

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 Sanae BOUCIF

&

Mlle Fairouz KENTOUR

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie des Procédés-Raffinage

*Etude de l'impact du phénomène de l'encrassement et
dégradation des tubes des aéroréfrigérants 100-AM-101
sur le taux de marche au niveau de l'unité de TOPPING
condensat de la raffinerie de SKIKDA (RA2K)*

Devant le jury :

Mr. Hadj MIMOUN	Prof	UMBB	Président
Mr. Noureddine BENTAHAR	Prof	UMBB	Examineur
Mme. Kahina BEDDA	MCA	UMBB	Examineur
Mme. Meriem DAHOU	Doctorante	UMBB	Encadreur

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes

Nous souhaitons ici les en remercier.

Du fond du cœur nous tenons à remercier **DIEU** le tout-puissant pour sa grande bénédiction et son immense miséricorde qui nous a accompagnés tout au long de notre parcours scolaire et universitaire.

Nous n'oublierons jamais d'adresser un grand et chaleureux remerciement à nos **familles** pour leurs soutiens moraux, matériels continus et inébranlables au long de notre formation.

Nous tenons à remercier très chaleureusement **Monsieur hadj MIMOUNE**, notre professeur, pour sa disponibilité, les conseils qu'il nous a prodigués, la patience, la confiance qu'il nous a témoignée ont été déterminants dans la réalisation de notre mémoire.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Monsieur Abd el Djalil BOUDIS**, chef de département technique de la raffinerie de SKIKDA, pour tous ses précieux et judicieux conseils prodigués, au cours de la formation et la réalisation de ce modeste travail dans des bonnes conditions.

Nous présentons nos remerciements à l'encadrante **Mme Meriem DAHOU**. Nous désirons aussi à exprimer nos remerciements à tout le personnel de complexe RA2K à SKIKDA pour l'accueil qu'ils nous ont réservé et le temps qu'ils nous ont consacré

Nous profitons pour exprimer nos vifs remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

Dédicace 1

Je dédie cette thèse à :

A mes très chers parents

Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte,

Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de longs mois de distance de votre amour de votre tendresse, de longs jours d'apprentissage. Votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.

Chaque ligne de cette thèse chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, et le merci d'être toujours là pour moi,

*A ma chère sœur **ASMAE** et mon cher frère **YACINE** de m'avoir supporté dans mes décisions et m'aider à ranger mon éternel désordre,*

*A mon fiancé **Abderazak TOUAHRIA** pour le soutien dont il a fait preuve pendant toute la durée de ce travail,*

A tous mes chères amies

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.

SANAE

Dédicace 2

Je dédie cette thèse à :

A mon cher père Nasser et à ma chère maman Karima pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs Fatma Zahra et Louiza pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,

A mon cher frère Mohamed pour son appui et son encouragement,

A toute la famille KENTOUR pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

FAIROUZ

Résumé

Le présent travail a porté sur un problème fréquemment rencontré avec les Aéroréfrigérants 100-AM-101 installés au niveau de la raffinerie (RA2k), à savoir l'encrassement et l'obturation des tubes.

Les Aéroréfrigérants 100 - AM - 101, situés à la hauteur de la section de préfractionnement de l'unité 100, dont la fonction est de faire circuler la vapeur de tête dans les tubes provenant des échangeurs de chaleur 100- E-101 A-D à des températures inférieures à 62°C .Ils sont classés parmi les équipements stratégiques de la raffinerie RA2K.

Le maintien du taux de marche dépend de plusieurs conditions, et une gestion et un contrôle serré du comportement d'Aéroréfrigérant 100-AM-101 est devenu nécessaire pour éviter toute perturbation de ce dernier.

Le but de ce travail est de présenter une étude montrant l'impact du phénomène d'encrassement et de dégradation des tubes des Aéroréfrigérants 100- AM-101 sur le taux de marche de l'unité.

Mots clés : aéroréfrigérant, faisceaux tubulaires, encrassement, vapeur de tête, refroidissement, taux de marche.

The abstract :

The present work focused on a problem frequently encountered with the 100-AM-101 Air Coolers installed at the refinery (RA2k), namely the fouling and plugging of the tubes.

The air coolers 100-AM-101, located at the prefractionation section of the unit 100, whose function is to circulate the overhead steam in the tubes coming from the heat exchangers 100-AM-101 A-D at temperatures lower than 62°C. They are classified among the strategic equipments of the refinery RA2K

The maintenance of the operating rate depends on several conditions, and a tight management and control of the behavior of the 100-AM-101 heat exchanger has become necessary to avoid any disturbance of the latter.

The aim of this work is to present a study showing the impact of the phenomenon of fouling and degradation of the tubes of the 100-AM-101 air coolers on the rate of operation of the unit.

Key words : air cooler, tube bundles, fouling, head steam, cooling, operating rate.

الملخص

وقد ركز هذا العمل على مشكلة تكثر مواجهتها مع مبردات الهواء المثبتة في المصفاة، وهي تلوث وانسداد الأنابيب مبردات الهواء الموجودة على ارتفاع قسم التجهيز للوحدة 100، وتتمثل وظيفتها في تدوير البخار العلوي في الأنابيب القادمة من المبادلات الحرارية عند درجات حرارة أقل من 62 درجة مئوية، وهي مصنفة ضمن المعدات الاستراتيجية للمصفاة

يعتمد الحفاظ على معدل التشغيل على عدة شروط، وأصبح من الضروري إدارة ومراقبة سلوك مبرد الهواء لتجنب أي اضطراب في هذا الأخير

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

الكلمات المفتاحية: مبرد الهواء ، حزم الأنابيب ، القاذورات ، البخار العلوي ، التبريد ، دورة العمل.

SOMMAIRE

LISTE D'ABREVIATION

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 01 : Présentation de la raffinerie RA2K

1.1 INTRODUCTION.....	4
1.2. Historique de la raffinerie (RA2K).....	5
1.3. Description des différentes unités.....	5
1.3.1. Unité de Distillation atmosphérique du condensat (Unité 100) :	5
1.3.2. Unité de traitement de kérosène (U200)	10
1.3.3. Stockage et transfert (U300).....	11
1.3.4. Système torche (Unité 400)	11
1.3.5. Unité utilités (U500).....	11

CHAPITRE 02 : Description générale de la charge condensat

2.1. Définition de condensat :	14
2.2. Composition Chimique Du Condensat	14
2.3. Familles chimiques d'hydrocarbures	14
2.3.1. Hydrocarbures paraffiniques.....	14
2.3.2. Hydrocarbures cycliques saturés ou naphènes	14
2.3.3. Hydrocarbures aromatiques	15
2.3.4. Hydrocarbures mixtes.....	15
2.4. Composés hétéro-atomiques.....	15
2.4.1 Composés soufrés.....	15
2.4.2 Composés azotés	15
2.4.3 Composés oxygénés.....	15
2.4.4 Les métaux	15
2.5 Origine de condensat	16
2.5.1 Gaz humide	16
2.5.2 Gaz sec	16
2.6 Production du condensat :.....	16

2.7 Les propriétés physico-chimiques du condensat et ses fractions	17
2.8. La qualité de condensât Algérien.....	18
2.9 Usages du condensat	20
2.9.1. Utilisation en raffinage	20
2.9.2 Utilisation en pétrochimie.....	21
2.9.3 Utilisation comme fuel	21
Chapitre 03 : transfert thermique et technologie des Aéroréfrigérants	
3-1 Introduction :.....	24
3.2-les modes de transfert de chaleur :	24
3.3Généralités sur les échangeurs de chaleur.....	27
3.3.1 Définition des échangeurs de chaleur	27
3.3.2 Nomenclature et les fonctions des Échangeurs de chaleur	27
3.4. Les modes de circulation	29
3.5. Critères de classement des échangeurs	31
3.5.1 Classement technique	31
3.5.2 Classification par type de transfert de chaleur	31
3.5.3 Classification par méthode de transfert de chaleur	31
3.5.4. Classification fonctionnelle	32
3.5.5. Classification par compacité de l'échangeur de chaleur	32
3.5.6 Classification par propriétés matérielles des parois d'échange.....	32
3.6. Les aéroréfrigérants.....	32
3.6.1. Définition des aéroréfrigérants	32
3.6.2. Champ d'application des aéroréfrigérants :	33
3.6.3. Technologies des aéroréfrigérants	33
3.6.4. Classification des aéroréfrigérants.....	34
3.6.5. Système de régulation des aéro-réfrigérant :.....	37
3.6.6.Les faisceaux tubulaires :	38
3.6.7. Les boîtes de distributions ou collecteurs :	42
Chapitre 4 : Phénomène d'encrassement et dégradation des tubes de l'aéroréfrigérant 100-AM-101	
4.1 Introduction	52
4.2 Implantation et rôle de l'équipement	52
4.3 Historique de l'équipement	53
4.4 Description de l'équipement.....	57
4.4.1 Normes et standards de construction	57

4.4.2 Paramètres de fonctionnement.....	57
4.4.3 Paramètres de design	58
4.5 Analyse du phénomène d'encrassement des tubes.....	58
4.5.1 Description des circuits de process des Aéroréfrigérants 100-AM-101	58
4.5.2 Types de corrosion dans les circuits de process des Aéro-réfrigérants 100-AM-101.....	58
4.5.3 Système adapter pour la protection contre la corrosion :	60
4.5.4Contrôle de la corrosion :	61
4.5.5 Causes principales de l'encrassement des tubes des aéroréfrigérants	61
4.6 Conséquences de l'encrassement sur les Aéroréfrigérants	62
4.6.1 Impact sur les l'Aéro-réfrigérants	62
4.6.2 Impact sur la chaine de production	64
<i>Chapitre 05 : Etude thermique de l'influence de l'encrassement et l'obturation des tubes des Aéroréfrigérants</i>	
5.1 La présentation du problème	68
5.2 Le calcul thermique de la batterie d'aéroréfrigérant :	68
5.2.1 Vérification du design	69
5.2.2 Calcul de la surface d'échange installée :	71
5.2.3 Calcul du coefficient de transfert coté air :	72
5.2.4 calcul le coefficient de transfert de chaleur coté tube hi	75
5.2.5 Surface d'échange totale calculé (A tot) :	80
5.3 Calcul du bilan thermique cas actuel	80
5.3.1 Calcul le coefficient de transfert coté air :	81
5.3.2Calcul du coefficient de transfert de chaleur coté tubes (hi)	82
5.4.3 Le coefficient de transfert de chaleur coté tube hi	84
5.4.4 Calcul de la surface totale :.....	85
5.4 Discussion et résultats :	86
<i>CONCLUSION GENERALE.....</i>	87
Recommandation	88
<i>Bibliographie.....</i>	89

LISTE D'ABREVIATION

CNPC	China National Petroleum Corporation
GN	Gaz naturel
Jet A1	Carburant pour aviation (Kerosene)
RA2K	Raffinerie Topping de Condensat
LGO	Gasoil leger
HGO	Gasoil lourd
GPL	Gaz du petrole liquefier
API	American Petroleum Institute
ASME	American Standard for Mechanical Engineering
grad (T)	Gradient de temperature
q_{cpl}	Densite de flux de chaleur (W/m ²)
λ	Conductivite thermique du milieu (W / m.°C)
T	Temperature (°C)
\dot{q}_c	Flux de chaleur echange par convection (W)
H	Coefficient d' echange thermique par convection (W/m ² . °C)
S	aire de la surface d'echange paroi/fluide (m ²)
F	Facteur de correction
T_p, T_f	Temperature de la paroi et temperature du fluide respectivement (°C)
TM	Taux de marche
Pr _e , Pr _f	Nombre de Prandlt
Re	Nombre de REYNOLDS
Nu	Nombre de NUSSELT
<i>DTLM</i>	Moyenne logarithmique de la difference de temperature

Liste des tableaux

TABLEAU 1 MODE D'EXPLOITATION RA2K.....	4
TABLEAU 2 RESULTATS DES CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU CONDENSAT ALGERIEN SELON LEURS NORMES SPECIFIEES	17
TABLEAU 3 LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU CONDENSAT ALGERIEN D'ARZEW ET BEJAIA	19
TABLEAU 4 LES TRAVAUX DE L'ENTRETIEN DE MAINTENANCE DE L'ENSEMBLE DES AERO-REFRIGERANT 100-AM-101 A-H	55
TABLEAU 5 L'ETAT ACTUEL DES TUBES FONCTIONNELS	64
TABLEAU 7 LE COUT DU MAP DURANT UNE JOURNEE.....	66
TABLEAU 8 DONNEES DE DEPART DU VAPEUR DE TETE DE L'AERO-REFRIGERANT (A-101 A/H).....	69
TABLEAU 9 DONNEES DE DEPART DU L' AIR.....	70
TABLEAU 10 DONNEES DE DEPART DU L'AEROREFRIGERANTS (A-101 A /H)....	70
TABLEAU 11 LA VITESSE DE L'AIR EN FONCTION DE NOMBRE DE RANGEE	72
TABLEAU 12 LES PRINCIPAUX RESULTAT DE CALCUL DANS LE CAS DESIGN (TEMPERATURE AMBIANTE 37°C) A 100% DU TAUX DE MARCHE.....	85
TABLEAU 13 LES PRINCIPAUX RESULTAT DE CALCUL DANS LE CAS DESIGN (TEMPERATURE AMBIANTE 37°C) A 100% DU TAUX DE MARCHE.....	85

Liste des figures

FIGURE 1: LES PRINCIPALES SECTIONS DU PROCEDE.....	8
FIGURE 2 DIAGRAMME DES PRINCIPALES COMPOSANTES DU PROCEDE	8
FIGURE 3 SCHEMA DE PROCESS DE L'UNITE 100.....	9
FIGURE 4 PLAN GENERAL DE L'UNITE 200 DE TRAITEMENT DE KEROSENE.....	10
FIGURE 5 STOCKAGE ET TRANSFERT DES PRODUITS DU COMPLEXE RA2K	11
FIGURE 6 CONVECTION FORCEE ET CONVECTION NATURELLE.....	26
FIGURE 7 LES MODES DE TRANSMISSION DE CHALEUR AU NIVEAU DE LA ZONE DE RADIATION D'UN FOUR TUBULAIRE	27
FIGURE 8 EVOLUTION DES TEMPERATURES DANS UN ECHANGEUR TUBULAIRE FONCTIONNEMENT CO-COURANT	29
FIGURE 9 EVOLUTION QUALITATIVE DES TEMPERATURES DANS UN ECHANGEUR TUBULAIRE OU A PLAQUE A CONTRE –COURANT.....	30
FIGURE 10 EXEMPLE D'ECHANGEURS A COURANT CROISES	31
FIGURE 11 VUE GENERALE D'UN AEROREFRIGERANT	33
FIGURE 12 DIFFERENTS TYPES DES AEROREFRIGERANTS	34
FIGURE 13 AEROREFRIGERANT A TIRAGE FORCEE	35
FIGURE 14 AEROREFRIGERANT A TIRAGE INDUIT.....	36
FIGURE 15 DESCRIPTION D'UN AEROREFRIGERANT.....	37
FIGURE 16: VUE DU FAISCEAU(HUDSON PRODUCTS CORPORATION SUGAR LAND, TEXAS, USA)	38
FIGURE 17VUE GENERALE D'UN FAISCEAU TUBULAIRE.....	39
FIGURE 18 L'ORGANISATION A CONTRE -COURANT.....	39
FIGURE 19 L'ORGANISATION A CO -COURANT	40
FIGURE 20 AILETTE TYPE L.....	40
FIGURE 21 AILETTE TYPE L AVEC MOLETAGE.....	41
FIGURE 22 AILETTE ENCASTREE TYPE G	41
FIGURE 23 AILETTE EXTRUDEE SUR TUBE BIMETALLIQUE.....	41
FIGURE 24 VUE GENERALE POUR BOITES DE DISTRIBUTION ET COLLECTEUR	42
FIGURE 25 BOITES OU COLLECTEURS A BOUCHONS.....	43
FIGURE 26 BOITES OU COLLECTEURS A COUVERCLE DEMONTABLE	43
FIGURE 27 COLLECTEURS CYLINDRIQUES.....	43
FIGURE 28 VUE D'UN MANIFOLD A COUVERCLE SOUDE.....	44
FIGURE 29 LES PALES DU VENTILATEUR.....	44
FIGURE 30 REGLAGE D'INCLINAISON DES PALES.....	45
FIGURE 32 MONTAGE D'UNE COURROIE.....	46
FIGURE 33 LES MOTEURS ET SYSTEMES DE TRANSMISSION	47
FIGURE 34 L'ENSEMBLE D'AEROREFRIGERANTS	49
FIGURE 35 PRECHAUFFE DE L'AIR.....	49
FIGURE 36 RECIRCULATION D'AIR.....	50
FIGURE 37 HUMIDIFICATION D'AIR	50
FIGURE 38 IMPLANTATION DES AEROREFRIGERANTS	53
FIGURE 39 L'EVOLUTION DE LA CORROSIVITE DUE AUX SULFURES ET DUE AUX CHLORURES EN FONCTION DU PH.....	59
FIGURE 40 LA PRESENCE DE DEPOT SOLIDE AU NIVEAU DE QUELQUES TUBES	61
FIGURE 41 EFFETS DE L'ENCRASSEMENT SUR L'ECHANGE DE CHALEUR.....	62
FIGURE 42 ETAPES DE CONDENSATION DU NAPHTA ATMOSPHERIQUE DANS L'AEROREFRIGERANT	76

Liste des annexes

Annexe A : Les ailettes KLM	90
Annexe B : Les données pour calculer le coefficient de transfert de chaleur coté tube	92
Annexe C : La fiche technique de l'aéroréfrigérant A-101 A/H.....	93

INTRODUCTION GENERALE

La température est considérée comme l'un des principaux paramètres de fonctionnement et indicateurs des procédés pétroliers. En effet, de nombreux instruments permettent de régler ce paramètre de fonctionnement, qu'il s'agisse de l'évaporation d'une fraction d'hydrocarbure lors de la distillation ou de sa transformation en réaction des molécules spécifiques.

Trois types d'équipement ont été conçus pour fournir ce paramètre, ce sont :

- ▶ Les fours qui produisent l'essentiel de l'énergie nécessaire aux différentes opérations.
- ▶ Échangeurs de chaleur pour une récupération ou une condensation et/ou un refroidissement optimal de l'énergie thermique contenue dans divers flux de fluides.
- ▶ Aéroréfrigérants ou un refroidisseur d'air qui assure la condensation et/ou le refroidissement en soustrayant l'énergie d'un fluide.

Les Aéroréfrigérants sont des équipements clés dans les industries du pétrole, du gaz et de la pétrochimie. Grâce à la large gamme de conception, les exigences de sécurité doivent être satisfaites tout en répondant à de nombreuses exigences formulées par les utilisateurs, comprenant généralement des charges thermiques spécifiques, une efficacité thermique optimale, techniquement réalisable, un bon cycle de service et une flexibilité de fonctionnement satisfaisante. D'où l'importance des enjeux liés à la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance.

La conception mécanique des refroidisseurs d'air est confrontée à de nombreux défis, dont l'un est la dégradation des tubes. Pour les raffineries RA2K, les phénomènes de corrosion dus à la détérioration ultérieure des tubes suite aux conditions de traitement de fluide au niveau 100AM101.

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 :

•**Le chapitre 1** est dédié pour à la représentation la raffinerie du condensat RA2K.

•**Le chapitre 02** concerne la description générale de la charge condensat.

•**Le chapitre 3** concerne les modes de transfert de chaleur et la technologie des Aéroréfrigérants.

•**Le chapitre 4** porte sur les présentations de problématique de phénomène d'encrassement et de la dégradation des tubes de l'aéroréfrigérant 100-AM-101.

•**Le chapitre 5** est dédié pour le calcul vérificatif et les recommandations et les solutions proposées.

Chapitre 01 :

Présentation de la raffinerie RA2K

CHAPITRE 01 : Présentation de la raffinerie RA2K

1.1 INTRODUCTION

La raffinerie Topping de Condensat à une capacité de traitement de 5 millions de tonnes de condensat par issue des champs pétroliers algériens en vue de produire le Butane, le Naphta, le Kérosène, le Gasoil léger et le Gasoil lourd. En outre, des facilités seront installées pour le stockage, le traitement et le transfert du condensat et de ces produits finis. Le tableau 1 montre la production de la raffinerie selon le mode d'exploitation.

- **Cas A** : production maximale de Naphta et production maximale Gasoil (cas de base) ;
- **Cas B** : production maximale Kérosène Jet A1 ;
- **Cas C** : production maximale de Naphta et production minimale de Gasoil.

Tableau 1: Mode d'exploitation RA2k

Produits	Mode d'exploitation		
	(Cas A)	(Cas B)	(Cas C)
Butane	111.9	111.9	111.9
Naphta	4038.1	3470.1	4038.1
Jet A1	-	992.5	425.6
Gasoil Léger	724.9	299.9	299.9
Gasoil Lourd	115.2	115.2	115.2
Pertes	9.9	10.4	9.3
Total	5000	5000	5000

Ce complexe est conçu pour le traitement de cinq charges différentes de condensat nommées comme suit : OB1, ALRAR, BEJAIA, RHOUD NOUSS, NEW OB1.

Le complexe comprend plusieurs unités et installations de traitement à savoir :

- Unité Topping de Condensat ou encore Distillation atmosphérique (Unité-100).
- Unité de traitement de kérosène (Unité-200).
- Installations de stockage et transport des produits finis (Unité300).
- Système de torche (Unité-400).
- Utilités (Unité-500).

1.2. Historique de la raffinerie (RA2K)

SONATRACH avait projeté de réaliser l'usine de Topping condensat en partenariat et avait lancé deux appels d'offre, le premier pour la recherche d'un partenaire et le second pour la réalisation de l'usine. Sur les deux sociétés qui avaient soumis des offres techniques, à savoir CNPC (Chine) et Itochu (Japon), seule la compagnie chinoise s'était présente pour l'offre commerciale de l'appel d'offre « recherche d'un partenaire ». Pour le second appel d'offre concernant la réalisation, plusieurs sociétés s'étaient manifestées. Finalement, deux compagnies ont été sélectionnées à l'issue de cette phase : CNPC et SAIPEM.

C'est le 10 mai 2005 China National Petroleum Corporation (CNPC) a décroché le contrat pour la réalisation de la raffinerie de Topping de condensat de Skikda pour un montant d'environ 390 millions de dollars. CNPC a devancé SAIPEM (France) qui a proposé environ 460 millions de dollars. Le projet est divisé en deux lots : une usine d'une capacité de 5 millions de tonnes par an de condensat et des installations pour augmenter les capacités de stockage des produits raffinés.

- Le 01 Décembre 2005 : Entrée en vigueur du contrat ;
- Le 20 Mai 2009 : Admission du GN et démarrage des fours ;
- Le 02 juin 2009 : Admission de la charge condensat de RTE ;
- Le 25 juillet 2009 : Démarrage des unités des procédés ;
- Le 06 Novembre 2009 : Tests de performance ;
- Le 14 Janvier 2010 : Réception provisoire.

1.3. Description des différentes unités

Le complexe est constitué principalement de :

1.3.1. Unité de Distillation atmosphérique du condensat (Unité 100) :

L'objectif de l'unité est de traiter le condensat algérien et de produire des différents produits tels que le Butane, le naphta, le kérosène/JET A1, LGO et le HGO.

La conception du procédé choisi pour cette nouvelle unité comprend les sections suivantes :

- la distillation de condensat ;
- la distillation sous vide ;
- la stabilisation de naphta ;
- la section du dépropaniseur et le séchage de butane.

L'unité est conçue pour une capacité de traitement de cinq millions de tonnes par an. Les principales installations qui constituent cette unité sont :

- Colonne de préfractionnement 100-T-101 ;
- Colonne de distillation atmosphérique : 100-T-103 ;
- Colonne de distillation sous vide : 100-T-401 ;
- Colonne de stabilisation des essences : 100-T-201 ;
- Fours : 100-F-101, 100-F-102 et 100-F-103 ;
- Échangeurs : 100-E-101 à 100-E-108 (au nombre 20) ;
- Système d'injection pour un traitement chimique : amine, agent inhibiteur et de l'eau.

Cette unité fonctionne comme suit :

❖ **Étape 1** : Préchauffage de la charge (condensat)

La transmission de chaleur se fait par des échangeurs. Le condensat à basse température de 30°C est préchauffé par 8 niveaux d'échangeurs de chaleur. Le procédé d'échange thermique peut être effectué sous forme de deux voies en parallèle pour permettre le traitement de charge à 50% ou 100%.

❖ **Étape 2** : Préfractionnement

La colonne de préfractionnement (100-T-101) comporte 35 plateaux. La charge entre dans la colonne au plateau 28 sous forme un condensat partiellement vaporisé et elle est séparée en trois coupes principales :

- Coupe de tête (Gaz + Naphta) ;
- Coupe de Naphta stable ou moyen ;
- Coupe de fond.

La séparation du Naphta de tête de la colonne de préfractionnement est contrôlée par une régulation de température et de pression localisée à la tête de la colonne de préfractionnement

et du ballon de reflux. Le régulateur de température réinitialise la valeur du reflux de tête et le régulateur de pression ajuste la pression.

❖ **Étape 3 : Distillation atmosphérique**

La section de distillation atmosphérique de condensat 100-T-103 est conçue pour séparer le condensat en quatre coupes principales, à savoir :

- Coupe de tête Naphta ;
- Coupe de Kérosène ;
- Coupe de Gasoil léger ;
- Coupe de fond c.-à-d. résidu atmosphérique (gas-oil lourd en générale en abrégé HGO).

La Colonne de Distillation Atmosphérique (100-T-103) est équipée de 46 plateaux et qui reçoit la charge au niveau du 43ème plateau. Elle a deux soutirages latéraux et trois reflux circulants.

L'unité est intégrée avec la section de stabilisation de naphta et la section de dépropanisation.

❖ **Étape 4 : Distillation sous vide**

Le but de la section sous vide 100-T-401 est de récupérer une partie de LGO non fractionnée contenu dans le résidu atmosphérique provenant du fond de la tour atmosphérique 100-T-103. Le LGO sous vide est mélangé avec le LGO atmosphérique. Le HGO du fond de la tour sous vide est envoyé au stockage.

❖ **Étape 5 : Stabilisation des essences**

La section de stabilisation du naphta est composée d'un débutaniseur 100-T-201. Elle est conçue pour séparer le naphta léger issu de la colonne de préfractionnement ainsi :

- En tête, la coupe Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL) et acheminé vers le dépropaniseur.
- Au fond, la coupe essence dite " stabilisée", dont le naphta stabilisé est mélangé avec celui issu de colonne de préfractionnement et acheminé vers le stockage.

❖ **Étape 6 : Dépropanisation**

La section de dépropanisation est composée principalement d'un dépropaniseur.

Cette étape permet de séparer le GPL issu de la section de stabilisation et d'obtenir ainsi :

- en la tête de la colonne du propane, utilisé en tant que combustible pour les fours ;
- au fond de la colonne du butane, acheminé vers une unité de séchage 100-PKG-301 qui contient deux colonnes de séchage à tamis moléculaire pour éliminer les traces de l'eau et envoyé comme produit fini vers les sphères de stockage .(voir figure 1 et figure2).

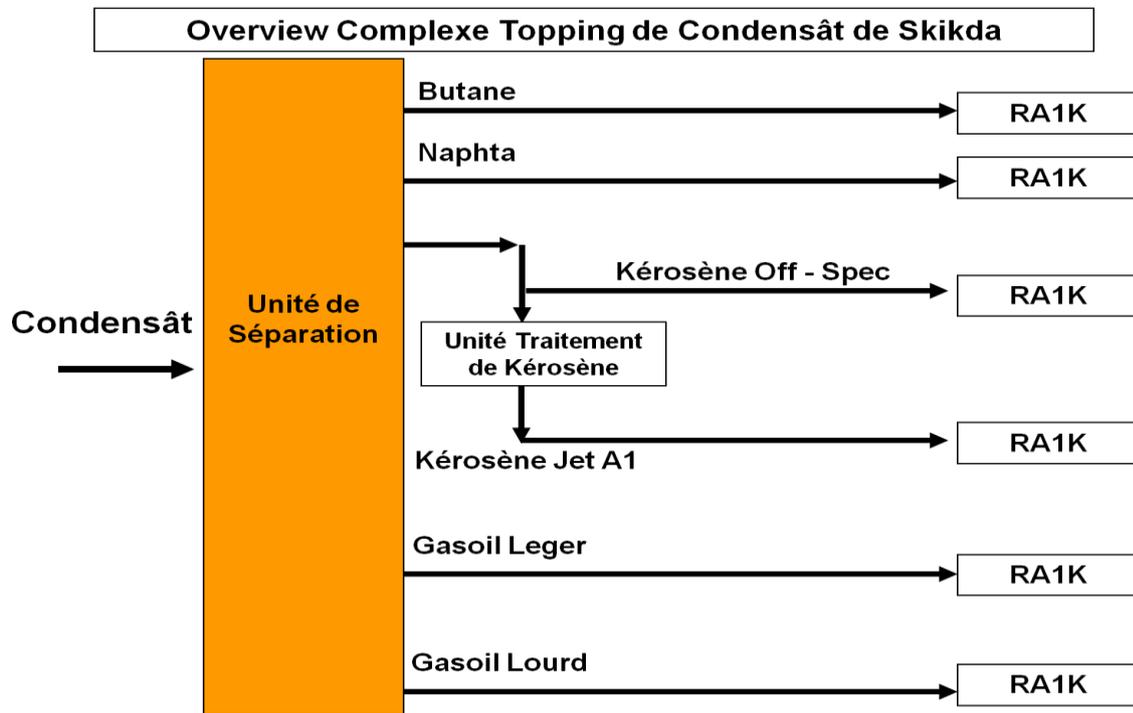


Figure 1: Les principales sections du procédé

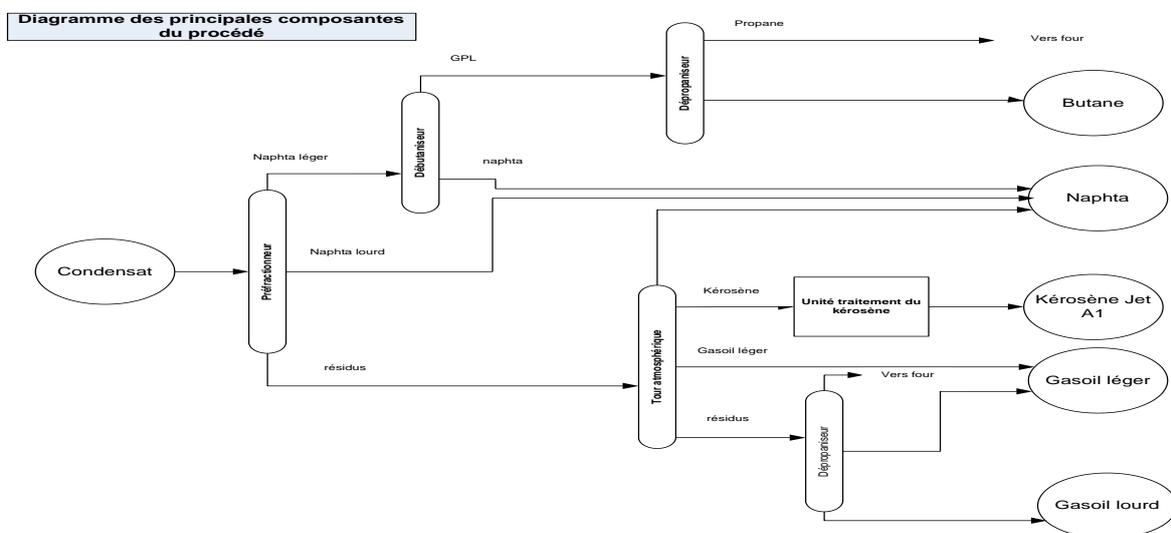


Figure 2 : Diagramme des principales composantes du procédé

La figure 3 montre le schéma de process de l'unité 100 :

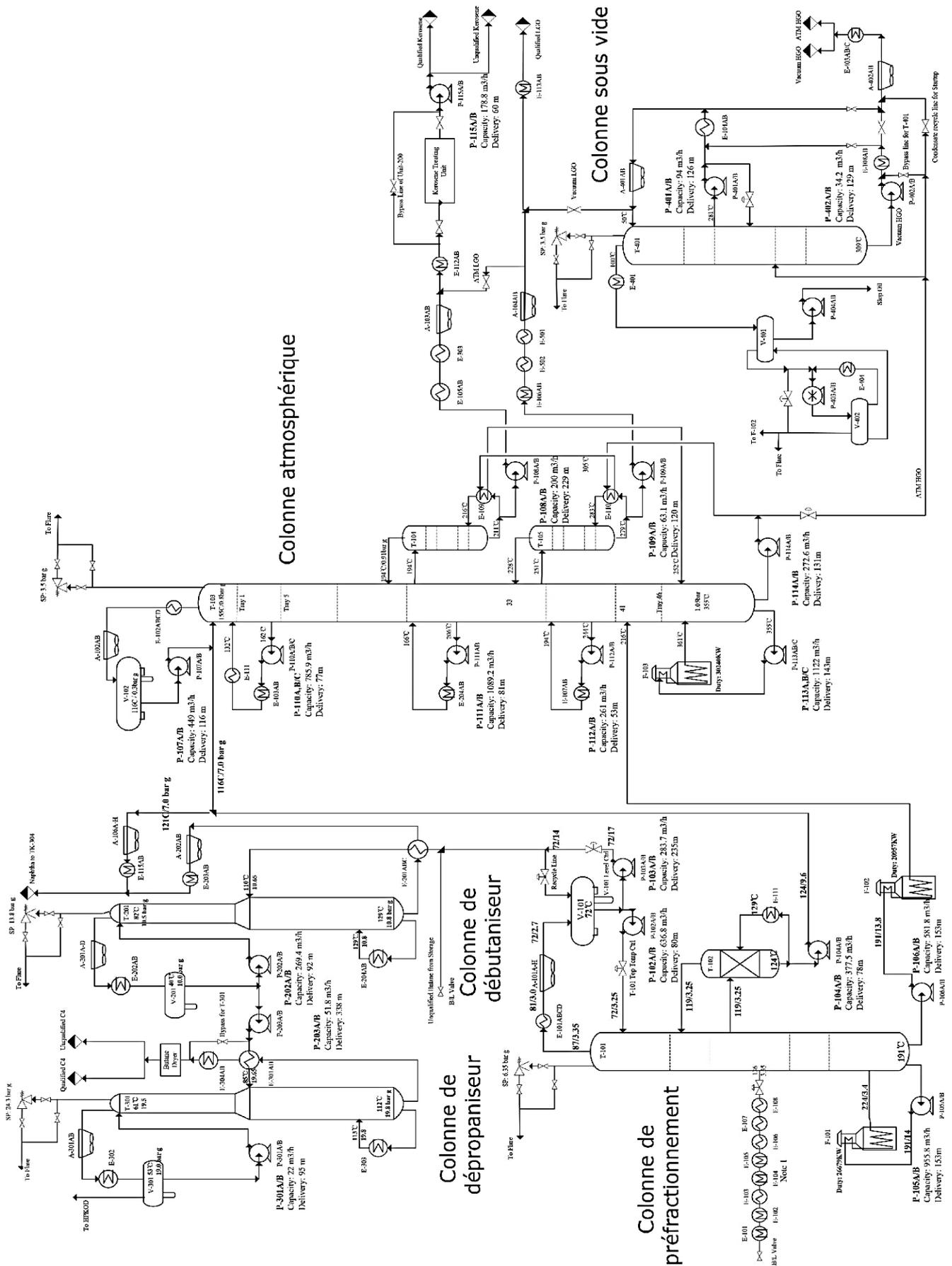


Figure 3 :Schéma de process de l'unité 100

1.3.2. Unité de traitement de kérosène (U200)

Cette unité de traitement de kérosène est destinée à la purification du kérosène produit par la colonne de distillation atmosphérique T-103. Sa mise en service dépendra des caractéristiques du kérosène (l'acidité qui doit être inférieure à 0,0015mg KOH /g). Elle ne peut être démarrée qu'après la mise en service d'unité 100 au cas où le kérosène nécessiterait des traitements.

Cette unité fonctionne comme suit :

- traitement de Kérosène.
- traitement de résidus caustique.
- préparation et stockage.

Le traitement du kérosène se fait comme suit :

- Mélange avec de la soude caustique,
- Elimination des acides naphthéniques (précipitation par électro finage)
- Elimination de l'eau et des impuretés à l'aide de filtres et de coalesceurs,
- Elimination des impuretés et des particules à l'aide de filtres et d'argile.

Après traitement, le Jet A1 est acheminé au stockage sur site. Sur l'aire de l'unité de traitement du kérosène, il y a un stockage de la soude caustique et d'acide sulfurique. (voir figure4)

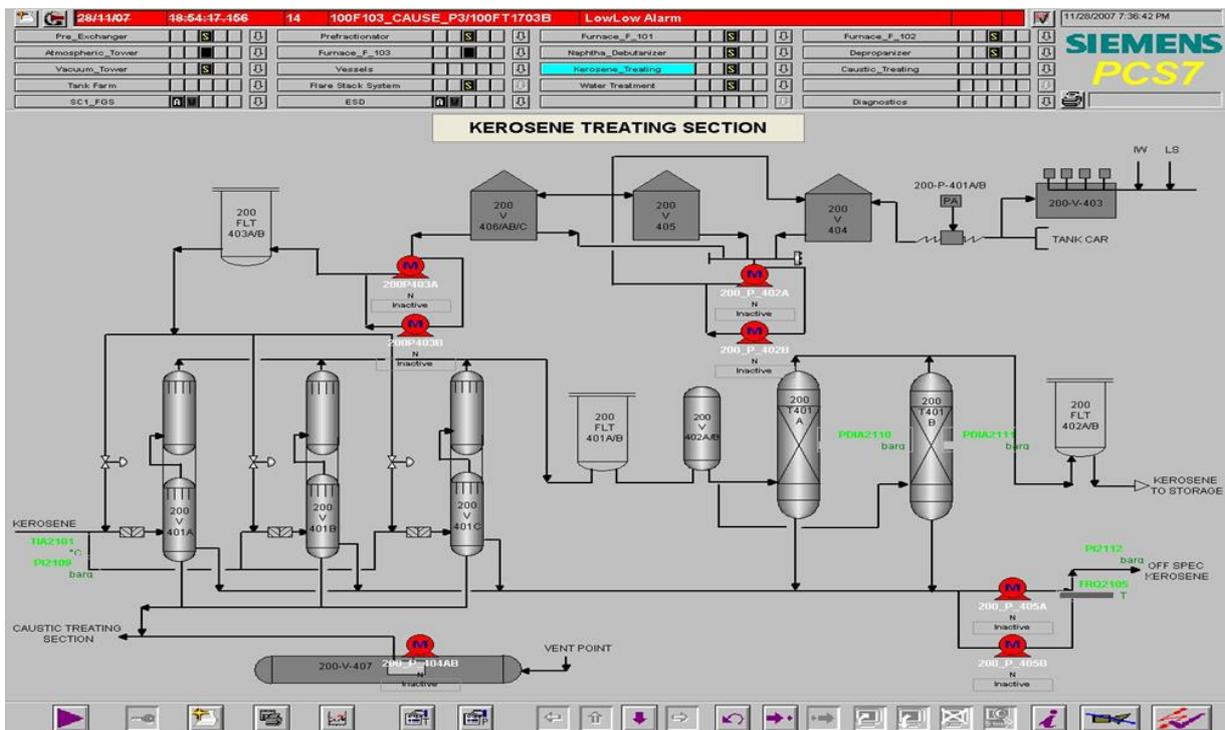


Figure 4 :Plan général de l'unité 200 de traitement de kérosène

1.3.3. Stockage et transfert (U300)

L'unité 300 assure la réception, le stockage et l'alimentation en condensat pour l'unité de production, ainsi que la réception, le stockage et le transfert de tous les produits finis. Ces produits finis seront transférés vers des installations de stockage correspondantes au niveau de la Raffinerie RA1K. La figure 5 présente la capacité de stockage de chaque produit.

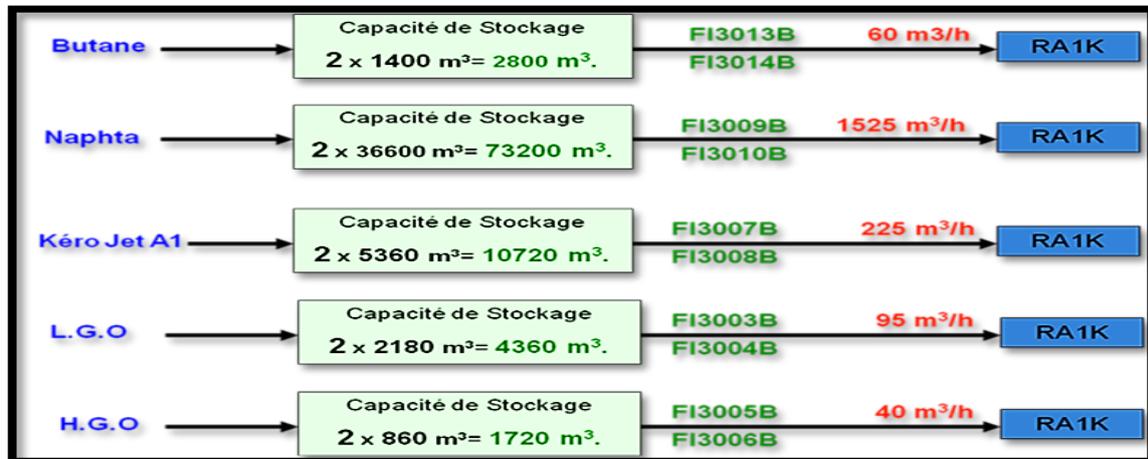


Figure 5 : Stockage et transfert des produits du complexe RA2k

La capacité totale de stockage condensat permet une autonomie de fonctionnement de trois jours. Pour les produits cette autonomie est de quatre jours.

1.3.4. Système torche (Unité 400)

Ce système permet de récupérer les gaz provenant des événements de l'unité Topping, ainsi que des sphères de stockage de butane et de les brûler dans la torche. L'installation est composée :

- D'un séparateur (400 V 001),
- De pompes de condensat (400 P 001/002),
- La garde hydraulique (400 V 002),
- Le système d'allumage,
- La torche elle-même avec le brûleur et les pilotes.

1.3.5. Utilités (U500)

Ces installations se composent :

- Réception, stockage et distribution de l'eau industrielle,
- Traitement de l'eau potable,

- Réseau d'eau anti-incendie,
- Système d'eau de refroidissement,
- Système d'air,
- Réseau d'air combustible,
- Unité de traitement des eaux résiduaires,
- Sous stations pour la réception et la distribution de l'énergie électrique.

Chapitre 02

Description générale de la charge condensat

CHAPITRE 02 : Description générale de la charge condensat

2.1. Définition de condensat :

Les condensats représentent les coupes légères (essences) plus importantes par rapport à celle du brut en général, tout mélange d'hydrocarbures composé de C_5^+ et peut être considéré comme produit liquide obtenu par condensation à partir du gaz naturel.

C'est un produit volatil, léger, sa densité API est 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. [2]

2.2. Composition Chimique Du Condensat

Le condensat 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]

2.3. Familles chimiques d'hydrocarbures

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

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

2.3.2. Hydrocarbures cycliques saturés ou naphthènes

Ce sont des hydrocarbures saturés ; la formule générale est C_nH_{2n+2}

Dans le pétrole et dans le condensat, 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]

2.3.3. 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]

2.3.4. 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]

2.4. Composés hétéro-atomiques

2.4.1 Composés soufrés

Le soufre est l'hétéro élément le plus répandu dans le pétrole et le condensat.

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]

2.4.2 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]

2.4.3 Composées oxygénés

Le condensat 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]

2.4.4 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]

2.5 Origine de condensat

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]

2.5.1 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 condensats.

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/m³ permet annuellement l'extraction de près de 15 .10⁶ tonnes de GPL. [2]

2.5.2 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]

2.6 Production du condensat :

Les principaux champs de production qui alimentent la raffinerie de Condensat de Skikda sont :

- Alrar (795667 TM) ;
- Stockage intermédiaire Ohanet TRC
- Ohanet BHP (762838 TM)

- Tiguentourine (972317 TM)
- TFTgroupement (762881 TM)
- Rhourd Ennous (999353 TM)
- Hamra (636406 TM)

Leurs productions convergent vers la station de pompage de HEH (Haoud El Hamra) qui alimente les terminaux de Bejaia et de Skikda.

L'évolution des exportations algériennes de condensat est comme suit :

- 1970 le condensat était injecté dans le brut
- 1971 la première l'exportation était de l'ordre de 17.1 millions de tonnes par an.
- 1999, la production de condensat atteint 17.3 millions de tonnes.
- 2000, la production de condensat atteint 17.7 millions de tonnes. [2]

2.7 Les propriétés physico-chimiques du condensat et ses fractions :

Voici le tableau 2 qui résume les caractéristiques physico-chimique du condensât algérien .

Tableau 2: Résultats des caractérisation physico-chimique du condensât algérien selon leurs normes spécifiées [2]

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 ²	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

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 Pb V	0.0 0.0 0.0	Analyse spectromètre
Teneur en carbone (PNA) : °/° C _N °/° C _P °/° C _A	10.86 20.47 68.67	P.Wuithier

2.8. La qualité de condensât Algérien

Le condensât 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 $\cong 0,720$), 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 condensât, il constitue pour le raffineur un mélange d'excellente qualité et n'exige aucun prétraitement particulier. Un traitement classique de séparation par distillation permet l'obtention des : GPL, des essences, naphtha, kérosène, gasoil et fuel, de très bonnes qualités. Il peut être utilisé comme charge directe de vapocraquage, dont

53,9% du condensât algérien est utilisé pour le vapocraquage. Il peut être aussi mélangé aux bruts pour améliorer son rendement en naphta.

Le condensât 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 condensât algérien se distingue en deux qualité :

- Le condensât 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 condensât de Bejaia (AR720) provenant d'Alrar, Rhourde Nousse et Hamra, est un condensât coloré (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 condensât est moins apprécié par les pétrochimistes.
- [2]

Les paramètres physico-chimiques du condensât algérien avec ses deux qualités sont mentionnés dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Les paramètres physico-chimiques du condensat algérien d'Arzew et Bejaia[2]

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
n-paraffine % wt	42,7	32,5

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 Bejaia.

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]

2.9 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]

2.9.1. 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 à deux utilisations : soit alléger un pétrole brut lourd, soit reconstitué un pétrole brut.

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

Dans le 2^{ème} 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]

2.9.2 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 1^{ère} 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]

2.9.3 Utilisation comme fuel

Le condensat , 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 RA2K 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,

Le chapitre suivant présente des généralités sur le transfert thermique et la technologie des aéroréfrigérants

Chapitre 03

Transfert thermique et technologie des Aéroréfrigérants

Chapitre 03 : Transfert thermique et technologie des Aéroréfrigérants

3-1 Introduction :

Les procédés des industries pétrolières et gazières, pétrochimiques ou chimiques nécessitent souvent un chauffage ou un refroidissement du fluide à traiter, avec ou sans changement de phase lors des différentes opérations. La chaleur utilisée représente une quantité considérable de dissipation d'énergie dont il faut récupérer la plus grande quantité possible en permettant par exemple au liquide chaud de transmettre sa chaleur au liquide froid. [1]

Les appareils utilisés en dehors des fours et des chaudières sont appelés "échangeurs de chaleur". Bien qu'il n'existe pas de réelle norme concernant le vocabulaire à utiliser, la terminologie utilisée renseigne souvent sur les fonctionnalités de l'appareil. N'a pas la prétention de lever toute ambiguïté ni de fournir une liste complète des différents termes utilisés aussi bien en français qu'en anglais, des classements peuvent être établis par fonction Echangeur, Refroidisseur Sec, Condenseur frigorifique, etc. [1]

Depuis de nombreuses années, les échangeurs de chaleur sont utilisés dans les industries, ils ont une large gamme d'applications. A titre indicatif, 30% des équipements des unités pétrochimiques comportent des échangeurs de chaleur. Dans l'industrie pétrolière, un échangeur de chaleur est un composant essentiel, notamment pour le traitement du pétrole brut ou la distillation atmosphérique, qui est l'unité de base d'une raffinerie. L'entartrage ou l'encrassement dans les échangeurs de chaleur est un sujet brûlant car les principaux problèmes rencontrés par les échangeurs de chaleur sont liés à l'encrassement. [1]

3.2-Les modes de transfert de chaleur :

La chaleur est un transfert d'énergie qui est dit désordonné alors que la température caractérise l'état d'un corps et peut être mesurée en °C ou en K.

L'énergie thermique est l'énergie cinétique d'agitation microscopique d'un objet, qui est due à une agitation désordonnée de ses molécules et de ses atomes. Les transferts d'énergie thermique entre corps sont appelés transferts thermiques. Ils jouent un rôle essentiel en thermodynamique. Deux corps ayant la même température sont dits en équilibre thermique. Si leur température est différente, le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid : il y a alors transfert de chaleur. [7]

Le transfert thermique est un aspect essentiel de l'échange d'énergie en ingénierie. En général, il existe trois modes de base de transfert de chaleur reconnus : [7]

- Le transfert thermique par conduction
- Le transfert thermique par convection
- Le transfert thermique par rayonnement

3.2.1- Transfert thermique par conduction :

La conduction correspond au transfert de chaleur direct entre des matières en contact. La conduction thermique est un terme spécifique aux solides. C'est un transfert thermique direct au sein d'un milieu matériel (par propagation de proche en proche) . [1]

Toute matière est composée d'atomes (qui font éventuellement partie de molécules) et ces atomes ne sont jamais totalement fixes : ils vibrent et ces vibrations peuvent se transmettre de proche en proche aux atomes voisins et c'est ce phénomène qui correspond à un transfert de chaleur par conduction. [1]

La chaleur est ainsi transmise des particules les plus agitées (celles qui ont donc la température la plus élevée) vers les particules les moins agitées (celles qui ont la température la plus faible).

La conduction se définit par une transmission de chaleur de proche en proche dans un matériau comme le métal. En effet, les métaux sont de bons conducteurs de chaleur.

C'est à Fourier (en 1822) qu'on doit la théorie de la conduction de la chaleur. La loi qui porte son nom se traduit par : [7]

$$\Phi = - \lambda \cdot \text{grad}^{\vec{r}}(T)$$

Où :

- Φ : Densité de flux de chaleur (en W/m²) ;
- λ : Conductivité thermique du milieu (en W / m .C) ;
- T : Température (en °C).

3.2.2-Transfert thermique par convection

Il s'agit d'un transfert de chaleur qui s'effectue grâce à un mouvement de matière dans un milieu liquide ou gazeux). Ce mouvement permet l'échange de chaleur entre le fluide et une paroi et facilite la diffusion de la chaleur au sein de l'ensemble du fluide grâce à l'agitation produite. Dans ce mode de transmission de chaleur, le fluide se comporte comme un véhicule de la chaleur. [7]

- **La convection est dite naturelle ou libre** : lorsque le mouvement du fluide est créé par les différences de masse volumique existant au sein du fluide du fait des différences de températures.
- **la convection est dite forcée** : lorsque le mouvement est communiqué par une machine – agitateur, pompe, compresseur ou ventilateur (voir figure6)

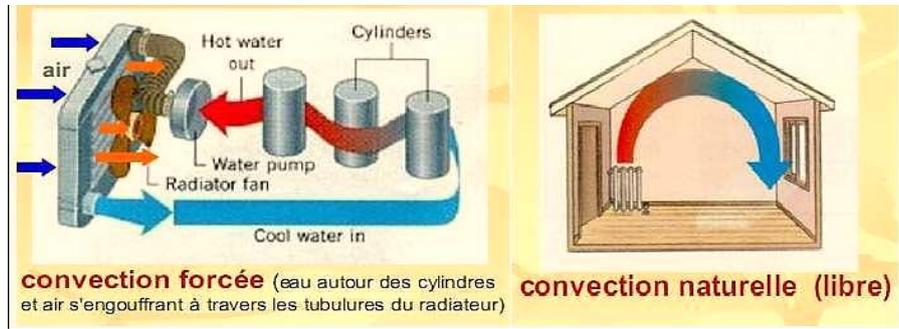


Figure 6 :Convection forcée et convection naturelle

Le flux de chaleur transmis par convection entre une paroi et un fluide est donné par **la loi de Newton (deuxième loi)** :

$$\Phi = h. S. (T_p - T_f)$$

Où :

- Φ : Flux de chaleur échangé par convection (en W) ;
- h : coefficient d'échange thermique par convection (en W/m². °C) ou en (kcal/h.m². °C) ;
- S : aire de la surface d'échange paroi/fluide en (m²) ;
- T_p, T_f : Température de la paroi et température du fluide respectivement (en °C).

3.2.3 Transfert de chaleur de rayonnement :

Le transfert de chaleur par rayonnement correspond au transport d'énergie thermique sous forme d'ondes électromagnétiques similaires à celle de la lumière. En effet, tous les corps même placés dans le vide, émettent de l'énergie thermique sous forme de rayonnement qui se transmet sans support. Cette émission est d'autant plus importante que la température de corps émetteur. Cependant, elle n'est perceptible qu'entre 700 et 800° C. Dans le cas du soleil, à une température de surface de 6000° C, l'émission thermique est particulièrement importante. En même temps, tout autre objet placé sur le trajet de ce rayonnement en absorbera une partie, et sera ainsi un récepteur de chaleur. Dans la pratique des procédés industriels, la mise en œuvre d'échangeurs de chaleur fait appel simultanément à différents modes de transfert de chaleur. C'est notamment

le cas des fours tubulaires comme le montrent les exemples ci-dessous. Dans le cas d'un tube situé dans la zone de rayonnement, trois modes de transfert de chaleur sont combinés et sont illustrés dans figure 7. [7]

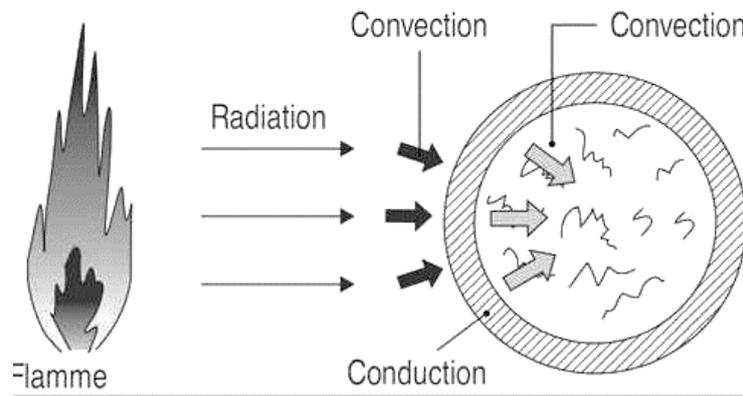


Figure 7 : Les modes de transmission de chaleur au niveau de la zone de radiation d'un four tubulaire

Pour un tube situé en zone de convection et qui ne voit pas la flamme, on rencontre les modes de transmission de chaleur suivants :

Dans les échangeurs de chaleur par surface, conçu pour permettre un échange entre deux fluides séparés par une paroi, le processus de transmission fait appel simultanément à la convection et à la conduction. [7]

3.3 Généralités sur les échangeurs de chaleur

3.3.1 Définition des échangeurs de chaleur

Un échangeur de chaleur est un dispositif conçu pour transférer la chaleur d'un fluide à un autre, les fluides sont séparés par une paroi formant ainsi une résistance de conduction thermique, le transfert de chaleur entre le liquide et la paroi est essentiellement de la convection.

Dans certains échangeurs, le transfert de chaleur s'accompagne d'un changement de phase d'un des deux fluides : condenseur, évaporateur, tour de refroidissement...etc. [1]

3.3.2 Nomenclature et les fonctions des Échangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleur peuvent assurer des fonctions différentes, relativement aux objectifs concernant l'un des fluides ou les deux fluides participant à l'échange. [7]

3.3.2.1 Fonction de refroidissement

- **Refroidisseur** : Refroidit le liquide ou le gaz en faisant circuler un fluide auxiliaire (qui peut être un fluide de procédé ou de l'eau).

- **Aeroréfrigérants (refroidisseurs d'air) :** utilisent l'air comme fluide caloporteur.
- **Trimcoolers (refroidisseurs finaux) :** Refroidir le produit au niveau souhaité.
- **Les chiller :** Refroidit le fluide de procédé par évaporation de réfrigérant ou eau réfrigérée. [1]

3.3.2.2 Fonction réchauffage :

- **Réchauffeur :** réchauffe le fluide de procédé avec de la vapeur ou un autre fluide de procédé chaud.
- **Préchauffeur :** préchauffe le fluide de traitement, généralement poursuivi dans les fours en aval.
- **Économiseur :** Serpentins désignés qui permettent le préchauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière par les fumées.
- **Surchauffeur :** Amène la température du gaz ou de la vapeur au-dessus de sa température de condensation. [1]

3.3.2.3 La fonction condensation :

- **Condenseur :** Assure la condensation totale ou partielle de la vapeur au moyen d'une circulation d'eau ou d'un fluide de procédé suffisamment froid.
- **Sous-refroidisseur (subcoolers):** assure en même temps la condensation de la vapeur et le refroidissement de l'eau de condensation se fait le plus souvent par circulation d'eau. [1]

3.3.2.4 La fonction vaporisation :

- **Vaporisateur :** Garantissant que tout ou partie du liquide de procédé est vaporisé, l'apport de chaleur est une partie de la vapeur d'eau ou d'un fluide de procédé chaud qui peut être à l'état condensé.
- **Chaudières et rebouilleurs :** Vaporiser une partie des fonds de colonne de distillation et les renvoyer au fractionnement.
- **Générateur de vapeur :** la vapeur est produite en brûlant du gaz ou du liquide résiduel.
- **Évaporateurs :** Concentrent les solutions aqueuses par évaporation ; cependant, ils peuvent également désigner des évaporateurs ou des refroidisseurs. [1]

3.4. Les modes de circulation

La circulation des fluides de chaque côté de la paroi constituant la surface d'échange correspond à différents modes de base : [3]

3.4.1. Circulation à co-courant

Il s'agit d'échangeur dit à co-courants où la température de sortie de fluide froid ne peut pas être supérieure à la température de sortie du fluide chaud. Les températures des fluides évoluent pendant leur traversée longitudinale de l'échangeur, à moins que l'un des fluides ne subisse un changement de phase. [3]

La figure (8) donne l'évolution qualitative de ces températures le long d'un échangeur tubulaire à co-courant très simple, la longueur de l'échangeur a été portée en abscisse, les températures sont repérées à l'aide d'indices (e) signifiant entrée et (s) sortie, 1 désignant le fluide chaud et 2 le fluide froid. [3]

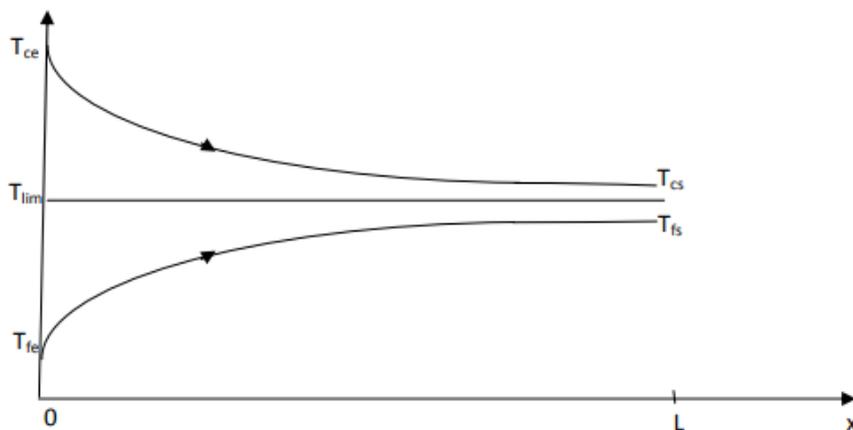


Figure 8 : Evolution des températures dans un échangeur tubulaire fonctionnement co-courant

3.4.2. Circulation à contre-courant :

Ce sont des échangeurs à contre-courant, où la température du fluide froid peut dépasser la température de sortie du fluide chaud. Cette disposition est l'une des plus favorables pour les échangeurs de chaleur. L'avantage d'un échangeur à contre-courant par rapport à un échangeur à co-courant est que pour un même flux thermique, il faut une surface d'échange plus petite. [3] (Voir figure 9).

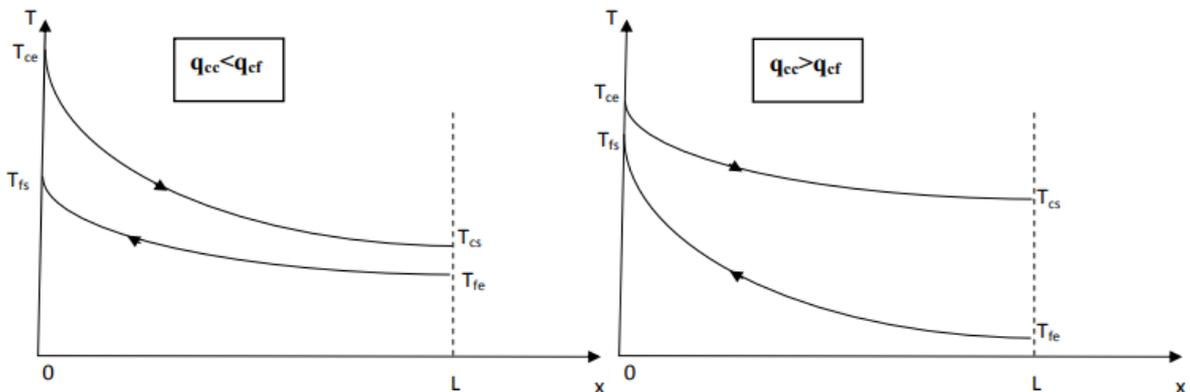


Figure 9 : Evolution qualitative des températures dans un échangeur tubulaire ou à plaque à contre –courant

Si

- $q_{cc} < q_{cf}$: on dit que le fluide chaud commande le transfert.
- Si $q_{cc} > q_{cf}$: on dit que le fluide froid commande le transfert.

Dans un fonctionnement à contre courant, il est possible d'obtenir $T_{fs} > T_{cs}$.

3.4.3 Circulation à courant croisés

Les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un à l'autre figure (10), le fluide non brassé est canalisé : c'est celui dont la veine est divisée entre plusieurs canaux parallèle distincts et de faible section. L'autre fluide circule librement entre les veines et peut être considéré comme partiellement brassé du fait des tourbillons générés par les tubes. Le brassage a pour effet d'homogénéiser les températures dans les sections droites de la veine fluide. Sans cela, les températures varient non seulement avec la direction de l'écoulement, mais aussi dans la section de veine. Une représentation schématique d'échangeur à courant croisés est donnée par la figure(10). [3]

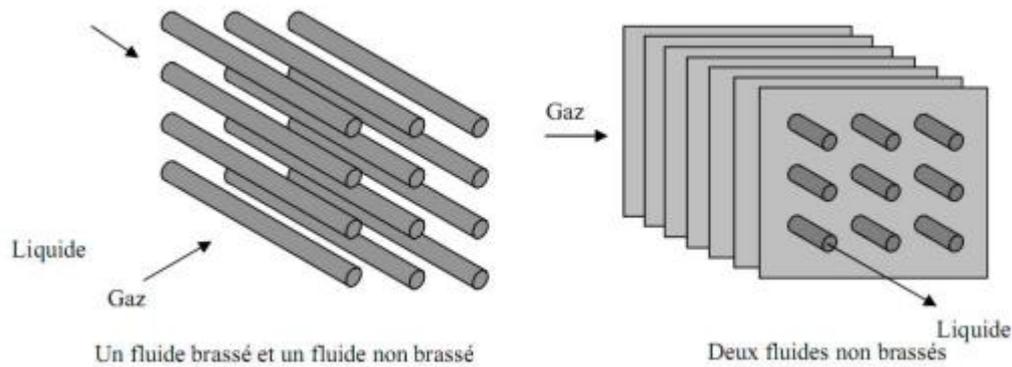


Figure 10 :Exemple d'échangeurs à courant croisés

3.5. Critères de classement des échangeurs

Il existe plusieurs critères pour classer les différents types d'échangeurs de chaleur, les principaux sont : [1]

3.5.1 Classement technique

Les principaux types de commutateurs sont :

- Avec tube : Monotube, coaxial ou multitube.
- Plaque : Surface primaire ou secondaire.
- Autres types : contact direct ou lit fluidisé.

3.5.2 Classification par type de transfert de chaleur

La plupart des applications (combusteur, récupération des fumées, etc.) combinent trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement), souvent avec un mode de transfert de chaleur majeur. La conduction se produit dans les échangeurs de chaleur qui pénètrent dans le mur. [1]

3.5.3 Classification par méthode de transfert de chaleur

Le fonctionnement en tant que réchauffeur ou dispositif de récupération de chaleur est défini comme suit :

- Sans stockage, c'est-à-dire dans un récupérateur, il y a deux ou n passages, se déplaçant généralement en flux continu
- Transfert en utilisant le stockage. C'est-à-dire un transfert sur un régénérateur utilisant une voie unique et un flux discontinu, où la matrice de stockage est statique ou dynamique. [1]

3.5.4. Classification fonctionnelle

Le passage du fluide à travers l'échangeur peut se faire avec ou sans changement de phase, selon les cas, on dit qu'on a un écoulement monophasique ou un écoulement diphasique.

On a alors les différentes situations suivantes :

- Les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- Un seul fluide à écoulement à changement de phase, tel qu'un évaporateur ou un condenseur.
- Deux fluides à écoulement à changement de phase, boîtier condenseur évaporatif. [1]

3.5.5. Classification par compacité de l'échangeur de chaleur

La densité est définie par le rapport de la surface d'échange au volume de l'échangeur.

3.5.6 Classification par propriétés matérielles des parois d'échange

Il existe deux types de murs :

- Echangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires.
- Échangeurs de chaleur non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

3.6. Les aéroréfrigérants

Le cycle thermique d'une unité consiste à chauffer les aliments à haute température puis à refroidir le produit obtenu à une température suffisamment basse pour les envoyer dans des cuves de stockage.

3.6.1. Définition des aéroréfrigérants

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)

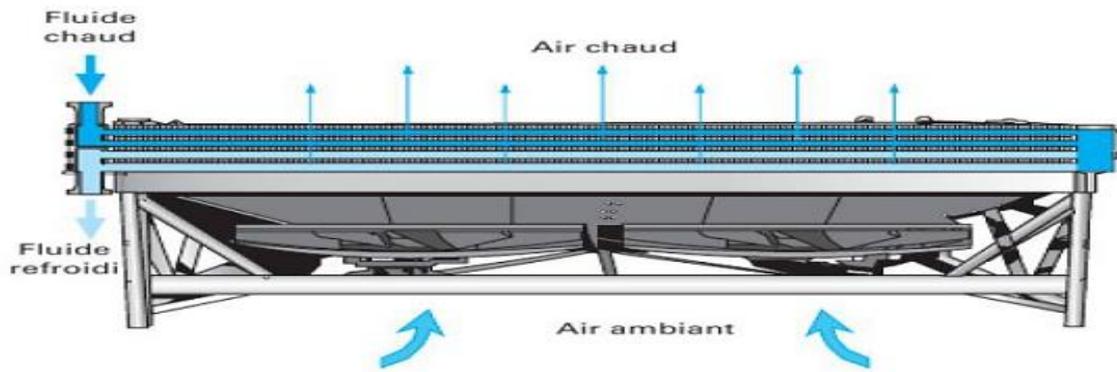


Figure 11 : Vue générale d'un aérateur

3.6.2. Champ d'application des aérateurs :

- Industries pétrochimiques
- 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

3.6.3. Technologies des aérateurs

Les aérateurs sont constitués de faisceaux tubulaires, de systèmes de ventilation d'air, de chambres de distribution d'air entre ventilateurs et faisceaux et de structures. Les faisceaux peuvent être horizontaux, verticaux ou inclinés. Les différents types sont illustrés dans la figure 12. [3]

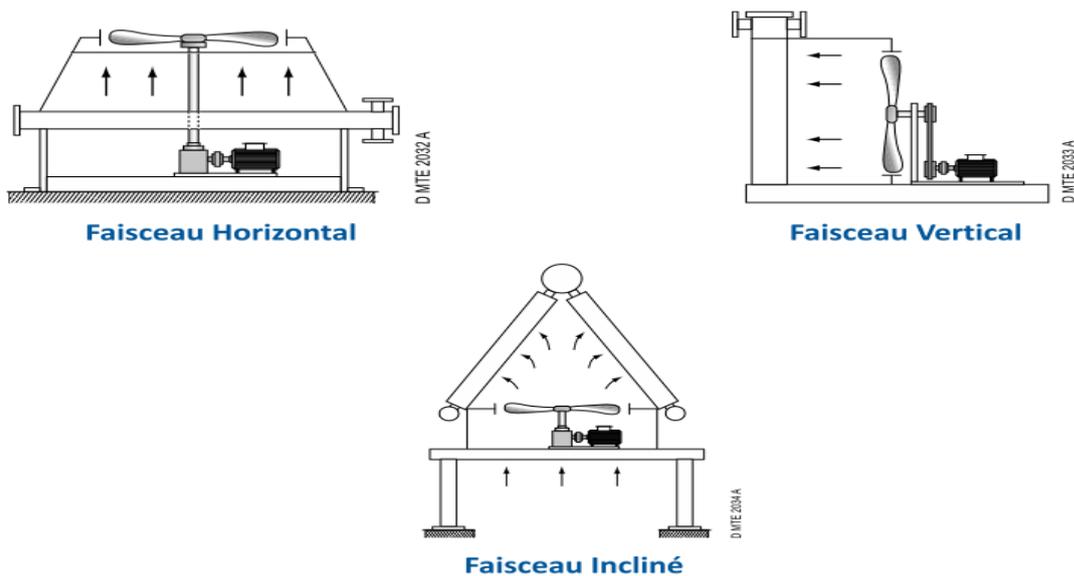


Figure 12 :Différents types des aéroréfrigérants

La norme API 661 de l'American Petroleum Institute définit les exigences relatives aux matériaux utilisés et les règles de recherche pour la fabrication, l'inspection et les tests d'utilisation des refroidisseurs d'air dans l'industrie pétrolière. En général, les jets de refroidisseur d'air de produits pétroliers sont horizontaux. Ils sont appelés transport d'oxygène lorsque le ventilateur est placé sur le jet d'incontinence. Ils sont appelés oxygène restreint lorsque le ventilateur est placé sous le jet d'incontinence. [1]

3.6.4. Classification des aéroréfrigérants

On distingue deux grandes classes d'aéroréfrigérants :

- Les aéroréfrigérants à convection naturelle
- Les aéroréfrigérants à convection forcée

3.6.4.1. Aéroréfrigérants à convection naturelle

Ce sont des échangeurs à tirage induit, l'air circule dans une tour grâce aux différences de densités dues aux différences de températures entre l'intérieur de la tour et l'extérieur. Les tours peuvent avoir des hauteurs de 150 mètres.

La vitesse de l'air peut dans certains cas être aussi élevée que dans les systèmes utilisant des ventilateurs. D'une manière générale, lorsque les puissances à extraire sont très grandes, l'énergie dépensée dans les ventilateurs devient importante, l'utilisation de ce type d'aéro-réfrigérants se justifie. Les centrales thermiques et nucléaires utilisent les aéro-réfrigérants à convection naturelle. [1]

3.6.4.2. Aéroréfrigérants utilisant un ventilateur.

On peut les classer selon le mode d'écoulement de l'air par rapport au ventilateur et selon la position du faisceau .

L'air de refroidissement peut être soit forcé à travers le faisceau (*tirage forcé*), soit tiré à travers celui-ci (*tirage induit*). [1]

Dans l'industrie pétrolière, on rencontre le plus souvent des aéroréfrigérants de types horizontaux à tirage forcé ou induit. L'industrie chimique utilise les deux types précédents, on trouve aussi de même des aéroréfrigérants de type incliné. L'industrie du conditionnement de l'air et du froid utilise tous les types cités. [1]

3.6.4.3 Le tirage forcé

Pour la plupart des aéroréfrigérant de produit pétroliers les faisceaux sont horizontaux. Ils sont dits à air forcé ou improprement à tirage forcé lorsque les ventilateurs sont situés au-dessous des faisceaux. [1] (Voir figure 13)

L'aéroréfrigérants à tirage forcé permet un accès facile aux ventilateurs pour l'entretien et aux faisceaux ainsi la possibilité d'intervention sur un ventilateur sans arrêt. En outre sa puissance est consommée plus faible et sa maintenance est plus facile. [1]

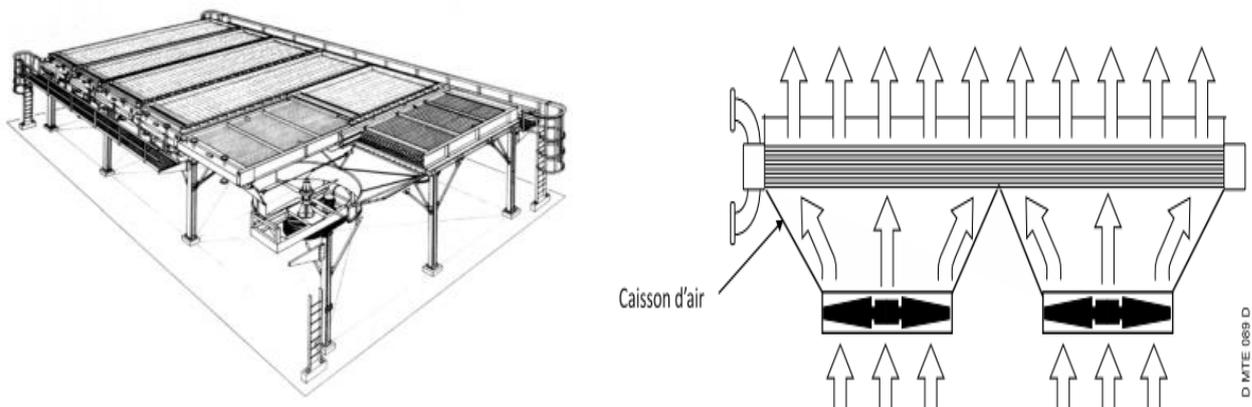


Figure 13 : Aérirefrigérant à tirage forcé

3.6.4.5. Le tirage induit

Pour la plupart des aéroréfrigérants de produits pétroliers, les faisceaux sont horizontaux. Ils sont dits à air induit ou improprement à tirage induit lorsque les ventilateurs sont placés au-dessus des faisceaux. [1] (Voir figure 14).

L'unité de tirage induite donne un refroidissement régulier et durable grâce à la protection de la surface des ailettes contre le vent, la pluie et la neige par le caisson de distribution. Le

tirage induit assure également une meilleure distribution d'air, moins de recyclage d'air chaud, moins d'encrassement et abaisse des niveaux sonores. [1]

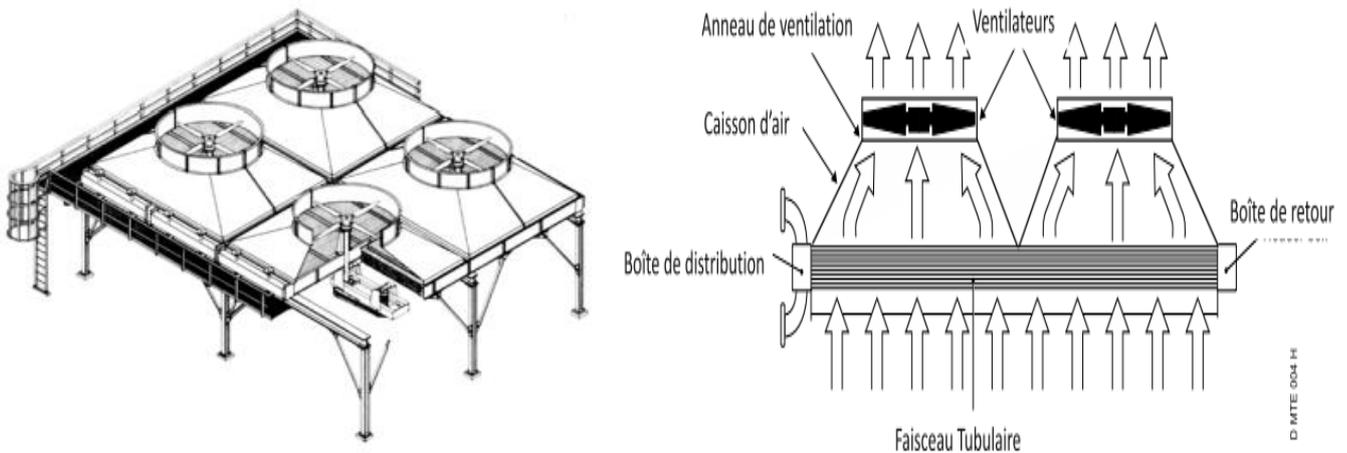


Figure 14 : Aéroréfrigérant à tirage induit

Lorsque deux aéroréfrigérants fournissent le même débit de volume d'air, le meilleur refroidissement et le meilleur débit massique sont obtenus par aéroréfrigérants à tirage forcé.

Pour obtenir la même efficacité que le tirage forcé, le tirage induit doit fournir plus de puissance.

Malgré cet inconvénient, le tirage induit est préféré pour les avantages suivants qu'il procure :

- Une distribution de l'air mieux répartie.
- Le niveau de bruit au sol est plus faible qu'en configuration forcée.
- La position de la hotte et du ventilateur assure une bonne protection du faisceau contre les conditions climatiques (Pluies, rayonnement).
- L'Effet cheminée est favorable à l'air induit.
- La vitesse de sortie de l'air chaud est 2 à 2.5 fois plus grande qu'en air forcé, ce qui réduit les risques de recirculation de l'air, notamment en cas de vents latéraux.
- Une protection de la surface d'échange thermique contre certains dommages climatiques extrêmes tels que:

Verglas, grêle, grosses précipitations, neige et rayonnement solaire. [1]

La ventilation en tirage induit présente aussi des inconvénients par rapport au tirage forcé:

- Pour un même débit massique d'air en circulation, la puissance du ventilateur en tirage induit est plus grande.
- Les ventilateurs et même les moto-ventilateurs reçoivent l'air chaud tiré dont la température ne doit pas être excessive, 70°C pour des pâles en plastique, et 100°C pour de pâles en aluminium.

En conclusion, Le tirage induit présente de nombreux avantages sous l'angle des performances thermiques, mais le tirage forcé apporte une plus grande facilité pour la maintenance.

3.6.5. Système de régulation des aéro-réfrigérant :

Les aéro-réfrigérants sont des appareils de construction simple et peuvent fonctionner pendant de longues périodes sans incidents. La source principale de pannes est le moto-ventilateur parce qu'il constitue un système en mouvement. Ce sont les paliers, les courroies, les enroulements et boîtes à vitesses qui représentent les pannes les plus fréquentes. Ils sont constitués des éléments principaux suivants. [3] (voir figure15) :

- Faisceau tubulaire
- Manifold ou système de distribution du fluide chaud
- Des ventilateurs
- Boite de distribution de l'air
- Système de régulation
- Structure métallique de soutien

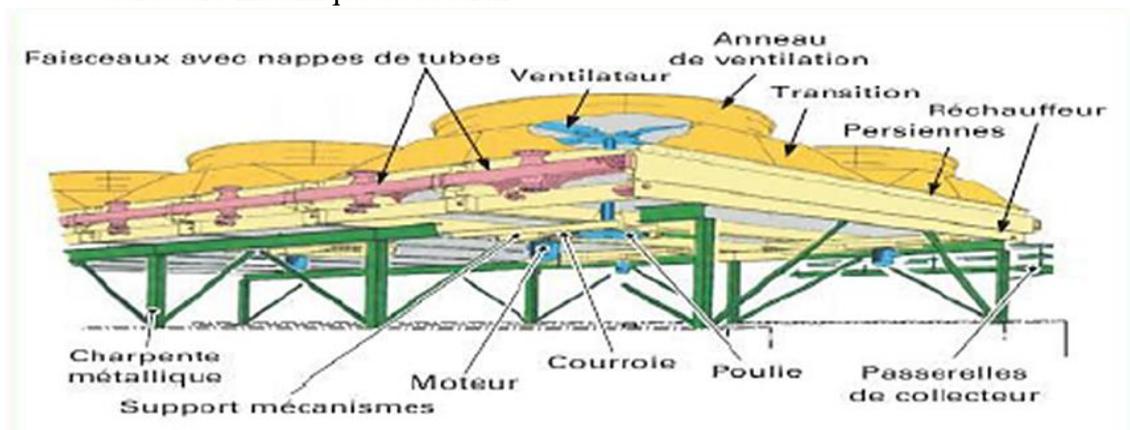


Figure 15 :Description d'un aéro-réfrigérant

Les éléments de contrôle des aéro-réfrigérants sont principalement :

- Ventilateur à pas auto variable
- Auvents
- Réchauffeur à vapeur
- Recirculation

3.6.6. Les faisceaux tubulaires :

Les faisceaux tubulaires des aéro-réfrigérants sont souvent réalisés en utilisant des tubes munis d'ailettes extérieures transversales droites. Il en existe de divers types. Les ailettes sont de formes circulaires, carrées rectangulaires ou hexagonales etc. Ce sont des éléments monoblocs (extrudés à même le tube), ou rapportés et montés forcés sur les tubes, soit en L, soit en hélice, soit soudés ou encastrés. Elles sont réalisées dans le même matériau que le tube ou en matériau différent. [3] (voir figure 16).



Figure 16: Vue du faisceau(Hudson Products corporation sugar land, Texas, USA)

A. Nombre de tubes d'un faisceau :

Les faisceaux sont obtenus par assemblage de tubes à ailettes, de collecteurs, de supports de tubes pour éviter leur fléchissement et de longerons constituant le châssis et contribuant à la rigidité de l'ensemble.[3] (Voir figure 17).

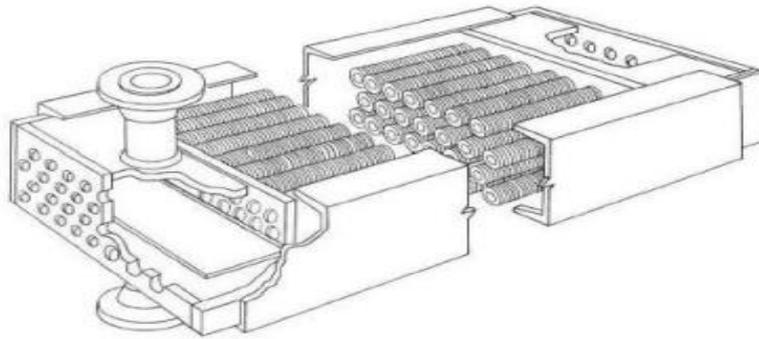


Figure 17 :Vue générale d'un faisceau tubulaire

B. Répartition des passes et des tubes par passe :

Le nombre de passe côté tubes et la répartition des tubes sur chacune des passes permettent d'ajuster les vitesses d'écoulement du fluide à refroidir ou à condenser. La répartition des passes et des tubes par passe est réalisée par des cloisons de séparation dans les boîtes ou collecteurs. On peut soit prévoir un nombre de rangées égal ou différent sur chacune des passes. [1]

C. Organisation de la circulation :

Pour une meilleure efficacité la circulation à courants croisés doit être à contre-courant d'ensemble (l'entrée du produit à réfrigérer ou à condenser est aménagée du côté de la sortie de l'air). [1] Voir figure 18.

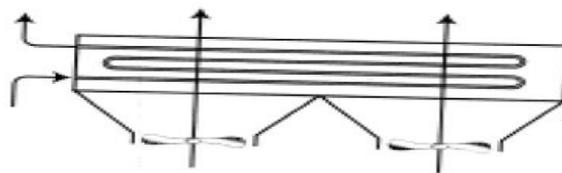


Figure 18 :L'organisation à contre -courant

L'organisation à co-courant d'ensemble est moins performante du point de vue de l'échange thermique mais peut néanmoins présenter un intérêt en cas de risque de gel, car la température de la paroi des tubes, intermédiaire entre la température de l'air et la température du produit, est plus élevée qu'à contre-courant d'ensemble et de ce fait présente moins de risques. [1] Voir figure 19[1].

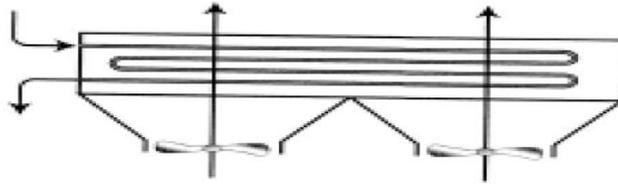


Figure 19 : L'organisation à co -courant

D. Tubes à ailettes

Les faisceaux tubulaires des aéroréfrigérants sont généralement constitués de tubes ailettes. Les tubes de base sont choisis parmi les tubes d'échangeurs. Les ailettes sont généralement en aluminium. Elles sont circulaires et sont enroulées en hélice sur le tube de base. [1]

La mise en place d'ailettes apporte une surface d'échange complémentaire intéressante côté air. Toutefois, les ailettes constituent une résistance à la conduction minorant l'effet de surface. L'effet global est mesuré par l'efficacité de l'ailette. Cette efficacité est fonction de la géométrie et du matériau la constituant. [1]

Différents modes de fabrication sont utilisés pour réaliser des ailettes adaptées aux conditions de service :

- **Ailette type L :**

La forme de L est obtenue par enroulement d'une feuille d'aluminium dont une partie constitue le pied de l'ailette plaqué sur le tube. La qualité du contact ailette-tube n'est pas très bonne. La température maximum d'utilisation est 120 C.[1] . Voir figure 20

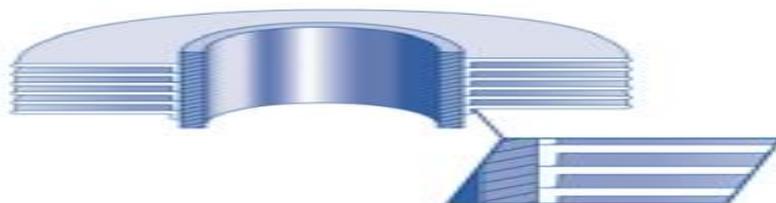


Figure 20 :Ailette type L

- **Ailette type L avec moletage :**

La technique de fabrication est similaire à celle du type L, un moletage du pied de l'ailette est réalisé simultanément à l'enroulement et améliore le contact ailette-tube. La température maximale d'utilisation est dans la fourchette de 175-250°C.

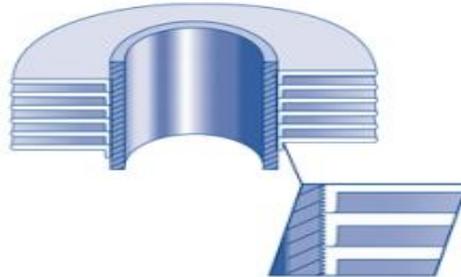


Figure 21 : Ailette type L avec moletage

- **Ailette encastrée type G :**

L'ailette d'aluminium est encastrée dans une rainure hélicoïdale gravée sur le tube de base. L'encastrement assure un contact ailette-tube de qualité. La température maximum d'utilisation est de 400°C. Voir figure 22.

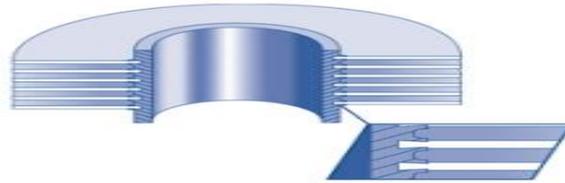


Figure 22 : Ailette encastrée type G

- **Ailette extrudée sur tube bimétallique :**

Les ailettes sont obtenues par extrusion d'un tube en aluminium sur le tube de base. La température maximale d'utilisation se situe vers 250 à 300°C [1] . Voir figure 23.

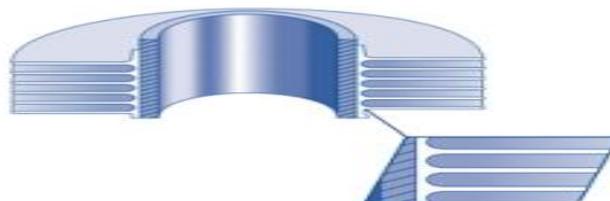


Figure 23 : Ailette extrudée sur tube bimétallique

3.6.7. Les boîtes de distributions ou collecteurs :

Les boîtes ou collecteurs permettent d'introduire et de répartir le fluide chaud à l'intérieur des tubes et de récupérer le fluide réfrigéré ou condensé à la sortie. Sauf pour les collecteurs cylindriques, les boîtes comprennent chacune une plaque tubulaire dans laquelle sont fixées les extrémités des tubes par dudgeon nage ou par soudage. La répartition du fluide en une ou plusieurs passes est assurée par des plaques de séparation soudées. Les tubulures d'entrée et de sortie du fluide sont soudées sur les boîtes ou collecteurs[1] . Voir figure 24.

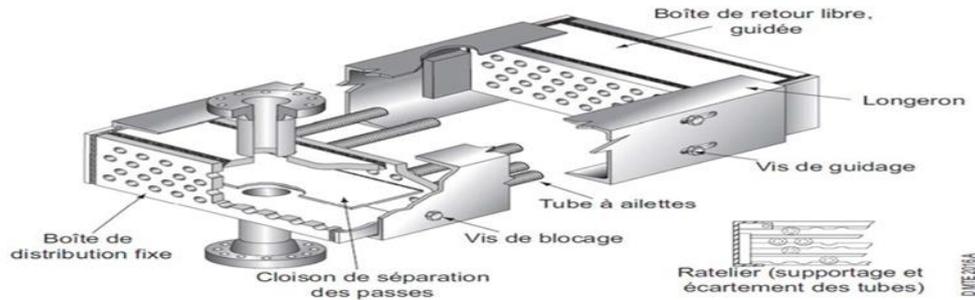


Figure 24 : Vue générale pour boîtes de distribution et collecteur

Différents types de boîtes ou collecteurs peuvent être adaptés aux conditions de service et impératifs de maintenance.

Ils relient les tubes entre eux et sont soit :

- ❖ A bouchons dévissables (boite moulée ou mécano-soudé).
- ❖ Avec couvercle démontable permettant l'accès aux tubes pour des fluides encrassant
- ❖ Collecteurs spéciaux pour haute pression (manifold). [1]

- **Boîtes ou collecteurs à bouchons**

C'est le type le plus utilisé et son coût est modéré. Il consiste en une boîte parallélépipédique soudée munie d'une ou plusieurs tubulures.

Le distributeur type bouchon est utilisé pour des pressions jusqu'à 350 bars. Ce système permet pour chaque tube sa dilatation, le nettoyage mécanique, et le branchement en cas de fuite. [3] Voir figure 25.

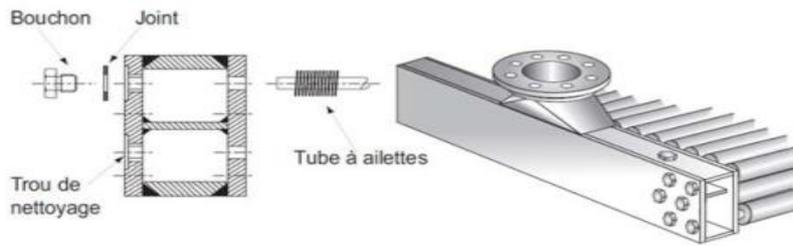


Figure 25 : Boîtes ou collecteurs à bouchons

- **Boîtes ou collecteurs à couvercle démontable :**

Ce distributeur possède un couvercle démontable pour assurer des nettoyages mécaniques fréquents. Il est utilisé pour des fluides très encrassants et des pressions allant jusqu'à un maximum de 40 bars. Il est également utilisé pour des fluides très corrosifs afin de vérifier périodiquement l'avancement de la corrosion. Des bouchons spéciaux sont employés dans des unités d'hydrogène et dans les usines d'hydrocracking[1]. Voir figure 26.

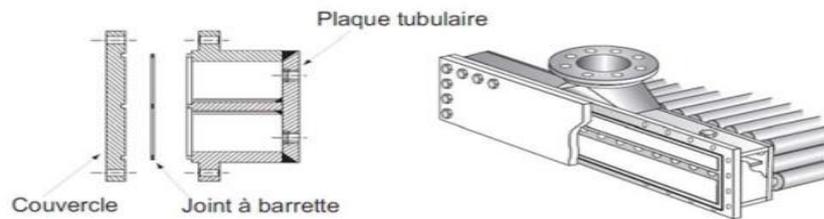


Figure 26 : Boîtes ou collecteurs à couvercle démontable

- **Collecteurs cylindriques :**

Les manifolds type cylindriques sont utilisés pour les pressions de plus de 200 bars. Les tubes en U qui sont utilisés dans ces circonstances, sont soudés sur le collecteur. Les soudures sont soumises à un traitement thermique et examinées aux rayons X. Voir figure 27

Le nettoyage à l'intérieur des tubes ne peut être que chimique. Ce type de collecteur n'est pas recommandé pour des services très encrassant. [1]

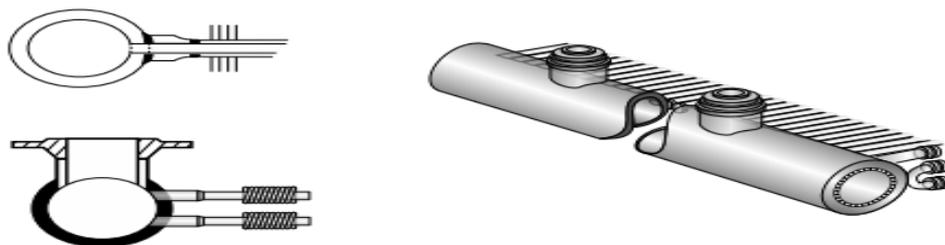


Figure 27 : Collecteurs cylindriques

- **Collecteurs à couvercle soudé**

Ce type de collecteur soudé est employé dans certains cas spéciaux comme: les condenseurs d'ammoniaque, les condenseurs de fréon et les condensateurs de vapeur sous vide. L'avantage principal du soudage est la garantie de l'étanchéité[1]. Voir figure 28.

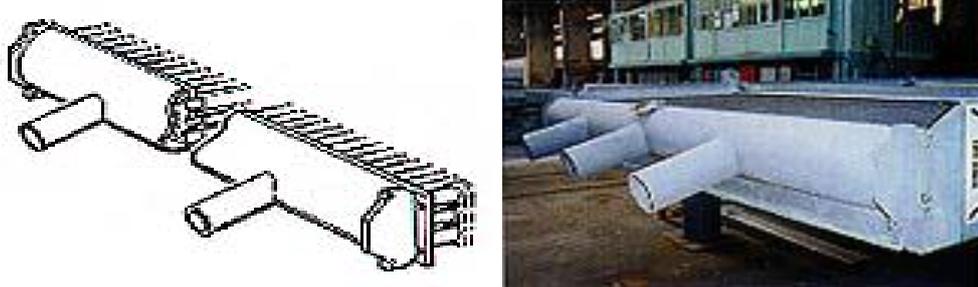


Figure 28 : Vue d'un manifold à couvercle soudé

3.6.7.1. Les systèmes de ventilation :

- **Les ventilateurs**

La distribution d'air froid ambiant sur les faisceaux tubulaires est assurée par la rotation de ventilateurs dont le diamètre est de 6 à 18 ft. Les systèmes de ventilation comportent des ventilateurs entraînés par des moteurs et des dispositifs de réglage de débit d'air. Le rotor comprend un moyeu monté sur l'arbre du ventilateur, des pales montées sur le moyeu et dans certains cas un mécanisme de commande. Les pales, au nombre de 4 à 6, sont en aluminium, en alliage léger ou en résine polyester armée de fibres de verre. Voir figure 29.

Afin d'obtenir une distribution d'air correcte sur toute l'aire faciale (aire qui fait face aux ventilateurs) des faisceaux, la surface occupée par les ventilateurs doit être au minimum égale à 40% de cette aire. Pour les très grandes longueurs de tubes, de l'ordre de 50 ft, cette considération impose d'installer trois ventilateurs dans le sens de la longueur des faisceaux.

L'API 661 impose qu'au moins deux ventilateurs soient installés dans le sens de la longueur d'un faisceau ou d'un arrangement de faisceaux afin d'assurer une réfrigération minimum en cas d'arrêt d'un ventilateur; toutefois pour des longueurs de tubes inférieures à 15 ft, un seul ventilateur peut être admis. [1]

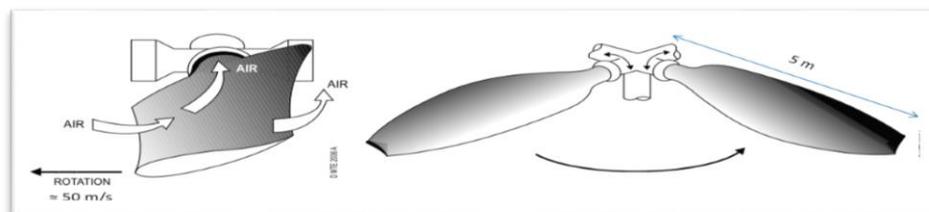


Figure 29 :Les pales du ventilateur

3.6.7.2 Réglage de l'inclinaison des pales

L'inclinaison peut être changée à l'arrêt par rotation du pied de pale sur le moyeu, la position étant maintenue par un dispositif de serrage. Elle peut aussi être effectuée par un servomoteur au cours du fonctionnement du ventilateur. L'ajustement du débit d'air consécutif à l'ajustement de l'inclinaison permet une régulation de la température de sortie du fluide réfrigéré. Voir figure 30. [3]

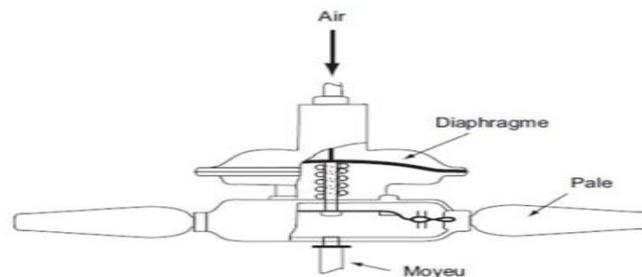


Figure 30 : Réglage d'inclinaison des pales

3.6.7.3. Réglage de la vitesse de rotation

La vitesse de rotation peut être modifiée en utilisant soit des moteurs à deux vitesses, soit des moteurs à vitesse variable lorsqu'une régulation est imposée. Il y a toutefois des limites concernant les vitesses de rotation ; elles ne doivent pas conduire à des vitesses périphériques en bout de pales supérieures à 12000 ft/min (61 m/s), ceci essentiellement pour limiter les puissances sonores des ventilateurs. [3]

- **Réglage par persiennes (ou volets ou ventailles)**

Des persiennes (volets rectilignes) sont placées dans le sens de la largeur au-dessus des faisceaux (figure 31) Leur ouverture est variable, ce qui permet d'obstruer plus ou moins la section offerte à la sortie de l'air. Il en résulte une perte de charge additionnelle, qui diminue plus ou moins le débit massique de l'air.

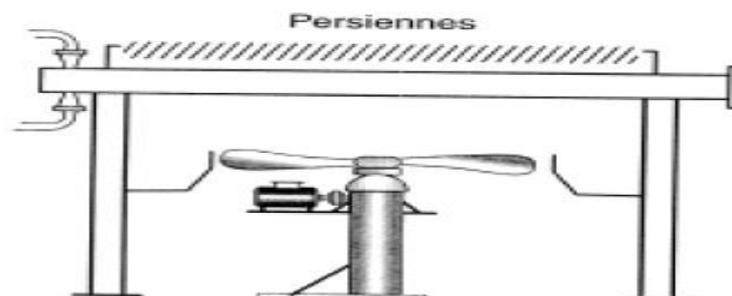


Figure 31 : Réglages par persiennes

3.6.7.4. Montage moteurs ventilateurs

Les ventilateurs utilisés sont le plus souvent du type axial, mais on rencontre dans l'industrie du conditionnement de l'air des ventilateurs à cage d'écureuil brassant eux aussi de forts débits d'air. Le ventilateur et son système d'entraînement doivent avoir des coûts faibles, ils doivent être résistants et fiables.

Les ventilateurs montés sur les aéro-réfrigérants de l'industrie chimique et pétrolière sont du type axial et possèdent de quatre à 8 pâles. Selon le type de tirage et la puissance des ventilateurs, plusieurs montages sont réalisés :

- Montage sur piédestal avec moteur électrique et réducteur
- Montage sur trépied avec entraînement grâce à une turbine à vapeur ou moteur thermique et réduction
- Montage direct sur moteur hydraulique ou électrique (ventilateurs jusqu'à 1,5 m de diamètre)
- Montage suspendu avec moteur électrique et réducteur
- Montage suspendu avec entraînement électrique et réduction par courroies et poulies (La solution la moins coûteuse pour réduire la vitesse est d'utiliser un montage avec des courroies pour des puissances allant jusqu'à 30 ou 40 kW).

Les poulies sont dynamiquement équilibrées. Les différents types de courroies utilisées sont :

- Courroies en V
- Groupes de courroies en V
- Courroies dentelées
- Montage avec courroies illustré dans la figure 31.

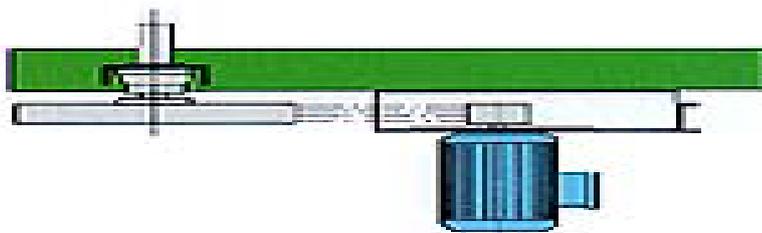


Figure 31 : Montage d'une courroie

.Entraînement des ventilateurs .

Des moteurs électriques sont généralement utilisés pour l'entraînement des ventilateurs, cependant des turbines hydrauliques ou à vapeur peuvent également être utilisées ainsi que des moteurs direct d'entraînement électriques à vitesse réduite [1]. Voir figure 32.

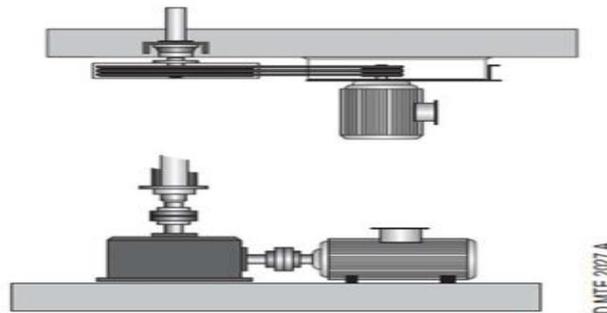


Figure 32 : Les moteurs et systèmes de transmission

3.6.7.5.Régulation du débit d'air

La régulation des ventilateurs peut s'avérer nécessaire, elle peut être du type « tout rien » ou du type « tout ou peu » ou de façon continue. [3]

La régulation du débit d'air peut être réalisé soit :

- Par arrêt et marche (type tout ou rien)
- Par auvents manuels ou automatiques (marche continue du ventilateur)
- Par moteurs électriques à deux vitesses (Moteurs à plusieurs pôles magnétiques)
- Par ventilateur à pas variables automatiquement

3.6.7.6.La fonction ventilation

On définit la vitesse faciale comme étant la vitesse normale d'entrée à travers la surface faciale du faisceau aileté.

Pour assurer une bonne distribution de l'air à travers le faisceau, le ventilateur doit être situé à une distance égale à la moitié de son diamètre.

La surface ventilée par les pâles ne doit pas être inférieure à $\approx 40\%$ de la surface faciale du faisceau, ce qui nous permet de donner des limites du rapport de la surface faciale sur la surface du ventilateur recommandées pour une bonne distribution de l'air comme suit:

$$1.8 < \frac{S_f}{S_v} < 2.6$$

Les ventilateurs peuvent être de grand diamètres (Jusqu'à 5m) et vitesse de rotation faible ($\approx 50\text{m/s}$ en bout de pâles pour 5m de diamètre). [3]

Les pâles sont en alliage léger ou en résines de polyester armées de fibres de verre.

Le coût et le débit volume d'air augmentent lorsque le nombre de pâles augmente. Si le débit reste inchangé, il est intéressant de réduire la vitesse de rotation en augmentant le nombre de pâle, ce qui a pour effet de réduire le bruit du ventilateur et d'augmenter le rendement.

3.6.7.8. Puissance du ventilateur

La consommation d'énergie pour les ventilateurs axiaux installés sur des aéro-réfrigérants est le plus souvent de l'ordre de 1% à 3% de la puissance thermique dégagée.

Une puissance plus grande deviendrait économiquement mauvaise.

Il est possible d'estimer grossièrement cette puissance de la manière suivante :

$$P_v = Q_v \frac{\Delta P_{stat} + \Delta P_{dyna}}{\eta_v}$$

Avec :

Q_v : Débit volume d'air

ΔP_{stat} : Différence de pression statique entre l'entrée et la sortie du ventilateur

η_v : Rendement global du ventilateur qui est de l'ordre de 0.6 à 0.7.

ΔP_{dyn} : Différence de pression dynamique entre l'entrée et la sortie du ventilateur qui est de l'ordre de 40 à 60Pa pour ce type de ventilateur et est calculable par :

$$\Delta P_{dyna} = \rho \frac{1}{2} \frac{Q_v}{S_v}$$

3.6.7.9. Systèmes de distribution de l'air

On utilise le plus souvent des ventilateurs du type axiaux, c'est à dire manipulant de gros débits d'air. Pour les petites puissances, les pâles du ventilateur sont fixes, lorsque les puissances sont importantes, les pâles peuvent être variables et réglées pour contrôler le débit d'air. [1]

L'air est guidé vers le faisceau à travers un caisson de forme pyramide tronquée.

3.6.7.10. L'ensemble d'Aéroréfrigérants :

L'ensemble d'Aéroréfrigérants mis en place pour un service donné est appelé unité ; cet ensemble est constitué d'une ou plusieurs baies (ou sections) en parallèle, chaque baie comprenant elle-même un ou plusieurs faisceaux en parallèle. Plusieurs unités regroupées constituent un banc. Voir figure 33.

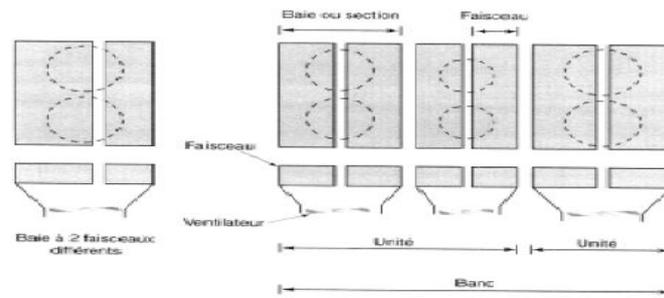


Figure 33 : L'ensemble d'aéroréfrigérants

Les études d'implantation des aéroréfrigérants doivent prendre en compte les conditions de leur environnement immédiat ayant une influence sur l'alimentation en air : les vents dominants, les obstacles qui font écran à proximité, mouvements de terrain, immeubles, salles de contrôle ou de machines, structures, fours, colonnes, etc. Lorsque des unités adjacentes doivent être implantées, l'altitude des faisceaux doit être identique ainsi que le type de tirage. La proximité de sources d'air chaud, telles que des fours, est à éviter. [1]

2.6.8 Les dispositifs spéciaux

- **Préchauffe de l'air :**

Pour éviter des problèmes potentiels de gel, en saison froide, si le fait de faire circuler l'air en co-courant, comme vu précédemment ne suffit pas, on peut avoir recours à une opération de préchauffage de l'air à une température suffisante pour que la température de paroi reste à un niveau convenable. Des rampes de chauffage à la vapeur d'eau sont installées sous la première rangée de tubes des faisceaux (Voir figure 34).

Leur utilisation est particulièrement intéressante au démarrage des installations en période de froid, la température de paroi étant alors très basse. Elle est souvent associée au système de persiennes, qui permet dans ces phases de démarrage de limiter le débit d'air[1].

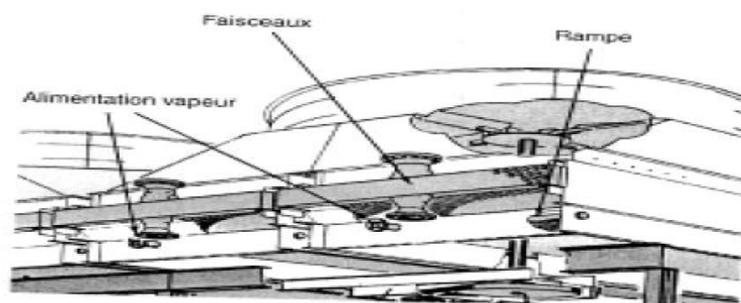


Figure 34 : Préchauffe de l'air

- **Recirculation d'air**

Si le préchauffage se révèle également insuffisant, il est nécessaire d'organiser une recirculation d'air chaud en mélange avec l'air froid pour obtenir la température d'air adéquate.

Une chambre de recirculation entourant complètement l'aéroréfrigérant est installée avec un système de persiennes ou volets à ouverture automatique commandée par une chaîne de régulation de la température d'air. Des rampes de réchauffage à la vapeur restent indispensables pour les démarrages. L'installation complète est fiable mais très onéreuse, l'ensemble coûtant environ 1,5 fois le coût de l'aéroréfrigérant seul (Voir la figure 35).

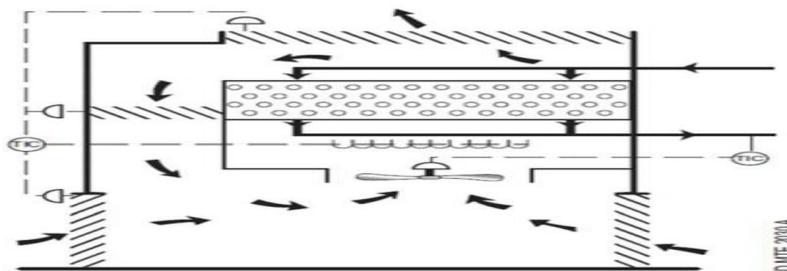


Figure 35 : Recirculation d'air

- **Humidification d'air**

Dans les climats chauds et secs, des systèmes d'humidification sont utilisés sur les aéroréfrigérants pour abaisser la température d'air.

Des chambres d'humidification équipées de pulvérisateurs d'eau sont installées sur le circuit d'air entrant. L'eau non évaporée est récupérée dans un bassin et, mélangée avec l'eau d'appoint, constitue l'eau alimentant les buses de pulvérisation [7] (voir figure 36).

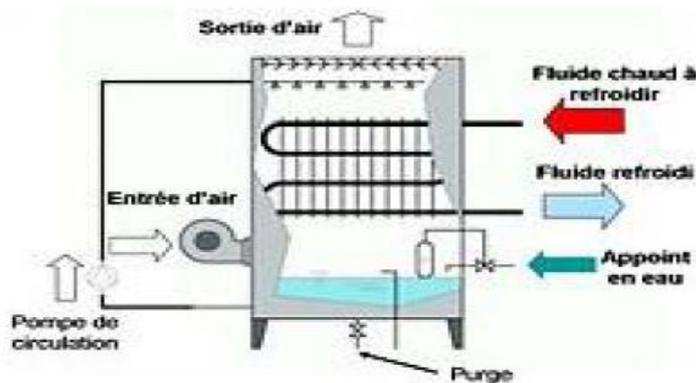


Figure 36 : Humidification d'air

Chapitre 4

Phénomène d'encrassement et dégradation des tubes de l'aéroréfrigérant

100-AM-101

Chapitre 4 : Phénomène d'encrassement et dégradation des tubes de l'aéroréfrigérant 100-AM-101

4.1 Introduction

La batterie de Aéroréfrigérants 100AM101AH est considérée comme l'un des équipements stratégiques dans l'unité de production de distillation atmosphérique (U100), en raison de son importance dans le refroidissement de la coupe de tête Naphta et GPL avant la séparation et l'envoi vers stockage.

Depuis le démarrage de la raffinerie jusqu'à aujourd'hui, l'équipement a subi des opérations de maintenance telles que le nettoyage périodique ou accidentel et l'obturation des tubes qui fuient (fuyards), afin d'assurer une bonne efficacité de fonctionnement et de maintenir la production au niveau maximum.

Le problème qui se pose au niveau de cet équipement est l'encrassement continu pouvant aller jusqu'à l'obstruction totale des tubes suivi d'une dégradation du matériau de ces derniers, suite à la mauvaise qualité de l'eau de lavage utilisée.

Ce problème entraîne un mauvais transfert de chaleur et réduit l'efficacité de l'instrument et augmente la température et la pression en haut de la colonne 100T101 ainsi la température du naphta vers le stockage, en réduisant la vitesse de fonctionnement de l'appareil, donc le manque de production.

4.2 Implantation et rôle de l'équipement

L'aéroréfrigérant 100AM101 est un condenseur qui utilise l'air ambiant comme fluide réfrigérant. L'air est aspiré par un ventilateur à tirage forcé et guidé à travers un ensemble de tubes à ailettes.

L'équipement est installé au niveau de la section de préfractionnement, dont la mission est de condenser les produits de tête de la colonne de préfractionnement 100T101 qui circulent à l'intérieur des tubes provenant des échangeurs de chaleur 100E101 A/B/C/D.

Le débit est divisé en deux passes grâce à des boîtes de distribution, la puissance thermique d'échange de chaleur globale de la batterie des Aéroréfrigérants 100-AM-101A-H est d'environ 30,62 MW (Voir figure 37).[6]

Structurellement, le mode d'assemblage choisi pour relier le tube à la plaque tubulaire est garanti par le dépliage du tube avec deux plaques tubulaires.

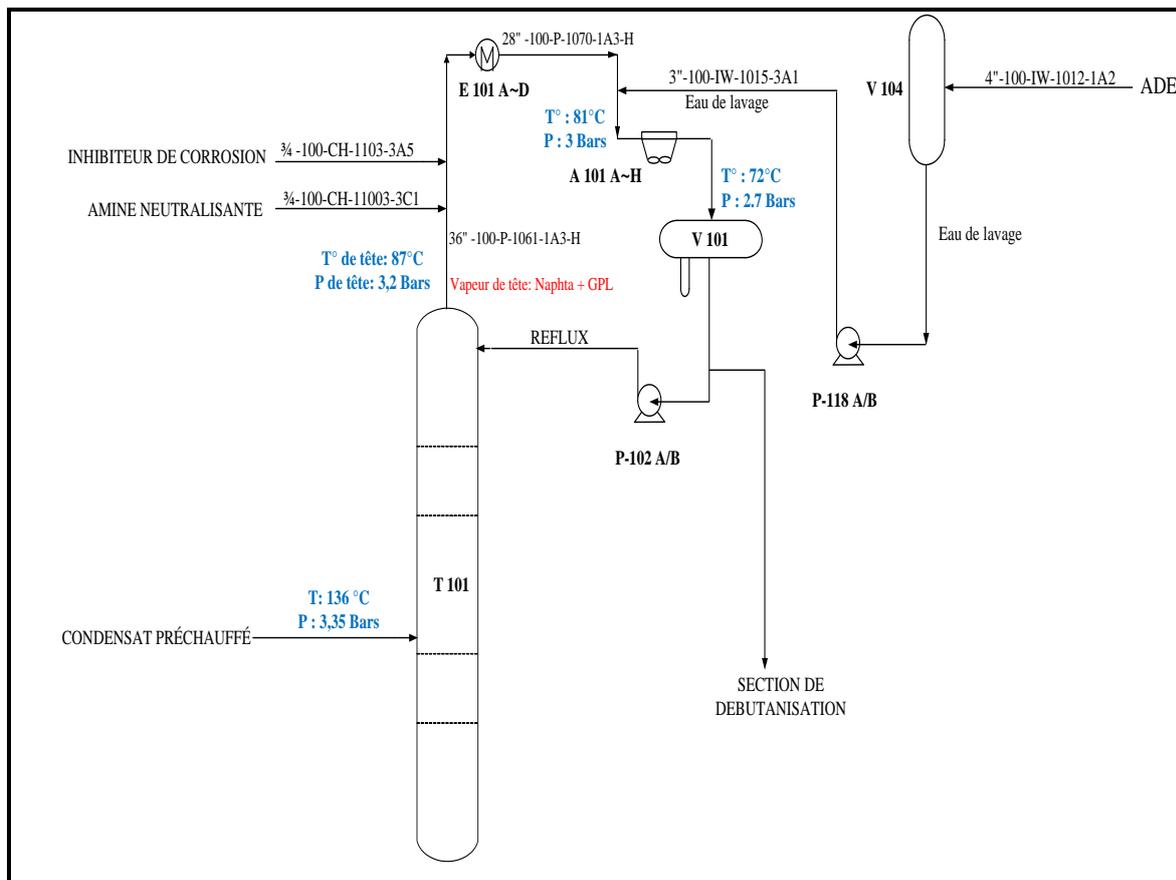


Figure 37 : Implantation des aéroréfrigérants

4.3 Historique de l'équipement

Depuis juin 2013, une augmentation progressive de la pression de refoulement de la tour 100-T101 a été observée, suivie d'une chute de pression au niveau de l'accumulateur 100-V-101, dépassant la valeur de conception. [6]

Après examen et suivi de différents paramètres de fonctionnement de la section pré-splittée, il a été observé :

- De juin 2013 à fin août 2013, la valeur de pression en tête de colonne 100-T-101 a progressivement augmenté au-dessus du seuil de conception (3,2 bar).
- La pression du réservoir accumulateur 100-V-101 est passée de 2,7 bar à 1,4 bar, ce qui a créé une différence de pression considérable entre la tête de colonne et l'échangeur 100-E-101 A/D et le réservoir 100-V - 101 qui a dépassé ΔP de 2,5 bars.
- Aucun changement des paramètres de fonctionnement pour la paire d'interrupteurs A/N 100-E-101 (vérification sur le terrain de PG et TG) et aucune pression différentielle entre la tête et les dites échangeur.

- L'augmentation de températures à la sortie des aéroréfrigérants 100-AM-101 E-G et H enregistrée à TG1042 E égale à 57°C, TG1042 G=40°C et TG1042 H égale à 42°C respectivement, Δt max est d'environ 27 et autre ° C et Δt min est de 10°C par rapport aux autres aéroréfrigérants.
- Mauvaise qualité de l'eau de lavage (teneur en chlorures très élevée), plusieurs interruptions dans le débit d'eau de lavage vers le collecteur en amont des aéroréfrigérants 100-AM-101 A/H suite aux analyses des refoulements d'eau du ballon de reflux et dysfonctionnement de la lecture du débitmètre FRC 1902.
- Légère modification de la qualité de la charge (Densité et TVR), avec la production de butane et de naphta qui a augmenté tout en gardant la qualité des stocks de produits finis.
- L'équipe exploitation a pris plusieurs actions correctives et ajusté certains paramètres pour réduire la pression de tête, mais le problème persiste encore.

Grâce à la recherche et à l'analyse du phénomène de dysfonctionnement de la section transversale, les conclusions suivantes sont tirées :

- Il y a de fortes possibilités que les aéroréfrigérants soient bouchés (réduction de la section de passage des tubes), en particulier les deux aéroréfrigérants 100-AM-101 E-H avec des températures de sortie très élevées.
- En plus des solides en suspension, la qualité de l'eau de lavage provoque également la précipitation des sels et la formation d'encrassement, réduisant la section transversale du tube traversant au niveau des aéroréfrigérants.
- Densité de charge réduite par rapport au design (une charge légère cause moins probable dans notre cas).

Après avoir ouvert les aéroréfrigérants 100-AM101E-H et inspecté et vérifié l'état interne des faisceaux tubulaires, on a confirmé que la première passe de ces derniers était complètement obstruée et bouchée suite à l'accumulation de débris solides à l'extrémité du tube. [6]

Le tableau 4 présente les travaux d'entretien et de maintenance de tous les aéroréfrigérants 100-AM - 101A-H après la déclaration d'encrassement et de fuites en cours de fonctionnement. [6]

**Tableau 4 :Les travaux de l'entretien de maintenance de l'ensemble des aéro-réfrigérant
100-AM-101 A-H [6]**

Repère équipement	Date d'intervention	Nombre d'intervention
100-AM-101A	13 octobre 2013 16 avril 2015 10 octobre 2016 04 décembre 2019 20 décembre 2020	05
100-AM-101B	13 octobre 2013 06 avril 2015 10 octobre 2016 08 mai 2016 30 octobre 2017 21 janvier 2021	06
100-AM-101C	13 octobre 2013 12 avril 2015 10 octobre 2016 09 novembre 2017 28 janvier 2018 09 juillet 2020	06

100-AM-101D	26 septembre 2013 04 septembre 2014 10 octobre 2016 07 mars 2016 20 juin 2019 09 juin 2020	06
100-AM-101E	26 septembre 2013 28 septembre 2014 16 octobre 2016 24 avril 2016 20 mars 2017 07 février 2019 04 mars 2019 20 novembre 2020 04 février 2021	09
100-AM-101F	27 septembre 2013 18 septembre 2014 10 octobre 2016 22 mars 2016 30 juillet 2020 3 mars 2020	06
100-AM-101G	24 mars 2015 10 octobre 2016 27 juin 2018	04

	16 décembre 2019	
100-AM-101H	27 juin 2018 16 décembre 2019 31 décembre 2019 03 janvier 2021	04

4.4 Description de l'équipement

4.4.1 Normes et standards de construction

Les aéroréfrigérants 100AM101 sont classés comme appareils sous pression, leur conception et leur fabrication sont soumises aux normes et réglementations de conception et de fabrication en vigueur dans chaque pays. [6]

- API Standard 661 (air cooled heat exchanger for general refinery service-2006);
- American Society Mechanical Engineers (ASME) Sect. VIII, Div. 1- "Pressure Vessels" dernière édition;
- ASME Sect. IX "Welding Qualifications" dernière édition ;
- ASME Sect. II "Material Spécifications" dernière édition ;
- ASME B16.5, Pipe Flange and Fittings NPS1/2 Through NPS 24;
- ASME B16.47, Large Diameter Steel Flanges, NPS 26 through 60;
- ASME B16.20, Metallic Gaskets for Pipe Flanges Ring-Joint, Spiral Wound and Jacketed;
- ASME B46.1, Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay).
- Décret exécutif N°90-245 de 18/08/1990 portant réglementation des appareils à pression à gaz.

4.4.2 Paramètres de fonctionnement

Les paramètres de fonctionnement de l'ensemble de la batterie des Aéroréfrigérants 100-AM-101A-H sont conçus pour assurer un service de l'unité 100 à un taux de marche maximal

de 120%, soit un débit total de condensation et refroidissement de la coupe de la tête de colonne de préfractionnement 100-T-101 de l'ordre de 503 657Kg/h avec les conditions suivantes. [6]

- Température d'entrée côté tubes : 73,3 °C ;
- Température de sortie coté tubes : 62 °C ;
- Pression du fluide à l'entrée des tubes : 3,01 Bars.

4.4.3 Paramètres de design

L'aéroréfrigérant 100-AM-101 est dimensionné conformément aux conditions de calcul de la réglementation et des normes citées au paragraphe III31, principalement basées sur les conditions suivantes [6]:

- Pression du design : 6,35 Bars.
- Température de design : 92°C.
- Pression d'essai : 9,6 Bars.

4.5 Analyse du phénomène d'encrassement des tubes

4.5.1 Description des circuits de process des Aéroréfrigérants 100-AM-101

Le circuit de tête de la colonne préfractionnement possède 3 systèmes d'injection pour lutter contre la corrosion :

- Section d'injection d'amine neutralisante.
- Section d'injection d'inhibiteur de corrosion.
- Section d'injection de l'eau de lavage.

Les produits chimiques (amine neutralisant et inhibiteur de corrosion) seront reçus, préparés et injectés à l'aide des deux packages 100-PKG-101 et 100-PKG-102, dans la conduite des vapeurs de tête avant les échangeurs 100-E-101A/B/C/D via un raccord T-tube.

L'eau de lavage est injectée à partir du ballon 100-V-104 dans la ligne de tête de colonne entre les échangeurs 100-E-101A/B/C/D et les Aéroréfrigérants 100-A-101A/B/C/D/E/F/G/H, et collectée dans le mamelon du ballon de reflux 100-V-101, puis drainé. [4]

4.5.2 Types de corrosion dans les circuits de process des Aéro-réfrigérants 100-AM-101

Les problèmes de corrosion les plus sévères dans l'unité de fabrication, ont lieu dans la zone de tête de la colonne de préfractionnement (lignes, Aéroréfrigérants, ballon de reflux).

En fonction des conditions des opérations de distillation, la corrosion peut même avoir lieu dans les plateaux supérieurs de la colonne de préfractionnement où le reflux froid entre.

La corrosion dans la tête est le résultat de la libération de l'**HCl** produit lors de l'hydrolyse des sels du condensat (il s'agit du $MgCl_2$ et de $CaCl_2$), de l'**H₂S** présent dans le condensat, **de l'eau**, de la formation des **sels sous dépôt**, et des **acides organiques** présents dans le condensat.

✓ **Hydrolyse des sels du condensat :**

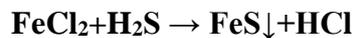


L'HCl produit ne cause pas de corrosion dans le système **tant que l'eau n'est pas présente sous phase liquide**, une fois l'eau atteint son point de rosé, l'HCl, qui est très soluble à l'eau, donne à l'eau un pH très acide et provoque une corrosion très sévère.



✓ **Libération de l' H₂S :**

La présence d'H₂S dans la vapeur de tête peut aggraver le circuit lorsqu'il se dissout dans l'eau condensée et lorsqu'on passe d'un **pH de 5.5 à 9**. L'H₂S peut aussi réagir avec le Fer soluble pour former FeS (sulfure de fer), lequel augmente l'encrassement sur les surfaces des équipements et les problèmes de corrosion sous dépôt (eaux noires). [4]



Sommairement, les variables qui affectent la corrosion, sont:

- Qualité des condensats.
- Conditions de procédé.
- Métallurgie.

La figure 38 traduit l'évolution de la corrosivité due aux sulfures et due aux chlorures en fonction du pH.

En pratique, on adopte un compromis qui se situe le plus souvent entre **5,5 – 6,5**

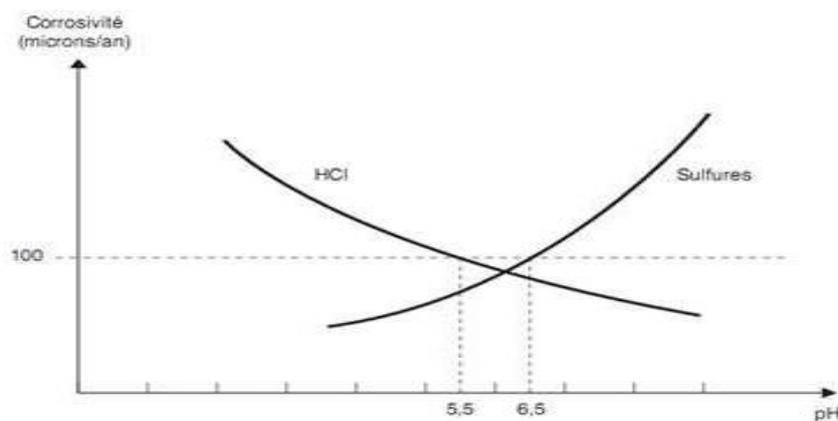


Figure 38 : L'évolution de la corrosivité due aux sulfures et due aux chlorures en fonction du PH

4.5.3 Système adapter pour la protection contre la corrosion :

Comme nous l'avons déjà cité, il s'avère nécessaire de protéger le circuit de tête de colonne de préfractionnement contre la corrosion.

Cependant, d'autres moyens de contrôle sont aussi nécessaires :

- ✓ L'addition d'amines Neutralisant pour neutraliser l'HCL.
- ✓ L'injection d'un filmant (inhibiteur de corrosion). [4]

4.5.3.1 Amines neutralisantes :

Les amines neutralisantes sont injectées dans la phase gazeuse pour élever le pH de la solution aqueuse en neutralisant l'acide **jusqu'à un objectif optimal de 5,5 à 6,5**.

Cet intervalle de pH a été fixé par deux facteurs :

- Au-dessous de 5.5, la corrosion acide s'accélère très rapidement ;
- Au-dessus du 6.5 (utilisation en excès de neutralisant, par exemple), cette teneur augmente la probabilité de déposition des sels avec précipitation de FeS, ce qui fait accélérer la corrosion sous dépôt.

Cependant, l'utilisation d'amines de neutralisation peut entraîner des problèmes de corrosion lors du dépôt, qui doit se faire en injectant de l'eau de lavage en raison du dépôt du produit de la réaction acide-amine (sels d'amine chlorhydrate) celui-ci devra être enlevé de la tête par **l'injection de l'eau de lavage** [4]. $\text{RNH}_2 (\text{v}) + \text{HCl} (\text{v}) \rightarrow \text{RNH}_3\text{Cl} (\text{s})$

4.5.3.2 Inhibiteur de corrosion :

La corrosion peut se produire même à des valeurs de pH comprises entre 5,5 et 6,5, soit en raison d'une mauvaise répartition du neutralisant, soit en raison de la présence d'autres acides. Par conséquent, pour protéger le circuit de tête, nous utilisons une amine filmante, un inhibiteur de corrosion.

Les molécules de ce produit chimique s'adsorbent sur les surfaces métalliques des tuyaux et des condenseurs, formant un film protecteur qui empêche les agents corrosifs d'entrer en contact avec le métal.

L'amine filmante est injectée de manière à pouvoir agir avant que l'eau n'atteigne son point de rosée. [4]

4.5.3.3 Eau de lavage :

L'eau de lavage est injectée dans les canalisations de vapeur de tête pour enlever les dépôts des sels. [4]

4.5.4 Contrôle de la corrosion :

4.5.4.1 Mesure des chlorures dans les eaux de ballon de tête :

Les chlorures présents dans l'eau de tête peuvent avoir trois origines[4] :

- Chlorures d'amine résultant de neutralisation d'HCl
- Chlorures de fer résultant de la corrosion
- Présence d'HCl dans l'eau

On admet des teneurs inférieures à **10 ppm**.

4.5.4.2 Contrôle de la teneur en fer dans les eaux de ballon de tête :

La teneur en fer de l'eau du ballon reflète l'importance du phénomène de corrosion. Un traitement efficace peut aider à maintenir les niveaux (les teneurs) en dessous de **2 ppm**.

4.5.4.3 Suivi de témoins de corrosion :

Il s'agit de contrôler la vitesse de corrosion en mesurant la perte de poids de la sonde de corrosion, et des vitesses inférieures à 100 microns par an sont acceptables.

En revanche, ils ne mettent pas en évidence la corrosion sous dépôt.

4.5.5 Causes principales de l'encrassement des tubes des aéroréfrigérants

Vue que l'injection de l'amine neutralisante et l'inhibiteur de corrosion est une action primordiale dans le circuit de procédé, l'injection de l'eau de lavage disponible au niveau de la raffinerie RA2K qui sert comme une eau industrielle gérée par la section 502 a engendré un effet secondaire néfaste traduit par des dépôts solides généralisés sur les surfaces internes des tubes des Aéroréfrigérants 100-AM-101.[4]

La figure 39 montre l'ampleur de la présence des dépôts solides au niveau de quelques tubes jusqu'à obturation, soit un taux maximal de l'ordre de 70% d'obstruction des tubes a été enregistré durant les interventions de nettoyage.

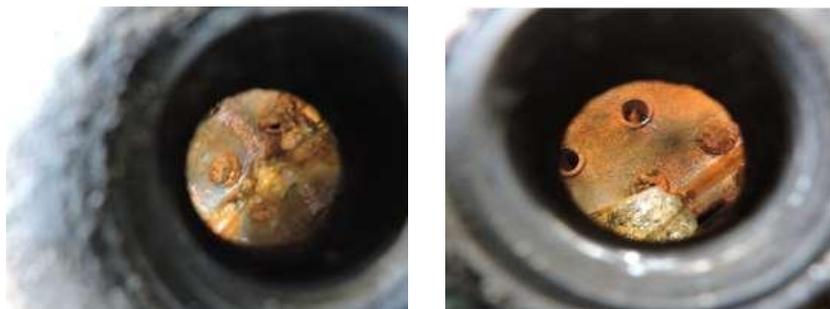


Figure 39 :La présence de dépôt solide au niveau de quelques tubes

La nature du dépôt dépend principalement du comportement de la phase (liquide/vapeur) d'hydrocarbure contenant des proportions massiques d'inhibiteurs de corrosion et d'amines

neutralisantes avec l'eau de lavage passant à travers les tubes de l'aéroréfrigérant. La qualité d'eau de lavage injectée est considérée comme le seul facteur indésirable qui provoque le phénomène d'encrassement, par la décomposition de matière organique dans des conditions de service favorables à la formation des dépôts solides qui se répercutent particulièrement en désavantage au niveau de la section étroite des tubes. [4]

L'expérience a montré suite à la mise en place d'un système d'injection d'une eau déminéralisée transportée par des camions citernes un résultat satisfaisant de la performance thermique des Aéroréfrigérants, et vue que la demande en eau de lavage dans le fonctionnement normal de l'unité est très importante, la mise à disposition de cette eau en permanence est quasiment impossible. [6]

4.6 Conséquences de l'encrassement sur les Aéroréfrigérants

4.6.1 Impact sur les l'Aéro-réfrigérants

L'accumulation des dépôts indésirables sur les surfaces des tubes des aéroréfrigérants engendre une résistance au transfert de chaleur et réduit considérablement l'efficacité thermique de l'aéroréfrigérant (voir la figure 40). [4]

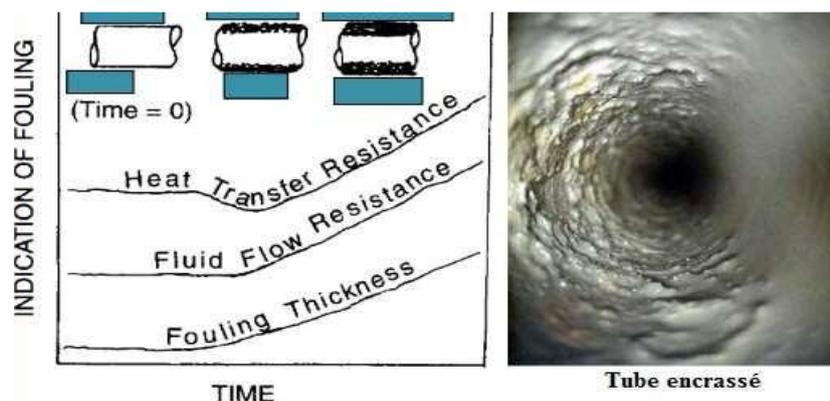


Figure 40 : Effets de l'encrassement sur l'échange de chaleur

Les effets directs liés à l'encrassement des tubes des Aéroréfrigérants sont principalement [7] :

- Diminution des performances thermiques : les dépôts localisés sur la surface d'échange génèrent une résistance thermique supplémentaire ;
- Augmentation des pertes de charge : augmentation de la résistance à l'écoulement suite à l'augmentation de la rugosité de la surface ;

- Environnement local favorable à la corrosion : dégradation des tubes jusqu'à perforation.

La dégradation des tubes est due à la corrosion du matériau suite à une réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. Il subit en effet une perte de matière progressive aux points de contact avec le milieu environnant. Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible : elle détruit le matériau et réduit ses propriétés, ce qui le rend inutilisable pour une application prévue.

La dégradation des tubes jusqu'à perforation est considérée comme un facteur majeur indésirable, les opérations de maintenance et de nettoyage conduit à l'élimination des tubes fuyards à l'aide de l'installation d'un bouchon permanent pour assurer la remise en service des aéroréfrigérants, affecte directement la baisse de l'efficacité thermique permanente de l'équipement suite à la réduction de la surface d'échange thermique d'une part ainsi que le débit massique d'autre part.

L'ensemble des Aéroréfrigérants 100-AM-101 en nombre de huit (08), ont été dimensionnés pour assurer un service de l'unité de fabrication à un taux de marche de 120%. Le taux de marche généralement varie entre 70% est 100% selon la disponibilité de la matière première condensat et du programme de production. Les conditions de design de 20% de surdimensionnement et la baisse du taux de marche permettront d'avantages aux services de maintenance à intervenir sur le nettoyage sans affecter d'une manière considérable la chaîne production. [6]

L'évolution du changement de la configuration initiale des Aéroréfrigérants par l'élimination des tubes pour l'ensemble des Aéroréfrigérants 100-AM-101 suite à chaque intervention, nous conduit à revoir la capacité maximale actuelle afin de se prononcer et programmer la possibilité des futures interventions sans affecter la production.

L'aéroréfrigérant 100-AM-100 est constitué de 444 tubes partagé en deux passes, la première passe contient 333 tubes et la deuxième passe contient 111 tubes, le tableau ci-dessous nous montre l'état actuel des tubes fonctionnels sachant que la totalité des tubes isolés sont localisés au niveau de la première passe (voir le tableau 5). [6]

Tableau 5 :L'état actuel des tubes fonctionnels[6]

Aéro-réfrigérants	Nombre de tube éliminés	Taux d'élimination des tubes
100-AM-101A	20	6%
100-AM-101B	10	3%
100-AM-101C	07	2,1%
100-AM-101D	06	1,8%
100-AM-101E	86	25.82%
100-AM-101F	08	2,4%
100-AM-101G	13	3.9%
100-AM-101H	21	6,3%

Nous remarquons que l'état de l'élimination des tubes fuyards atteint un taux de 25,82% au niveau de l'Aéroréfrigérant 100-AM-101E, l'avantage du fonctionnement en parallèle de l'ensemble des Aéroréfrigérants, nous permettra de déduire un taux d'élimination des tubes sur les huit équipements d'un ordre d'environ 6,41%. [6]

4.6.2 Impact sur la chaine de production

Pour satisfaire les besoins des clients en termes de quantité et avec une qualité qui répond aux exigences internationales des produits finis fournis par une unité opérationnelle, l'exploitation doit assurer une bonne maîtrise des installations de production pour la réalisation de prévisions demandées, toutes perturbations ou problèmes techniques internes affectant la chaine de production vont se répercuter sur le manque à produire (MAP), donc objectif non réalisé. [4]

Vu que les Aéroréfrigérants 100-AM-101 sont classés comme un ensemble névralgique dans la chaine de production, le phénomène d'encrassement affecte principalement :

- Le risque de contamination du fluide de procédé.
- La perte d'énergie suite à la chute de performances des Aéroréfrigérants
- ;
- Le manque à produire (MAP).

Sachant que le fonctionnement des Aéroréfrigérants dépend relativement aux conditions climatiques (Période hivernale ou estivale) d'une part, et de l'augmentation du coefficient de conductivité thermique (résistance thermique) suite au dépôt d'encrassement et au bouchage des tubes, d'autre part, une baisse de production peut avoir lieu particulièrement dans la période estivale afin de remédier aux opérations de nettoyage et l'ajustement des paramètres de marche normale de l'unité. [4]

Le tableau ci-dessous montre la variation du MAP de 100% à 80% dans le cas de bouchage des Aéroréfrigérants[6] :

Tableau 5:La variation du MAP de 100% à 80% dans le cas de bouchage des Aéroréfrigérants

	Unité : Tonnes métrique TM par jour		
	Fonctionnement à 100 %	Fonctionnement à 90 %	Fonctionnement à 80 %
Charge (condensat)	15 151	13635	12120
Produits finis			
Naphta	12 540	11 280	10 050
Kérosène	1 600	1 490	1 330
LGO	410	365	320
HGO	330	300	265
Butane	145	130	110

L'estimation du coût du MAP en DA à 90% et 80% suite à la réduction du Taux de marche est représentée dans le tableau 6 :

Tableau 6 :Le coût du MAP durant une journée

Produits	Ecart à 90 %	Coût en DA	Ecart à 80 %	Coût en DA
Finis				
Naphta	1260	15 386 148.63	2 500	30 528 072.68
Kérosène	120	1521 877.27	300	3 804 693,18
LGO + HIGO	75	968 730.75	140	1 808 297.40
Butane	15	227 024,72	20	302 699.63
	Total	18 103 781.37	Total	36 443 762,88

Le suivi et le contrôle de la gestion et de l'exploitation de l'unité a pour objectifs le maintien de la production à la capacité optimale . L'optimisation des coûts de production et le respect des normes et règles en vigueur sont impératif, d'où le suivi de l'évolution de la dégradation des tubes au niveau de chaque équipement restera une action indispensable pour visualiser la variation de l'efficacité thermique et de prévoir les recommandations primordiales afin de maintenir la production.[6]

Chapitre 05 :

**Etude thermique de
l'influence de l'encrassement
et l'obturation des tubes des
Aéroréfrigérants.**

Chapitre 05 : Etude thermique de l'influence de l'encrassement et l'obturation des tubes des Aéroréfrigérants.

5.1 La présentation du problème

Comme toutes les autres raffineries, la raffinerie de Skikda 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 100-AM-101, 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 100-AM-101 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 100-AM-101 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 100-AM-101 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.

5.2 Le calcul thermique de la batterie d'aéroréfrigérant :

Calculer thermiquement un aéroréfrigérant, c'est connaissant le service thermique c'est à dire le débit du fluide chaud, sa nature, sa température et son lieu d'implantation, déterminer sa surface, sa géométrie et la ou les dimensions des ventilateurs qui refroidissent le faisceau tubulaire.

Le présent travail a été réalisé au niveau du circuit de naphta atmosphérique comme le montre le schéma (37):

Les étapes de calcul à suivre :

- **Vérification du calcul de design pour l'aéroréfrigérant AM 101 A/H.**
- **Calcul du bilan thermique du circuit de vapeur de tête.**
- **Discussion et résultat.**
- **Proposition de la solution et recommandation.**

5.2.1 Vérification du design

Pour la vérification des performances de l'aéroréfrigérant A101 (A-H) dans le cas de design, il y a lieu d'évaluer connaissant les dimensions de l'échangeur :

- La puissance calorifique échangée.
- Les débits massiques des deux fluides.
- La différence de température logarithmique moyenne.
- La surface d'échange
- Le coefficient global de transfert de chaleur.

Les données de départ du vapeur de tête de l'aéroréfrigérant sont présentées dans le tableau 7 :

Tableau 7 :Données de départ du vapeur de tête de l'aéroréfrigérant (A-101 A/H) [A]

Propriété	Valeur
Température entrée - T_1 - [°c]	73.34
Température sortie - T_2 - [°c]	62
Masse volumique liquide - ρ - [kg/m ³]	657,81.
Viscosité dynamique liquide - μ - [kg / m.s]	0,0001788
Résistance d'encrassement - R_m - [h.m ² .°c/kcal]	0,0001.
Débit massique - M - [kg/h]	4197100
La température de condensation	64.45
Conductibilité thermique (kcal/h.m ²)	59.98

Voici le tableau 8 montre les données de départ du l'air :

Tableau 8 :Données de départ du l'air[4]

Propriété	Valeur
Température entrée $-t_2$ - [°c]	37
Chaleur spécifique - C_a - [kcal/kg, °c]	0,2406
La masse volumique de l'air ρ_a à $t = 37$ °C -[kg/m ³]	1,104
Conductivité thermique de l'air - λ_a - [kcal/h.m.°c]	0,0231
Viscosité dynamique de l'air - μ_a - [kg / m.s]	$1,89.10^{-5}$
Résistance d'encrassement - R_{air} - [h.m ² .°c/kcal]	0,0002
Diamètre du ventilateur - d_v - (m)	4,26
Volume d'air réel par ventilateur,- Q_v - m ³ /s	120,96

Voici le tableau 9 montre de départ de l'aéroréfrigérants

Tableau 9 :Données de départ du l'aéroréfrigérants (A-101 A /H)[A]

Propriété	Valeur
Diamètre extérieur des tubes (d_0), m	0,0254
Diamètre intérieur des tubes (d_i), m	0,01986
Longueur des tubes (L), m	12,5
Largeur de la cellule (l_c), m	7.42
Pas des tubes (triangulaires), (S_t), m	0,0635
Nombre de rangées (N_R)	8
Nombre de tubes total (N_T)	3552
Epaisseur de tubes (m)	$2.77*10^{-3}$
Nombre de passes (N_P)	2
Nombre de tubes par rangée ($N_{t/r}$)	55/56
Nombre de cellules	4
Nombre de faisceaux (N_f)	8
Nombre de ventilateurs (N_v)	8
Nombre de tubes par faisceaux	444
Résistance tube [h.m ² .°c/kcal]	0.00017
Diamètre extérieur d'ailettes (D_f), m	0,05715

Epaisseur d'ailettes (t), m	0,0004
Hauteur d'ailettes (l), m	0,01578
Nombre d'ailettes par mètre	433
Rapport, A_t/A_0	22,81
Espacement entre les ailettes (e), m	0,0019
Diamètre racine (d_r), m	0,0258

5.2.2 Calcul de la surface d'échange installée :

a. Surface d'échange total exprimé par rapport au diamètre extérieur :

$$A_0 = \pi \cdot d_0 \cdot L \cdot N_T$$

$$A_0 = 3,14 \cdot 0,0254 \cdot 12,5 \cdot 3552$$

Donc : $A_0 = 3541.16 \text{ m}^2$

b. Surface d'échange installée actuellement :

Il y a 171 tubes pinochés alors :

$$A_{01} = \pi \cdot d_0 \cdot L \cdot N_T = 3,14 \cdot 0,0254 \cdot 12,5 \cdot (3552-171)$$

$A_{01} = 3370.68 \text{ m}^2$

c. Surface faciale installée :

$$F_A = l_c \cdot L \cdot \text{les nombres des cellules}$$

$$F_A = 7,42 \cdot 12,5 \cdot 4$$

Donc : $F_A = 371 \text{ m}^2$.

5.2.3 Calcul du coefficient de transfert coté air :

a. Hypothèse sur la vitesse de l'air (V_f)

Les vitesses de l'air recommandées en fonction du nombre de rangées sont données dans le tableau 10 suivant :

Nombre de rangées N_R	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vitesse faciale V_f (m/s)	3,20	3,02	2,87	2,75	2,58	2,48	2,36	2,26	2,16

Tableau 10 la vitesse de l'air en fonction de nombre de rangée

La batterie d'aéroréfrigérants (A-101 A/H) comporte 8 rangées de tubes ($N_R = 8$), donc la vitesse faciale recommandée : $V_f = 2,48$ m/s

b. On calcule d'abord la quantité de chaleur Q

A partir de bilan thermique :

$$Q = M * (H_{T1} - H_{T2}) \quad (\text{Coté vapeur de tête})$$

$$Q_a = m_a * C_a * (t_2 - t_1) \quad (\text{Coté air})$$

Avec

$$Q_{\text{vapeur de tête}} = Q_a$$

Q : Quantité de chaleur échangée, kcal/h

M : Débit massique du Naphta, kg/h

m_a : Débit massique d'air, kg/h

H_{T1} et H_{T2} : Enthalpies des vapeurs de tête de la colonne à T_1 et T_2 , Kcal/Kg

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

T_1 et T_2 : Température d'entrée et de sortie du vapeur de tête de la colonne, °C

C_a : Chaleur spécifique de l'air,

Application numérique :

$$Q = M * (H_{T1} - H_{T2}) = 419710 * (85.325048 - 32.982792)$$

$$Q = 21969509.09 \text{ kcal/h}$$

c. température de l'air à la sortie :

$$Q = V_f * C_a * \rho_{37} * F_a * (t_2 - t_1)$$

d'où

$$t_2 = \frac{Q}{V_f * C_a * \rho_{37} * F_a} + t_1$$

F_a : Surface faciale, m²

V_f : Vitesse faciale de l'air, m/s

ρ_a : La masse volumique de l'air à $t = 37^\circ\text{C}$, kg/m³

C_a : Chaleur spécifique de l'air, kcal/kg, °C

AN :

$$t_2 = \frac{21969509.09}{371 * 3600 * 0.2406 * 1.104 * 2.48} + 37$$

$$t_2 = 62^\circ\text{C}$$

d. Calcul le débit massique d'air réfrigérant m_a :

$$m_a = \frac{Q}{(t_2 - t_1) * C_a} = \frac{21969509.09}{(62 - 37) * 0.2406}$$

$$m_a = 3\,657\,622.42 \text{ kg/h}$$

e. Coefficient de transfert de chaleur coté air h_{air} :

Il est important de calculer le mieux possible le coefficient de convection côté air étant donné que c'est l'air qui contrôle le transfert thermique. La formule de Briggs Et Young est l'une des plus utilisées dans le calcul des thermiques des aérorefrigerants.

la formule de E. Briggs et E. YOUNG[3] :

$$h_{air} = \frac{Nu * \lambda_a}{d_r}$$

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

A_t : Surface totale des tubes compris les ailettes, m^2

A_0 : Surface totale des tubes nus, m^2

d_r : Diamètre racine

e : Espacement entre ailettes, m

l : Hauteur de l'ailette, m

t : Epaisseur de l'ailette, m

h_a : Coefficient de convection côté air, ici rapporté à la surface totale externe.

Il existe d'autres corrélations graphiques et numériques concernant le calcul du coefficient côté air que l'on peut exploiter utilement.

- **Nombre de Reynolds**

$$Re = \frac{d_r \cdot G_{max}}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.0258 \cdot 5.491}{1.89 \cdot 10^{-5}}$$

$$Re = 7379.43$$

- **Vitesse massique**

$$G_{max} = \frac{m_a \cdot V_m}{F_A \cdot V_f} \quad \text{avec : } \frac{V_m}{V_f} = 2$$

$$G_{max} = \frac{3657622.42}{371 \cdot 3600} \cdot 2$$

$$G_{max} = 5.491 \text{ kg/s.m}^2$$

- **Nombre de Prandtl**

$$Pr = \frac{c_a \cdot \mu_a}{\lambda_a}$$

avec :

λ_a : Conductivité thermique de l'air, Kcal/h.m.c

μ_a : Viscosité dynamique de l'air, kg/m.s

$$AN : Pr = \frac{0.2406 * 1.89 * 10^5 * 3600}{0.0231}$$

$$Pr = 0.71$$

Donc on remplace dans la relation de Nu :

$$\text{On trouve } Nu = 915.99$$

f. Le coefficient de transfert de chaleur de l'air est :

$$H_{\text{air}} = nu * \lambda_a / dr$$

$$H_{\text{air}} = \frac{915.24 * 0.024}{0.0258}$$

$$H_{\text{air}} = 862.9 \text{ kcal/h. m}^2.\text{c}$$

5.2.4 Calcul le coefficient de transfert de chaleur coté tube hi

La condensation des vapeurs de tête de colonne dans la batterie d'aéroréfrigérant se déroule en deux étapes voir la figure 42 :

- Condensation
- Sous-refroidissement

Pour chaque zone on calcule les paramètres suivant;

- La chaleur échangée
- La température de l'air
- Coefficient de transfert de vapeur de tête de colonne
- La différence de température logarithmique moyenne
- La surface d'échange

La somme des deux surfaces d'échange des deux zone nous donne la surface d'échange totale

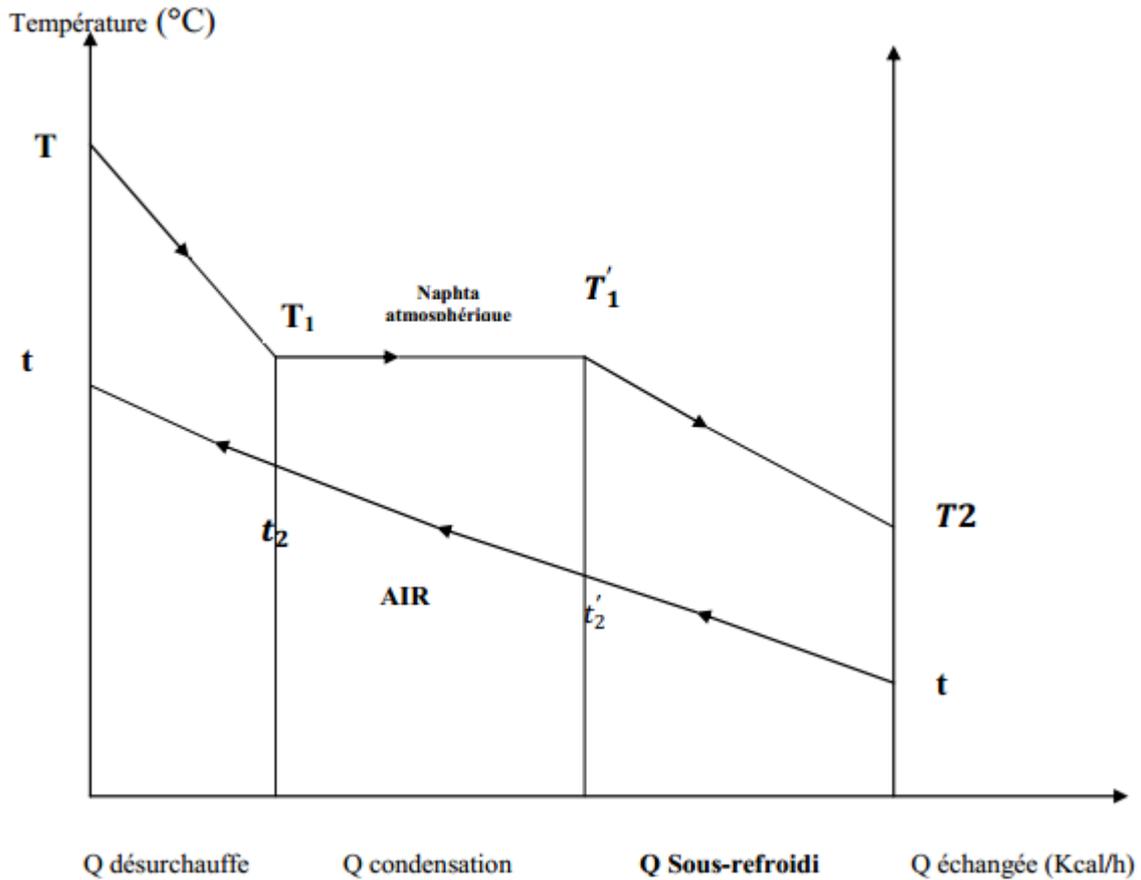


Figure 41 étapes de condensation du naphta atmosphérique dans l'aéroréfrigérant

✚ Zone de désurchauffe

Cette étape est se fait au niveau de l'échangeur 100 E101 A/D. Refroidissement des vapeurs de naphta atmosphérique de la température T à T_1 .

✚ Zone de condensation

Condensation des vapeurs de naphta atmosphérique saturées à température constante.

a. On calcule la chaleur échangée Q_1 :

$$Q_1 = M * (H_T - H_{T_1}) = 419710 * (85.325048 - 34.416826)$$

$$Q_1 = 21367054.55 \text{ kcal /h}$$

b. On calcule la température de l'air t_2' :

$$Q_1 = m_a * c_a * (t_2 - t_2')$$

$$t_2' = t_2 - \frac{Q}{m_a * c_a} = 62 - \frac{21\,367\,054.55}{3\,657\,622.42 * 0.2406} \quad t_2' = 37.72^\circ\text{C}$$

c. Différence de la température logarithmique:

$$DTLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = 18.10^\circ\text{C}$$

$\Delta T_1 = T_1 - t_2 = 73.34 - 62$: Différence de température à l'entrée, C°.

$\Delta T_2 = T_1' - t_2' = 64.45 - 37.72$: Différence de température à la sortie, C°.

Puisque la batterie d'Aéroréfrigérants A-101 A/H contient un nombre de passages de tube de trois (2) passes il faut corriger la DTLM avec le facteur de correction F. Ce facteur de correction est donné en fonction des paramètres R, r et le nombre de passages des tubes avec :

$$R = \frac{T_1 - T_1'}{t_2 - t_1'} = \frac{73.34 - 64.45}{62 - 37.72} = 0.4$$

$$r = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{62 - 37.34}{73.34 - 37.72} = 0.72$$

F est trouvé graphiquement d'après l'abaque (annexe 1) le facteur de correction **F=0.965**

Donc DTLM = 18.10 * 0.965

DTLM=17.46

d. Coefficient de transfert de chaleur du naphta atmosphérique vapeur hi1:

Le nombre de Nusselt permettra de tirer le coefficient de convection.

Régime turbulent : dans le domaine de Nombres de Reynolds défini par : $10^4 < Re < 1,2 \cdot 10^5$ on applique la formule de Colburn:

$$Nu = 0.023 * (Re)^{0.8} * (Pr)^n$$

$$Nu = 380.63$$

Avec

- ❖ n = 0.4 lorsqu'on refroidit le tube .
- ❖ n = 0.3 lorsqu'on réchauffe le tube.

Dans notre cas on prend n=0.4

- **Nombre de Reynolds**

$$Re = \frac{Gt \cdot di}{\mu v} = 222768.25 > 4000 \text{ c'est un régime turbulent}$$

$$Gt = M/a_t = 212.74 \text{ Tel que}$$

$$a_t = \frac{Nt \cdot \pi \cdot di^2}{4 \cdot n \cdot pt}$$

$$At = \frac{3552 \cdot 3.14 \cdot (0.01986)^2}{4 \cdot 2}$$

$$At = 0.55 \text{ m}^2$$

et

$$Gt = 419710/3600 \cdot 0.55$$

$$Gt = 212.74 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$$

$$Pr = \frac{c_v \cdot \mu_v}{\lambda_v}$$

$$pr = 0.71$$

donc

$$hi = nu \cdot \lambda_v / di = 479.13 \text{ kcal/hm}^2 \cdot \text{c}$$

Le coefficient de transfert de chaleur rapporté à la surface extérieur du tube

$$h_{i0} = h_i \cdot \frac{d_i}{d_0}$$

$$Hi0 = 374.63 \text{ kcal/hm}^2 \cdot \text{c}$$

e. Coefficient global de transfert de chaleur (U1)

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_{i0}} + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_t + R_{sio} + r_m$$

$$U_1 = 363.30 \text{ kcal/hm}^2 \cdot \text{c}$$

f. Surface d'échange calculée (A1)

$$Q1 = U1 \cdot A1 \cdot \Delta TLM1$$

$$A_1 = 3367.23 \text{ m}^2$$

🚩 Zone de sous - refroidissement : T1' a T2 :

Refroidissement du naphta atmosphérique liquide de la température T1 'àT2.

a. Calcul la quantité de la chaleur échangée

$$Q1=M * (H_{T2} - H_{T1'}) = 419710 * (34.416826-32.982792)$$

$$Q2= 602454.54\text{kcal/h}$$

b. Calcul de t1

$$t_1 = t_2' - \frac{Q_2}{ma*ca}$$

$$t_1=37.72 - \frac{602545.54}{3657622.42*0.2406} \quad t_1=37^\circ\text{C}$$

c. Différence de température logarithmique

$$\text{DTLM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = 25.85^\circ\text{c}$$

$$\Delta T_1 = T_2' - t_1' = 64.45 - 37.72 \quad : \text{Différence de température à l'entrée, } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1 = 62 - 37 \quad : \text{Différence de température à la sortie, } ^\circ\text{C}$$

Facteur de correction =1

d. Coefficient de transfert de chaleur liquide hi2

$$\text{Nu} = 0.027 * (\text{Re})^{0.8} * (\text{Pr})^{1/3} * \left(\frac{\mu}{\mu_l}\right)^{0.14}$$

$$\text{En considérant : } \frac{\mu}{\mu_l} = 1$$

$$\text{donc :Nu} = 0.027 * (\text{Re})^{0.8} * (\text{Pr})^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 439.32$$

• Nombre de REYNOLDS

$$\text{Re} = \frac{Gt*di}{ul}$$

$$\text{Re} = 210001.49$$

$$\text{Pr} = \frac{cl*\mu_l}{\lambda_l} = 0.72$$

Donc

$$h_i = nu * \lambda_l / d_i = 530.9 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

e. Le coefficient de transfert de chaleur coté tube

$$h_{i0} = h_i * \frac{d_i}{d_0}$$

$$h_{i0} = 415.11 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

f. Le coefficient global de transfert de chaleur

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_{i0}} + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_t + R_{sio} + r_m$$

$$U = 206.66 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

g. La surface d'échange calculée A₂

Alors on calcule la surface d'échange avec cette relation :

$$Q_2 = F * U_2 * A_2 * DTLM$$

$$A_2 = \frac{602454.54}{25.85 * 206.66}$$

$$A_2 = 112.77 \text{ m}^2$$

h. La Surface d'échange totale calculé (A_{tot}) :

$$A_{tot} = A_1 + A_2$$

$$A_{tot} = 3480 \text{ m}^2$$

5.3 Calcul du bilan thermique cas actuel

Les principales caractéristiques dans le cas actuel illustrées dans (le tableau 11a)

Tableau 11a : Les principales caractéristiques dans le cas actuel :

Caractéristique	Fluide	Air
Débit	340 000	3 647 787.602
Température d'entrée	80	20
Température de sortie	51	39.74

5.3.1 Calcul le coefficient de transfert coté air :

a. Quantité de chaleur échangée (Q)

A partir du bilan thermique

$$Q = M * HT1 - HT2 \quad (\text{coté naphta atmosphérique})$$

$$Q = 17324962.94 \text{ kcal/h}$$

b. Température de l'air à la sortie (t2)

$$Q = Vf * Ca * \rho_{37 a} * FA * t2 - t1$$

$$t_2 = \frac{Q}{Vf * Ca * \rho_{37 a} * FA * 3600} + t_1$$

$$T_2 = 39.74$$

c. Calcul du débit massique de l'air (ma) :

$$m_a = \frac{Q}{(t_2 - t_1) * C_a} = 3647787.602$$

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

$$Nu = 934.15$$

- Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{d_0 \cdot G_{max}}{\mu_0} = 7579.68$$

Re > 4000 donc le régime est turbulent

$$G_{max} = \frac{m_a \cdot V_m}{F_A \cdot V_f \cdot 3600} = 5.64 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$Pr = \frac{C_a \cdot \mu_a}{\lambda_a} = 0.71$$

$$H_{air} = \frac{nu \cdot \lambda_a}{dr} = 894.56 \text{ kcal/h.m.}^\circ\text{c}$$

5.3.2 Calcul du coefficient de transfert de chaleur coté tubes (hi) :

Zone de condensation

Condensation des vapeurs de naphta atmosphérique saturées à température constante.

a. La quantité de la chaleur échangée (Q_1)

$$Q_1 = M * H_{T1} - H_{T1}' = 16929651.94 \text{ kcal/h}$$

b. Température de l'air t_2'

$$Q_1 = ma * Ca * t_2 - t_2'$$

$$T_2 = 20.45$$

c. La Différence de température logarithmique moyenne (ΔTLM_1)

$$\Delta TLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = 43.94$$

$$\theta_1 = T_1 - t_2 = 80 - 39.41 \quad : \text{ Différence de température à l'entrée, } C^\circ.$$

$$\theta_2 = T_1' - t_2' = 67.2 - 20.45 \quad : \text{ Différence de température à la sortie, } C^\circ.$$

d. Coefficient de transfert de chaleur du naphta atmosphérique vapeur hi_1 :

On applique la formule de Colburn :

$$Nu = 0.023 * (Re)^{0.8} * (Pr)^n$$

$$Nu = 627.88$$

Avec

- ❖ $n = 0.4$ lorsqu'on refroidit le tube.
- ❖ $n = 0.3$ lorsqu'on réchauffe le tube.

Dans notre cas on prend $n=0.4$

• Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{Gt * di}{\mu} = 419415.48 > 4000 \text{ c'est un régime turbulent}$$

$$Gt = M/a_t = 181.62 \text{ kg/s.m}^2 \text{ Tel que}$$

$$a_t = \frac{Nt * \pi * di^2}{4 * n * pt}$$

$$A_t = \frac{3381 \cdot 3.14 \cdot (0.01986)^2}{4 \cdot 2}$$

$$A_t = 0.52 \text{ m}^2$$

- **Nombre de Prandtl**

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu_v}{\lambda_v}$$

$$pr = 0.70$$

donc

$$h_i = nu \cdot \lambda_v / d_i = 530.07 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e. Le coefficient de transfert de chaleur rapporté à la surface extérieur du tube

$$h_{i0} = h_i \cdot \frac{d_i}{d_0}$$

$$h_{i0} = 414.45 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

f. Le coefficient global de transfert de chaleur (U1)

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_{i0}} + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_t + R_{sio} + r_m$$

$$U_1 = 212.66 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

g. Surface d'échange calculée (A1)

$$Q_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_{LM1}$$

$$A_1 = 1918.52 \text{ m}^2$$

🚦 Zone de sous-refroidissement

Refroidissement du naphta atmosphérique liquide de la température T1 'à T2.

a. La quantité de la chaleur échangée (Q2)

$$Q_2 = M \cdot H_{T_2} - H_{T_1}'$$

$$Q_2 = 395311.01 \text{ kcal/h}$$

b. Calcul de t1

$$t_1 = t_2' - \frac{Q_2}{ma \cdot ca}$$

$$t_1 = 20.45 - \frac{395311.01}{364778.42 \cdot 0.2406}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

c. La Différence de température logarithmique

$$DTLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = 6.01^\circ\text{C}$$

Facteur de correction =1

d. Le Coefficient de transfert de chaleur liquide hi2

$$Nu = 0.027 * (Re)^{0.8} * (Pr)^{1/3} * \left(\frac{\mu}{\mu_l}\right)^{0.14}$$

En considérant : $\frac{\mu}{\mu_l} = 1$

$$\text{donc : } Nu = 0.027 * (Re)^{0.8} * (Pr)^{1/3}$$

$$Nu = 324.28$$

- **Le nombre de REYNOLDS**

$$Re = \frac{Gt * di}{\mu_l}$$

$$Re = 186889.79$$

$$Pr = \frac{Cl * \mu_l}{\lambda_l} = 0.72$$

e. Le coefficient de transfert de chaleur coté tube hi

$$h_{i0} = h_i * \frac{d_i}{d_o} \quad h_m$$

$$h_{i0} = 316.2 \text{ kcal/hm}^2\text{C}$$

f. Le coefficient globale de transfert de chaleur

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_{i0}} + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_t + R_{si0} + r_m$$

$$U = 88.6 \text{ kcal/hm}^2\text{C}$$

g. La surface d'échange calculée A2

Alors on calcule la surface d'échange avec cette relation :

$$Q_2 = F * U_2 * A_2 * DTLM \quad A_2 = 743.64$$

h. Calcul de la surface totale :

$$A_1 + A_2 = 2662.16 \text{ m}^2$$

On représente les principaux résultats calculés dans les tableaux 11 et 12 :

- **Tableau 11 : Les principaux résultats de calcul dans le cas design (température ambiante 37°C) à 100% du taux de marche**

Caractéristique	Fluide	Air
Débit Kg/h	419710	3657622.42
Température d'entrée, °C	73.3	37
Température de sortie, °C	62	62
Quantité de chaleur échangé kcal/h	21 969 509 .09	
Surface d'échange, m²	3480	

- **Tableau 12 : Les principaux résultats de calcul dans le cas actuel (température ambiante 20°C) à 82% du taux de marche**

Caractéristique	Fluide	Air
Débit kcal /h	340 000	3647787.602
Température d'entrée	80	20
Température de sortie	51	39.74
Quantité de chaleur échangé kcal/h	17324962.9	
Surface d'échange	2662.18	

5.4 Discussion et résultats :

D'après la comparaison entre les résultats obtenus des calculs illustrés dans les tableaux au-dessus 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 stabilisé devient inférieure à celle de l'équipement exigé c.-à-d. du design et les mauvais états du tubes influent sur le rendement du quelques Aéroréfrigérants, c.-à-d. les performances de cette batterie deviennent insuffisantes.

Dans le cas design à une température de 37°C, les résultats présentés dans le tableau 12 montrent que la surface d'échange globale requise pour un taux de marche de 100% est de 3480 m² avec une tolérance positive de 1.72% par rapport à la surface d'échange installée initialement $A_0 = 3541 \text{ m}^2$ pour un taux de marche de 120%.

Par contre, dans le cas de la surface d'échange installée actuellement $A_{01} = 3370.68 \text{ m}^2$ suite à l'obturation de 171 tubes sur l'ensemble des aéroréfrigérant 100 –AM-101, nous enregistrons un besoin en surface d'échange de 3.14% par rapport à la surface globale environ de 110 m².

Actuellement les Aéroréfrigérants 100-AM-101 sont encrassés et les résultats illustrés dans le tableau 13 indiquent que la surface d'échange actuelle à une température de 20°C pour un taux de marche 82% est de 2662.18m² .On remarque un besoin en surface de 23.51%, environ 817.82 m².

Pour une surface globale de 3480 m² le rendement du naphta est entre le 26 et 27% et dans le cas de bouchage le rendement diminue jusqu'à le 15.5%.

L'encrassement provoque une diminution de rendement de la batterie des Aéroréfrigérants, un mauvais refroidissement, et la montée de la colonne 100.T.101 en pression et donc la réduction du taux de marche pour soulager la colonne.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail est réalisé en fonction de besoins précis dans un cadre industriel, d'où il contribue à résoudre des problèmes pratiques et pertinents dans l'industrie pétrolière, tels que la dégradation des tubes dans les équipements d'échange de chaleur, qui affectent directement dans la chaîne de production. Notre objectif tourne autour des Aéroréfrigérants 100-AM-101 de la raffinerie RA2K.

L'efficacité thermique d'un aéroréfrigérant dépend principalement de l'augmentation de la résistance thermique due à l'encrassement, l'entartrage et à l'élimination permanente des tubes. Combiner les connaissances théoriques et pratiques nous permet d'évaluer les besoins théoriques de la surface d'échange totale pour un taux de production de 100 % pour l'ensemble des Aéroréfrigérants 100-AM-101 au cours de notre période de stage avec les conditions de service réelles, et de mettre en évidence la différence entre la surface d'échange installée initialement et la surface d'échange actuelle après l'élimination permanente des tubes.

En se basant sur les calculs, on peut noter un manque d'environ 23,51% de la surface d'échange pour assurer un taux de production de 100%.

Le problème de l'encrassement est l'un des problèmes les plus rencontrés par les agents de l'exploitation. Pour le moment, ils ont pu contrôler la situation mais de plus en plus ce manque de surface d'échange augmente, de plus en plus son influence augmente sur le bon fonctionnement de l'unité et de la raffinerie en général. La résolution de ce problème est une action primordiale pour ne pas arriver à un niveau de perturbations incontrôlables.

Enfin, les résultats des constatations sont recommandés, surtout compte tenu de l'augmentation du taux et de la vitesse de dégradation des tubes afin de prévoir des actions correctives le plus tôt possible. Ces actions sont l'installation d'une unité de purification de l'eau de l'ADE et la remise en état neuf des faisceaux tubulaires de l'aéroréfrigérant 100-AM-101E qui présente un nombre important de tubes obturés, aussi afin de donner une plus grande flexibilité aux variations du taux de production et assurer la satisfaction des clients en termes de quantité avec une qualité qui répond aux exigences internationales du produit fini.

Recommandations :

Une inspection et une maintenance régulières sont des opérations indispensables pour le bon fonctionnement des aéroréfrigérants puisque des composants internes endommagés, encrassés, usagés peuvent occasionner des nuisances qui dégradent le rendement et donc l'efficacité de notre installation.

Pour éviter le problème d'encrassement nous suggérons :

- 1- suivi rigoureux d'évolution des températures entrée/sortie des aéroréfrigérant 100 –AM- 101
- 2- suivie des paramètres de la colonne 100-T-101 et notamment la pression et la température de tête de colonne.
- 3- Faire fonctionner tout la batterie uniquement en cas de besoin selon les températures
- 4- Prévoir un nettoyage mécanique des faisceaux encrassés périodiquement selon programme d'inspection
- 5- Montage des nouveaux faisceaux A et B achetés en 2020 lors du prochain arrêt programmé en septembre 2022
- 6- Faire un nettoyage général des ailettes, spécialement pour les ailettes situé en bas des faisceaux (on remarque à l'œil que les ailettes sont encrassés par les poussières).

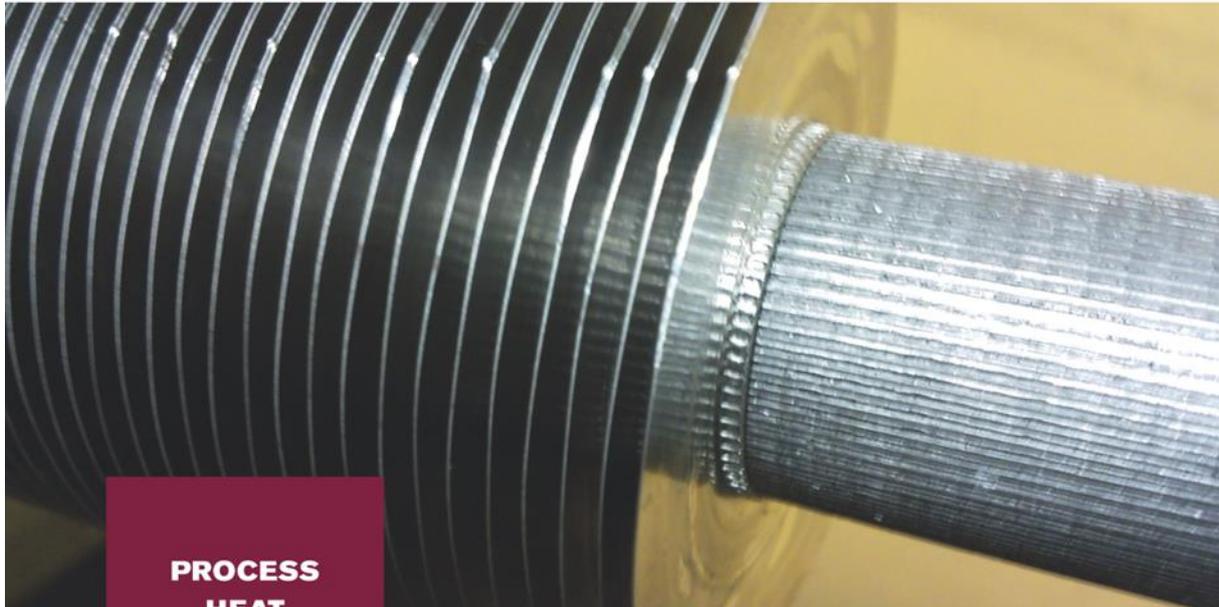
Les solutions proposées :

- 1- Nettoyage périodique de la batterie d'aéroréfrigérant.
- 2- Changement des deux faisceaux encrassés.
- 3- Amélioration de la qualité d'eau de lavage et lancer un cahier de charge pour la réalisation de nouvelle unité d'épuration de l'eau industrielle RA2K.

Bibliographie

1. P.WUITHIER, le pétrole, raffinage et génie chimique, tome I et tome II, **2^{eme}** édition, 1972 paris.
2. Magazine SONATRACH : la qualité du condensat algérien au service de la pétrochimie de l'auteur M^r Guessom Nasreddine.
3. Cours du transfert thermique I et II de M^r. Mimoun université de Boumerdès
4. Manuel opératoire unité 100/200/300/400/500, 2006 CNPC .complexe RA2K, Sonatrach.
5. The Basics of Air-cooled Heat Exchangers, HUDSON Products Corporation.
6. Rapport d'étude N°TE10:2019, étude de fonctionnement de l'aéroréfrigérant 100-AM-101-A-H
7. Documentation : www.google.com

KLM[®] Finned Tubes



**PROCESS
HEAT
EXCHANGERS**

APPLICATIONS

The finned tubes designed by Hamon d'Hondt S.A. meet all the criteria for corrosion resistance required in such industrial sectors as:

- Oil refineries, chemical and petrochemical plants
- Natural gas compression stations
- Steel mills
- Steam condensation systems
- Household waste incineration plants
- With many other applications in the cooling systems of electrical transformers, in the railway and automotive industries

MANUFACTURING PROCESS

The aluminum strip is formed in the same manner as the standard "L" fin with an additional step of knurling the fin's foot to the tube. The knurling enhances both the mechanical contact and thermal transfer properties.

ADVANTAGES OF THE KLM fin system

- Full protection of bare tube against corrosion.
- Successfully tested at service temperatures up to 320 ° C.
- Unique combination of high thermal performance and stresses resistance with atmospheric corrosion protection.
- KLM can replace any type of finned tubes

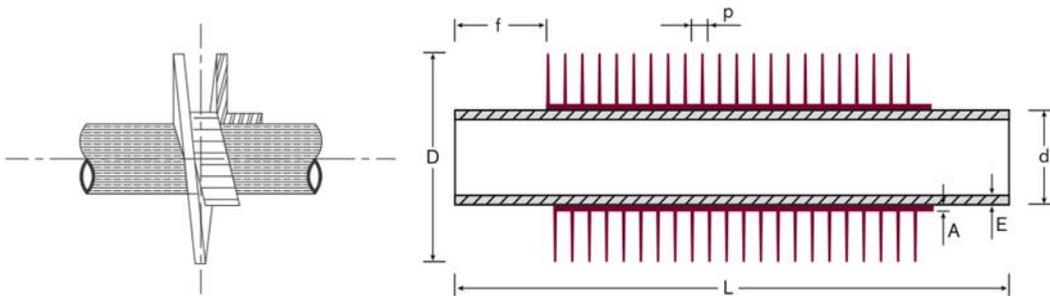


KLM[®] Finned Tubes

PRODUCTION RANGE OF KLM FINS

Tube Quality	Tube OD mm (d)	Tube thickness mm (E)	Fin diameter mm (D)	No. Fins/m (p)	Strip quality	Strip thickness mm (A)	Length M (L)	Plain ends mm (f)
Precision Tubes	13 to 50.8	> 0.8 acc. To length and material	acc. To width of strip used	200 to 440	Aluminium 1050/1060	0.35 to 0.5	07 to 16	20 to 450
	10 to 50.8	> 0.8 acc. To length and material	acc. To width of strip used	200 to 500	Cu tinned copper	0.25 to 0.5	07 to 16	20 to 450

May be used at temperatures up to 320°C (608°F)



STANDARD OIL KLM FINS

Tube dia. mm (d)	Fin dia. mm (D)	No. Fins per m (p)	No. Fins per in. (p)	Aluminium strip thickness 1050/1060 (A)	Min. tube thickness* before fins mm (E)
25.4	50.8	276-315-354-394-433	7-8-9-10-11	0.35-0.4	1.65
25.4	57.15	276-315-354-394-433	7-8-9-10-11	0.4-0.5	1.65
31.75	57.15	276-315-354-394-433	7-8-9-10-11	0.4-0.5	1.83
31.75	63.5	276-315-354-394-433	7-8-9-10-11	0.4-0.5	1.83
38.1	63.5	276-315-354-394-433	7-8-9-10-11	0.4-0.5	2.1
38.1	69.85	276-315-354-394-433	7-8-9-10-11	0.4-0.5	2.1

*Please ask for lower thickness

KLM can replace any kind of finned tubes L-G-Extruded.



HAMON D'HONDT
 1524, rue de la Paix
 59970 Fresnes sur Escaut
 France
 Tel: +33 3 27 28 44 28
 Fax: +33 3 27 28 44 00
 spares@hamon-dhondt.com

www.hamon.com

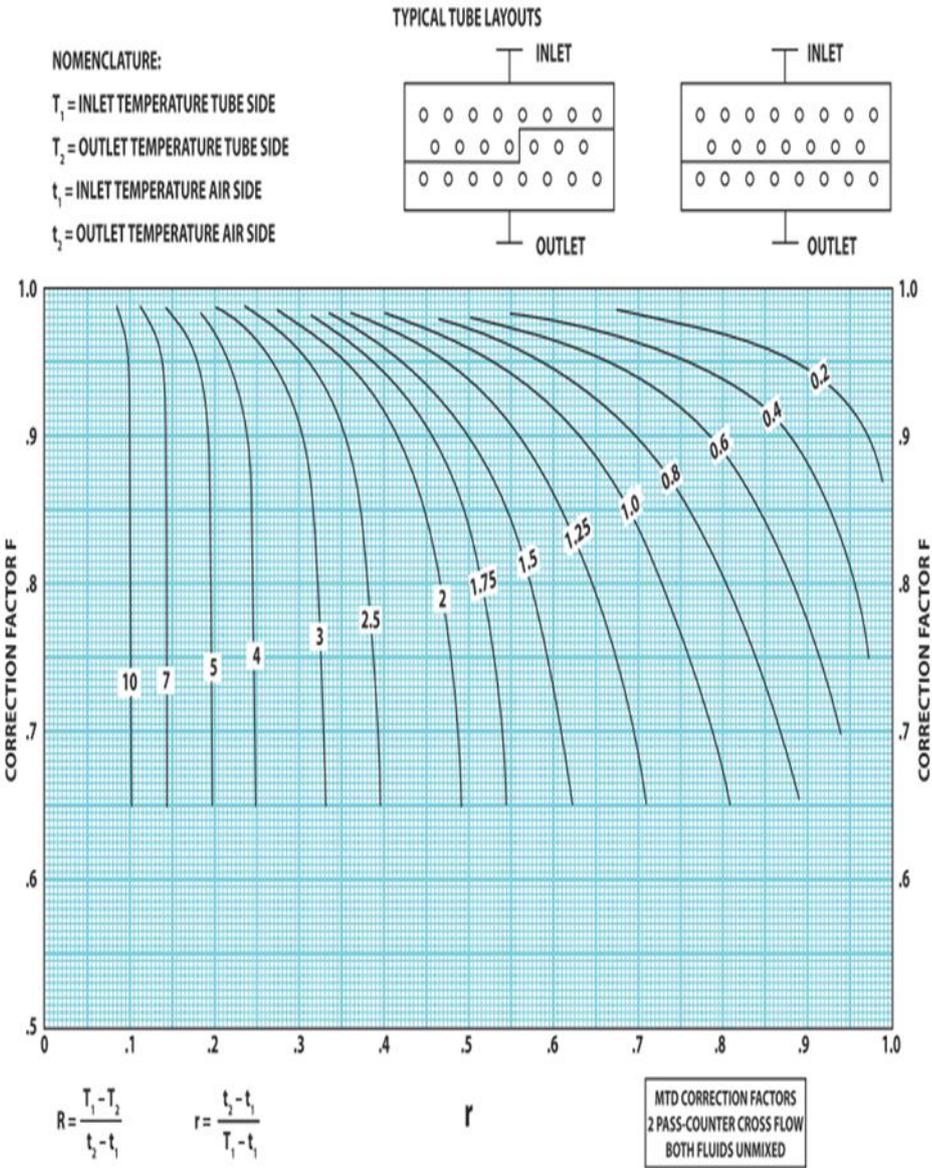


Annexe B : Les données pour calculer le coefficient de transfert de chaleur coté tube

MTD Correction Factors / 2 Pass-Cross Flow

Hudson Products Corporation • Sugar Land, Texas, USA

Figure 10



Annexe C : La fiche technique de l'aéroréfrigérant A-101 A/H

	<h3>HAMON D'HONDT s.a.</h3>	1824 rue de la Paix 59670 Fresnes/Escout FRANCE Phone : (33) 327-28-44-20 Fax : (33) 327-28-44-00 E-mail : mail.HDH@hamon.com
---	-----------------------------	--

DOCUMENT N°: 12815-46/1 Document nr:	FEUILLE 1 Sheet	DE 2 of	Bureau Emetteur DCO Issued by
TITRE DU DOCUMENT : TITLE OF DOCUMENT : TYPE D'APPAREIL : EQUIPMENTS : CODE APPLICABLE : CODE : CLIENT : PURCHASER : PROJET : PROJECT : IMPLANTATION : PLANT : N° ITEM : ITEM : N° COMMANDE CLIENT : PURCHASE ORDER No. : N° AFFAIRE HDH : HDH JOB N° :	SPECIFICATION D'AEROREFRIGERANT AIR COOLED HEAT EXCHANGER DATA SHEET PREFRACTIONATOR OVHD VAPOUR AIR COOLER ASME VIII Div 1 / DPP ALGERIENNE - ALGERIAN DPP CPECC / SONATRACH SC1 - TOPPING DE CONDENSATS SKIKDA 100-A-101 P35-EQ-0010 12815		

Bon pour exécution

En accord du 28.11.06
 Date: 22/11/06
 Signature: *[Signature]*

REV.	DATE	PREPARE	VERIFIE	APPROUVE	DESCRIPTION
REV.	DATE	PREPARED	VERIFIED	APPROVED	DESCRIPTION
0	28/11/2006	XHD <i>[Signature]</i>	AM <i>[Signature]</i>	CJ <i>[Signature]</i>	Issue with Order
E	24/11/2006	XHD <i>[Signature]</i>	AM <i>[Signature]</i>	CJ <i>[Signature]</i>	Issue with Bid

Form 0010 Rev. 0

BMD 42 Rev. 0

rev	g	Date	By	Check	Val.	SI units	Date :	28/11/08	rev
1	g	28/11/08	g				Rev :	0	
							Doc. No.:	12815-48/1	
							Item n° :	100-A-101	
							page 2/2		
Data sheet									
AIR COOLED HEAT EXCHANGER									
Hamon D'Hondt S.A.									
Customer/Purchaser	CPECC / LPEC for SONATRACH							page 2/2	
Plant location	SKIKDA (ALGERIA)								
Service	Prefractionator OVHD Vapour Air Cooler						N° of unit(s)	1	
Plot size (W,L) [m]	28.88	12.75	FORCED				N° of bay(s)/Unit	4	
Surface/unit-Finned	80 785 [m²]			Bare Tube		3455 [m²]			
Heat exchanged	30.62 [MW]			MTD (eff.)		17.6 [°C]			
Transf. rate-Finned	23.7 [W/m².K]			Bare Tube(C/D)		630 / 550 [W/m².K]			
PERFORMANCE DATA - TUBE SIDE									
Fluid Name	Prefractionator OVHD Vapor			IN	OUT				
Total Fluid [kg/h]	503 657			Density (Liq)	561.31	566.63	[kg/m³]		
Temperature [°C]	73.3	62.0		Density (Vap)	10.41	10.09	[kg/m³]		
Liquid [kg/h]	198 995	503 657		Spec. Heat (Liq)	2.4815	2.4468	[kJ/kg.K]		
Vapor [kg/h]	304 662	0		Spec. Heat (Vap)	2.0079	1.9860	[kJ/kg.K]		
Non condensed [kg/h]				Conduct. (Liq)	0.1089	0.1126	[W/m.K]		
Steam [kg/h]				Conduct. (Vap)	0.0197	0.0195	[W/m.K]		
Water [kg/h]				Inlet Pressure	4.01		[bar]		
Viscosity (Liq) [cP]	0.179	0.200		Tube velocity [m/s] (in out)	10.55		[bar]		
Viscosity (Vap) [cP]	0.008	0.008		Allowed Calc. ΔP	0.30 / 0.29		[bar]		
				Fouling resist.	0.00017 [m².K/W]				
PERFORMANCE DATA - AIR SIDE									
Air Quantity, Total	4 135 999 [kg/h]			Face Velocity [m/s]	2.8				
Air Quant./Fan (act)	128.4 [m³/s]			Air [m] - Min. Des. Amb. [°C]	18		1.0		
Static pressure	150.2 [Pa]			Temp. in / Out	37.0 / 63.5 [°C]				
DESIGN - MATERIALS - CONSTRUCTION									
Design pressure	6.35 [bar]			Code Requirements	ASME VII Div. 1 - ALGERIAN DPP (1)				
Design temperature	92.0 [°C]			TUBE					
Test Pressure	per code [bar]			Material	A 179				
BAY width [m]	7.42			Outside Diameter	25.4 [mm]				
Bundle Size(W,L)[m]	3.60	12.75		Wall Thickness (MIN)	2.77 [mm]				
N° Bundles/Unit	8			N°/Bundle	444				
N° Bundles/Bay	2			Length	12.500 [m]				
N° Tube Rows	8			Pitch	63.500 [mm]				
N° Passes	2 (S-2)			FIN					
Tube slope	0 [mm/m]			Type	KLM				
HEADER				Material	ALUMINIUM				
Type	PLUG			Outside Diameter	57.15 [mm]				
Material	A-516 GR 60-70			Stock Thick.	STD [mm]				
Plug Design	SHOULDER			FPI / N°/m	11 /		433		
Plug material	A 105			MISCELLANEOUS					
Gasket material	SOFT IRON			Structural Mounting	RACK (2x 6M)				
Corrosion Allow.	3 [mm]			Bundle Frame	GALVANIZED				
Qty/Size nozzle IN	2	8"		Louvers	NO				
Qty/Size nozzle OUT	2	8"		Vibration switches	YES (1 per fan)				
Rating & Facing	150 # WN RF			Steam Coil	NO				
Velocity [m/s]	18.15	0.92		Recirculation System	NO				
$\rho \cdot v^2$ (in/out)[kg/m.s²]	6 236	477		Tube / Tubesheet Welding	NO				
MECHANICAL EQUIPMENT									
FAN				ELECTRIC MOTOR					
N°/Bay	2			N°/Bay	2				
N° autovvariable/bay	0			kW/Driver	37				
rev/min	later			rev/min	970				
Diameter	18 [ft]			Enclosure	Eex'd (Class 1, Div. 2)				
N° Blades	6 MINI			Volt, Phase,Cycle	380 / 3 / 50				
Material, Blade	ALUMINIUM			SPEED REDUCER					
Material, Hub	C.S. OR ALU			Type	T-BELTS				
kW/Fan,Des.	25.9 [kW]			N°/Bay	2				
kW/Fan,Min. Amb.	29.0 [kW]			Service Factor					
SPL @ 1 m beside equip.	85±2 [dB(A)]			Ratio	later : 1				
Notes :									
(*) Dimensions given without walkways.									
(1) ASME STAMP : NO. ALGERIAN DPP REQUIRED. PED & ATEX : Not Applicable									
(2) DESIGN CASE 1 : OB#1 CASE A +20%									
(3) DESIGN FOR 120 % OF FLOW AND DUTY (+ 10% CALCULATION SAFETY)									
(4) PER BUNDLE : ONE VENT + ONE DRAIN (ON RETURN HEADER) - 2" WNRF									
(5) ONE HALF OF THE FANS TO BE DRIVEN BY VARIABLE SPEED DRIVES (BY OTHERS)									
form 0142 rev 1									
Act. date :		28/11/08		Revis. Ref. ID :		100A/01-C8-08		Thers. date :	
								M Made by : JMS	