72 \text{ kg/m}$$

Pour savoir le type de régime, on applique la formule suivante :

$$\frac{4 \times \Gamma'}{\mu l} > 4000 \rightarrow \text{régime turbulent}$$

Et

$$\frac{4 \times \Gamma'}{\mu l} < 4000 \rightarrow \text{régime laminaire}$$

Avec

**$\mu$ l** : Viscosité du naphta liquide, Kg/m.s

$$\text{Donc : } \frac{4 \times 21,72}{0,691 \times 10^{-3}} = 125730,82 > 4000 \text{ Donc le régime est turbulent.}$$

- **Le coefficient de transfert de naphta en régime turbulent  $\alpha_{i2}$ :**

$$\alpha_{i2} = 0,0077 \times \left( \frac{4 \times \Gamma'}{\mu l} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\lambda^3 \times \rho l^2 \times g}{\mu l^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Avec

**$\rho$ l** : Masse volumique du naphta liquide, Kg/m<sup>3</sup>

**$\lambda$ l** : Conductivité thermique du naphta liquide, Kcal/mh°

**g** : Accélération de la pesanteur, m/s<sup>2</sup>

**$\mu$ l** : Viscosité du naphta liquide, Kg/m.s

Donc

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$\alpha_{i2} = 0,0077 \times \left( \frac{4 \times 21,72}{0,691 \times 10^{-3}} \right)^{0,4} \times \left( \frac{0,1^3 \times 702^2 \times 9,81}{(0,691 \times 10^{-2})^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\alpha_{i2} = 393,3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°CU}$$

- **Le coefficient de transfert de chaleur rapporté à la surface extérieur du tube  $\alpha_{ie2}$ :**

$$\alpha_{ie2} = h_{i2} \times \frac{d_i}{d_0}$$

$$\alpha_{ie2} = 393,3 \times \frac{0,021184}{0,0254}$$

$$\alpha_{ie2} = 328,01 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

- **Coefficient de transfert global  $U_2$  :**

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\alpha_{ie2}} + r_1 \times \frac{d_0}{d_i} + \frac{e}{\lambda t}}$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{999,23} + \frac{1}{328,01} + 0,0002 \times \frac{0,0254}{0,021184} + \frac{2,7 \times 10^{-3}}{39}}$$

$$U_2 = 229,437 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}$$

- **La surface d'échange  $A_2$  :**

$$A_2 = \frac{Q_2}{U_2 \times \Delta T_{LM2}}$$

$$A_2 = \frac{2135997,19}{229,437 \times 47,73}$$

$$A_2 = 195,16 \text{ m}^2$$

- c) **La zone sous refroidissement :**

$$T_2 = 68$$

$$T'_2 = 91,04$$

$$Q_3 = Q_{m_n} \times (H_{T_2} - H_{T'_2})$$

$$Q_3 = 158810,2 \times (46,38 - 13,45)$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$Q_3 = 5229619,886 \text{ Kcal/h}$$

- **Différence de température logarithmique DTLM :**

$$DTLM_3 = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$\Delta T_1$  : différence de température à l'entrée ;  $\Delta T_1 = T'_2 - t'_1$

$$\Delta T_1 = 91,04 - 41,34 \quad \rightarrow \quad \Delta T_1 = 49,66 \text{ °C}$$

$\Delta T_2$  : différence de température à la sortie ;  $\Delta T_2 = T_2 - t_1$

$$\Delta T_2 = 68 - 25 \rightarrow \Delta T_2 = 43 \text{ °C}$$

$$DTLM_3 = 46,25 \text{ °C}$$

- **Le coefficient de transfert  $h_3$  :**
- **Nombre de Reynolds Re :**

$$Re = \frac{Gt \times di}{\mu l}$$

$$\text{On a : } at = 0,1408 \text{ m}^2 \quad \text{et} \quad Gt = 1,15 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ h}$$

$$Re = \frac{1,15 \times 10^6 \times 0,021184}{0,691 \times 10^{-3} \times 3600}$$

$$Re = 9793,21$$

- **Nombre de Prandtl Pr :**

$$Pr = \frac{Cl \times \mu l}{\lambda l}$$

$$Pr = \frac{0,554 \times 0,691 \times 10^{-3}}{\frac{0,1}{3600}}$$

$$Pr = 13,78$$

- **Nombre de Nusselt Nu :**

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$Nu=0,023 \times (9793,21)^{0,8} \times (13,78)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu=85,94$$

- Coefficient de transfert  $\alpha_{i3}$  :

$$\alpha_{i3} = \frac{Nu \times \lambda}{d_i}$$

$$\alpha_{i3} = \frac{85,94 \times 0,1}{0,021184}$$

$$\alpha_{i3} = 405,7 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

- Le coefficient de transfert par rapport à la surface extérieur  $\alpha_{ie3}$  :

$$\alpha_{ie3} = \alpha_{i3} \times \frac{d_i}{d_0}$$

$$\alpha_{ie3} = 405,7 \times \frac{0,021184}{0,0254}$$

$$\alpha_{ie3} = 338,36 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

- Coefficient globale de transfert de chaleur  $U_3$  :

$$U_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\alpha_{ie3}} + r_1 \times \frac{d_0}{d_i} + \frac{e}{\lambda t}}$$

$$U_3 = \frac{1}{\frac{1}{1033,64} + \frac{1}{338,36} + 0,0002 \times \frac{0,0254}{0,021184} + \frac{2,7 \times 10^{-3}}{39}}$$

$$U_3 = 236,299 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- La surface d'échange thermique  $A_3$  :

$$A_3 = \frac{Q_3}{U_3 \times DTLM_3}$$

$$A_3 = \frac{5229619,886}{236,299 \times 46,25}$$

$$A_3 = 475,841 \text{ m}^2$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

- **La surface d'échange calculée totale  $A'_t$  sans tubes :**

$$A'_t = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A'_t = 326,044 + 195,16 + 475,841$$

$$A'_t = 997,045 \text{ m}^2$$

- **La surface d'échange calculée des tubes encrassés :**

$$A_{TE} = \pi d_0 \times L \times N_T$$

$$A_{TE} = 3,14 \times 0,0254 \times 9,144 \times 81$$

$$A_{TE} = 59,072 \text{ m}^2$$

- **La surface d'échange calculée totale  $A_t$  :**

$$A_t = A'_t + A_{TE}$$

$$A_t = 997,045 + 59,072$$

$$A_t = 1056,117 \text{ m}^2$$

- **L'erreur dans la surface d'échange :**

$$\varphi\% = \frac{A_{calculé} - Ad}{A_{calculé}} \times 100$$

$$\varphi\% = \frac{1056,117 - 1166,13289}{1056,117} \times 100$$

$$\varphi\% = 10,417 \%$$

Tableau VIII. 5: récapitulation des résultats obtenus.

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

Les paramètres étudiés :	Cas du design :	Cas actuel :	La différence entre les deux cas :
Le débit du naphta (m <sup>3</sup> /h)	148394	158810,2	↑ de : 10416,2
Le débit d'air (m <sup>3</sup> /h)	1637365,934	1940620,466	↑ de : 303254,532
La quantité de chaleur (Kcal)	19940000	18456921,44	↑ de : 616921,44
La pression dans l'aéro (bar)	1,12	1,2	↑ de : 0,08
La température d'entrée du naphta (°C)	128	124	↓ de : 4
La température de sortie du naphta (°C)	60	68,5	↑ de : 8,5
Le nombre des tubes	1680	1599	↓ de : 81
La surface d'échange (m <sup>2</sup> )	1166,13289	1056,117	↓ de : 110,01589 9,43%

#### V. Calcule de la vitesse de corrosion :

##### 1. La vitesse de corrosion moyenne de design :

On applique la loi d'Arrhenius :  $V(T) = A \exp(-E_a/RT)$

Avec :

**A** : facteur pré-exponentiel ;  $A = 10^6 \mu\text{m/an}$  (valeur typique)

**E<sub>a</sub>** : énergie d'activation ;  $E_a = 44,4 \text{ kJ/mol}$  (valeur typique pour acier au carbone dans eau acide)

**R** : constante des gaz parfaits ;  $R = 8,314 \text{ J/mol/K}$

**T** : température absolue (K)

##### 1.1 Calcule de la température moyenne,

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Où :

**T<sub>1</sub>** : la température à l'entrée de l'aéro-réfrigérant ;  $T_1 = 124^\circ\text{C}$

**T<sub>2</sub>** : la température à la sortie de l'aéro-réfrigérant ;  $T_2 = 68^\circ\text{C}$

$$T = \frac{124 + 68}{2}$$

$T = 96^\circ\text{C}$  (369 °K)

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

#### 1.2 Calcul de la vitesse de corrosion :

$$V(T) = 10^6 e^{\frac{-44,4 \times 103}{8,314 \times 369}}$$

$$V(T) = 0,528 \text{ } \mu\text{m/an}$$

#### 2. La vitesse de corrosion actuelle :

$$V = \frac{e}{\Delta t}$$

Où :

**e** : l'épaisseur du tube ; e=2,7 mm

**Δt**: Différence d'années d'installation et de fuite (an)

Tableau VIII. 6: l'année de fuite de chaque aéroréfrigérant.

Aéro	Année d'installation	Année de fuite
A-B	2009	2022
C-D		2023
E-F		2023
G-H		2023

Donc la vitesse de corrosion est :

- Aero A-B:

$$V1 = \frac{2,7 \times 10^3}{2022 - 2009}$$

$$V1 = 207,692 \text{ } \mu\text{m/an}$$

- Aero C-D:

$$V2 = \frac{2,7 \times 10^3}{2023 - 2009}$$

$$V2 = 192,857 \text{ } \mu\text{m/an}$$

- Aero E-F:

$$V3 = \frac{2,7 \times 10^3}{2023 - 2009}$$

$$V3 = 192,857 \text{ } \mu\text{m/an}$$

- Aero G-H:

$$V4 = \frac{2,7 \times 10^3}{2023 - 2009}$$

## Chapitre VIII :

### calcul de l'aéroréfrigérant avec une augmentation de charge de 108 %

$$V_4 = 192,857 \text{ } \mu\text{m/an}$$

La vitesse de corrosion moyenne : s'obtient en intégrant la vitesse de corrosion sur la plage de température, on utilise une intégration numérique avec un pas de 5°C

$$V_m = \frac{\sum V_i \times \Delta T}{T_{max} - T_{min}}$$

$$V_m = \frac{(207,692 + 192,857 + 192,857 + 192,857) \times 5}{125 - 68}$$

$$V_m = 68,97 \mu\text{m/an}$$

# Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

### I. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la simulation et calcul en caractérisant notre charge provenant de la tête de la colonne de distillation (topping) 11 C01 de l'unité 11.

Les analyses sont effectuées et on a obtenu les résultats suivants :

Tableau IX. 1: Composition molaire de la charge sortante de la tête de la colonne.

Composition de la charge	Composition molaire %
H2	00
H2O	15,246
H2S	0,199
Méthane	1,209
Éthane	0,219
Propane	0,669
n-Butane	9,088
i-Butane	1,759
n-Pentane	9,548
i-Pentane	6,158
C5-NBP100*	19,236
NBP100-NBP150*	30,863
NBP150-NBP200*	5,798
NBP200-NBP250*	00

### II. Problématique de la simulation :

Le complexe RA1Z dispose une colonne de distillation située dans la zone de carburant (unité topping), elle permet de soutirer les fractions pétrolières, par séparation et soutirage par température, densité et volatilité.

La colonne est suivie d'un aéroréfrigérant (11E16) qui fait condenser les produits sortant de la tête de la colonne (naphta).

A cet effet, nous allons étudier la simulation de l'aéroréfrigérant dont l'objet d'améliorer la condensation du naphta et diminuer la quantité des vapeurs au maximum et cela à partir d'un simulateur que nous allons présenter le Aspen HYSYS.

Cette simulation va nous permettre de suivre la variation des paramètres opératoires.

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

Les résultats obtenus vont nous permettre de donner les actions possibles pour atteindre la quantité des vapeurs désirée.

Notre partie de simulation sera structurée comme suit :

- 1- Une simulation de cas design afin de déterminer le modèle thermodynamique et l'algorithme de simulation qui représente la modélisation la plus exacte de notre cas de simulation, tout en tenant en considération les données de design de constructeur.
- 2- Une simulation du cas actuel pour établir une étude détaillée sur les bilans de matières et énergétiques pour identifier les paramètres technologiques qui influent sur la qualité des produits.
- 3- Une optimisation de ces paramètres opératoires dans le but d'aboutir un résultat qui répond aux normes exigées.

### III. Généralités sur la simulation :

#### 1. Définition de la simulation :

La simulation est le processus de modélisation d'un système réel ou hypothétique pour étudier son comportement, tester des hypothèses ou prévoir des résultats. Cela implique généralement l'utilisation de modèles informatique pour reproduire les interactions et les dynamiques du système.

Les modèles de simulation peuvent être simples ou très complexe et ils peuvent être utilisés pour effectuer des analyses détaillées, des expériences virtuelles ou des prévisions sur le système étudié.

Un modèle n'est pas une représentation exacte de la réalité physique, mais il est seulement apte à restituer les caractéristiques les plus importantes du système analysé.

Tout simulateur industriel de procédés chimiques est organisé autour des modules suivants :

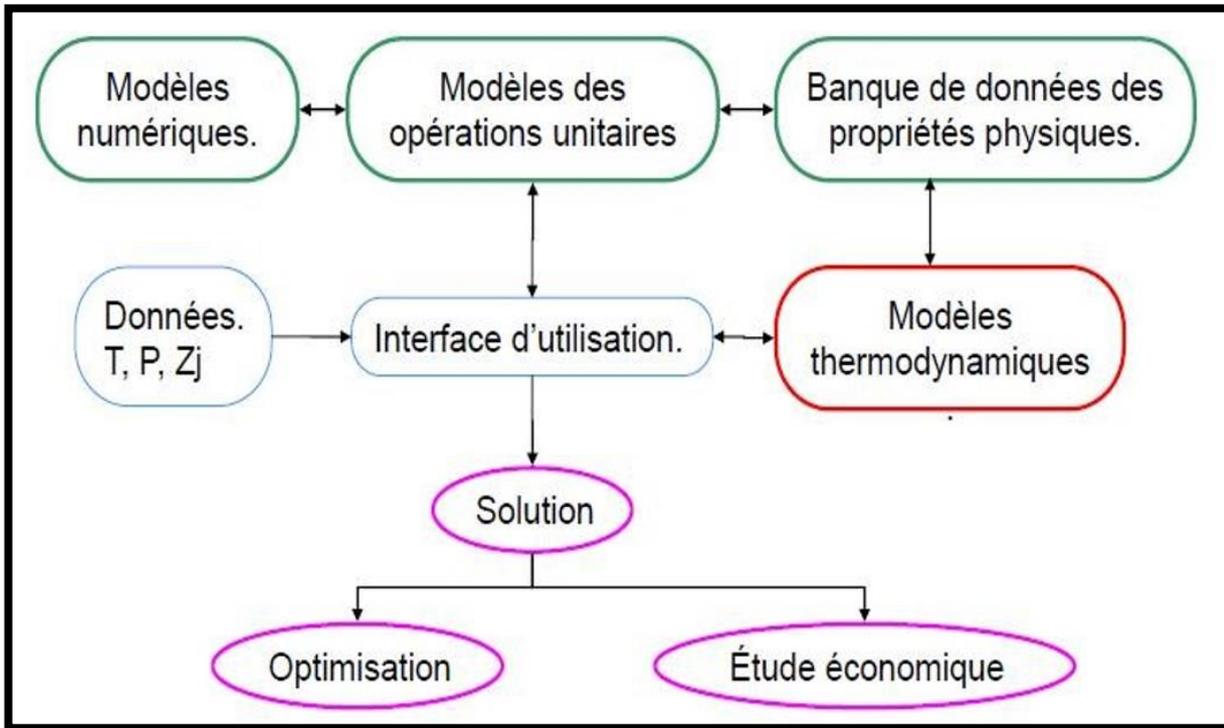
- Une base de données des corps purs et un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés des mélanges appelés aussi modèles thermodynamiques.
- Un schéma de procédé permettant de décrire les liaisons entre les différentes opérations unitaires constituant l'unité.
- Des modules de calcul des différentes opérations unitaires contenant les équations relatives à leur fonctionnement : réacteur chimique, colonne de distillation, colonne de séparation, échangeurs de chaleur, etc.

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

- Un ensemble de méthodes numériques de résolution des équations des modèles.

Les simulateurs industriels sur la thermodynamique les plus connus mondialement sont :

Aspen Plus « Aspen Technologies », Design II de « WinSim », ASPEN HYSYS, PROSIM PLUS.



FigureIX. 1: Structure générale du simulateur de procédés Aspen Plus.

### 2.simulateurs :

Un simulateur est un outil technique permettant de recréer virtuellement une situation donnée. Il permet de suivre l'évolution d'un modèle d'un phénomène ou d'un système dans des conditions contrôlées et observables. Cet outil est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système, avec ses avantages et ses inconvénients. Les simulateurs sont particulièrement utiles lorsque le système réel est difficilement observable pour diverses raisons telles que sa taille, sa sécurité ou son coût.

Dans le cadre de la conception de nouvelles unités et de l'optimisation des procédés industriels, différents simulateurs sont disponibles, tels que ASPEN HYSYS, ChemCAD, PROSIM, PRO II et ASPEN PLUS. Dans notre étude, nous utilisons le simulateur Aspen HYSYS version V9, spécifiquement conçu pour simuler les procédés de génie chimique, notamment dans l'industrie du gaz, du raffinage et de la pétrochimie.

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

### 1. Utilisation de la simulation

#### a) Dans la conception (Engineering) :

- Etablissement des bilans de matière, et d'énergie d'un procédé industriel.
- Dimensionnement des équipements.
- Evaluation économique des procédés.

#### b) Dans le suivi des procédés :

- Réajustement des paramètres de fonctionnement dans le cas des changements de composition de l'alimentation.
- Détermination des performances des équipements.

### 2. Présentation du simulateur Aspen HYSYS :

Aspen HYSYS est un simulateur de conception orientée-objets. Tout changement spécifié sur un élément est répercuté dans tout le modèle. C'est un logiciel de simulation interactif intégrant la gestion d'événements (Event driven) :

C'est-à-dire qu'à tout moment, un accès instantané à l'information est possible, de même que toute nouvelle information est traitée sur demande et que les calculs qui en découlent s'effectuent de manière automatique. Deuxièmement, il allie le concept d'opérations modulaires à celui de résolution non-séquentielle. Non seulement toute nouvelle information est traitée dès son arrivée mais elle est propagée tout au long du Flowsheet.

## IV. Le choix du modèle thermodynamique :

### • Introduction des modèles thermodynamiques :

Après l'introduction de la nature de la charge, et pour effectuer la simulation de l'aéroréfrigérant, on utilise les différents modèles thermodynamiques. Le simulateur Aspen Hysys contient une base de données riches telles que : les équations d'état et les corrélations empiriques et semi-empiriques. Dans notre étude, on s'est basé sur les modèles thermodynamiques représentant la nature de notre charge, et les plus utilisés pour les systèmes des hydrocarbures (Peng Robinson, Soave Redlich kwong, Lee, Kesler et Plöcker).

Pour connaître le modèle thermodynamique utilisé par le constructeur dans le cas de design, on a simulé l'aéroréfrigérant avec ces différents modèles thermodynamiques.

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

Tableau IX. 2: domaine d'application des modèles thermodynamique.

Modèle	Température (°C)	Pression (kPa)
Soave Redlich Kwong	> -100	< 15000
Peng Robinson	> -271	< 100000
Lee, Kesler et Plöcker	18 à 260	< 10000

### V. Simulation de cas de design de l'aéroréfrigérant :

#### 1) Introduction :

Cette partie a pour but de simuler et vérifier le cas de design de l'aéroréfrigérant afin de déduire le modèle thermodynamique qui vérifie et valide les résultats de simulation du cas de design. Ce dernier sera, ensuite, utilisé dans notre simulation du cas actuel et aussi lors de l'optimisation, en utilisant le logiciel Aspen Hysys V9.

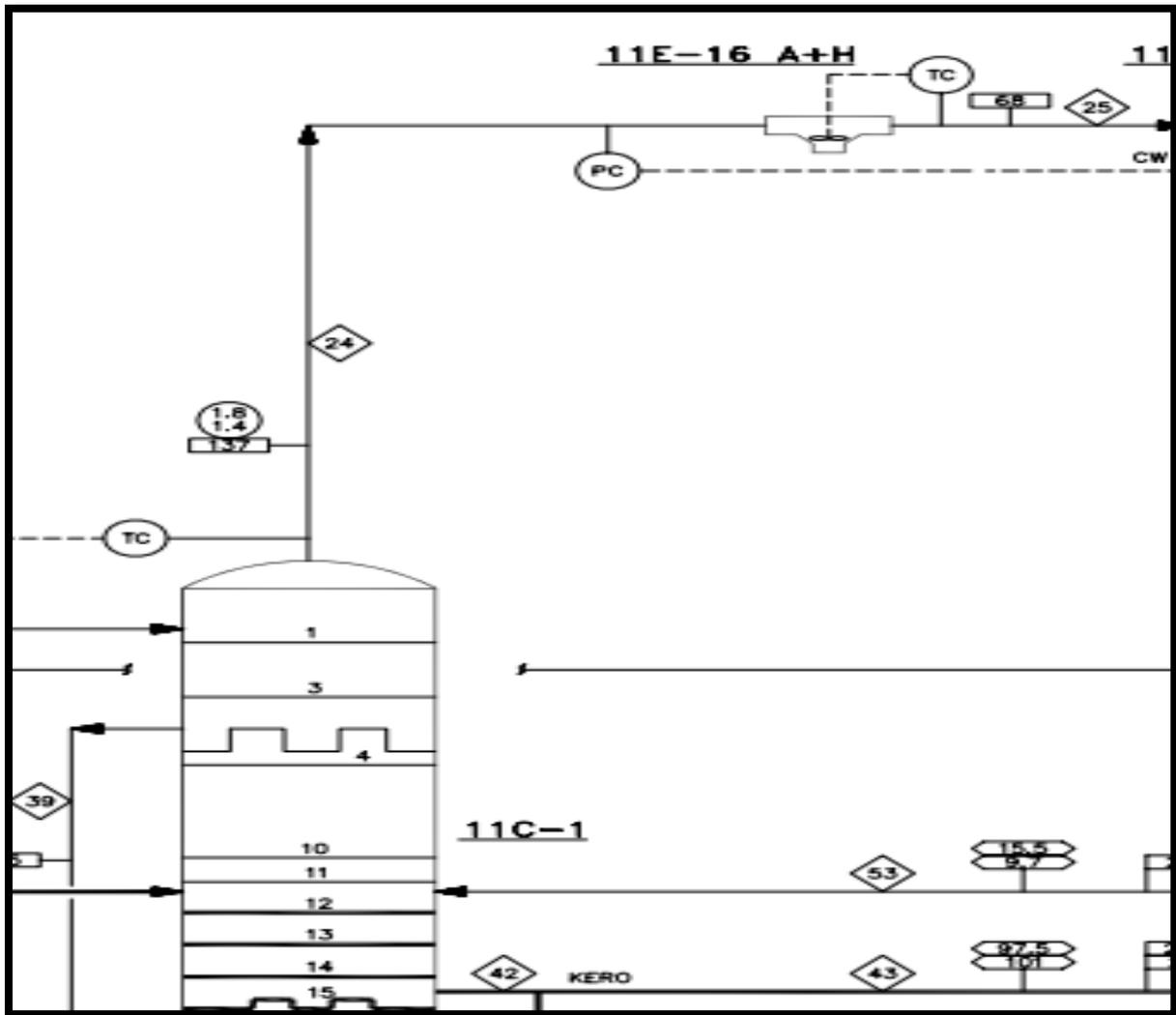
Nous allons présenter la procédure de simulation du cas de design ainsi que les principales étapes à suivre comprenant l'introduction des données, le choix du modèle thermodynamique et l'algorithme de simulation qui assure une bonne et rapide convergence. Toutes ces étapes seront détaillées dans ce qui suit

#### 2) Caractéristiques de la charge

La simulation du cas de design est basée sur l'introduction de la nature de la charge et sa composition vaporisée. La charge d'alimentation est caractérisée par une température de 124°C et d'une pression de 1,2 Bar et d'un débit massique de 148394 kg/h.

#### 3) Vérification des performances du logiciel Aspen HYSYS :

Nous avons abordé notre simulation en validant nos données, nos hypothèse, le modèle thermodynamique choisi ainsi que le schéma de procédé PFD en introduisant les données du design. On ne pourra considérer notre modèle comme satisfaisant que si les résultats obtenus après simulation sont proches de ceux prévus par le design.



FigureIX. 2: le schéma de procédé de l'aéro.

- **Les paramètres opératoires de l'aéro-réfrigérant (cas de design) :**

La simulation a été effectuée en utilisant les trois modèles thermodynamiques cités ainsi qu'avec l'introduction des paramètres opératoires présentés dans le tableau.

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

Tableau IX. 3: paramètres opératoires de la charge.

<b>Le débit du naphta (m<sup>3</sup>/h)</b>	148394
<b>La pression du naphta (kg/cm<sup>2</sup>_g)</b>	1,2
<b>La pression d'air (kg/cm<sup>2</sup>g)</b>	1
<b>La température du naphta à l'entrée (°C)</b>	128
<b>La température d'air (°C)</b>	25

### 4) Résultats de la simulation

Pour simuler l'aéroréfrigérant, on a une équation de trois degrés de liberté. Donc, il faut spécifier trois données. Dans notre cas on a spécifié le débit de la charge, la température et la pression. La simulation de l'aéroréfrigérant a convergé et les résultats de simulation sont regroupés dans le tableau :

Tableau IX. 4: résultats obtenus à partir du modèle thermodynamique.

<b>Aéroréfrigérant</b>	<b>Design</b>	<b>Peng Robinson</b>
<b>Température (°C)</b>	124	124
<b>Pression (kg/cm<sup>2</sup>_g)</b>	1.2	1.2
<b>Débit (kg/h)</b>	148394	148394
<b>H2O</b>	5192	5192
<b>H2S</b>	127	127
<b>H2</b>	00	00
<b>Méthane</b>	366	366
<b>Ethane</b>	125	125
<b>Propane</b>	557	557
<b>i-Butane</b>	1933	1933
<b>n-Butane</b>	9980	9980
<b>i-Pentane</b>	8396	8396
<b>n-Pentane</b>	13023	13023
<b>C5-NBP100</b>	36368	36368
<b>NBP100-NBP150</b>	58355	58355
<b>NBP150-NBP200</b>	13971	13971
<b>NBP200-NBP250</b>	1	1

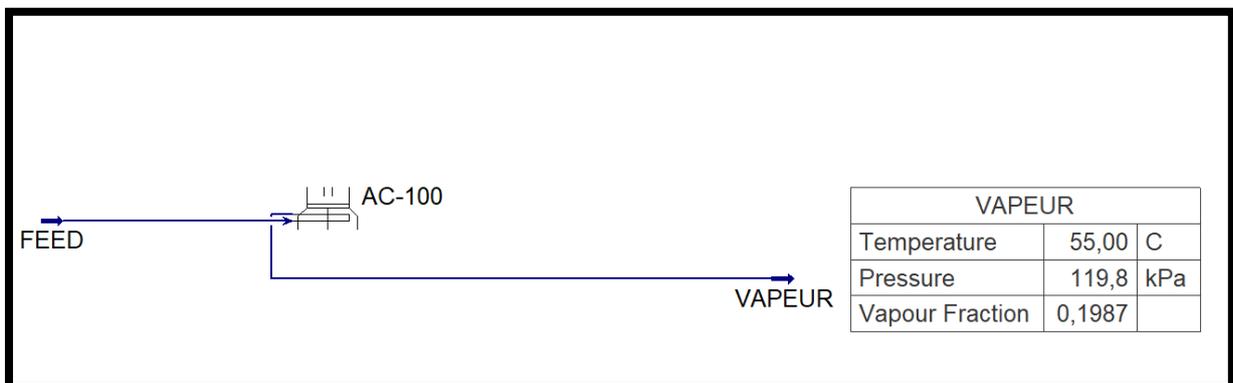
## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant

Lorsqu'on utilise le modèle Peng Robinson, nous avons trouvé que les résultats de simulation convergent avec le cas de design. Les résultats obtenus du modèle Peng Robinson démontrent que les compositions du naphta et l'air à la sortie de l'aéroréfrigérant convergent vers les valeurs du cas de design.

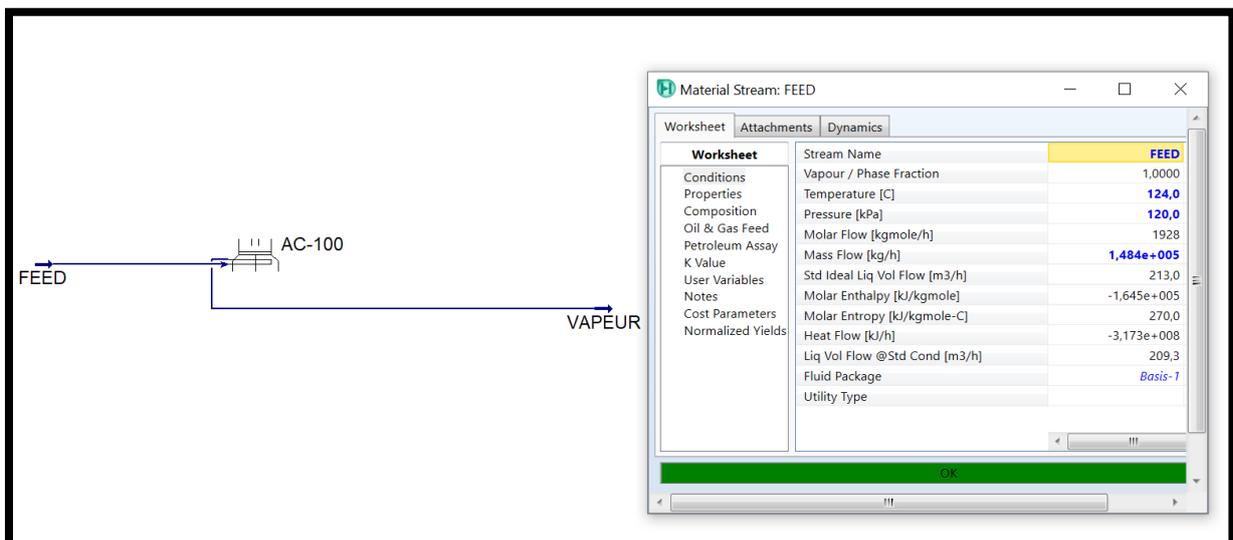
Ce modèle montre son efficacité et sa fiabilité pour les mélanges des hydrocarbures. On peut conclure que le modèle thermodynamique Peng Robinson donne des résultats satisfaisants au cas de design. Il sera utilisé comme une référence pour effectuer les simulations suivantes.

- **Résultats de simulation de cas design de l'aéroréfrigérant :**

On a fait une simulation du cas design de l'aéroréfrigérant lorsque la charge du naphta était à 100% et on a obtenu comme résultat lors de la simulation les quantités de vapeurs à la sortie de l'aéroréfrigérant.



Pour valider les résultats de simulation du cas actuel, on doit vérifier que le débit des vapeurs est minimal.



### VI. Simulation du cas actuel :

#### 1) Introduction

Cette partie a pour but de simuler le cas actuel de l'aéroréfrigérant. Ceci permet d'analyser la qualité du naphta final actuel et de déceler les points de dysfonctionnement et d'apporter les solutions adéquates applicables avec les équipements existants.

#### 2) Caractéristiques de la charge

Les caractéristiques physico-chimiques telles que la nature de la charge et les paramètres opératoires ont été pris en compte pour les besoins de la simulation du cas actuel.

Tableau IX. 5: paramètres opératoires de la charge actuelle.

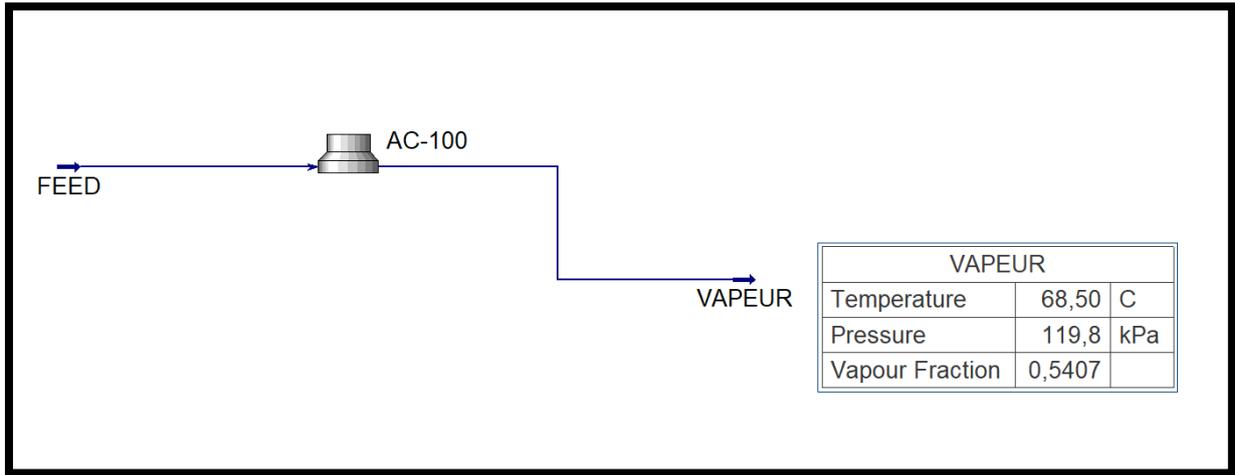
<b>Le débit de la charge (m<sup>3</sup>/h)</b>	158810.2
<b>La pression dans l'aéroréfrigérant (kg/cm<sup>2</sup>_g)</b>	1.2
<b>La pression de l'air (kg/cm<sup>2</sup>g)</b>	1
<b>La température du naphta à l'entrée (°C)</b>	124
<b>La température de l'air (°C)</b>	25

La simulation du cas actuel est réalisée sur l'aéroréfrigérant en utilisant le modèle thermodynamique Peng Robinson qui a montré son efficacité lors de la simulation du cas de design.

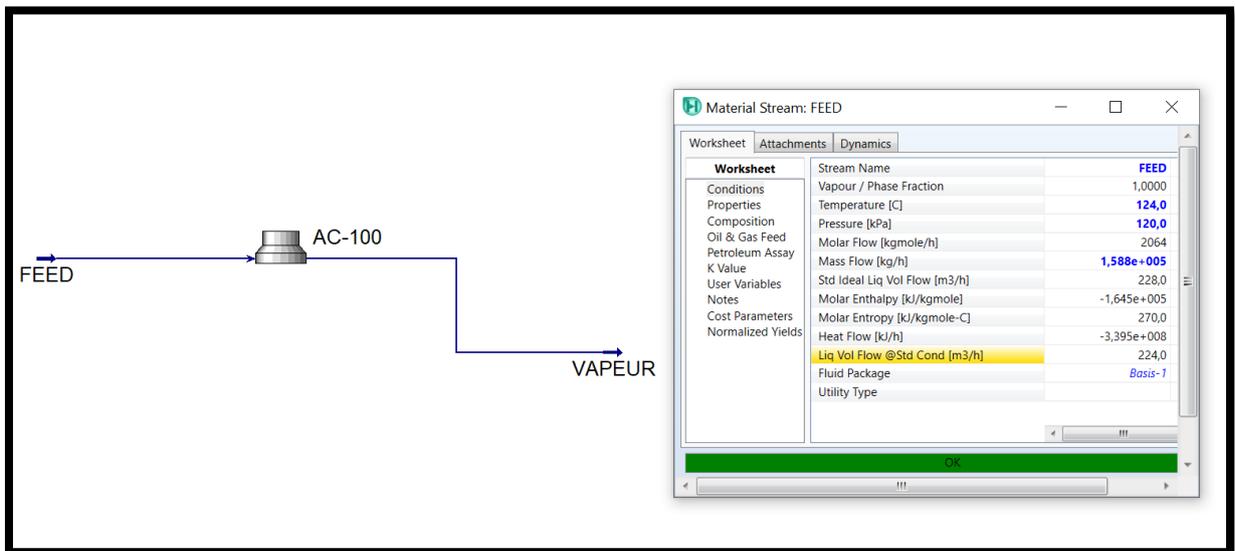
#### 3) Résultats de simulation du cas actuel de l'aéroréfrigérant.

On a fait une simulation du cas design de l'aéroréfrigérant pour une charge du naphta à 108% et on a obtenu comme résultat lors de la simulation les quantités de vapeurs à la sortie de l'aéroréfrigérant, dans ce cas on remarque des quantités de vapeurs restantes dans le naphta ce qui montre l'inefficacité de l'aéroréfrigérant avec les paramètres actuels.

## Chapitre IX : Simulation de l'aéroréfrigérant



Pour valider les résultats de simulation du cas actuel, on doit vérifier que le débit des vapeurs est minimal.



Dans notre cas le débit des vapeurs est de 224 m<sup>3</sup>/h ce qui est très mauvais pour notre opération et cause des problèmes importants.

### Interprétation des résultats :

Les résultats obtenus de la simulation nous ont montrés une divergence entre le cas design et l'actuel en ce qui concerne les quantités des vapeurs à la sortie de l'aéroréfrigérant.

Ce qui nécessite une optimisation des paramètres opératoires de l'aéroréfrigérant, afin d'améliorer les spécifications et la qualité.

# Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant

# Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant

## I. Introduction

La modélisation des processus, la simulation et l'optimisation sont pratiquées pour réduire le prix de la production, raccourcir la recherche et la période de développement, en augmentant l'efficacité. Elles contribuent à l'amélioration de la qualité des produits. Résolvent les problèmes industriels. Le simulateur du processus, tel que l'Aspen HYSYS a un rôle très important pour accomplir ces objectifs et peut aussi être utilisé pour concevoir une usine ou optimiser les paramètres de fonctionnement.

## II. Objectif de l'optimisation

L'objectif principal de l'optimisation est d'améliorer la quantité et la qualité du naphta en minimisant la quantité des vapeurs sortantes de l'aéroréfrigérant.

## III. Méthodologie :

Après avoir choisi le modèle thermodynamique et l'algorithme de résolution, et les avoir validés par le simulateur, plusieurs autres paramètres opératoires jouent un rôle très important dans la détermination de la qualité du naphta à la sortie de l'aéroréfrigérant, tels que le débit du naphta, la température, la pression.

Notre étude d'optimisation sera concentrée sur ces paramètres pour diminuer au maximum la quantité des vapeurs à la sortie du naphta de tel sorte que toutes les vapeurs soient condensées. Les conditions actuelles de fonctionnement de l'aéroréfrigérant sont : le débit du naphta (158810,2 Kg/h) et la température (124°C). Notre étude consiste à déterminer l'intervalle de l'optimisation en variant chaque fois la température et par la suite enregistrer les nouveaux résultats.

Afin d'étudier l'effet de la variation de la température sur la qualité du naphta, on effectuera une étude comparative entre le cas actuel et le cas optimisé en présentant les résultats de simulation du cas optimisé avec vérification.

## IV. L'optimisation des paramètres opératoires de l'aéroréfrigérant :

Pour pouvoir faire l'optimisation on doit modifier les paramètres opératoires de tels sorte à avoir des résultats satisfaisants en ce qui concerne les quantités des vapeurs à la sortie de l'aéroréfrigérant.

Pour ce fait on a opté pour une optimisation à l'aide du simulateur Aspen Hysys, en utilisant une méthode d'itération appelée « case study », en suivant les étapes suivantes :

## Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant

- 1- Tout d'abord on fait introduire les variables indépendantes, celle sur lesquelles on va effectuer les modifications, dans notre cas c'est le débit du naphta, les températures (d'entrée et de la sortie), la pression.

Name	Tag	Current Value	Units	Delete
VAPEUR - Temperature		68,50	C	X
FEED - Pressure		120,0	kPa	X
FEED - Temperature		124,0	C	X
FEED - Mass Flow		1,588e+005	kg/h	X

- 2- Ensuite on introduit les variables dépendantes, dans notre cas c'est les résultats de notre étude.

Name	Tag	Current Value	Units	Delete
VAPEUR - Vapour Fraction		0,5407		X
VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-Propane)		0,0082		X
VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-i-Butane)		0,0269		X
VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-n-Butane)		0,1348		X
VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-i-Pentane)		0,0995		X
VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-n-Pentane)		0,1460		X

# Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant

3- On choisit le pas d'itération pour chaque paramètre opératoire et on lance l'opération.

Name	Tag	Current Value	Units	Start	End	Step Size	#Steps
VAPEUR - Temperature		68,50	C	55,00	68,50	0,5000	28
FEED - Pressure		120,0	kPa	219,0	219,0	1,000	1
FEED - Temperature		124,0	C	124,0	124,0	1,000	1
FEED - Mass Flow		1,588e+005	kg/h	1,588e+005	1,588e+005	1,000	1

4- On obtient les résultats de nos itérations et on lit les résultats.

State	VAPEUR - Temperature [C]	FEED - Pressure [kPa]	FEED - Temperature [C]	FEED - Mass Flow [kg/h]	VAPEUR - Vapour Fraction	VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-Propane)	VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-i-Butane)	VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-n-Butane)	VAPEUR - Phase Comp Mass Frac (Vapour Phase-i-Pentane)
Case 1	55,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0396	0,0403	0,0729	0,2892	0,1153
Case 2	55,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0410	0,0399	0,0727	0,2893	0,1158
Case 3	56,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0425	0,0395	0,0726	0,2893	0,1163
Case 4	56,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0441	0,0391	0,0724	0,2892	0,1169
Case 5	57,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0458	0,0387	0,0722	0,2891	0,1174
Case 6	57,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0475	0,0382	0,0719	0,2889	0,1179
Case 7	58,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0494	0,0377	0,0717	0,2886	0,1185
Case 8	58,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0514	0,0373	0,0714	0,2883	0,1190
Case 9	59,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0534	0,0368	0,0711	0,2879	0,1195
Case 10	59,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0556	0,0363	0,0708	0,2874	0,1200
Case 11	60,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0579	0,0357	0,0704	0,2868	0,1205
Case 12	60,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0603	0,0352	0,0700	0,2862	0,1210
Case 13	61,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0629	0,0346	0,0696	0,2854	0,1214
Case 14	61,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0656	0,0341	0,0692	0,2846	0,1219
Case 15	62,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0685	0,0335	0,0687	0,2837	0,1223
Case 16	62,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0715	0,0329	0,0682	0,2826	0,1228
Case 17	63,00	219,0	124,0	1,588e+005	0,0747	0,0323	0,0677	0,2815	0,1232
Case 18	63,50	219,0	124,0	1,588e+005	0,0780	0,0317	0,0672	0,2802	0,1236

## 1) Etude de l'effet de la variation de la température sur la composition du naphta :

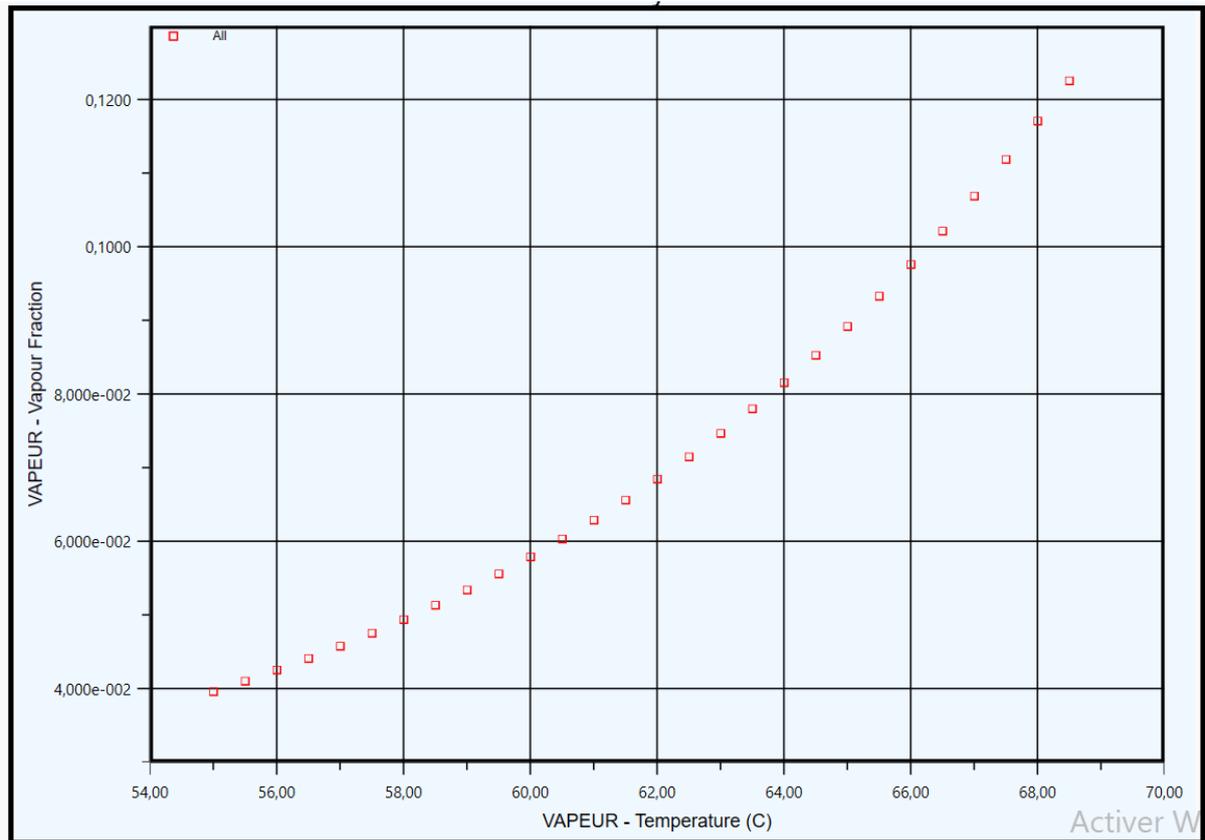
Dans cette étude, on présente la variation de la composition du naphta et les conditions opératoires tout en fixant le débit à 158810,2 Kg/h et en variant la température entre 55 à 68,5°C° et en tenant compte de la variation des fractions molaires des composants du naphta.

Les résultats de simulation de l'effet de la variation des fractions molaire du naphta sont illustrés dans le tableau et les figures.

## Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant

Tableau X. 1: comparaison entre les paramètres opératoires.

Température :	Fractions vaporisées :
55	0,0396102205220493
55,5	0,0410352756451619
56	0,0425362834085087
56,5	0,0441180169365865
57	0,0457855178687848
57,5	0,0475440989736818
58	0,0493993439470818
58,5	0,0513571040345577
59	0,0534234906889980
59,5	0,0556048642203376
60	0,0579078178835115
60,5	0,0603391569315342
61	0,0629058730391415
61,5	0,0656151136815997
62	0,0684741470168683
62,5	0,0714903230727479
63	0,0746710317443647
63,5	0,0780236591290490
64	0,0815555435591398
64,5	0,0852739330739487
65	0,0891859462087189
65,5	0,0932985380382041
66	0,0976184733391136
66,5	0,102152308691954
67	0,106906384636517
67,5	0,111886830799587
68	0,117099574189883
68,5	0,122550380753876



FigureX. 1: effet de la variation de la température sur les fractions vaporisées du naphta.

On constate que les fractions vaporisées du naphta varies entre 3 et 12%, elles augmentent de 3% à 55°C jusqu'à atteindre la valeur de 12% à 68,5°C, de ce fait la fraction optimale est de 3%.

### 2) Étude comparative entre le cas actuel et optimisé :

Tableau X. 2: comparaison entre les paramètres opératoires.

	Actuel	Optimisé
<b>Le débit de la charge (m<sup>3</sup>/h)</b>	158810,2	158810,2
<b>La pression dans l'aéro (bar)</b>	1,2	1,2
<b>La température du naphta à l'entrée (°C)</b>	124	124
<b>La température du naphta à la sortie (°C)</b>	68,5	55
<b>La température d'air (°C)</b>	25	25

## **Chapitre X : l'optimisation de l'aéroréfrigérant**

Après avoir optimisé les paramètres opératoires, nous avons obtenue de meilleurs résultats de condensation et refroidissement c'est-à-dire une très faible quantité des vapeurs à la sortie du naphta en diminuant la température de sortie jusqu'à 55°C.

# **Chapitre XI :**

# **Argumentation et**

# **conclusion**

### **Argumentation :**

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, nous nous sommes focalisés sur le calcul de dimensionnement des aéroréfrigérants 11E16 situés à la tête de la colonne principale (topping) de la raffinerie RA1Z. L'objectif principal de cette étude a été d'évaluer la capacité de la surface d'échange des aéroréfrigérants à supporter une augmentation de charge de 100 % à 108 %. Cette analyse est cruciale pour garantir l'efficacité du refroidissement et la protection des tubes contre la corrosion.

Tout d'abord, nous avons calculé la surface d'échange totale exprimée par rapport au diamètre extérieur des tubes. Cette surface d'échange représente la zone de contact entre le fluide à refroidir et l'air ambiant, où la chaleur est transférée. Ensuite, nous avons déterminé la surface faciale installée, c'est-à-dire la surface effective des aéroréfrigérants exposée au flux d'air, qui joue un rôle clé dans le processus de transfert de chaleur.

Nous avons ensuite calculé la quantité de chaleur échangée, qui est le produit du débit massique du naphta et de la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur. Cette quantité de chaleur est un indicateur crucial de l'efficacité du processus de refroidissement. Le débit massique du naphta a également été calculé pour évaluer le flux de matière à travers les aéroréfrigérants.

La température de sortie de l'air a été mesurée pour comprendre l'impact du refroidissement sur l'air ambiant. De plus, les coefficients de transfert de chaleur côté air et côté tube (naphta) ont été déterminés. Ces coefficients représentent la capacité des deux fluides à transférer de la chaleur et sont essentiels pour évaluer l'efficacité globale de l'échange thermique.

La condensation des vapeurs de tête de la colonne dans la batterie d'aéroréfrigérants E16 se déroule en trois étapes distinctes :

**Zone de désurchauffe :** Cette phase implique le refroidissement des vapeurs de naphta atmosphérique de la température  $T1$  à  $T'1$  au niveau de l'échangeur. La désurchauffe est nécessaire pour amener les vapeurs à une température où elles commencent à se condenser.

**Zone de condensation :** Ici, la condensation des vapeurs de naphta atmosphérique saturées se fait à une température constante  $T'1 = T'2$ . La condensation à température constante est caractéristique de la phase où le changement de phase se produit sans variation de température.

Zone de sous-refroidissement : Cette étape consiste à refroidir le naphta condensé de T'2 à T2. Le sous-refroidissement permet de réduire encore la température du naphta liquide, augmentant ainsi la stabilité et réduisant le risque de re-vaporisation.

Pour chaque étape, nous avons effectué les calculs suivants :

La chaleur échangée : Calculée pour chaque zone en fonction des propriétés thermodynamiques des fluides et des conditions opératoires.

La température de l'air : Mesurée ou estimée pour chaque étape afin de comprendre le profil thermique tout au long de l'échangeur.

Le coefficient de transfert de vapeur de tête de colonne : Calculé pour chaque zone, tenant compte des différentes phases et des mécanismes de transfert de chaleur.

La différence de température logarithmique moyenne (DTLM) : Utilisée pour chaque zone pour évaluer l'efficacité thermique de l'échangeur. La DTLM est une moyenne pondérée des différences de température à chaque extrémité de l'échangeur.

La surface d'échange : Calculée pour chaque zone en fonction des besoins de transfert de chaleur et des coefficients de transfert.

Après avoir déterminé ces valeurs pour chaque étape, nous avons calculé la surface d'échange totale, qui est la somme des surfaces d'échange des trois zones.

Cette démarche nous a permis de comparer les performances à 100 % et à 108 % de charge, et de déterminer si la surface d'échange des tubes peut supporter cette augmentation sans risque de corrosion.

D'après la comparaison entre les résultats obtenus des calculs illustrés dans le (tableau) et les valeurs du design, on a confirmé que la surface d'échange de l'aéroréfrigérant exigée par le design est pour un équipement non encrassé. Mais après un certain temps d'utilisation, il se produit des dépôts à l'intérieur et à l'extérieur des tubes qui constituent des résistances au transfert de chaleur de sorte que la surface d'échange diminue et devient insuffisante pour assurer l'échange thermique. La température de sortie du naphta non stabilisée devienne supérieure à celle de l'équipement exigé c.-à-d. du design et les mauvais états du tubes

influent sur le rendement de quelques Aéroréfrigérants, c.-à-d. les performances de cette batterie deviennent insuffisantes.

Dans le cas de design à une température de 60 °C la surface d'échange globale requise pour un taux de marche de 100% est de 1160 m<sup>2</sup>.

Actuellement les Aéroréfrigérants 11-E16 sont encrassés et les résultats indiquent que la surface d'échange actuelle à une température de 68,5 C pour un taux de marche 108% est de 1050,045 m<sup>2</sup>, on remarque un besoin en surface de 10,417 %.

L'encrassement provoque un mauvais refroidissement, et la montée de la colonne en pression et donc la réduction du taux de marche pour soulager la colonne et l'ajout d'un autre aéroréfrigérant similaire.

### **Conclusion Générale :**

En résumé, notre étude sur le dimensionnement des aéroréfrigérants 11E16 à la tête de la colonne principale de la raffinerie RA1Z met en évidence l'importance critique de l'entretien préventif pour garantir le bon fonctionnement de ces équipements. Nous avons constaté que l'accumulation de dépôts réduit la surface d'échange, compromettant ainsi l'efficacité du refroidissement et augmentant la température de sortie du naphta.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une surveillance régulière et de procédures d'entretien appropriées pour maintenir les performances optimales des aéroréfrigérants. De plus, il est crucial de réévaluer périodiquement les besoins de surface d'échange en fonction des conditions opérationnelles réelles pour garantir une production continue et sûre.

En conclusion, notre étude offre des recommandations pratiques pour améliorer la gestion et l'entretien des aéroréfrigérants, contribuant ainsi à assurer une exploitation efficace et rentable de la raffinerie dans son ensemble. Ces insights sont précieux pour les professionnels de l'industrie pétrolière, fournissant des stratégies claires pour optimiser la performance des équipements critiques et maintenir la fiabilité des opérations.

### **Recommandations :**

Une inspection et une maintenance régulières sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement des aéroréfrigérants. En effet, des composants internes endommagés, encrassés ou usés peuvent causer des désagréments qui nuisent au rendement et à l'efficacité de notre installation. Pour prévenir les problèmes d'encrassement, nous recommandons les actions suivantes :

- Suivi rigoureux de l'évolution des températures d'entrée et de sortie des aéroréfrigérants 11-E16.
- Surveillance des paramètres de la colonne 11-C1, notamment la pression et la température au sommet de la colonne.
- Utilisation de l'ensemble de la batterie uniquement lorsque nécessaire, en fonction des températures.
- Prévoir un nettoyage mécanique périodique des tubes encrassés, selon le programme d'inspection.
- Effectuer un nettoyage général des ailettes, en particulier celles situées en bas des tubes, qui sont visiblement encrassées par la poussière.

### **Les solutions proposées :**

- 1- Nettoyage périodique de la batterie d'aéroréfrigérant et enlever les dépôts.
- 2- Changement des 81 tubes encrassés.
- 3- l'ajout d'un autre aéroréfrigérant complémentaire.

## Références bibliographiques :

- [1] Cour procédés de raffinage école d'Arzew institut algérien du pétrole
- [2] Magazine SONATRACH : la qualité du condensat algérien au service de la pétrochimie de l'auteur Mr Guessom Nasreddine
- [3] J.P. WAUQUIER « Le Raffinage du pétrole brut », Tome 1, Edition TECHNIP, (1994), Paris, p 3 – 13.
- [4] P. WUITHIER : Le pétrole, Raffinage et Génie chimie, Tome I, Edition Technip, Vol.2, Paris (1972), p 41 – 45.
- [5] M. RABHI Rezki, « Etude du fonctionnement de la colonne de stabilisation 520-C001 dans l'unité de reformage catalytique CCR-520 », RAPPORT FIN D'INDUCTION
- [6] René DAUDIN Pétrole-le-raffinage.
- [7] Bernard Grandjean, DISTILLATION & EXTRACTION Volume 2, (2013)
- Documentation : [www.google.com](http://www.google.com)
- Rapport d'étude N°TE10:2022, étude de fonctionnement de l'aéroréfrigérant 11-E16

## **Les annexes**

Annexe A: Heat and material balance



Heat and Material Balance

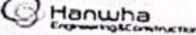
Project N° Unit Document Code Serial N° Rev Page  
2231 11 CN 0001 01 PD 2/10

Heavy Crude Case		UOM	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Phase	LIQ	MIX	VAP	VAP	MIX	MIX	LIQ	VAP	VAP	LIQ	LIQ	LIQ	LIQ						
Mass Rate	296800	139671	139671	436471	436471	436471	436471	41247	148393	148393	148393	5099	1960	1960	141333	9315	132018	121552	
Molar Rate	1525	718	718	2243	2243	2243	2243	459	1846	1846	1846	263	46	46	1516	100	1416	1304	
Std. Vol Rate	361.6	170.1	170.1	531.7	531.7	531.7	531.7	62.3	211.4	211.4	211.4	5.1	3.7	3.7	202.6	13.4	189.2	174.2	
Vol. Rate @ P.T	471.1	198.9	198.9	688.4	688.4	688.4	688.4	469.5	26363.1	2255.8	716.7	5.1	586.2	218.5	210.2	13.8	196.0	180.4	
Temperature	254.8	180.7	237.6	249.4	275.1	370.3	180.0	137.0	68.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	95.1	45.0	45.5	45.5	
Pressure	22.00	22.00	21.30	21.00	20.30	20.30	2.40	3.10	1.40	1.25	1.25	1.05	1.05	1.05	5.30	1.05	14.00	14.00	
MW	194.58	194.58	194.58	194.58	194.58	194.58	192.27	83.64	80.40	80.40	80.40	80.40	18.01	42.35	42.35	93.21	93.21	93.21	
Enthalpy	41816	13056	18082	59898	67469	109129	6977	24045	6204	6204	6204	3594	0.230	0.221	0.263	3.160	0.213	3.018	
Critical Pressure	23.04	23.04	23.04	23.04	23.04	23.04	23.43	33.22	62.04	62.04	62.04	62.04	62.04	51.39	51.39	31.83	31.83	31.83	
SG @ 15°C	0.8217	0.8217	0.8217	0.8217	0.8217	0.8217	0.8202	0.6708	0.7027	0.7027	0.7027	0.9996	0.5277	0.5277	0.6984	0.6984	0.6984	0.6984	
Density @ P.T	630.0	702.1	648.4	635.9	606.8	14.3	9.0	5.6	65.8	191.1	990.3	3.3	9.0	92.24	103.94	2.08	2.10	2.10	
Boiling Point @ T	9.69	4.18	8.18	9.20	11.62	291428	17.23	14.30	6.04	4.66	0.10	1960	1960	1960	103.94	2.08	2.10	2.10	
Mass rate	kg/h																		
Molar rate	kmol/h																		
MW																			
Z																			
CP																			
Density @ P.T	kg/m³																		
Therm Cond	kg/hm²°C																		
Viscosity	cp																		
CP/CV Ratio																			
Mass Rate	296800	139671	139671	436471	436471	436471	436471	1.02	1.06	1.06	1.10	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	
Molar Rate	1525	718	718	2243	2243	2243	2243	359	1684	1684	1684	1802	283						
CP	0.669	0.610	0.656	0.665	0.696	0.736	0.736	0.572	0.554	0.597	0.597	0.597	0.993						
Density @ P.T	630.0	702.1	648.4	635.9	606.8	6.63	10.17	23.56	25.74	68.85	0.1001	0.1061	0.5462						
Surf Tens	8.08	13.76	9.38	8.48	6.63	10.17	0.0559	0.0511	0.1001	0.1061	0.1061	0.5462							
Therm Cond	0.0593	0.0717	0.0622	0.0602	0.0559	0.0511	0.0345	0.0691	0.0988	0.0988	0.0988	0.594							
Viscosity	0.300	0.512	0.336	0.311	0.263	0.345	0.345	0.691	0.988	0.988	0.988	5.099							
H2O	0	0	0	0	0	0	0	0	5192	5192	5192	5099	39	39	53	4	50	46	
H2S	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	120	127	0	42	42	85	6	79	73
METHANE	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	366	366	0	276	276	50	6	84	78
ETHANE	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	125	125	0	48	48	77	5	72	66
PROPANE	82	39	39	121	121	121	405	557	557	557	557	557	0	93	93	464	31	433	399
BUTANE	403	189	189	592	592	592	591	1224	1933	1933	1933	0	592	592	155	1779	117	1561	1530
PENTANE	2361	1111	1111	3473	3473	3473	3469	9980	9980	9980	9980	0	592	592	9387	619	8769	8073	
IPENTANE	2615	1183	1183	3698	3698	3698	3693	4169	8396	8396	8396	0	217	217	8179	539	7640	7034	
PENTANE	4241	1996	1996	6236	6236	6236	6228	5968	13023	13023	13023	0	268	268	188	168	36199	2386	33814
C5-NBP100	16197	7622	7622	23818	23818	23818	23786	10595	36398	36398	36398	0	168	168	60	58796	3842	54454	50137
NBP100-NBP150	33477	15754	15754	49231	49231	49231	48454	3000	13971	13971	13971	0	3	3	13968	921	13047	12013	
NBP150-NBP200	32994	15527	15527	48520	48520	48520	48454	827	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
NBP200-NBP250	33385	15711	15711	49096	49096	49096	49028	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NBP250-NBP300	33859	15934	15934	49793	49793	49793	49724	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NBP300-NBP380	43647	20540	20540	64187	64187	64187	64099	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NBP380*	93640	44066	44066	137707	137707	137707	137517	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TECHNIP ITALY S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 66

Annexe B : DATA SHEET de l'aéroréfrigérant 11-E16

				PROJECT: ARZEW REFINERY REHABILITATION AND ADAPTATION PROJECT COMPANY: SONATRACH	
DATA SHEET FOR AIR COOLERS				CONT. DOC. NO. HD-2208-11-SP-07-E-16AH Rev. 0 FEED DOC. NO. 2231-11-SP-0710-08 (REV.0) 2/6	
Service of Unit <b>CRUDE TOWER OVERHEAD CONDENSER</b>					
					Item <b>11E-16A/II</b>
Bay size (W x L) x m No. of Bays / Item Type Draft (Induced / Forced)					
Surface per item, Finned Tube m <sup>2</sup> ; Bare Tube m <sup>2</sup>					
Heat Exchanged <b>17.84 Gcal/h</b> Effective MTD <b>49.7 °C</b>					
Transfer Rate, Finned, Service <b>12.81</b> ; Bare Tube, Service <b>302.52</b> ; Clean <b>330.71 kcal/hm<sup>2</sup></b>					
PERFORMANCE DATA - TUBE SIDE					
Fluid Name		<b>HC VAPOR + NAPIHTHA</b>		In	Out
Total Fluid	kg/h	<b>148393.0</b>		Density (Liq./Vap) kg/m <sup>3</sup>	/ 5.6 664 / 4.2
Temperature	°C	In	Out	Spec Heat (Liq./Vap) kcal/kg°C	/ 0.498 0.572 / 0.455
Vapour	kg/h MW	<b>137.0</b>	<b>68.0</b>	Therm Cond (Liq./Vap) kcal/hm°C	/ 0.021 0.100 / 0.018
Liquid	kg/h	<b>135054</b>		Dew / Bubble Point °C	(2) / (2)
Steam	kg/h	<b>5192</b>		Latent Heat kcal/kg	(2)
Water	kg/h	<b>4712</b>		Inlet Oper Press kg/cm <sup>2</sup> (g)	1.4
Non Condens	kg/h MW			Inter Fouling Fact °Cm <sup>2</sup> /kcal	0.0002
Viscosity (Liq / Vap) cP		0.009	0.692	0.009	Pressure Drop kg/cm <sup>2</sup>
				Allow	0.15 Calc 0.05
				Pour Point °C	
PERFORMANCE DATA - AIR SIDE					
Air Flowrate / Item (STD)	<b>1637365.934 m<sup>3</sup>/h</b>		Face Velocity	<b>2.61 m/s</b>	
Air Flowrate / Fan (ACT)	<b>209064.962 m<sup>3</sup>/h</b>		Altitude a s.l	<b>91.2 m</b>	
Actual Static Pressure	<b>1.123 mbar(a)</b>		Temperature In	<b>27 °C</b>	
			Temperature Out	<b>64.70 °C</b>	
			Min Temperature	<b>8.0 °C</b>	
DESIGN, MATERIALS AND CONSTRUCTION					
Design Pressure	<b>3.0 kg/cm<sup>2</sup>(g)</b>		Test Pressure	<b>By Code kg/cm<sup>2</sup>(g)</b>	
TUBE BUNDLE		HEADER		TUBE	
Size	m x m	No. of Rows	Type	Material	
No. per Bay	No. per Item		Material	O.D	mm Thk mm
Arrangement			No. of Passes	Slope	% No. per Bundle
Bundles	In Parallel	In Series	Corrosion Allowance	mm	
Bays	In Parallel	In Series	Plug Design	Mater	Pitch mm Layout
Bundle Side Frame			Gasket Material	FIN	
MISCELLANEOUS			Nozzles	No	O in Rating & Fac. #
Structure (yes/no)	Ladder (yes/no)		Inlet	Material	
Louvres (auto/man)	Walkway (yes/no)		Outlet	Type	
Hood (yes/no)	Vibr. Switch (yes/no)		Code Req	O.D mm No./m	
			Stock Thk mm		
MECHANICAL EQUIPMENT					
FAN		DRIVER		SPEED REDUCER	
No. /bay	kW / Fan	rpm	No. /bay	kW / driver	rpm
Diameter	m	Blades No	Type	No. / bay	
Angle	Blade Material		Volt Phase/Cycles	Type	
Pitch	(Adjustable or Auto Var.)		Enclosure	Speed Ratio	
CONTROLS					
RECIRCULATION SYSTEM			STEAM COIL		
Type	(Internal or External)		Press: Inlet	kg/cm <sup>2</sup> (g) Design	kg/cm <sup>2</sup> (g) Test
Shutters	(Manual or Automatic)		Design Temperature	°C Steam Quantity	
Actuator Air	Signal	Supply	Tube No.	O.D	mm No. mm Length mm
Steam Coil	to kPa(g)	kPa(g)	Fin Type	O.D mm No./m	
Auto-Fan	to kPa(g)	kPa(g)	Material Tube	Fin Code Req	
Shutters	to kPa(g)	kPa(g)	Nozzles O In	Out	in Rating & Fac. #
Control Action on Air Failure			Fan Pitch (Min or Max)		Louvres (Open or Close)
NOTES 1) Heavy Crude Feed Case					
2) See Condensing Curve					

						PROJECT: ARZEW REFINERY REHABILITATION AND ADAPTATION PROJECT COMPANY: SONATRACH		
DATA SHEET FOR AIR COOLERS				CONT. DOC. NO. HD-2208-11-SP-07-E-16AH FEED DOC. NO. 2231-11-SP-0710-08 (REV.0)		Rev. 0 1/6		
1	Service of Unit	CRUDE TOWER OVERHEAD CONDENSER				Item	11E-16A/H (1)	
2						MR		
3	Bay size (W x L)	x	m	No. of Bays / Item	4	Type Draft (Induced / Forced)	Forced	
4	Surface per item, Finned Tube	28107.57 m <sup>2</sup>				Bare Tube	1190.55 m <sup>2</sup>	
5	Heat Exchanged	19.94 Gcal/h		Effective MID	51.7 °C			
6	Transfer Rate, Finned, Service	13.73		Bare Tube, Service	324.26		Clean	356.86 kcal/hm <sup>2</sup>
7	PERFORMANCE DATA - TUBE SIDE							
8	Fluid Name	HC VAPOR + NAPHTHA				In	Out	
9	Total Fluid kg/h	180495				Density (Liq/Vap) kg/m <sup>3</sup>	/ 6.45 653 / 5.02	
10	Temperature °C	In 136.9		Out 68.0		Spec Heat (Liq/Vap) kcal/kg°C	/ 0.502 0.570 / 0.456	
11	Vapour kg/h M.W.	176049		19078		Therm Cond (Liq/Vap) kcal/hm <sup>2</sup> °C	/ 0.022 0.099 / 0.018	
12	Liquid kg/h			157104		Dew / Bubble Point °C	(3) / (3)	
13	Steam kg/h	4449		712		Latent Heat kcal/kg	(3)	
14	Water kg/h M.W.			3601		Inlet Oper. Press kg/cm <sup>2</sup> (g)	1.8	
15	Non Condens kg/h					Inter Fouling Fact °Cm <sup>2</sup> /kcal	0.0002	
16	Viscosity (Liq / Vap) cP	0.009		0.744 0.009		Pressure Drop kg/cm <sup>2</sup>	Allow	0.15 Calc 0.073
17						Pour Point °C		
18	PERFORMANCE DATA - AIR SIDE (4)							
19	Air Flowrate / Item (STD)	203888.486 m <sup>3</sup> /h		Face Velocity	3.25 m/s		Temperature In	27 °C
20	Air Flowrate / Fan (ACT)	260329.026 m <sup>3</sup> /h		Altitude a s l	91.2 (5) m		Temperature Out	60.85 °C
21	Actual Static Pressure	1.604 mbar(a)					Min Temperature	8.0 °C
22	DESIGN, MATERIALS AND CONSTRUCTION (5)							
23	Design Pressure	3.0 kg/cm <sup>2</sup> (g)		Test Pressure	By Code kg/cm <sup>2</sup> (g)		Design Temperature	150 °C
24	TUBE BUNDLE				HEADER			
25	Size m x	m No. of Rows 6		Type	TUBE			
26	No. per Bay 2	No. per Item 8		Material	CS			
27	Arrangement			No. of Passes 1	Slope %		No. per Bundle	210
28	Bundles 2 In Parallel	In Series		Corrosion Allowance	3 mm		Length	9144 mm
29	Bays 4 In Parallel	In Series		Plug Design	Mater		Pitch	66.8 mm Layout 
30	Bundle Side Frame			Gasket Material	FIN			
31	MISCELLANEOUS							
32	Structure (yes/no)	Ladder (yes/no)		Nozzles No. 2	O in 8"	Rating & Fac # 150# WNRF	Material	ALUMINUM
33	Louvers (auto-man)	Walkway (yes/no)		Outlet 1	8"	150# WNRF	Type	EMBEDDED
34	Flood (yes/no)	Vibr. Switch (yes/no)		Code Req	Stock Thick 0.406 mm			
35	MECHANICAL EQUIPMENT							
36	FAN				DRIVER		SPEED REDUCER	
37	No./bay 2	kW / Fan 24 rpm 318		No./bay 2	kW / driver 30 rpm 1460		No. / bay	2
38	Diameter 3.658 m	Blades No 6		Type	ELECTRIC		Type	
39	Angle	Blade Material Aluminum		Volt/Phase/Cycles	380 / 3 / 50		Speed Ratio	
40	Pitch (Adjustable or Auto Var.)			Enclosure				
41	CONTROLS							
42	RECIRCULATION SYSTEM				STEAM COIL			
43	Type (Internal or External)			Press. Inlet kg/cm <sup>2</sup> (g)	Design kg/cm <sup>2</sup> (g)	Test kg/cm <sup>2</sup> (g)		
44	Shutters (Manual or Automatic)			Design Temperature °C	Steam Quantity kg/h			
45	Actuator Air	Signal	Supply	Tube No	OD	mm	mm	mm Length
46	Steam Coil	to kPa(g)	kPa(g)	Fin. Type	OD		mm	No./m
47	Auto-Fan	to kPa(g)	kPa(g)	Material: Tube	Fin		Code Req	
48	Shutters	to kPa(g)	kPa(g)	Nozzles O. In	Out	in	Rating & Fac. #	
49	Control Action on Air Failure	Fan Pitch (Min or Max)				Louvers (Open or Close)		
50	NOTES: 1) Existing item, ref. To PS-5800-11-E-2-(E) page 8 and n° 5800-11-E1601							
51	2) Light Crude Feed Case							
52	3) See Condensing Curve							
53	4) This item is suitable for the new service with existing mechanical equipments including fans and drivers. Data for fans and drivers are referred from SASAKURA's datasheet. Refer to the verification result on page 6 of 6 for details							
54	5) Existing equipment is suitable for the new temperature design condition							
55								
56								
57								
58								
59								
60								
61								

Annexe 03 : les données de calcul de l'aéroréfrigérant



PROJECT: ARZEW REFINERY REHABILITATION AND ADAPTATION PROJECT

COMPANY: SONATRACH

DATA SHEET FOR AIR COOLERS

CONF. DOC. NO. HD-2208-11-SP-07-E-16AH  
FEED DOC. NO. 2231-11-SP-0710-08 (REV.0)

Rev 0  
4/6

Service of Unit		CRUDE TOWER OVERHEAD CONDENSER				Item	11E-16A/H
Condensing Curves							
Light Crude Case				Heavy Crude Case			
No.	Temp	Press	Enthalpy	CP	CP/(CP-H)	Enthalpy	
	C	KG/CM2	KCAL/KG	KCAL/KG-C		KCAL/KG-C	
1	86.77	1.667	56.30	1.033	0.9974	87.73	
2	81.74	1.665	56.20	1.075	0.9991	81.28	
3	76.89	1.663	56.17	1.076	1.0000	86.57	
4	69.09	1.659	56.14	1.077	1.0000	83.87	
Thermodynamic Properties for Steam - Vapor							
No.	Temp	Press	Enthalpy	CP	CP/(CP-H)	Enthalpy	
	C	KG/CM2	KCAL/KG	KCAL/KG-C		KCAL/KG-C	
1	138.90	0.800	1.8753E+02	0.4902	0.5025	1.0324	
2	130.91	0.785	1.8634E+02	0.4918	0.4974	1.0553	
3	123.12	0.770	1.8515E+02	0.4933	0.4931	1.0787	
4	114.29	0.755	1.8396E+02	0.4743	0.4888	1.1028	
5	105.34	0.740	1.8277E+02	0.4759	0.4907	1.1268	
6	96.43	0.725	1.8158E+02	0.4872	0.4788	1.1508	
7	87.54	0.710	1.8039E+02	0.4825	0.4742	1.1748	
8	78.67	0.695	1.7920E+02	0.4974	0.4684	1.2000	
9	69.77	0.680	1.7801E+02	0.4987	0.4681	1.2248	
10	61.74	0.665	1.7682E+02	0.4938	0.4633	1.2492	
11	54.89	0.650	1.7563E+02	0.4951	0.4630	1.2732	
12	48.00	0.635	1.7444E+02	0.4963	0.4583	1.2972	
UNIT 121, 'MCI-COHD-ME' (CONT)							
Thermodynamic Properties for Steam - Liquid							
No.	Temp	Press	Enthalpy	CP	CP/(CP-H)	Enthalpy	
	C	KG/CM2	KCAL/KG	KCAL/KG-C		KCAL/KG-C	
1	138.90	0.800	1.8634E+02	0.4902	0.5025	1.0324	
2	130.91	0.785	1.8515E+02	0.4918	0.4974	1.0553	
3	123.12	0.770	1.8396E+02	0.4933	0.4931	1.0787	
4	114.29	0.755	1.8277E+02	0.4743	0.4888	1.1028	
5	105.34	0.740	1.8158E+02	0.4759	0.4907	1.1268	
6	96.43	0.725	1.8039E+02	0.4872	0.4788	1.1508	
7	87.54	0.710	1.7920E+02	0.4825	0.4742	1.1748	
8	78.67	0.695	1.7801E+02	0.4974	0.4684	1.2000	
9	69.77	0.680	1.7682E+02	0.4987	0.4681	1.2248	
10	61.74	0.665	1.7563E+02	0.4938	0.4633	1.2492	
11	54.89	0.650	1.7444E+02	0.4951	0.4630	1.2732	
12	48.00	0.635	1.7325E+02	0.4963	0.4583	1.2972	
UNIT 122, 'MCI-COHD-ME' (CONT)							
Thermodynamic Properties for Steam - Solid							
No.	Temp	Press	Enthalpy	CP	CP/(CP-H)	Enthalpy	
	C	KG/CM2	KCAL/KG	KCAL/KG-C		KCAL/KG-C	
1	138.90	0.800	1.8634E+02	0.4902	0.5025	1.0324	
2	130.91	0.785	1.8515E+02	0.4918	0.4974	1.0553	
3	123.12	0.770	1.8396E+02	0.4933	0.4931	1.0787	
4	114.29	0.755	1.8277E+02	0.4743	0.4888	1.1028	
5	105.34	0.740	1.8158E+02	0.4759	0.4907	1.1268	
6	96.43	0.725	1.8039E+02	0.4872	0.4788	1.1508	
7	87.54	0.710	1.7920E+02	0.4825	0.4742	1.1748	
8	78.67	0.695	1.7801E+02	0.4974	0.4684	1.2000	
9	69.77	0.680	1.7682E+02	0.4987	0.4681	1.2248	
10	61.74	0.665	1.7563E+02	0.4938	0.4633	1.2492	
11	54.89	0.650	1.7444E+02	0.4951	0.4630	1.2732	
12	48.00	0.635	1.7325E+02	0.4963	0.4583	1.2972	
UNIT 123, 'MCI-COHD-ME' (CONT)							
Transport Properties for Steam - Wet							
No.	Temp	Press	Vapor	Thermal Conductivity	Diffus	Tension	
	C	KG/CM2	CP	KCAL/CM-H-C	CM2/CM	CM-HG	
1	138.90	0.800	0.4902	0.0418	0.0000	0.0000	
2	130.91	0.785	0.4918	0.0418	0.0000	0.0000	
3	123.12	0.770	0.4933	0.0418	0.0000	0.0000	
4	114.29	0.755	0.4743	0.0418	0.0000	0.0000	
5	105.34	0.740	0.4759	0.0418	0.0000	0.0000	
6	96.43	0.725	0.4872	0.0418	0.0000	0.0000	
7	87.54	0.710	0.4825	0.0418	0.0000	0.0000	
8	78.67	0.695	0.4974	0.0418	0.0000	0.0000	
9	69.77	0.680	0.4987	0.0418	0.0000	0.0000	
10	61.74	0.665	0.4938	0.0418	0.0000	0.0000	
11	54.89	0.650	0.4951	0.0418	0.0000	0.0000	
12	48.00	0.635	0.4963	0.0418	0.0000	0.0000	
UNIT 124, 'MCI-COHD-ME' (CONT)							
Transport Properties for Steam - Dry							
No.	Temp	Press	Vapor	Thermal Conductivity	Diffus	Tension	
	C	KG/CM2	CP	KCAL/CM-H-C	CM2/CM	CM-HG	
1	138.90	0.800	0.4902	0.0418	0.0000	0.0000	
2	130.91	0.785	0.4918	0.0418	0.0000	0.0000	
3	123.12	0.770	0.4933	0.0418	0.0000	0.0000	
4	114.29	0.755	0.4743	0.0418	0.0000	0.0000	
5	105.34	0.740	0.4759	0.0418	0.0000	0.0000	
6	96.43	0.725	0.4872	0.0418	0.0000	0.0000	
7	87.54	0.710	0.4825	0.0418	0.0000	0.0000	
8	78.67	0.695	0.4974	0.0418	0.0000	0.0000	
9	69.77	0.680	0.4987	0.0418	0.0000	0.0000	
10	61.74	0.665	0.4938	0.0418	0.0000	0.0000	
11	54.89	0.650	0.4951	0.0418	0.0000	0.0000	
12	48.00	0.635	0.4963	0.0418	0.0000	0.0000	
UNIT 125, 'MCI-COHD-ME' (CONT)							
Summary Curve for Unit No. 11E-16A							
Unit Name: Condenser de REZ 11-C01							
Rate: 2.2416 KMG-HOUR							
Point	Temp	Press	Fraction Vapor	Weight	H, MKCAL/HR	Total	
	deg C	KG/CM2	Mole	Weight			



PROJECT: ARZEW REFINERY REHABILITATION AND ADAPTATION PROJECT  
 COMPANY: SONATRACH

DATA SHEET FOR AIR COOLERS

CONT. DOC. NO: HD-2208-11-SP-07-E-16AH  
 FEED DOC. NO: 2231-11-SP-0710-08 (REV.0)

Rev. 0  
 3/6

Service of Unit CRUDE TOWER OVERHEAD CONDENSER

Item IIE-16A/II  
 MR

Condensing Curves

Light Crude Case

ISOTHERMAL COOLING CURVE FOR UNIT 34, "11-E-16", HOT SIDE  
 TOTAL DUTY = 41,894,226.000 KJ/HR

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR VAPOR	LIQUID LIQUID	WATER WATER	ENTHALPY TOTAL
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
134.90	1.800	2.2824	0.0000	0.0000	24.34432
130.01	1.785	2.0640	0.2144	0.0000	24.50210
125.12	1.770	1.8624	0.4208	0.0000	21.04411
116.23	1.755	1.6710	0.6314	0.0000	16.03230
109.34	1.740	1.4965	0.7470	0.0000	13.43723
102.45	1.725	1.3358	0.8465	0.0000	11.22218
95.56	1.710	1.1924	0.9310	0.0000	9.33448
88.67	1.695	1.0604	1.0000	0.0000	7.76443
81.77	1.680	0.9467	1.0500	0.0000	6.46347
74.88	1.665	0.8484	1.0740	0.0000	5.38474
68.00	1.650	0.7642	1.0830	0.0000	4.48969

NOTE - LIQUID PROPERTIES ARE WET PROPERTIES UNLESS OTHERWISE INDICATED.

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	TOTAL	LATENT HEAT
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
134.90	1.800	88.4923	0.0000	88.4923	N/A
130.01	1.785	89.9149	114.7942	99.5437	68.7427
125.12	1.770	89.4035	112.7517	99.7034	68.7427
116.23	1.755	85.2466	109.0025	91.8554	70.4174
109.34	1.740	80.9298	105.4684	86.3250	72.2347
102.45	1.725	76.4207	102.1201	81.2122	74.2947
95.56	1.710	71.6291	98.9255	76.4042	76.5947
88.67	1.695	66.4199	95.8678	71.9344	79.1247
81.77	1.680	60.7117	92.9387	67.6800	81.8747
74.88	1.665	54.5170	89.1443	62.7300	84.8447
68.00	1.650	47.7404	85.4917	57.0700	87.9247

UNIT 121, "16I-COND-02" (CONT)

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	WATER	ENTHALPY TOTAL
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
134.90	1.800	190.00	0.00	0.00	76.34
130.01	1.785	174.87	23.42	0.00	75.86
125.12	1.770	159.22	46.27	0.00	72.45
116.23	1.755	143.90	68.47	0.00	69.39
109.34	1.740	129.00	81.48	0.00	66.27
102.45	1.725	114.28	94.21	0.00	63.09
95.56	1.710	100.00	106.94	0.00	60.04
88.67	1.695	87.34	119.35	0.00	57.20
81.77	1.680	75.80	131.45	0.00	54.50
74.88	1.665	65.41	143.14	0.00	51.97
68.00	1.650	56.04	154.50	0.00	49.61

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	WATER	ENTHALPY TOTAL
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
134.90	1.800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130.01	1.785	0.0045	0.0038	0.0030	0.1241
125.12	1.770	0.0160	0.0143	0.0112	0.2391
116.23	1.755	0.0321	0.0289	0.0224	0.4424
109.34	1.740	0.0512	0.0449	0.0332	0.6444
102.45	1.725	0.0733	0.0647	0.0474	0.8457
95.56	1.710	0.1000	0.0894	0.0664	1.0464
88.67	1.695	0.1314	0.1194	0.0900	1.2464
81.77	1.680	0.1674	0.1549	0.1184	1.4464
74.88	1.665	0.2080	0.1959	0.1512	1.6464
68.00	1.650	0.2534	0.2424	0.1896	1.8464

UNIT 121, "16I-COND-02" (CONT)

General Properties for Steam

No.	Temp C	PRSS KG/CM2G	MW	Density Standard	Z	MW Density Sp. Gr.
				KG/CM3		KG/CM3
1	127.00	1.400	18.00	0.628	1.2888E+01	0.8935
2	130.01	1.395	18.00	0.628	1.2778E+01	0.8933
3	133.02	1.370	18.00	0.628	1.2668E+01	0.8930
4	136.03	1.345	18.00	0.628	1.2558E+01	0.8927
5	139.04	1.320	18.00	0.628	1.2448E+01	0.8924
6	142.05	1.295	18.00	0.628	1.2338E+01	0.8921
7	145.06	1.270	18.00	0.628	1.2228E+01	0.8918
8	148.07	1.245	18.00	0.628	1.2118E+01	0.8915

Heavy Crude Case

ISOTHERMAL COOLING CURVE FOR UNIT 34, "11-E-16", HOT SIDE  
 TOTAL DUTY = 41,743,843.000 KJ/HR

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	WATER	ENTHALPY TOTAL
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
137.00	1.800	24.0447	0.0000	0.0000	24.04470
132.11	1.785	21.4403	0.1823	0.0000	21.44030
127.22	1.770	18.8359	0.3646	0.0000	18.83590
118.33	1.755	16.2315	0.5469	0.0000	16.23150
109.44	1.740	13.6271	0.7292	0.0000	13.62710
100.55	1.725	11.0227	0.9115	0.0000	11.02270
91.66	1.710	8.4183	1.0938	0.0000	8.41830
82.77	1.695	5.8139	1.2761	0.0000	5.81390
73.88	1.680	3.2095	1.4584	0.0000	3.20950
64.99	1.665	0.6051	1.6407	0.0000	0.60510

NOTE - LIQUID PROPERTIES ARE WET PROPERTIES UNLESS OTHERWISE INDICATED.

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	TOTAL	LATENT HEAT
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
137.00	1.800	100.4433	0.0000	100.4433	N/A
132.11	1.785	93.3739	120.4459	97.8127	68.8708
127.22	1.770	86.3045	114.8508	93.0274	70.1056
118.33	1.755	80.2224	109.2557	88.8024	72.3404
109.44	1.740	74.1403	103.6606	84.5774	74.5752
100.55	1.725	68.0582	98.0655	80.3524	76.8100
91.66	1.710	61.9761	92.4704	76.1274	79.0448
82.77	1.695	55.8940	86.8753	71.9024	81.2796
73.88	1.680	49.8119	81.2802	67.6774	83.5144
64.99	1.665	43.7298	75.6851	63.4524	85.7492

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	WATER	ENTHALPY TOTAL
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
137.00	1.800	100.44	0.00	0.00	47.40
132.11	1.785	100.81	20.71	0.00	74.78
127.22	1.770	101.18	41.42	0.00	79.07
118.33	1.755	92.28	62.13	0.00	69.35
109.44	1.740	78.33	72.84	0.00	63.67
100.55	1.725	63.42	82.47	0.00	60.34
91.66	1.710	48.51	92.10	0.00	58.54
82.77	1.695	33.60	101.73	0.00	58.24
73.88	1.680	18.69	111.36	0.00	58.54
64.99	1.665	3.78	121.00	0.00	58.84

TEMP C	PRSS KG/CM2G	VAPOR	LIQUID	WATER	ENTHALPY TOTAL
		M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	M <sup>3</sup> /HR	KJ/HR
137.00	1.800	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
132.11	1.785	0.9700	0.0080	0.0000	0.1294
127.22	1.770	0.9370	0.0160	0.0000	0.2588
118.33	1.755	0.8710	0.0320	0.0000	0.5176
109.44	1.740	0.8050	0.0480	0.0000	0.7764
100.55	1.725	0.7390	0.0640	0.0000	1.0352
91.66	1.710	0.6730	0.0800	0.0000	1.2940
82.77	1.695	0.6070	0.0960	0.0000	1.5528
73.88	1.680	0.5410	0.1120	0.0000	1.8116
64.99	1.665	0.4750	0.1280	0.0000	2.0704

General Properties for Steam

No.	Temp C	PRSS KG/CM2G	MW	Density Standard	Z	MW Density Sp. Gr.
				KG/CM3		KG/CM3
1	127.00	1.400	18.00	0.628	1.2888E+01	0.8935
2	130.01	1.395	18.00	0.628	1.2778E+01	0.8933
3	133.02	1.370	18.00	0.628	1.2668E+01	0.8930
4	136.03	1.345	18.00	0.628	1.2558E+01	0.8927
5	139.04	1.320	18.00	0.628	1.2448E+01	0.8924
6	142.05	1.295	18.00	0.628	1.2338E+01	0.8921
7	145.06	1.270	18.00	0.628	1.2228E+01	0.8918
8	148.07	1.245	18.00	0.628	1.2118E+01	0.8915