

N°...../FHC/UMBB/2021

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université M'Hamed Bougara-Boumerdès**



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**  
**Département Transport et Equipements des Hydrocarbures**

**Mémoire de fin d'études**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**

**Master**

**Domaine** : Sciences et Technologies

**Filière** : Hydrocarbures

**Option** : Génie Mécanique-Mécanique des unités pétrochimiques

Réalisée par : BDIRINA Abdelatif

**Dimensionnement et étude de l'influence d'un aéroréfrigérant sur une unité de séparation de gaz**

Devant le jury :

Nom et Prénom

Encadreur : SHANOUNE KHALED

Examineur : YAHY FATMA

Examineur : KHELIFI-TOUHAMI MOHAMED SALAH

Boumerdès : 2020/2021

## *Dédicas*

*J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont fait pour moi rien que pour me voir réussir, l'occasion est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, de fierté, de sagesse et de patience.*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois présenter de l'amour et de la reconnaissance : mes parents  
Que dieu les garde à moi.*

*A mes frères et mes sœurs*

*A toute ma famille sans exceptions.*

## *Remerciements*

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les professeurs qui nous ont aidés tout au long de notre cursus universitaire en particulier notre promoteur SAHNOUNE KHALED pour ses conseils et l'aide qu'il nous a apportés.*

*On adresse nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, même avec un sourire ont contribué à la finalisation de ce travail.*

*Enfin, on tient à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et apporter leurs critiques et corrections*

# Résumé

---

## Résumé :

Le refroidissement des produits et équipements industriels est essentiel pour maintenir leur qualité et leurs performances. Dans de nombreux cas, le refroidissement sera assuré par échange avec le milieu environnant à l'aide d'eau ou d'air. Dans ce travail, nous avons étudié l'aéroréfrigérant en particulier, où nous avons abordé son fonctionnement et la connaissance de ses composants et pièces et des avantages et inconvénients les plus importants, et nous avons utilisé le programme de simulation CHEMCAD afin d'obtenir les caractéristiques d'aéroréfrigérant, et nous avons également développé un programme de maintenance afin d'assurer la qualité de la réfrigération.

## Abstract:

The cooling of industrial products and equipment is essential to maintain their quality and performance. In many cases, cooling will be provided by exchange with the surrounding environment using water or air. In this work, we studied the air cooler in particular, where we approached its operation and the knowledge of its components and parts and the most important advantages and disadvantages, and we used THE CHEMCAD simulation program in order to obtain the air cooler characteristics, and we have also developed a maintenance program to ensure the quality of refrigeration.

## ملخص:

إن تبريد المنتجات والمعدات الصناعية ضروري من أجل الحفاظ على جودتها وأدائها، في كثير من الحالات سيتم توفير التبريد عن طريق التبادل مع البيئة المحيطة باستخدام الماء أو الهواء. لقد قمنا في هذا العمل بدراسة مبرد الهواء بشكل خاص حيث تطرقنا إلى كيفية عمله ومعرفة مكوناته وأجزائه وأهم سلبياته وإيجابياته، ولقد استخدمنا برنامج المحاكاة CHIMCAD من أجل الحصول على خصائص المبرد الهوائي، وقمنا أيضا بوضع برنامج الصيانة من أجل ضمان الجودة في التبريد.

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **CHAPITRE I : Généralité sur les aéroréfrigérants**

I. Introduction .....	2
II. Transfert de chaleur.....	2
1. La conduction.....	2
2. La convection.....	3
3. Le rayonnement.....	3
III. Présentation de l'aéroréfrigérant .....	4
1. Principe de fonctionnement.....	4
1.1. Définition de L'aéroréfrigération.....	4
1.2. Description de l'aéroréfrigérant :.....	4
2. Mode de tirage des aéroréfrigérants.....	4
2.1 Avantage et inconvénients de chaque type.....	5
2.1.1 Tirage forcé .....	5
2.1.2 Tirage Natural.....	5
2.2. Choix air induit/air forcé.....	6
3. Les composants.....	8
3.1. Bancs d'aéroréfrigérants.....	9
3.2. Faisceau tubulaire.....	9
3.3. Tubes à ailettes.....	10
3.4. Distributeurs ou collecteurs.....	12
3.5. Les systèmes de Ventilation .....	13
3.6. Dispositifs de réglage de débit d'air.....	15
3.7. Le moteur et systèmes de transmission.....	16
3.8. Accessoires.....	17
3.9. Structure.....	18

## Tableaux de matière

---

4. Domaine d'utilisation.....	18
5. Avantages et inconvénients des aéroréfrigérants.....	18

### **CHAPITRE II : Description de procédé et de l'installation**

I.Introduction .....	20
II. Description de procédé .....	20
III. Principales équipement de l'unité.....	21
IV. L'installation et ses modules .....	21
1. Collecteur.....	21
2. Compresseur .....	22
3. Réfrigération.....	22
4. Le collecteur central.....	23
5. l'absorbeur.....	23
6. Le stripper (Reboiled stripper).....	24
V. Description d'unité d'aéroréfrigérant.....	25

### **CHAPITRE III : Dimensionnement de l'aéroréfrigérant**

I.Introduction .....	27
II. La composition du gaz de procédé.....	28
1. Calcul de la masse molaire et Le passage de débit massique au débit molaire .....	28
2. Calcul de la fraction molaire et massique.....	29
III. Présentation de Chemcad .....	30
IV. Traitement des données et l'étude de l'aéroréfrigérant par le logiciel CHEMCAD.....	32
1. Les résultats obtenus et leur commentaire.....	34
1.1. La courbe de variation de température.....	34
1.2. la courbe de température en fonction de distance parcourue.....	35
1.3. La courbe de flux de chaleur.....	36
1.4. La courbe de $\Delta T_{Lm}$ obtenue par CHEMCAD.....	37

## Tableaux de matière

---

1.5. La courbe de coefficient de transfert de chaleur $h$ (W/m <sup>2</sup> . k).....	38
1.6. La courbe de surface.....	38
V. Caractéristique géométrique des aéroréfrigérant.....	39
VI. Les tableaux récapitulatifs de la simulation.....	42
1. Tableau Concernant Le Côté tube.....	42
2. Tableau concernant le côté air.....	43
3. Caractéristique de l'aéroréfrigérant .....	44
VII. Conclusion.....	44

### **CHAPITRE IV : Maintenance des L'aéroréfrigérants**

I. Maintenance appliquée aux aéroréfrigérants.....	45
1. Maintenance préventive.....	45
Pourquoi adopter une maintenance préventive ?.....	45
2. Critiques.....	46
II. Inspections préconisées par le constructeur .....	46
III. Identification et résolution des problèmes de performance des aéroréfrigérants.....	49
1. Phase 1. Étude préliminaire.....	50
2. Phase 2. Étude sur site.....	51
2.1. Encrassement extérieur.....	51
2.2. Encrassement intérieur.....	52
2.3. Entretien.....	53
a)Prévention de l'encrassement pendant les phases de fonctionnement.....	53
i. Procédés mécaniques pour les liquides.....	53
ii.Procédés mécaniques pour les gaz.....	54
b) méthodes de nettoyage .....	54
i. Méthode physico-chimique.....	54
ii.Méthode mécanique.....	55
2.4. Vérification d'étanchéité des tubes.....	56

## Tableaux de matière

---

Exemple de détection de fuites de tubes.....	56
Fonctionnement.....	56
2.5. Joints d'étanchéité à l'air .....	56
2.6. Faible distribution d'air ou débit d'air.....	57
2.7. Perte de contact thermique entre les ailettes et les tubes ou ailettes détériorées (pliées, aluminium pourri, etc.).....	59
3. Phase 3 : l'amélioration de l'aéroréfrigérant.....	59
<b>Conclusion général</b> .....	<b>60</b>
 Bibliographie	

# Liste de figure

---

## Chapitre I

Figure I.1 : Modes de tirage d'un aéroréfrigérant.....	6
Figure I.2: Différentes dispositions des aéroréfrigérant.....	7
Figure I.3 : �l�ments constitutifs d'un aéroréfrigérant.....	8
Figure I.4 : Schéma de bancs d'aéroréfrigérants.....	9
Figure I.5 : Les éléments constitutifs d'un faisceau tubulaire.....	9
Figure I.6 : Disposition des ailettes circulaires sur les tubes.....	11
Figure I.7 : Diff�rent types de collecteurs.....	13
Figure I.8 : Représentation du système de moteur et ventilateur.....	15
Figure I.9 : Photo des persiennes d'une recirculation interne.....	16
Figure I.10 : Photo des persiennes d'une recirculation externe.....	16
Figure I.11 : Différentes dispositions du ventilateur.....	17

## Chapitre II

Figure II.1: Schéma de l'unité.....	20
Figure II.2 : collecteur.....	21
Figure II.3 : compresseur.....	22
Figure II.4 : section de réfrigérant et collecteur.....	22
Figure II.5: collecteur central.....	23
Figure II.6 : absorbeur.....	24
Figure II.7 : stripper.....	25
Figure II.8 : aéroréfrigérant.....	25

## Chapitre III

Figure III.1: Interface de ChemCad.....	31
Figure III.2: Schéma d'installation thermique.....	32
Figure III.3 : le graphe de (T) en f( $\Delta h$ ).....	34
Figure III.4 : la variation de température en fonction de la distance.....	35

## Liste de figure

---

Figure III.5 : la courbe de flux de chaleur.....	36
Figure III .6 : La courbe de $\Delta T L m$ en fonction de section.....	37
Figure III.7 : la courbe de $h=f$ (section).....	38
Figure III.8 : la courbe de surface.....	38
Figure III.9 : le tub.....	40
Figure III.10 : les faisceaux.....	40
Figure III.11 : le moteur et le ventilateur.....	41
Figure III.12 : matériaux utilisés.....	42

### Chapitre V

Figure V.1 : Diférants types d'encrassement.....	51
Figure V.2: Thermographie des différentes parties d'aéroréfrigérant..	52
Figure V.3: Exemple des outils de nettoyage (intérieur tube) par fraises, boules, et brosse flexible.....	53
Figure V.4: Nettoyages chimique.....	55
Figure V.5: Contrôle des fuites par le KIT LD 2X2.....	56
Figure V.6: Joint d'étanchéité.....	57
Figure V.7 : Mesure de la distribution d'aire de différant type de pale.....	58

# Liste de tableaux

---

## Chapitre I

Tableau I.1 : différents modèle des pales.....	14
--	----

## Chapitre II

Tableaux II.1 : les données d'aéroréfrigérant.....	26
--	----

## Chapitre III

Tableau III.1. Fraction molaires et massiques de différents constituants.....	28
---	----

Tableau III.2. Fraction molaires et massiques de différents constituants.....	29
---	----

Tableau III.3. Les donné de départ.....	33
---	----

Tableau III.4 : paramètres de côté tube.....	42
--	----

Tableau III.5 : paramètres de côté air.....	43
---	----

Tableau III.6 : Caractéristique de l'aéroréfrigérant.....	44
---	----

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction Générale

Dans toutes les entreprises opérant dans les industries pétrolières, la question vitale qui se pose est la gestion de l'énergie. Comment obtenir une énergie optimale pour répondre à la demande des clients et quels sont les procédés les moins chers pour extraire la chaleur inutilisable.

L'un de ces procédés est la réfrigération qui est un aspect essentiel de l'extraction par échange de chaleur, les équipements de réfrigération sont donc indispensables dans les industries et ont un impact important sur la fiabilité du processus industriel.

C'est pourquoi, dans notre mémoire nous ferons une étude relative à ce type d'échangeur et nous intéresserons à sa description, son fonctionnement et sa maintenance ainsi que ses caractéristiques.

# *CHAPITRE I*

## *GÉNÉRALITÉ SUR LES AÉROREFRIGÉRANT*

## I. Introduction :

Les aéroréfrigérants utilisent comme fluide réfrigérant l'air froid ambiant qui, après aspiration par des ventilateurs, traverse des faisceaux de tubes généralement à ailettes à l'intérieur desquels circule un fluide à refroidir ou à condenser. Les faisceaux peuvent être horizontaux, Verticaux ou inclinés, les circulations de l'air et du fluide dans les tubes s'effectuant à courants Croisés. Pour la plupart des aéroréfrigérants d'installations pétrolières les faisceaux sont horizontaux. Ils sont dits à tirage induit lorsque les ventilateurs sont placés au-dessus des faisceaux ; ils sont dits à tirage forcé lorsque les ventilateurs sont situés au-dessous des faisceaux.

Les premiers aéroréfrigérants sont apparus durant les années 40, mais c'est seulement vers les Années 60 que la maîtrise technologique a vraiment commencées

## II. Transfert de chaleur

L'expérience montre que deux corps isolés de l'ambiance et la à température différente échangent de l'énergie sou forme de chaleur jusqu'à disparition complète de leur différence de température. Cet échange peut se faire de 3 façons

### 1. La conduction :

S'il y a contact physique entre les molécules des corps contigus et immobiles on parle de conduction. Le transfert de chaleur correspond alors à la transmission d'une énergie cinétique due aux chocs élastiques des molécules fluides, aux oscillations longitudinales des molécules de solides non conducteurs d'électricité ou aux mouvements des électrons dans les autres cas. Les lois fondamentales du transfert de chaleur par conduction sont en complète analogie avec celles de la conduction électrique. Elle est régie par la loi de **FOURRIER** :

$$\Phi = dQ / dA . d\tau = -\lambda dT / dX \text{ (Kcal/hm}^2\text{)}$$

$$dQ = (-\lambda dT / dX) . A$$

$\lambda$  : conductivité thermique du solide

$\Phi$  : flux de chaleur

Q : quantité de chaleur transmise

**dX** : épaisseur

**dT** : différence de température

**A** : surface perpendiculaire au flux  $\Phi$

### 2. La convection :

On parle de transfert par convection, s'il s'agit de fluides en mouvement et que la transmission de chaleur accompagne le déplacement de filets d'un seul fluide ou s'opère par mélange des deux fluides. Ce mode de transfert est donc essentiellement régi par les lois des écoulements des fluides, ainsi que par celles de la conduction.

La formule de la transmission de chaleur par convection est donnée par la loi de *NEWTON* :

$$Q = h.F.\Delta t \text{ (Kcal/h)}$$

**h** : coefficient de transfert de chaleur ; h est fonction de (Re,  $\mu$ ,  $C_P$ , P.... )

**F** : surface d'échange ( $m^2$ )

**$\Delta t$**  : différence de température ( $^{\circ}C$ )

### 3. Le rayonnement :

Tout corps porté à une température supérieure au zéro absolu ( $0^{\circ}K$ ) rayonne, dans toutes les directions, une énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Inversement tout corps est susceptible d'absorber tout ou une partie d'une énergie électromagnétique analogue à celle qu'il serait susceptible d'émettre. Cette forme de transfert de chaleur nécessite donc, entre les corps considérés, aucun support matériel et s'identifie parfaitement à la propagation de la lumière, c'est à dire à l'optique. Elle est régie par la loi de *BOLTZMANN* :

$$Q = F.S.T^4$$

**S** : constante égale à  $4.96 \cdot 10^{-8}$  (Kcal/ $m^2h$  ( $K^{\circ}$ )<sup>4</sup>)

**F** : surface d'échange ( $m^2$ )

En réalité tout échange thermique s'effectue simultanément sous les 3 formes précédentes mais, généralement, l'une d'elle est prédominante et les autres peuvent être négligées.

Les trois modes de transfert sont concurrents, il est nécessaire d'écrire que l'échange est la somme des trois effets, comme ce serait le cas pour le refroidissement à l'air d'une plaque métallique à très haute température.

Enfin, il y a lieu de distinguer, comme en mécanique des fluides, le régime établi (ou permanent) d'écoulement de la chaleur, caractérisé par la constance des températures locales, et le régime non établi ou transitoire où les températures locales varient en fonction du temps.

### III. Présentation de l'aéroréfrigérant

#### 1. Principe de fonctionnement

##### 1.1. Définition de L'aéroréfrigération :

Est un procédé utilisé pour évacuer, à partir d'un puits froid, la chaleur contenue dans un fluide chaud. Le puits froid utilisé dans la réfrigération atmosphérique est l'air ambiant.

Dans cette application dite directe, le puits froid échange directement avec le fluide à refroidir sans utilisation d'un circuit avec fluide caloporteur intermédiaire. De plus, la réfrigération est qualifiée de sèche car le fluide à refroidir ne peut être mis en contact avec le fluide de refroidissement à cause de sa pression, sa toxicité ou son impact sur l'environnement par exemple. Il est important de noter que les appareils de réfrigération atmosphérique fonctionnent en général en circuit ouvert compte tenu du fait que l'air chaud est rejeté après échange directement dans l'atmosphère et n'est pas recyclé.

##### 1.2. Description de l'aéroréfrigérant

L'aéroréfrigérant atmosphérique direct sec se distingue des autres appareils de refroidissement direct par le fait que le fluide à refroidir ne subit pas de changement d'état dans la grande majorité des applications, ou à sa modification chimique par refroidissement, en cas de changement d'état isotherme (vapeur en liquide d'un fluide pur par exemple), l'appareil est appelé aérocondenseur.

Dans l'échangeur, le fluide à refroidir est mis en circulation par une pompe et traverse un ensemble de tubes dont la paroi extérieure est soumise à une circulation d'air naturelle ou forcée. Le fluide à refroidir peut être de toute nature : huile, gaz, liquide organique, eau, vapeur, etc. L'échange de chaleur est basé sur les lois de la **convection** qui caractérise la propagation de la chaleur dans un fluide, gaz ou liquide, dont les molécules sont en mouvement.

#### 2. Mode de tirage des aéroréfrigérants :

On peut distinguer deux types de réfrigérants à air selon leur mode de tirage du fluide  
Auxiliaire : Tirage induit / Tirage forcé.

## 2.1. Avantage et inconvénients de chaque type :

### 2.1.1. Tirage forcée

#### Avantages

- Maintenance plus facile, le ventilateur est situé sous les faisceaux tubulaires (Meilleur accès pour le réglage /maintenance des pales).
- L'ensemble du système de ventilation est à l'abri du soleil et des intempéries.
- Les composants mécaniques ne sont pas exposés au flux d'air chaud qui sort de l'unité (Durée de vie plus longue),
- Recommandé lorsque la température du fluide à refroidir est élevée.
- Un soutien moins structurel est requis et le coût en capital est inférieur.
- En théorie, le principal avantage de l'unité à tirage forcé est qu'elle nécessite moins d'énergie. Cela est vrai lorsque la température de l'air dépasse 30 ° C (54 ° F), car le ventilateur pompe de l'air plus dense

#### Inconvénients

- Mauvaise distribution de l'air et possibilité de recirculation d'air chaud non maîtrisée.
- Pas de refroidissement en cas de panne du ventilateur.
- Les tubes sont exposés aux conditions météorologiques (humidité, rayonnement solaire).

### 2.1.2. Tirage naturel

#### Avantages

- Possibilité de recirculation d'air chaud plus faible, car la vitesse de l'air de sortie est élevée.
- Meilleure distribution de l'air de refroidissement approchant le faisceau.
- Convient mieux aux échangeurs conçus pour une approche proche de la température de sortie du produit à la température de l'air ambiant
- Dans un service où un changement brusque de température causerait un dérangement et une perte de produit, l'appareil à tirage induit offre plus de protection dans le sens où seulement une fraction de la surface (par rapport à l'appareil à tirage forcé) est exposée aux précipitations, neige
- Performance de refroidissement élevée (Moins d'effets directs dus au soleil), 60% de la surface est couverte par le ventilateur.

- Moins d'énergie nécessaire au fonctionnement du moteur électrique.

### Inconvénients

- La température ambiante maximale ne doit pas dépasser 95 °C sous peine d'abimer le ventilateur.
- Pour un fluide process à refroidir ayant une température supérieure à 175 °C, le refroidissement par convection forcée est nécessaire.
- Maintenance des équipements moins facile.
- La majorité (98%) des aéroréfrigérants installés au niveau du complexe GP1Z sont de type à "tirage forcé".

Le type à tirage naturel est minoritaire et représente des installations où la fréquence des interventions d'entretien est faible (Exemple des refroidisseurs d'huile de lubrification au niveau des turbocompresseurs).

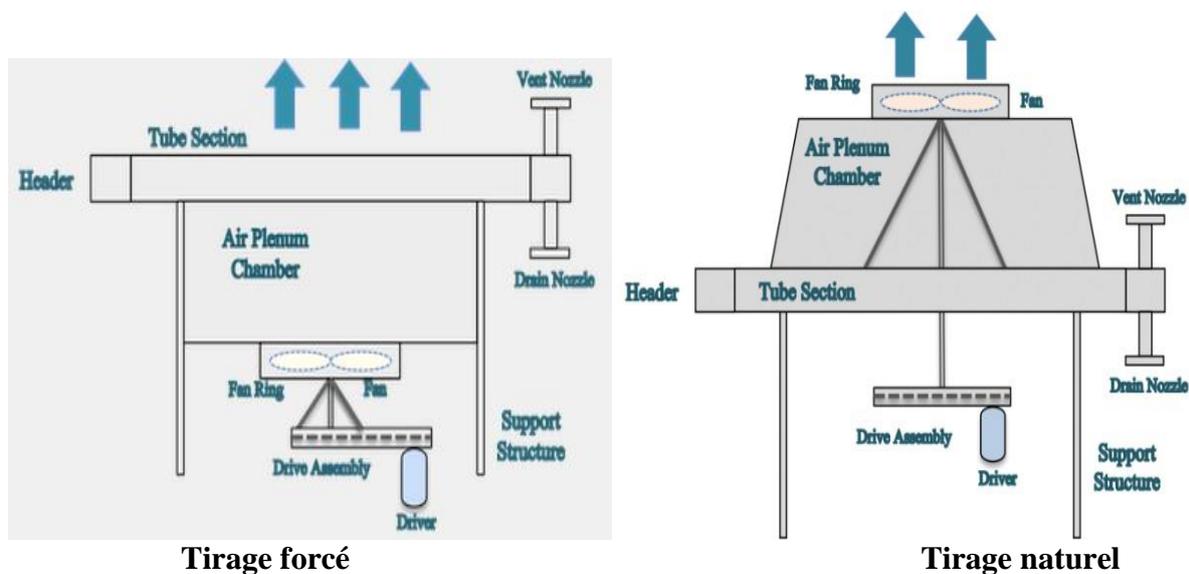


Figure I.1 : Modes de tirage d'un aéroréfrigérant.

### 2.2. Choix air induit/air forcé :

Il est constaté que la distribution d'air au travers le faisceau est mieux assurée pour L'aéroréfrigérant à air induit, ce qui est particulièrement appréciable pour une approche detempérature faible entre air et produit.En air induit, la vitesse de l'air chaud à la sortie des anneaux de ventilation est 2 à 2.5 foisplus élevée qu'en air forcé à la sortie des faisceaux. Cette vitesse supérieure diminue les risquesde recirculation d'air chaud, surtout en présence

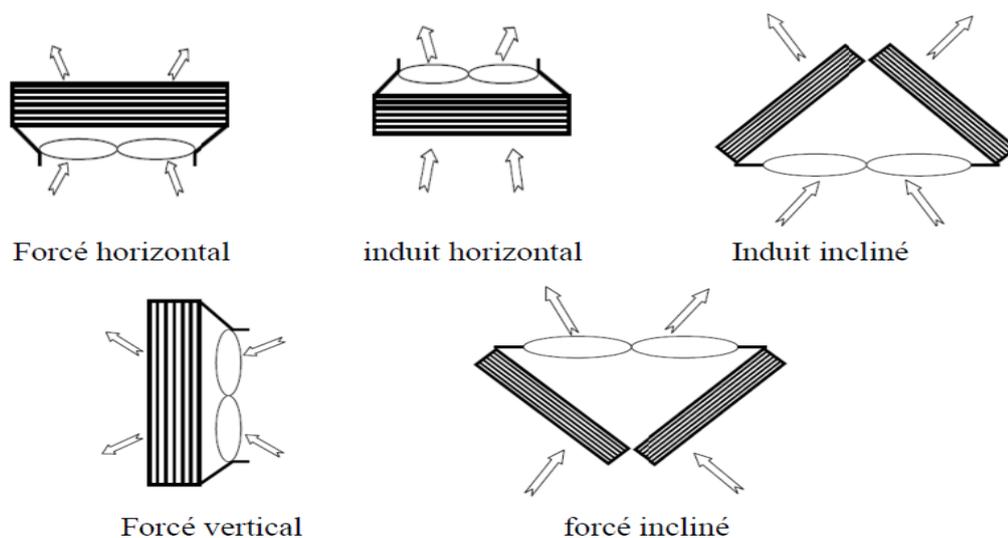
## Chapitre I : Généralité sur les aéroréfrigérants

---

d'un vent latéral. Quand les ventilateurs sont en arrêt, l'effet de cheminée est plus important pour l'air induit et permet une meilleure réfrigération en tirage naturel. Le positionnement de la hotte et du ventilateur au-dessus des faisceaux assure une protection des tubes contre les précipitations atmosphériques et est favorable à une bonne stabilité de l'unité de production ; cette protection n'existe pour les aéroréfrigérants à air forcé que s'ils sont équipés de persiennes. En air induit, le niveau de bruit au sol est moindre, la place libre en dessous des faisceaux est plus importante, les premières rangées de tubes qui s'encrassent le plus sont accessibles pour nettoyage sans arrêter les ventilateurs ; le pré-assemblage et la pose sur portique sont plus aisés. Par contre, comme les moteurs entraînant les ventilateurs sont situés en dessous des faisceaux, un long arbre de transmission assurant la liaison mécanique avec le ventilateur doit traverser le faisceau, condamnant de ce fait plusieurs tubes ou nécessitant un jeu entre deux faisceaux d'une même section.

Par ailleurs les ventilateurs et leurs composants sont situés en air chaud ; la température de sortie d'air doit être limitée à 70°C pour des pales en plastiques et à 90-100°C pour des pales en aluminium. À même débit massique d'air délivré, l'air induit consomme plus de puissance, le débit volumique étant plus important pour l'air chaud. Les opérations de maintenance des ventilateurs sont délicates, même à l'arrêt, en raison de la performance en tirage naturel lorsque le fluide chaud est maintenu en circulation.

En conclusion, l'air induit présente de nombreux avantages en ce qui concerne les performances thermiques, mais l'air forcé apporte une plus grande facilité pour la maintenance. Donc vu les avantages que présente le tirage forcé, surtout du côté maintenance et consommation, on opte pour ce mode de tirage



**Figure I.2: Différentes dispositions des aéroréfrigérants.**

### 3. Les composants :

Les aéroréfrigérants 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 suivants :

- Bancs d'aéroréfrigérants.
- Faisceau tubulaire.
- Tubes à ailettes.
- Collecteur ou système de distribution du fluide chaud
- Systèmes de ventilation d'air (des ventilateurs).
- Dispositifs de réglage de débit d'air
- Les moteurs et systèmes de transmission
- Structure.
- Accessoires.

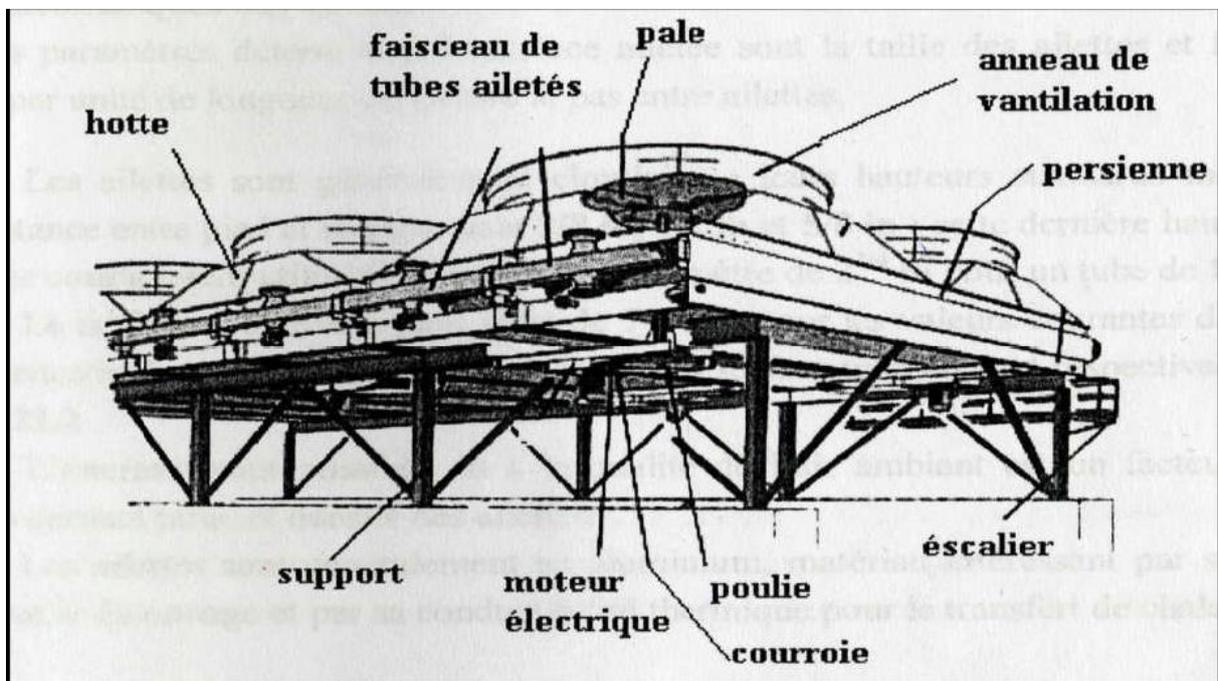


Figure I.3 : Eléments constitutifs d'un aéroréfrigérant.

# Chapitre I : Généralité sur les aérorefrigérants

## 3.1. Bancs d'aérorefrigérants

Les aérorefrigérants directs secs, sont des appareils de capacité moyenne ou importante. Caractérisés principalement par leur encombrement qui nécessite une mise en place sur site

Des différents éléments livrés démontés. Les aérorefrigérants peuvent être constitués d'une seule unité pour les débits d'air faibles et moyens et de plusieurs unités accolées pour les gros débits d'air.

Le regroupement de plusieurs aérorefrigérants accolés est appelé banc (figure ). Des Appareils destinés à plusieurs cas de fonctionnement ou différents services peuvent être installés sur un même banc.

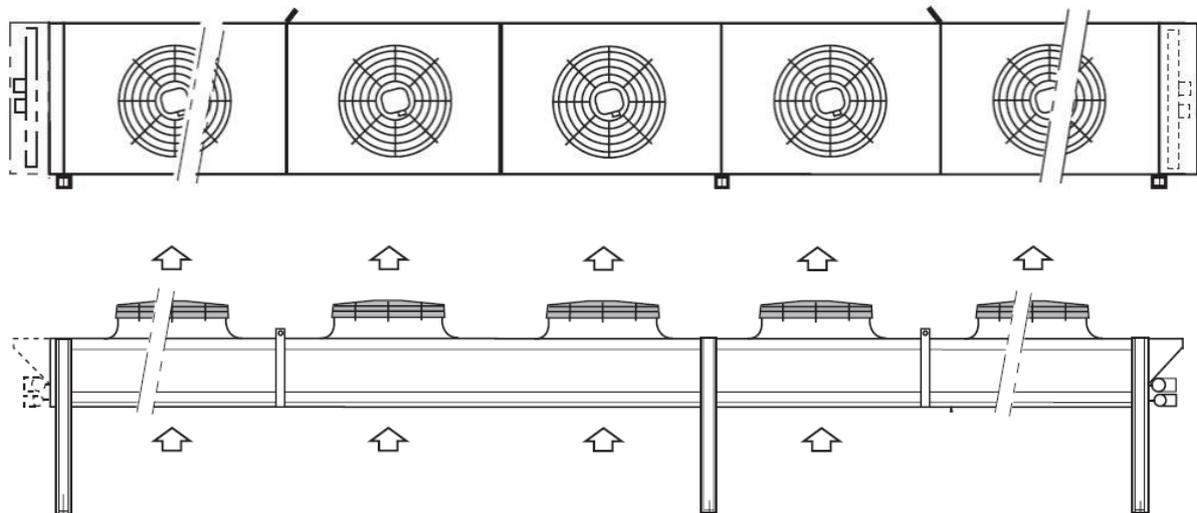


Figure I.4 : Schéma de bancs d'aérorefrigérants.

## 3.2. Faisceau tubulaire

Les faisceaux tubulaires sont constitués de tubes généralement à ailettes, de boîtes de distribution. (Collecteurs) et de châssis assurant la rigidité de l'ensemble.

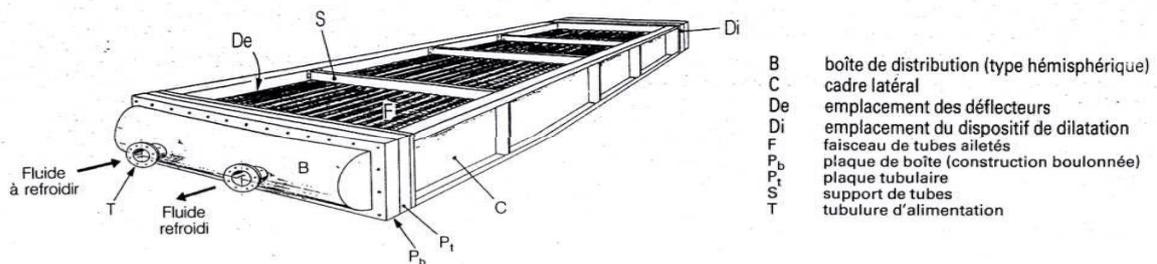


Figure I.5 : Les éléments constitutifs d'un faisceau tubulaire.

## Chapitre I : Généralité sur les aéroréfrigérants

---

D'autres types de faisceaux sont rencontrés notamment pour les faibles puissances,

On cite :

- Les radiateurs des moteurs.
- Les batteries d'eau chaude et glacée utilisées dans l'industrie du génie climatique (type ENIEM).
- Les évaporateurs et les condenseurs de l'industrie du froid. Ces batteries peuvent être réalisées à l'aide d'un serpentín en tube de cuivre, d'aluminium ou d'acier à travers lequel des tôles d'aluminium jouant le rôle d'ailettes ont été enfilées.

### 3.3. Tubes à ailettes

#### Caractéristiques des tubes :

Chaque dimensionnement d'aéroréfrigérant se caractérise par un choix de tube et de surface ailette. Une étude particulière est menée pour chaque appareil en fonction des besoins thermiques et de l'encombrement souhaité par le client.

Les tubes ont généralement un diamètre extérieur de 25,4 mm à 50,8 mm (1 pouce à 2 pouces) et peuvent atteindre jusqu'à 20 m de longueur. Leur épaisseur est calculée en fonction des contraintes de corrosion, de la tenue mécanique à la pression et de la tenue à

La température propre à l'application du client.

Les tubes peuvent être en différentes matières choisies en fonction de la nature du fluide circulant à l'intérieur et de la qualité de l'air ambiant. Les principales matières utilisées pour les tubes de base sont l'acier, les aciers fortement alliés tels que l'inox ou le duplex, les non ferreux tels que l'incolloy et plus rarement le titane.

La matière des ailettes est en très grande majorité de l'aluminium afin d'assurer une bonne tenue à la corrosion. La matière pour l'ailettage est utilisée soit en feuillard (bandelette) d'aluminium pour les ailettes enroulées, soit en tube pour les ailettes extrudées. Il existe aussi des tubes galvanisés avec ailettes en acier.

De nombreux types de surfaces peuvent être utilisés dans la conception des échangeurs parmi lesquels:

- les tubes elliptiques à ailettes rectangulaires ou elliptiques ;

## Chapitre I : Généralité sur les aéroréfrigérants

---

- les tubes cylindriques à ailettes spiralées enroulées ;
- les tubes cylindriques à ailettes rectangulaires ;
- les tubes cylindriques à ailettes encastrées ou extrudées.

La configuration la plus répandue reste celle à tubes cylindriques dont les principales variantes

Au sein du faisceau, les tubes sont arrangés en nappes superposées appelées aussi rang. Les tubes sont placés en quinconce d'un rang sur l'autre, et un espace constant, appelé pas triangulaire des tubes, est prévu entre chaque tube pour faciliter le passage de l'air.

Chaque rang de tubes est positionné l'un par rapport à l'autre en utilisant soit des bagues, soit des boîtiers intercalaires, soit encore des plats ondulés.

### Caractéristiques des ailettes :

Les paramètres déterminant la surface ailette sont la taille des ailettes et le nombre d'ailettes par unité de longueur ou encore le pas entre les ailettes.

- Le diamètre extérieur des ailettes varie de 50.8mm à 63.5mm. Le diamètre le plus utilisé est de 57mm (2.25in). Le nombre d'ailette/m peut varier de 275 à 433. Les ailettes sont généralement circulaires ; leurs hauteurs standards mesurant la distance entre pied et sommet sont 3/8 in (9,52mm), 1/2 in (12,7mm) et 5/8 in (15,87mm) ; cette dernière hauteur est la plus couramment utilisée et conduit à un diamètre de tube de 25,4mm.

- L'épaisseur de l'ailette est d'environ 0.4mm. Les longueurs courantes de tube sont de 6.08m à 9.15m.

- 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. Ils existent plusieurs types d'ailettes selon la liaison mécanique entre l'ailette et le tube

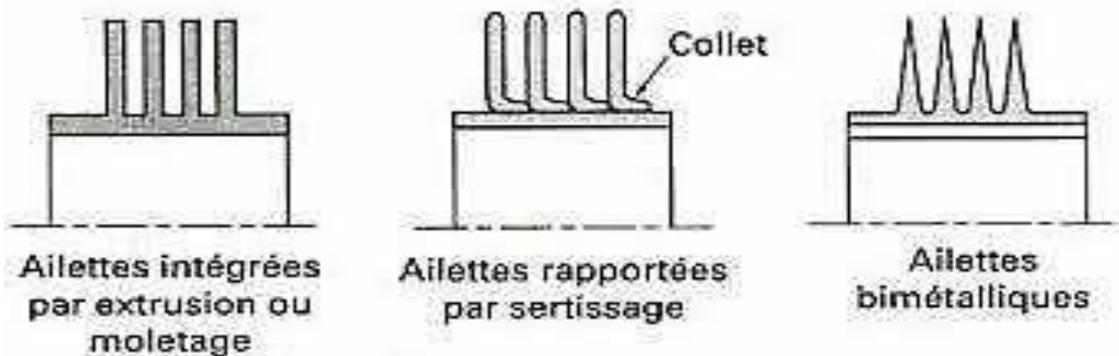


Figure I.6 : Disposition des ailettes circulaires sur les tubes.

### 3.4. Distributeurs ou collecteurs

À chaque extrémité du faisceau, le fluide à refroidir est réparti dans les tubes à l'aide des collecteurs.

Suivant le dimensionnement thermique, les collecteurs comportent un ou plusieurs compartiments. Le fluide à refroidir effectue autant de passage dans la nappe de tubes que l'imposent les compartiments des collecteurs. Un trajet aller ou retour dans la nappe de tubes est appelé passe (figure 1 avec deux passes).

Les collecteurs constituent les parties dites « sous pression » de l'appareil et sont soumis à des règles de conception très strictes. En particulier, une fois le faisceau assemblé, les collecteurs et nappes de tubes sont soumis à un test hydraulique ou pneumatique à une pression plusieurs fois supérieure à la pression de fonctionnement pour s'assurer de l'étanchéité de l'échangeur. Ces tests peuvent aussi être faits exceptionnellement avec de l'hélium ou de l'air.

Les collecteurs sont constitués de tôles et de pièces (tubulures à brides, attaches, etc.) de différentes épaisseurs et dimensions qui sont assemblées par soudage.

Les raidisseurs sont des cloisons avec des ouvertures. Ils sont utilisés pour renforcer la tenue mécanique du collecteur en cas de forte pression, forte corrosion, optimisation économique par rapport aux épaisseurs de tôles

Différents procédés de soudage peuvent être employés en fonction de la matière et de la conception des collecteurs.

Pour les aciers au carbone, le procédé de soudage le plus couramment utilisé est l'arc submergé (soudage machine avec un taux de dépôt important), ainsi que le TIG (Tungstène Interne Gas), le soudage à électrode enrobée, le soudage semi-automatique.

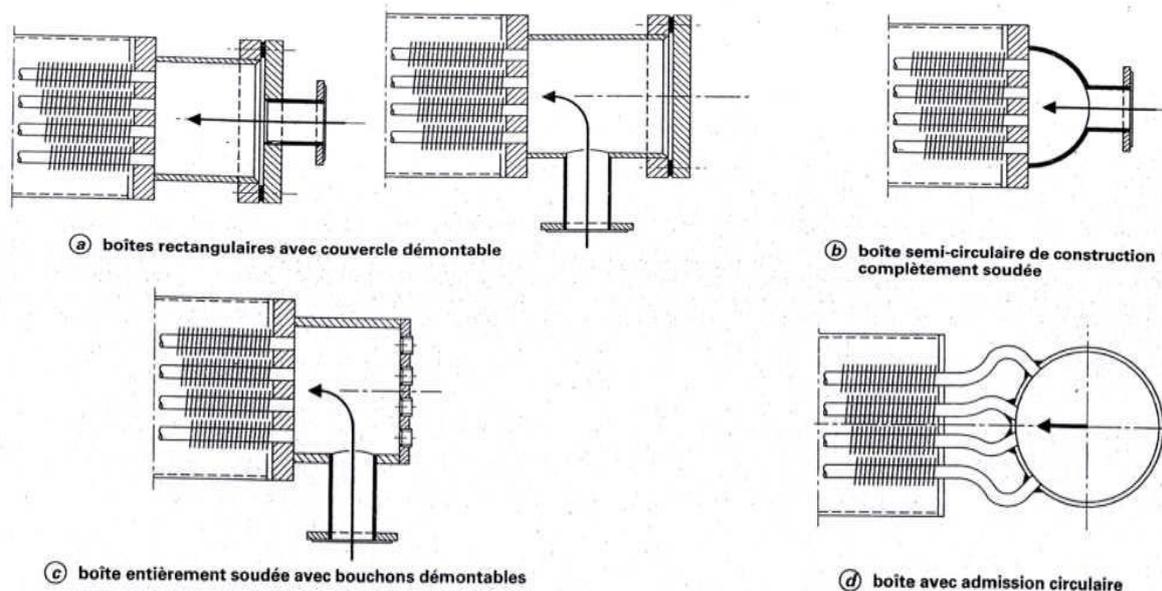


Figure I.7 : Différent types de collecteurs.

### 3.5. Les systèmes de Ventilation

Les systèmes de ventilation comportent des ventilateurs entraînés par des moteurs et des dispositifs de réglage de débit d'air.

#### Le ventilateur :

La distribution d'air froid ambiant sur les faisceaux tubulaires est assurée par la rotation des ventilateurs axiaux dont le diamètre est de 2 à 5,5 m. 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. Afin d'obtenir une distribution d'air correcte sur toute l'aire faciale des faisceaux, la surface occupée par les ventilateurs doit être au minimum égale à 40% de cette aire faciale.

#### La fonction de ventilation :

On définit la vitesse faciale comme étant la vitesse normale d'entrée à travers la surface faciale du faisceau ailette. 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 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. Les ventilateurs peuvent être de grands diamètres (Jusqu'à 5 m) et vitesse de rotation faible (50m/s en bout de pâles pour 5m de diamètre). Les pâles sont, au nombre de 4 à 6 en alliage léger ou en résines de polyester

## Chapitre I : Généralité sur les aéroréfrigérants

armées de fibres de verre, sont en aluminium, en alliage léger ou en résine polyester armée de fibres de verre.

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

<p>Les ventilateurs réglables de Sériés G sont disponibles de diamètre jusqu'à 12.192 m dans cinq profils différent de pale. Les configurations dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens contraire des aiguilles d'une montre sont disponibles dans les types standards et renversés de support.</p>	<p><b>G Series</b></p> 
<p>Les ventilateurs 35F représentent le produit le plus approprié pour l'application humide avec le dispositif de VFD, combinant les avantages uniques de la conception flexible ainsi que la <b>haute résistance contre des effets de corrosion</b>. Détermines de conception de chapeau de racine de Spécial qu'une augmentation totale d'efficacité réduisant le flux d'air renversé effectue et permettant une meilleure distribution d'écoulement le long de la pale.</p>	<p><b>35F Series</b></p> 
<p>Les profils 60F et 50F ont été présentés pour offrir un ventilateur très à faible bruit avec le rendement élevé pour les applications refroidies par air de tour de condensateur et de refroidissement. Comparé à la pale standard de fibre de verre pour 60F et 50F, la plus grande pale monolithique jamais produite, permet <b>jusqu'à 10dB réduction de bruit</b> maintenant un rendement élevé, fourni par 2m jusqu'à 12.192m, dans les types standard et renversés de support. Comparé aux lames moulées standard cette configuration fournit une résistance très haute contre des charges et des échecs de fatigue.</p>	<p><b>50F Series</b></p> 
<p>La construction se compose d'un disque en acier avec une bride de raccordement pour faciliter l'installation sur l'arbre d'entraînement. Des lames sont reliées au moyeu aux blocs d'oreiller en aluminium expulsés. Connexion à l'arbre d'entraînement peut être fournie par un alésage cylindrique ou la douille conique. Comparé à d'autres ventilateurs, le ventilateur de série de la CX permet jusqu'à <b>20 dB réduction de bruit</b>, tout en maintenant la même efficacité.</p>	<p><b>CX Series</b></p> 

Tableau I.1 : différents modèle des pales.

### Puissance du ventilateur :

La consommation d'énergie pour les ventilateurs axiaux installés sur des aéroréfrigérants est le plus souvent de l'ordre de 1% à 3% de la puissance thermique dégagée. Une puissance plus grande deviendrait économiquement mauvaise

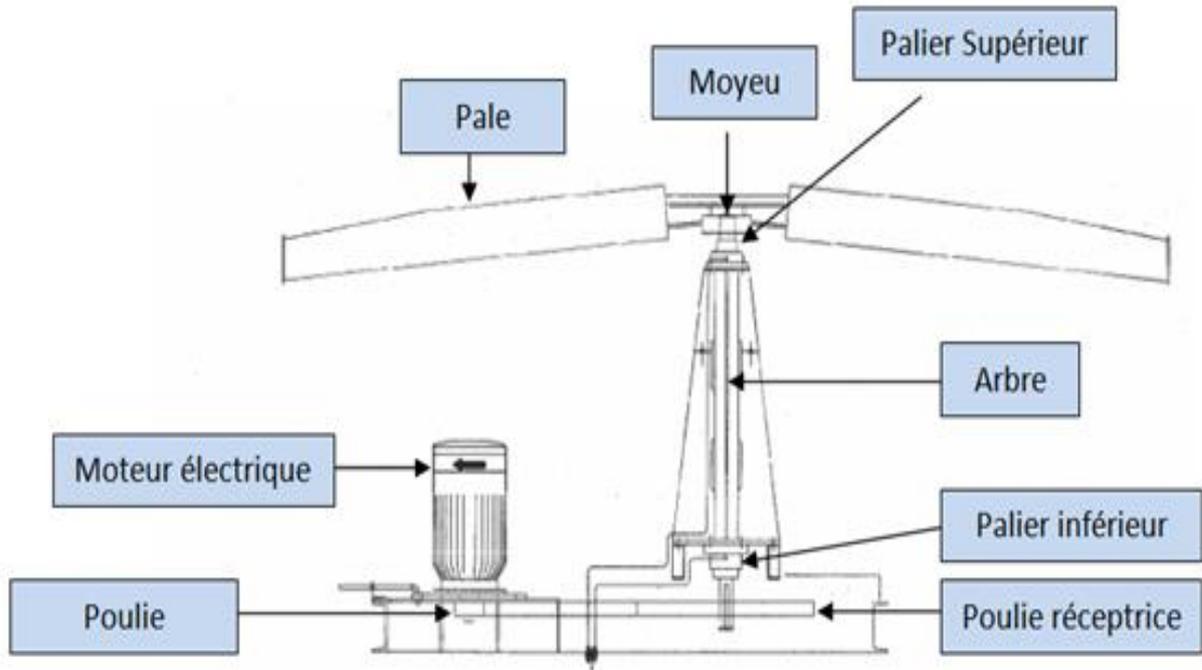


Figure I.8 : Représentation du système de ventilation.

### 3.6. Dispositifs de réglage de débit d'air

#### Réglage du calage des pales :

Le calage est effectué à l'arrêt par rotation du pied de pale sur le moyeu, la position étant maintenu par un dispositif de serrage. Le calage peut être aussi effectué par un servomoteur en cours de fonctionnement du ventilateur, dit à pales auto variables. L'ajustement du débit d'air consécutif au calage permet une régulation de la température de sortie du fluide réfrigéré.

#### 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.

#### Réglage par persienne :

Des persiennes sont placées dans le sens de la largeur au-dessus des faisceaux. Leur ouverture est variable, ce qui permet d'obstruer plus ou moins la section offerte à la sortie de l'air. L'ouverture des persiennes peut être réglée manuellement ou automatiquement par un système de régulation comparable à celui utilisé pour les ventilateurs à pales auto variables.



Figure I.9 :Photo des persiennes d'une recirculation interne.

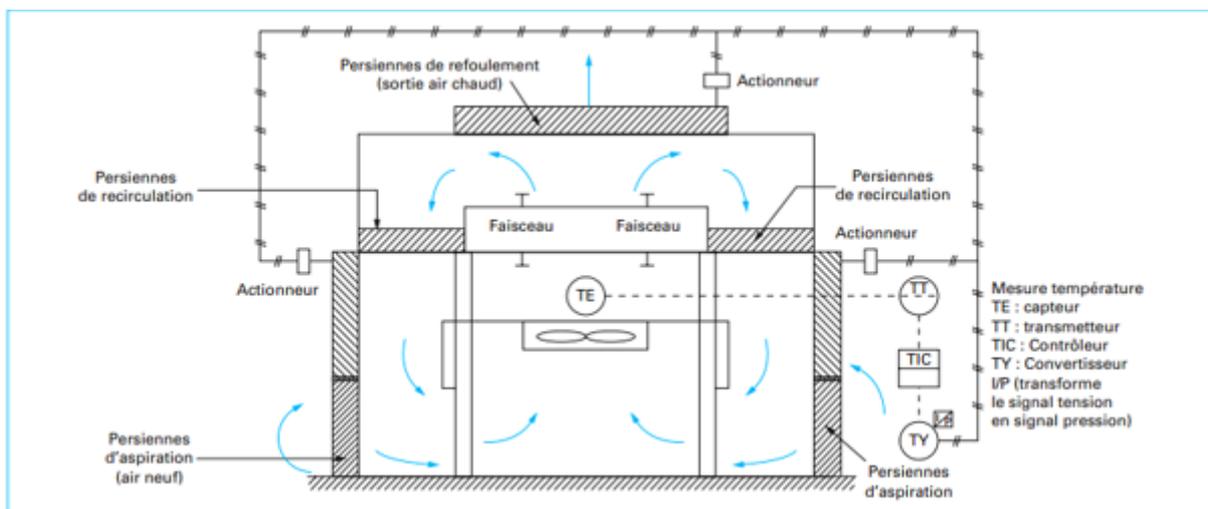


Figure I.10 :Photo des persiennes d'une recirculation externe.

### 3.7. Le moteur et systèmes de transmission

Des moteurs électriques sont généralement utilisés pour l'entraînement des Ventilateurs ces moteurs fournissent la puissance nécessaire aux ventilateurs pour assurer le débit d'air désiré. L'entraînement peut se faire par des moteurs électriques, à gaz, à essence, à systèmes hydrauliques ou par des turbines à vapeur. Les moteurs électriques sont de loin les plus utilisés. La transmission de puissance du moteur au ventilateur peut être:

- Direct : l'arbre du ventilateur est relié directement au moteur.
- Indirect : soit par poulies et courroies, soit par engrenages.

## Chapitre I : Généralité sur les aéroréfrigérants

La transmission par poulies et courroies est utilisée jusqu'à des puissances de 22 KW; si les courroies sont crantées, elles peuvent transmettre de plus grands couples de torsion et des puissances jusqu'à 37 kW. Au-delà, la transmission par engrenage est nécessaire.

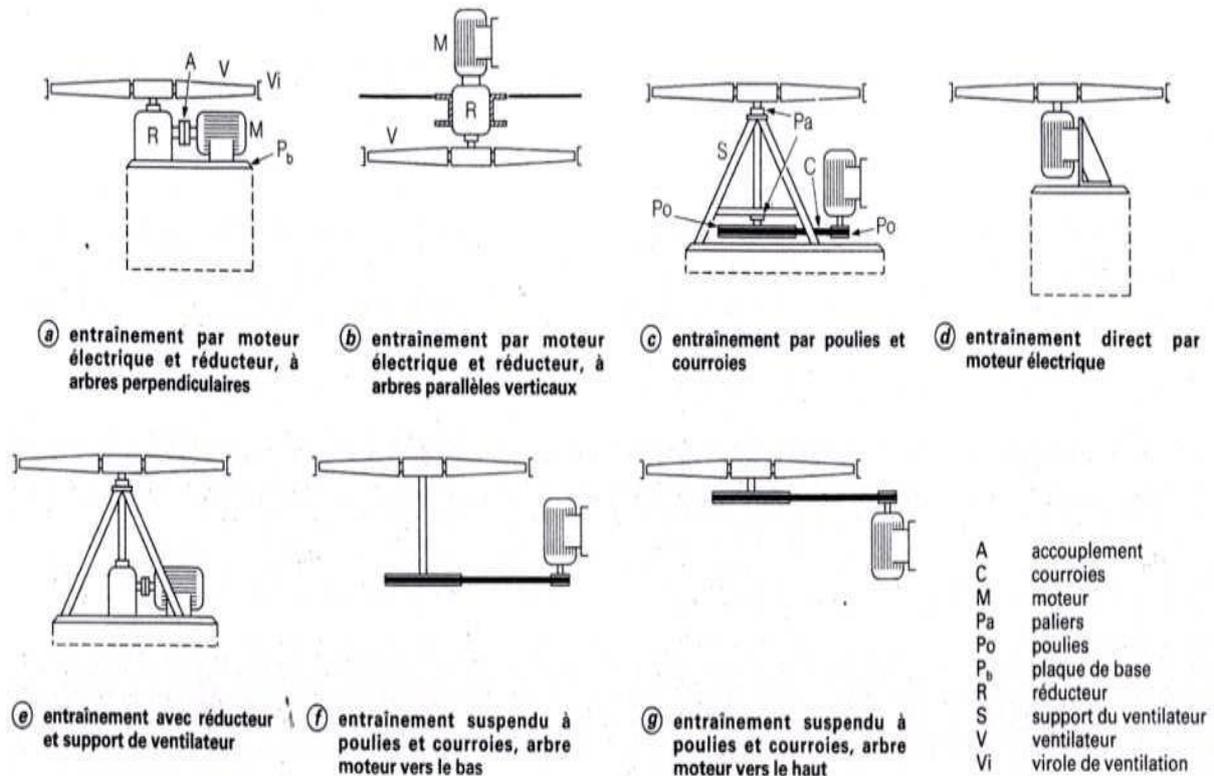


Figure I.11 : Différentes dispositions du ventilateur.

### 3.8. Accessoires

Des équipements supplémentaires aux organes de régulation peuvent être ajoutés sur l'aéroréfrigérant pour des raisons de :

- protection des personnes ;
- protection de l'appareil contre les intempéries ;
- maintenance ;
- métrologie et mesure. Ainsi les constructeurs proposent toute une gamme

D'accessoires tels que :

- Les structures sont constituées de charpentes protecteurs de faisceaux aussi appelés paires-grêle ;
- les protecteurs de collecteurs aussi appelés écrans de chaleur ou protecteurs de personnel (imposé par certaines réglementations) ;

- des instruments (doigt de gant pour capteur de température, tubulure pour mesure de pression, etc.) ;
- des outillages spéciaux (en particulier pour le démontage et la dépose des moteurs électriques) ;
- des dispositifs de graissage centralisé des parties mécaniques (avec accès maintenance facilité);
- des dispositifs anti retour sur les mécanismes (système à ergots escamotables pour éviter, en cas de vent contraire, la rotation inverse des ventilateurs lors du démarrage ou système assurant le blocage mécanique de la rotation en cas de maintenance).

### 3.9. Structure

Poutres mécaniques et longerons divers pour, supporter les faisceaux, les ensembles moto-ventilateurs et les passerelles d'accès. Permettant les manœuvres et la maintenance.

### 4. Domaine d'utilisation :

Les aéroréfrigérants secs sont principalement destinés aux applications de refroidissement des produits pétroliers, des produits chimiques et de la transformation du gaz naturel : LNG (Liquide Natural Gas) ou GTL (Gas To Liquide). Il existe aussi des applications plus spécifiques telles que le refroidissement de la vapeur issue de turbines de production d'énergie électrique

### 5. Avantages et inconvénients des aéroréfrigérants:

#### L'avantage :

- L'air est disponible en quantité illimitée ;
- La situation d'une station n'est pas conditionnée par l'installation ;
- L'air est rarement corrosif, le nettoyage ne sera pas nécessaire ;
- Les couts d'entretien de l'aéroréfrigérant représentent 20 à 30% de la refroidisseuse eau.

#### Inconvénient :

- En raison de la faible chaleur spécifique de l'air, ce dernier ne peut refroidir l'eau à de Basses températures.
- Les aéroréfrigérants nécessitent des tubes à ailettes, une technologie assez spéciale.
- Les variations de température de l'air d'une saison à une autre peuvent modifier Les Performances des aéroréfrigérants.

## Chapitre I : Généralité sur les aérorefrigérants

---

- Les aérorefrigérants doivent être installés là où la circulation de l'air ne soit pas bloquée.
- Les aérorefrigérants nécessitent de grandes surfaces d'implantation en raison de leur Coefficient de transfert « air-film » assez bas et de la faible chaleur spécifique de l'air

# *CHAPITRE II*

## *DESCRIPTION DE PROCÉDÉ ET DE L'INSTALLATION*

### I. Introduction :

Le naphta est un liquide transparent, issu de la distillation du pétrole. Le naphta contient des quantités variables de Paraffines, naphènes, aromatiques et oléfines en différentes proportions en plus des isomères potentiels de paraffine qui existe dans la plage d'ébullition du naphta. Le naphta est utilisé comme carburant automobile, carburant pour moteur. Le naphta est classé en naphta léger et naphta lourd. Le naphta léger est utilisé comme solvant de caoutchouc, diluant de laque, tandis que le naphta lourd trouve son application comme solvant de vernis, colorant Naphta et naphta de nettoyage

### II. Description de procédé :

Le gaz de craqueur est mélangé au flux de gaz recyclé, flashé, comprimé à 12 kg/cm<sup>2</sup> G, refroidi par un refroidisseur d'air et un post refroidisseur, et flashé à nouveau. Rappporter le gaz et le liquide de l'étage de compression sont acheminés vers un collecteur, qui est un point central du fonctionnement à partir du point d'équilibre. Les effluents gazeux de ce collecteur sont envoyés à l'absorbeur, qui est également alimenté en naphta stabilisé (maigre) et non stabilisé. Le produit supérieur de l'absorbeur est enrichi en hydrogène gaz. Les fonds sont transférés vers le collecteur central. Le produit liquide du collecteur va au Décapant rebouilli (désorbeur), où les fonds quittent le système sous forme de naphta riche, et le produit supérieur retourne au collecteur.

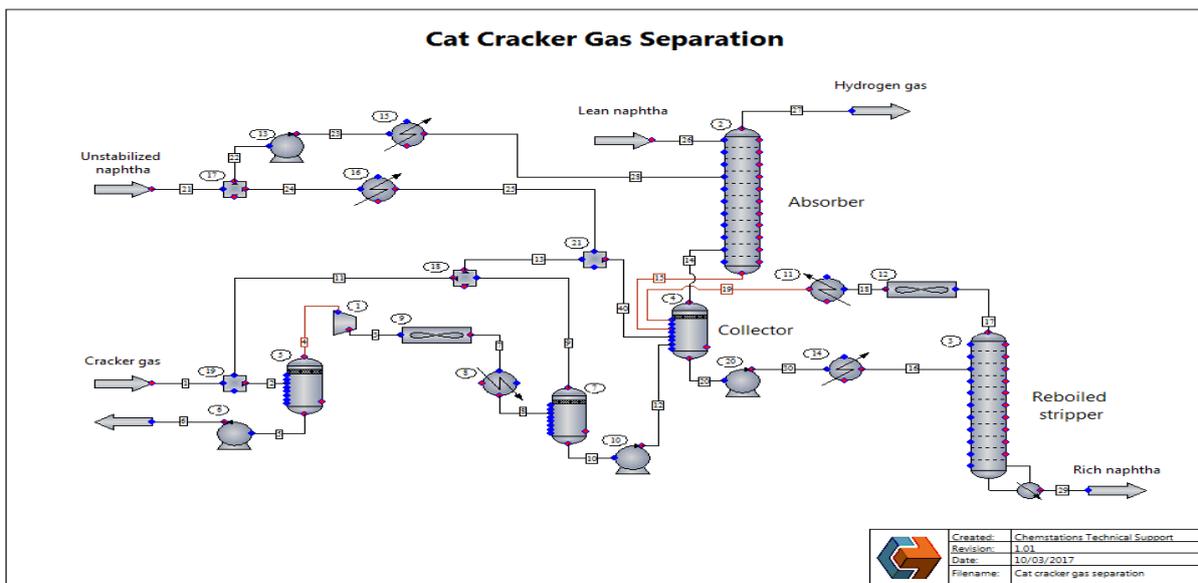


Figure II.1:Schéma de l'unité.

### III. Principaleséquipement de l'unité :

-05 échangeurs de chaleur

- 03 collecteurs

-01absorbeur

-01 rabouilleur stripper

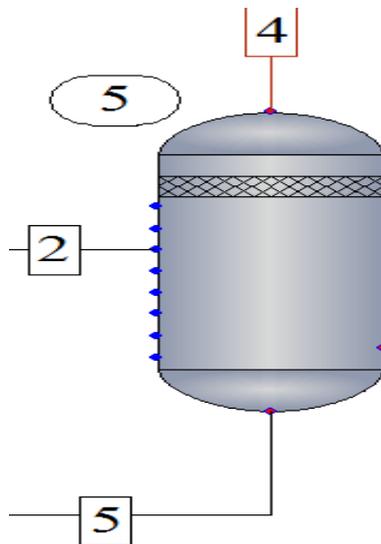
-02 aéroréfrigérant.

- 01 compresseur.

### IV. L'installation et ses modules :

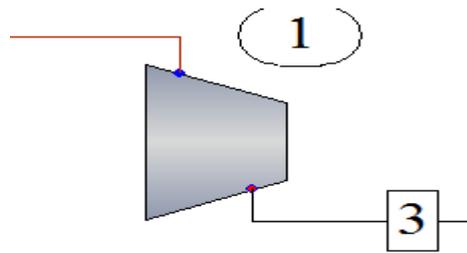
Le gaz de craquage et traverse plusieurs unités.

**1. Collecteur :** Le gaz de craquage mélange avec le gaz recyclé par le mixeur et entre dans le collecteur pour le processus de distillation par flash. La distillation flash est le processus de distillation le plus simple qui Consiste à faire traiter le mélange dans certaines conditions deTempérature et pression pour atteindre l'équilibrevapeur liquide.



**Figure II.2 : collecteur.**

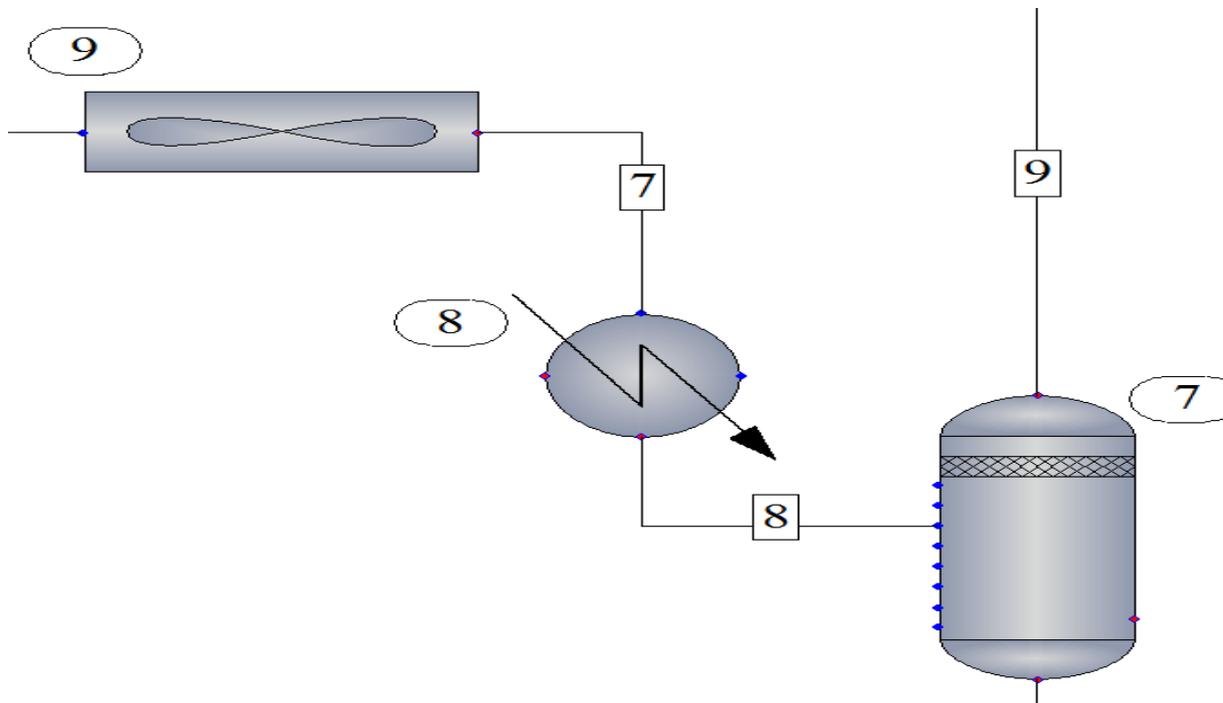
**2. Compresseur :**Après la sortie du gaz de la tête du collecteur, il est comprimé à 12 bar par un compresseur.



**Figure II.3 : compresseur.**

**3. Réfrigération :** Après que le gaz est comprimé par le compresseur. Il élève sa température à  $82^{\circ}$ , ce qui nécessite de le refroidir en deux phases qui ne se dilate pas. Le premier étage est au moyen d'un refroidisseur d'air (aéroréfrigérant) dont la température est réduite à  $50^{\circ}$  et le deuxième étage au moyen d'un échangeur de chaleur et la température est réduite à  $30^{\circ}$ .

Une fois le gaz refroidi, une partie de celui-ci se condense, ce qui nécessite une ré-séparation par un autre collecteur, la partie supérieure est recyclée et mélangée au gaz de craquage.



**Figure II.4 : section de réfrigérant et collecteur.**

### 4. Le collecteur central

Il reçoit le naphta instable (gaz, liquide) et le liquide provenant du fond du collecteur et ils flashent.

La partie supérieure gazeux de ce collecteur sont envoyés à l'absorbeur,

La partie inférieure liquide sont envoyés à Strip-teaseuse reboilée (Reboiled stripper).

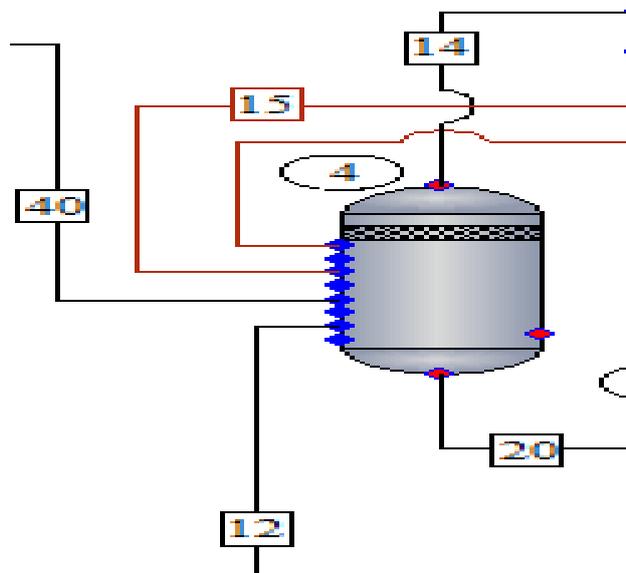


Figure II.5: collecteur central.

### 5. L'absorbeur :

L'absorbeur est une colonne constituée de plateaux. Le contact s'y fait, le processus d'absorption consiste à séparer le mélange gazeux issu de la tête de collecteur avec un solvant liquide (naphta stable et naphta dégraissé) où le solvant liquide est introduit en tête de colonne et redescend à contre-courant du gaz qui monte au sommet de la colonne.

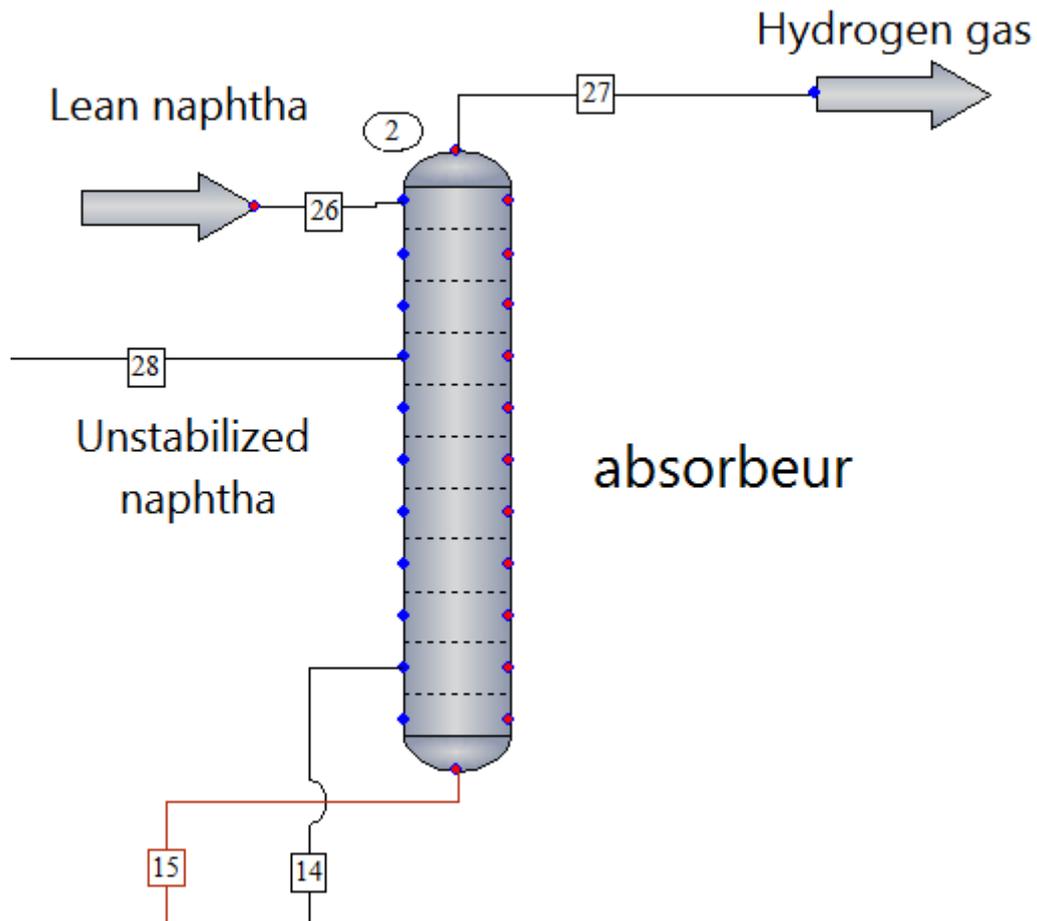


Figure II.6 : absorbeur.

#### 6. Le stripper (Reboiled stripper) :

Le stripper ressemble à une colonne de distillation mais sans reflux.

Le liquide pénètre dans le stripper après avoir augmenté sa pression et sa température au moyen d'une pompe et d'un échangeur de chaleur.

- La partie supérieure est recyclée vers le collecteur central après avoir été refroidie par un refroidisseur d'air et un échangeur de chaleur
- La partie inférieure, riche en naphta, est hors du système

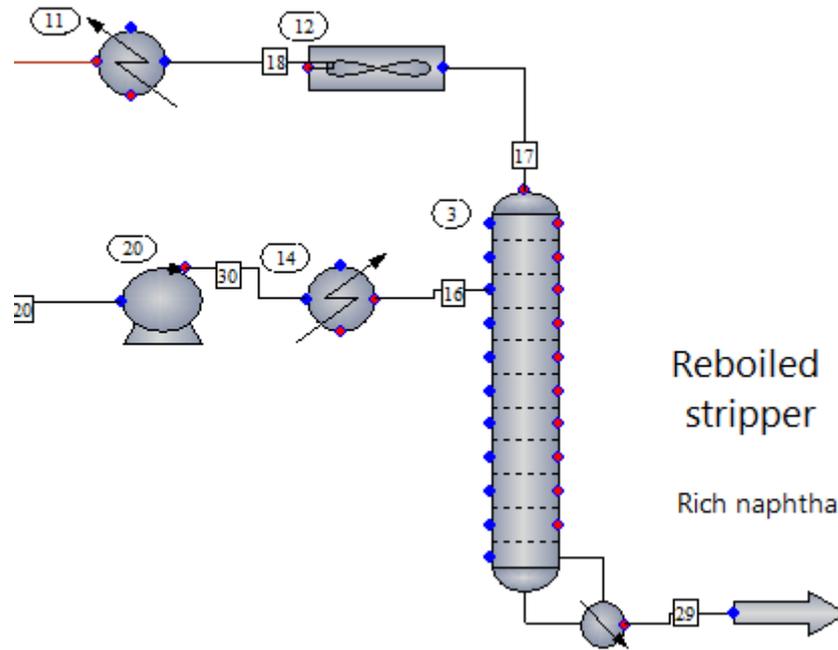


Figure II.7 : stripper.

## V. Description d'unité d'aéroréfrigérant

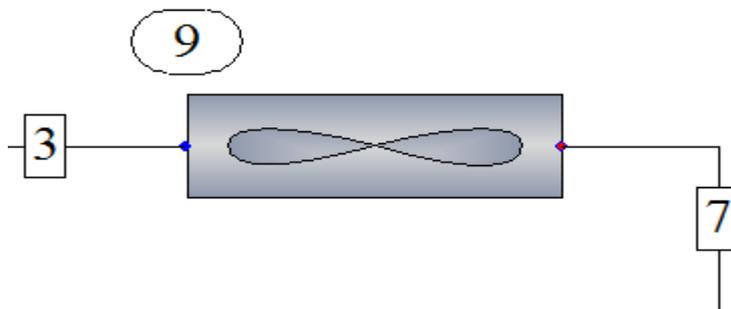


Figure II.8 : aéroréfrigérant.

L'aéroréfrigérant installé est de type aérocondenseur horizontale avec tirage forcé et composé Faisceau tubulaire. Tubes à ailettes. Collecteur ou système de distribution du fluide chaud. Systèmes de ventilation d'air (des ventilateurs). Dispositifs de réglage de débit d'air. Les moteurs et systèmes de transmission. Structure. Accessoires

## Chapitre II : Description de Procédé et de L'installation

---

Le gaz de crack à refroidir traverse les tubes. L'air extérieur passe autour des tubes à ailettes pour augmenter le coefficient d'échange thermique. La surface d'échange thermique est constituée de tubes en acier au carbone et d'ailettes en acier au carbone et il y a des unités de ventilation pour assurer la circulation de l'air et l'évacuation de la chaleur. L'aéroréfrigérant, faisant partie d'une unité industrielle, a ses caractéristiques clairement définies pour satisfaire les contraintes techniques liées à l'installation à laquelle il appartient, au travers des canalisations notamment : le débit du liquide à refroidir, la l'énergie thermique de son refoulement et les températures d'entrée et de sortie du gaz de crack à refroidir.

	Fluide entré	Fluide sortie	Air entré	Air sortie
Température (c°)	82.7735	50	25	28
Pression (bar)	12.7812	12.2909	1.0109	1.0095
Débit totale (Kmol/h)	609.4651	609.4651	29722.1582	29722.1582
Vapeur fraction	1	0.90	1	1
Enthalpie (Mj/h)	-31725	-34324	-1.3558E+005	-1.3298E+005

**Tableaux II.1 : Les données d'aéroréfrigérant.**

# *CHAPITRE III*

## *DIMENSIONNEMENT DE L'AÉROREFRIGÉRANT*

### I. Introduction :

Le dimensionnement doit avant tout déterminer le meilleur compromis entre l'évacuation de la chaleur du fluide chaud vers l'air ambiant et la perte de charge dans le faisceau, aussi bien du côté fluide à refroidir que du côté air ambiant. En effet, plusieurs résistances thermiques s'opposent au transfert de chaleur :

- le coefficient d'échange interne au tube (côté fluide à refroidir) ;
- l'encrassement ;
- la conduction à travers la paroi des tubes ;
- la conduction à travers les ailettes ;
- le coefficient d'échange externe de l'air.

La prise en considération de tous ces mécanismes conditionne le choix :

- du diamètre des tubes ;
- des dimensions des ailettes ;
- du nombre d'ailettes par mètre de tube ;
- du pas des tubes dans le faisceau ;
- du nombre de rang ;
- du nombre de passes ;
- de la longueur des tubes ;
- de la largeur du faisceau ;
- du nombre de faisceau par unité ;
- de la taille des équipements mécaniques (moteurs, ventilateurs).

### II. La composition du gaz de procédé

#### 1. Calcul de la masse molaire et Le passage de débit massique au débit molaire

Le gaz est mélangé de plusieurs composants .nous avons besoin de calculer la masse molaire du mélange. On peut facilement passer entre les deux débits par la division de chaque débit massique par sa masse molaire.

N°	Composant		Masse molaire	Débit massique (Kg/h)	Débit molaire (Kmol/h)
1	Ammonia	H <sub>3</sub> N	17.232	6.809347	0,395
2	hydrogène	H <sub>2</sub>	2.015	57.3076	28,44
3	méthane	CH <sub>4</sub>	16.446	1544.158	93,892
4	éthylène	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.592	939.4362	32,856
5	éthane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.742	1687.004	54,876
6	Hydrogène sulfide	H <sub>2</sub> S	18.15	65.45258	3,537
7	propylène	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.888	3575.581	83,37
8	propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	45.038	4610.347	102,365
9	I-butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	59.334	3786.382	63,814
10	N-butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	59.334	807.4993	13,609
11	1-butène	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	57.184	4378.471	76,568
12	I-pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	73.63	1159.413	15,746
13	N-pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	73.63	150.1225	2.038
14	1-pantène	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	71.48	1597.069	22.342
15	N-hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	87.926	166.3215	1.891
16	1-hexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	85.776	288.3596	3,361

**Tableau III.1. Fraction molaires et massiques de différents constituants**

## Chapitre III : Dimensionnement de L'aéroréfrigérant.

### 2. Calcul de la fraction molaire et massique

On à déterminer les fractions massiques et fractions molaires. On a divisé le débit de chaque constituant par le débit totale.

N°	Composant		Débit massique (Kg/h)	Débit molaire (Kmol/h)	Fraction molaire $Y_i$ %	Fraction massique $X_i$ %
1	Ammonia	H <sub>3</sub> N	6.809347	0,395	0,065	0,027
2	hydrogène	H <sub>2</sub>	57.3076	28,44	4,74	0,23
3	méthane	CH <sub>4</sub>	1544.158	93,892	15,67	6,22
4	éthylène	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	939.4362	32,856	5,48	3,785
5	éthane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1687.004	54,876	9,5	6,797
6	Hydrogène sulfide	H <sub>2</sub> S	65.45258	3,537	0,59	0,2637
7	propylène	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3575.581	83,37	13,9	14,4062
8	propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	4610.347	102,365	17,08	18,575
9	I-butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3786.382	63,814	10,64	15,2555
10	N-butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	807.4993	13,609	2,27	3,2534
11	1-butène	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	4378.471	76,568	12,78	17,64
12	I-pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1159.413	15,746	2,62	4,67
13	N-pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	150.1225	2.038	0,34	0,6048
14	1-pantène	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	1597.069	22.342	3,73	6,4346
15	N-hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	166.3215	1.891	0,315	0,6011
16	1-hexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	288.3596	3,361	0,56	1,1618
la somme			24819.7324	599.1	100	100

**Tableau III.2. Fraction molaires et massiques de différents constituants**

### III. Présentation de Chemcad

Actuellement, l'industrie des procédés chimiques relève de nombreux défis: croissance des carburants, coût des matières premières, réduit dans le staff engineering, cycles de vie plus courts de produit, concurrence globale développée, et règlement accru. Ces défis exigent que les compagnies de l'industrie des procédés chimiques cherchent et utilisent les meilleurs outils pour augmenter la productivité, et pour améliorer des décisions de la technologie.

Le CHEMCAD combine une interface graphique (Figure III.1), une grande base de données des composantes chimiques, une grande bibliothèque des données thermodynamiques, et une bibliothèque des opérations unitaires les plus communes pour donner aux utilisateurs la capacité de fournir des retours significatifs et mesurables sur leur investissement.

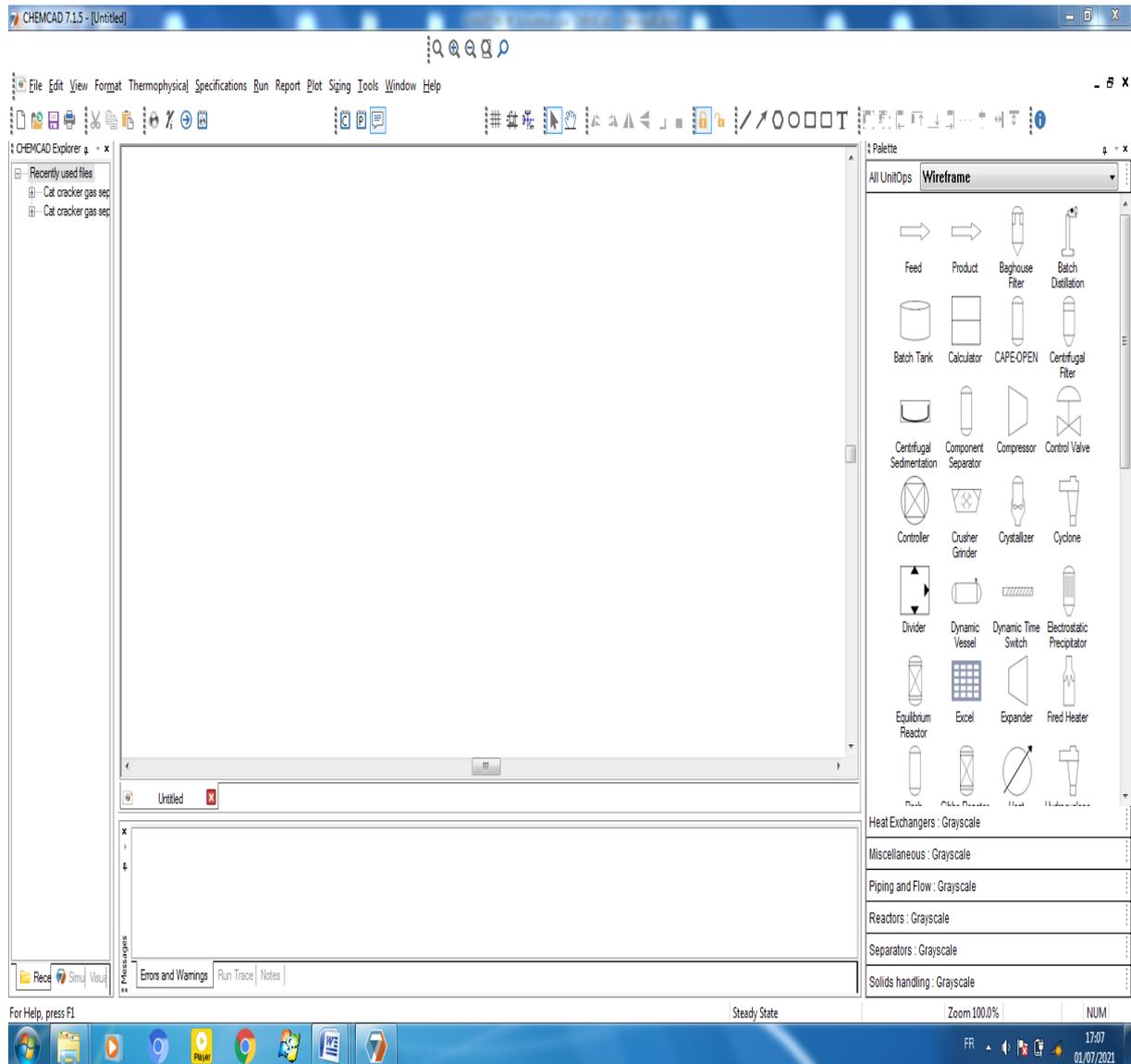
CHEMCAD est capable de modéliser en continu, discontinu, et les processus semi-discontinus, et il peut simuler à la fois l'état d'équilibre et des systèmes dynamiques. Ce programme est largement utilisé dans le monde entier pour la conception, l'exploitation et la maintenance des processus chimiques dans une grande variété d'industries, y compris l'exploration pétrolière et de gaz, la production et le raffinage, traitement de gaz, matières premières et de produits chimiques de spécialité, les produits pharmaceutiques, biocarburants, et la fabrication d'équipements de processus. Dans toutes ces industries, ingénieurs chimistes travaillent chaque jour avec CHEMCAD pour traiter une variété de défis :

- La conception initiale des nouveaux processus.
- Optimisation ou le désengorgement des processus existants.
- Suivi de la performance des processus.
- Conception et Evaluation des équipements de procédé tels que des navires, des colonnes, des échangeurs de chaleur, tuyauteries, vannes et instrumentation.
- L'évaluation des dispositifs de décompression de sécurité.
- Echangeur de chaleur dimensionnement.
- Pression et le débit équilibrage des réseaux de tuyauteries complexes.
- Rapprochement des données de l'installation.
- Comparaisons économiques des alternatives de traitement.
- Mise à l'échelle des processus de l'échelle du laboratoire à l'échelle pilotent, et à partir de l'échelle pilote à pleine échelle.
- Paramètre d'interaction binaire (BIP) régression de processus ou des données de laboratoire.
- La régression de la vitesse de réaction de lot de processus ou des données de laboratoire

## Chapitre III : Dimensionnement de L'aéroréfrigérant.

Peu importe comment votre processus complexe, CHEMCAD est capable de fournir des résultats dont vous avez besoin pour rester compétitif dans un marché mondial de plus en plus rapide et fluide.

Facile à apprendre et hautement personnalisable, CHEMCAD peut proposer des solutions pérennes à proximité de votre personnel d'ingénierie.



**Figure III.1:Interface de ChemCad.**

IV. Traitement des données et l'étude de l'aéroréfrigérant par le logiciel CHEMCAD

On a réalisé le schéma du procédé sous CHEMCAD

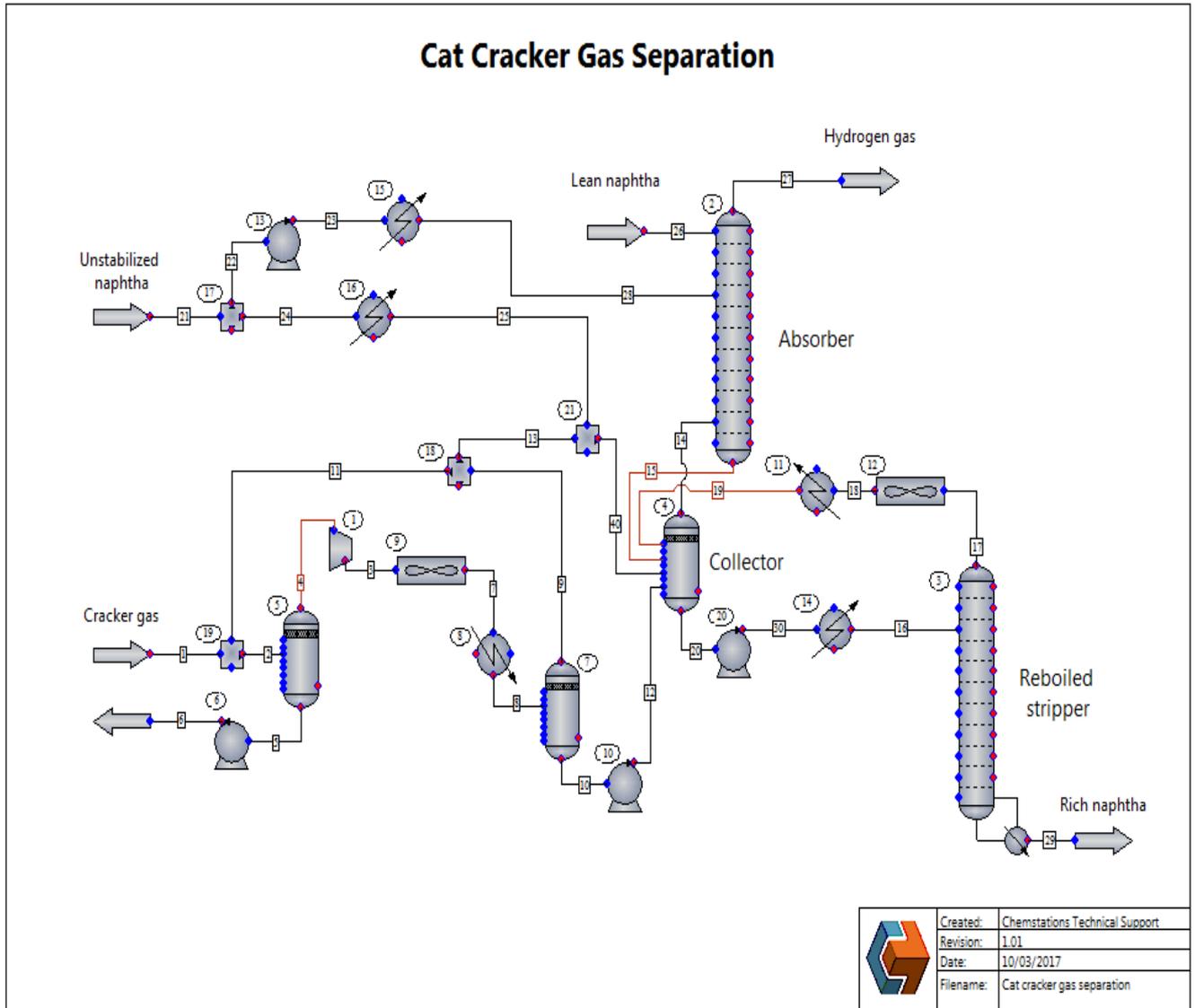


Figure III.2:Schéma d'installation thermique.

## Chapitre III : Dimensionnement de L'aéroréfrigérant.

Les données entrantes et sortantes de l'aéroréfrigérant.

	<b>entré</b>	<b>sortie</b>
<b>Température C°</b>	82.7735	50
<b>Pression (bar)</b>	12	11,5
<b>Vapeur fraction</b>	1	0,9
<b>Enthalpie (MJ/H)</b>	-31725.16	-34323.71
<b>Total flow (kg/h)</b>	24819.73	24819.73
<b>Ammonia</b>	6.809347	6.809347
<b>hydrogène</b>	57.3076	57.3076
<b>méthane</b>	1544.158	1544.158
<b>éthylène</b>	939.4362	939.4362
<b>éthane</b>	1687.004	1687.004
<b>Hydrogène sulfi</b>	65.45258	65.45258
<b>propylène</b>	3575.581	3575.581
<b>propane</b>	4610.347	4610.347
<b>I-butane</b>	3786.382	3786.382
<b>N-butane</b>	807.4993	807.4993
<b>1-butène</b>	4378.471	4378.471
<b>I-pentane</b>	1159.413	1159.413
<b>N-pentane</b>	150.1225	150.1225
<b>1-pentane</b>	1597.069	1597.069
<b>N-hexane</b>	166.3215	166.3215
<b>1-hexane</b>	288.3596	288.3596

**Tableau III.3.Les donné de départ.**

## 1. Les résultats obtenus et leur commentaire

### 1.1. La courbe de variation de température

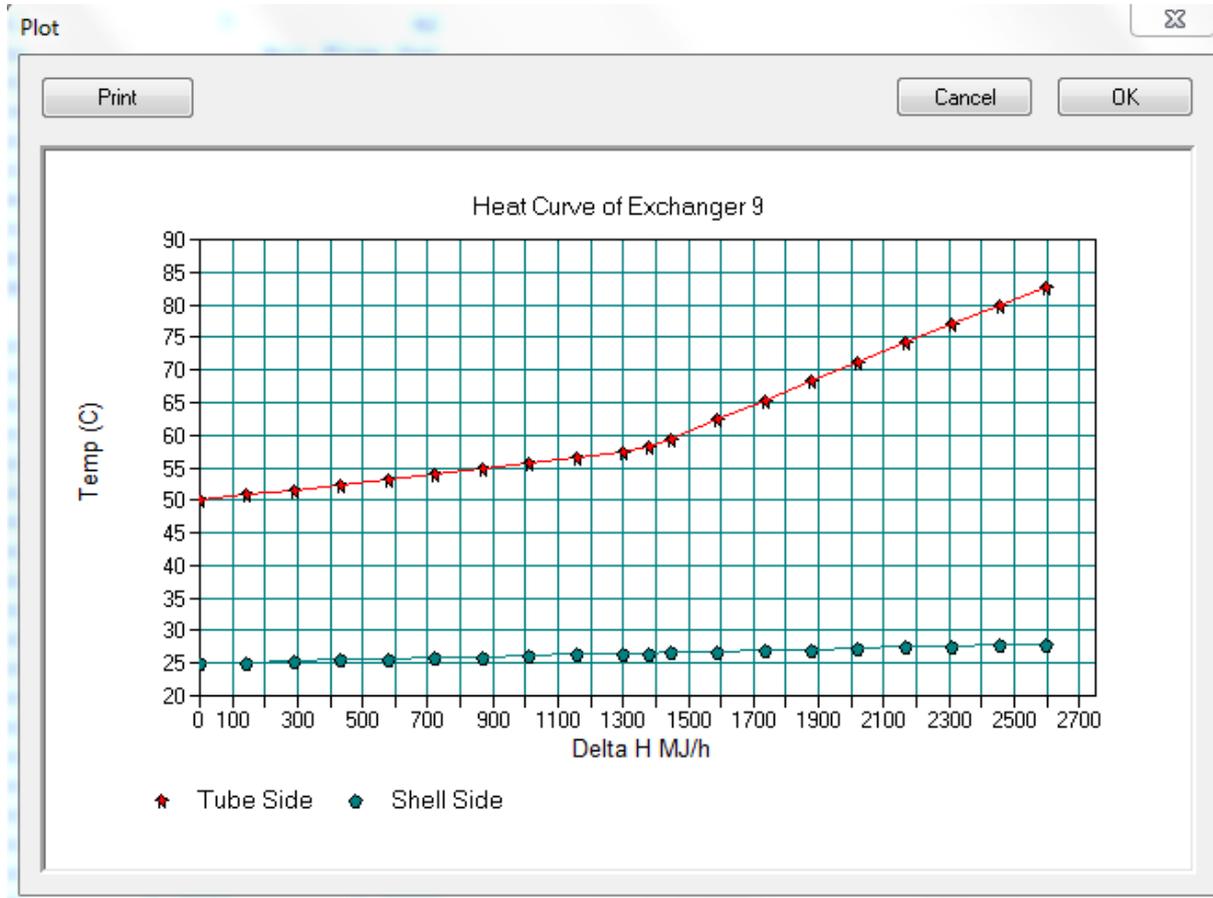


Figure III.3 : le graphe de (T) en f( $\Delta h$ ).

#### Le commentaire de la courbe

On remarque la faible variation de la température de l'air qui entre avec (25 °C) et sort avec (28 °C), et par contre une grande différence de température entre l'entrée (82.7735°C) et la sortie (50 °C) de gaz de craquage qu'il a subit un refroidissement pour passer au condenseur puis au collecteur.

## 1.2. La courbe de température en fonction de distance parcourue

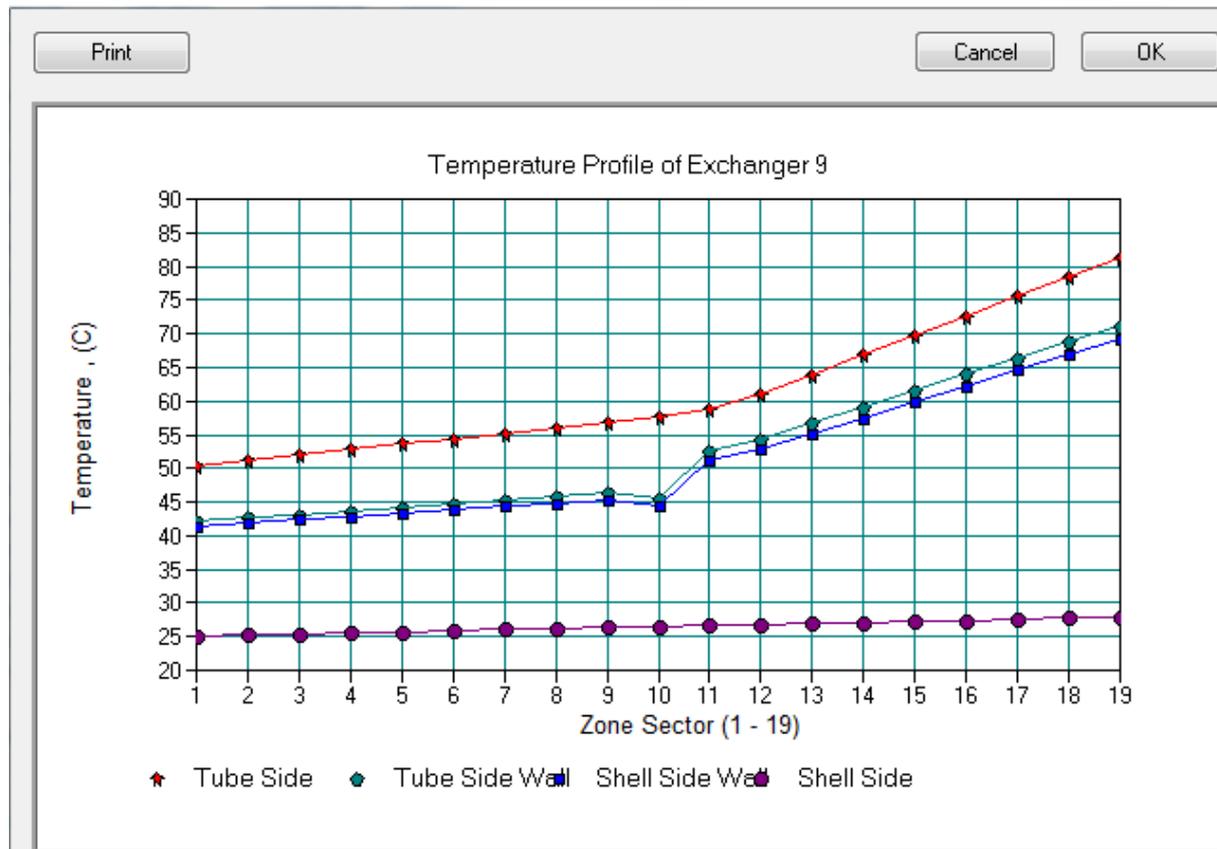
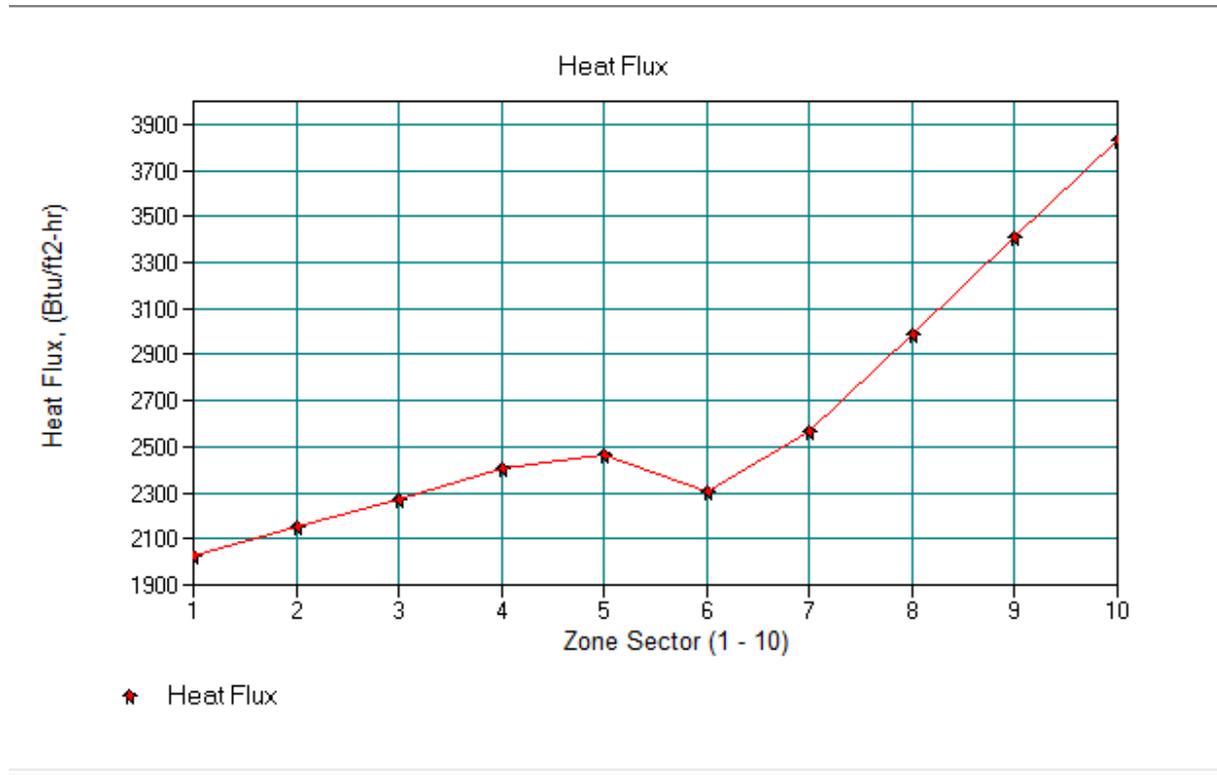


Figure III.4 : la variation de température en fonction de la distance.

### -le commentaire de la courbe

Cette courbe donne clairement la variation de température de l'air et le gaz de craquage en fonction de la distance parcourue, de côté calandre (Shell side) et côté tube (interne et externe), la température de l'air elle augmente d'une façon linéaire et faible (25 °C à 28 °C), mais celle le gaz de craquage elle est importante (82.7735 °C à 50 °C) pour obtenir un bon refroidissement.

## 1.3. La courbe de flux de chaleur



**Figure III.5 : la courbe de flux de chaleur.**

### Commentaire de la courbe

On remarque l'augmentation de flux avec la traversée de sections de (2000 Btu/h=586Watt) a(3850Btu/h=105128. Watt), on constate aussi que la variation se fait par 3 étapes :

- de 1 à 4 : (variation linéaire).

-de 4 à 7 : (variation non linéaire).

-de 7 à 10 :(variation linéaire).

**Remarque :**(1 Btu/h=0.293 Watt).

1.4. La courbe de  $\Delta T L_m$  obtenue par CHEMCAD

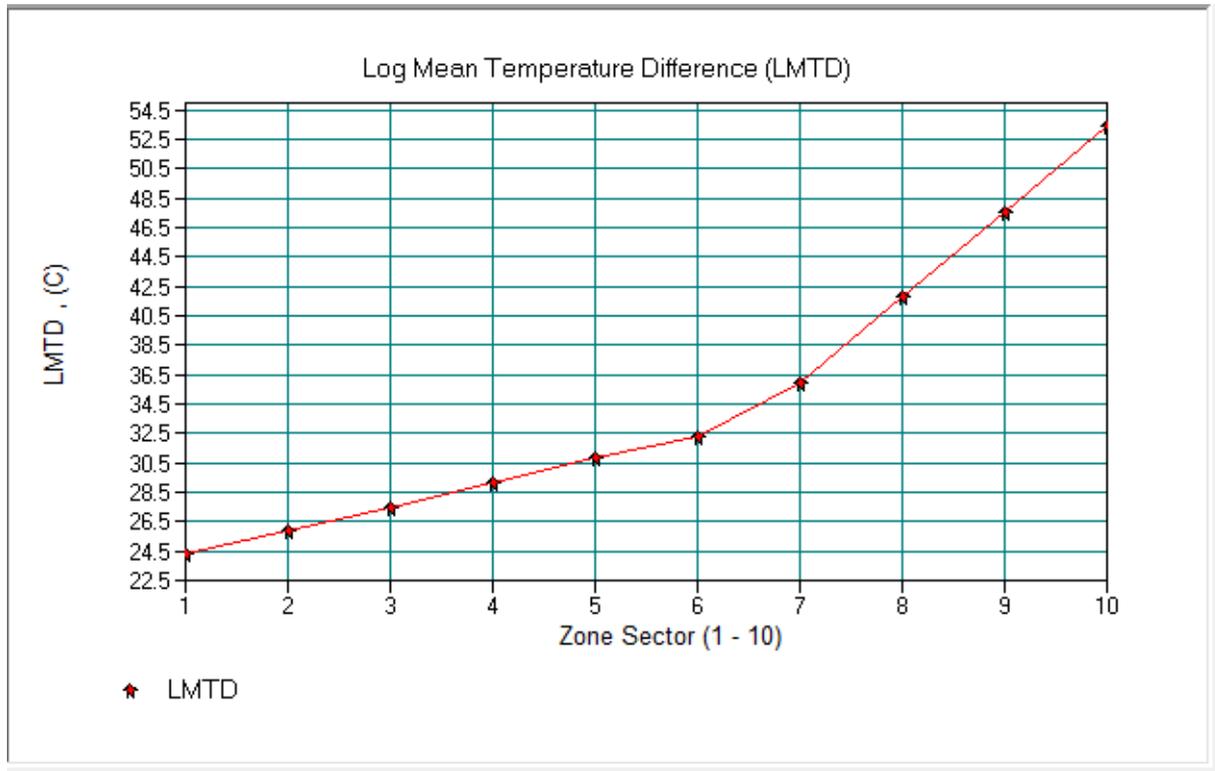


Figure III .6 :La courbe de  $\Delta T L_m$  en fonction de section.

**Le commentaire de la courbe**

Le graphe représente la variation de T dans des zones différentes dont elle passe de 24.5 °C ( $\Delta T_2 = T_2 - t_1 = 50 - 25 = 25$ )

À 53.5 °C ( $\Delta T_1 = T_1 - t_2 = 82.7735 - 28 = 54.77$ ).

$$\Delta T L_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)} = \frac{54.77 - 25}{\ln\left(\frac{54.77}{25}\right)} = 37.95^\circ$$

## 1.5. La courbe de coefficient de transfert de chaleur $h$ (W/m<sup>2</sup>. k)

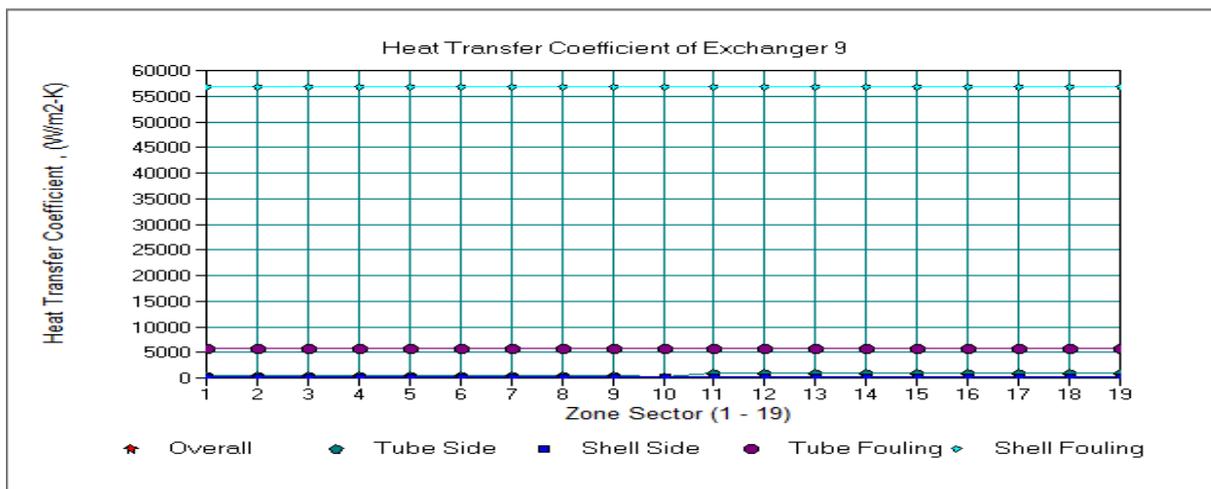


Figure III.7 : la courbe de  $h=f$  (section).

### Le commentaire de la courbe

La première chose à remarquer le coefficient  $h$  au côté calandre est nul, il est constant dans le côté tube qui prend une valeur de (5000 W/m<sup>2</sup>. k) même pour l'encrassement de ce côté

## 1.6. La courbe de surface

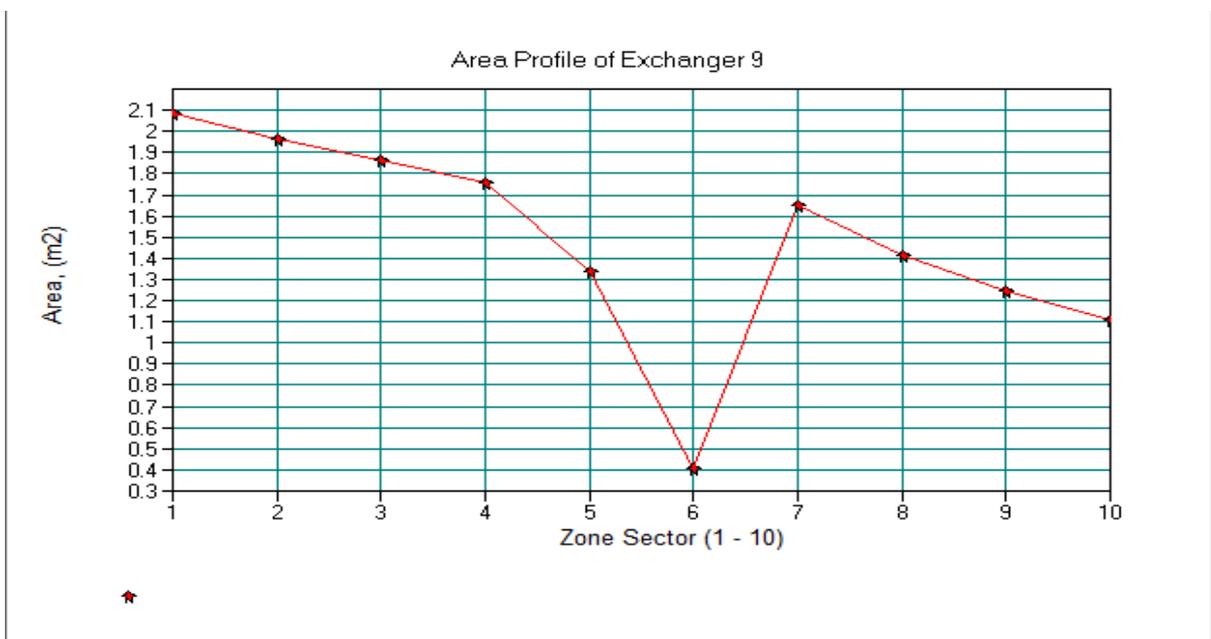


Figure III.8 : la courbe de surface.

## Chapitre III : Dimensionnement de L'aéroréfrigérant.

---

### Le commentaire de la courbe

On distingue quatre paliers différents correspondant aux changements surface d'échange en fonction de distance parcourue, la surface diminue suivant une parabole (de 2.1 à 1.35 m<sup>2</sup>) au point 5, après la surface Continue à diminuer mais d'une façon linéaire jusqu'à (0.4 m<sup>2</sup>) au niveau de point 6, de 6 à 7 la surface Augmente pour atteindre une valeur de (1.65 m<sup>2</sup>), et enfin la surface diminue encore une fois.

La diminution de surface est pour raison de l'existence des zones mortes (l'axe de rotation, la distance qui sépare les ventilateurs) dont le refondissent se diminue

### V. Caractéristique géométrique d'aéroréfrigérant

#### Les conditions opératoires

- La température d'entrée d'air : 25 °C.
- La température de sortie d'air : 28 °C.
- La pression statique : 0.00137898bar.
- L'altitude : 32.6136 m.
- L'humidité relative : 60 %.
- Le facteur d'encrassement côté tube et de l'air

REN, i = 0.000176109m<sup>2</sup>.k/w. REN, i = 1.76109e-005m<sup>2</sup>.k/w.

#### Chemcad

À partir des données de calcul :

- Composition chimique
- Températures, pression, et débits
- Conditions opératoires
- Considérations géométriques

Vas effectuer des itérations successives afin d'obtenir un choix optimale des caractéristiques de l'aéroréfrigérant. Qui seront détaillé comme suit :

#### Pour les tubes :

- Diamètre extérieur de tube : 0.0164008(m)
- Epaisseur de la paroi de tube : 0.000508 (m).
- La longueur de tube : 4.2672(m).

## Chapitre III : Dimensionnement de L'aéroréfrigérant.

- Le pas de tube : 0.0313004 (m).
- La nature de pas : carré 90°.
- Le facteur de rugosité : 1.53848e-006 (m).

The screenshot shows a software interface for defining tube specifications. It includes the following fields and values:

Finned tube code	Plain tube				
Outer diameter of tube	0.0164008	m	Finned tube OD		m
Tube wall thickness	0.000508	m	Number of fins per inch	22	
Tube length	4.8768	m	Fin thickness		m
Tube pattern	Square (90)		Tube type	Welded	
Tube pitch	0.0313004	m	Fin attachment	Extruded	
Roughness factor	1.53848e-006	m			

Figure III.9 : le tub.

### Pour les faisceaux

- Nombre total des étages : 6 étages.
- Nombre de tubes par étage : 45tubes.
- Les étages de tubes par passe : 2.
- L'arrangement : 6 parallèles.1série

The screenshot shows a software interface titled "Bundle Specifications" with the following fields and values:

Tubes per row	45			
Total number of tube rows	6			
Tube rows per pass	2			
Passes per bundle	1			
Slope of header		in/ft		
Bay connection	1	Parallel x	1	Series
Bundle connection and arrangement	6	Parallel x	1	Series
Number of rows per bay	1			

Buttons: Help, Cancel, OK

Figure III.10 : les faisceaux.

### Pour la conduite

- Nombre de conduite d'entrée : 1.
- Nombre de conduite de sortie : 1.

## Chapitre III : Dimensionnement de L'aéroréfrigérant.

- Diamètre de la conduite d'entrée : 0.154051 (m).
- Diamètre de la conduite de sortie : 0.154051 (m).

### Pour le ventilateur

- Le diamètre de ventilateur : 4.2672 (m).
- Nombre de pales : 4.
- La température ambiante min :- 34.4444°C.
- Vitesse : 2000tr/min.

### Pour le moteur

- Voltage/phase/cycles : 460 V/3/60 Hz.
- La vitesse de rotation : 2000 tr/min.

Fan manufacturer: Checo  
Manufacturer designation: 515  
Number of fans / bay length: 1  
Fan diameter: 4267.2 mm  
Number of fan blades: 4  
Fan RPM: 2000  
Max noise level:   
Fan pitch control: None  
Action on air fail (pitch): None  
Louvers: None  
Action on air fail (louver): None  
Recirculation: None  
Minimum ambient temperature: -34.4444 C

Drive manufacturer: GE  
Type of driver: Unspecified  
Driver RPM: 2000  
Voltage: 460  
Number of phases: Three phases  
Voltage frequency: 60 Hz  
Motor enclosure: Unspecified  
Bundle frame: Galvanized  
Structural mounting: Grade  
Surface preparation: None  
Vibration switch: Yes  
Reducer manufacturer: Unknown  
Type of speed reducer: Unknown  
Reducer AGMA rating, HP:   
Reducer ratio: 0.5  
Reducer support: Structure

Data for reporting purposes only, not used in calculations.

Help Cancel OK

Figure III.11 : le moteur et le ventilateur.

### Pour les matériaux utilisés

- Le matériau de tubes : acier en carbonés.
- Les pales de ventilateur : aluminium.
- L'axe de ventilateur : aluminium.

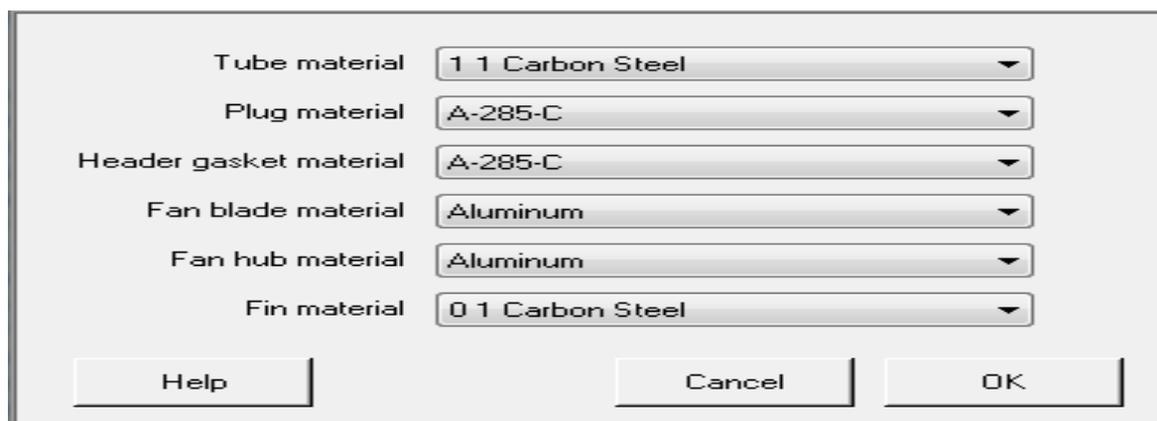


Figure III.12 : matériaux utilisés.

### VI. Les tableaux récapitulatifs de la simulation

La simulation par le CHEMCAD nous permettant d'obtenir toutes les mesures nécessaires pour le dimensionnement de l'aéroréfrigérant, concernant les conditions de services introduits.

#### 1. Tableau Concernant Le Côté tube

Le paramètre	Entré	Sortie
Température (C°)	82.7735	50
Pression (bar)	12.7812	12.2909
Enthalpie (Mj/h)	-31725	-34324
Fraction vapeur	1	0.90738
Total (Kmol/h)	509.1	509.1
Total (Kg/h)	24819.7324	24819.7344
Total liquide m <sup>3</sup> /h	50.0449	50.0449
Total vapeur m <sup>3</sup> /h	13660.33	13660.33
Le diamètre interne (m)	0.015	0.015
La chute de pression permise	0.1	0.1

Tableau III.4 : paramètres de côté tube.

On remarque que l'enthalpie dégagée est négative ce qui signifie que la réaction est **exothermique**.

**2. Tableau concernant le côté air**

Le paramètre	entré	sortie
Température (C°)	25	28
Pression (bar)	1.0109	1.0095
Enthalpie (Mj/h)	-1.3558E+005	-1.3298E+005
Fraction molaire	1	1
Total (Kmol/h)	29722.2305	29722.2305
Total (Kg/h)	854373	854373
Total liquide m <sup>3</sup> /h	989.5403	989.5403
Total vapeur m <sup>3</sup> /h	666183.56	666183.56
La vitesse (m/s)	42.66	42.66

**Tableau III.5 : paramètres de côté air.**

### 3. Caractéristique de l'aéroréfrigérant

La surface effective, <b>m<sup>2</sup></b>	107.4200
La surface calculée, <b>m<sup>2</sup></b>	102.0968
La surface propre calculée, <b>m<sup>2</sup></b>	97.5793
La surface totale, <b>m<sup>2</sup></b>	108.5507
La surface en excès %	5.2
La surface par faisceau, <b>m<sup>2</sup></b>	17.9033
La longueur effective, <b>m</b>	4.8260
La longueur calculée, <b>m</b>	4.5868
La largeur de faisceau, <b>m</b>	0.406
Le coefficient global de transfert de chaleur ( <b>K de service</b> ), <b>W/m<sup>2</sup>-K</b>	204.79
Le coefficient global de transfert de chaleur ( <b>K calculé</b> ), <b>W/m<sup>2</sup>-K</b>	215.47
Le coefficient global de transfert de chaleur ( <b>K en propre</b> ), <b>W/m<sup>2</sup>-K</b>	225.44
la chaleur apportée, <b>MJ/h</b>	2598.564
DTLM effective °C	32.812
Le facteur de correction de DTLM	0.9997
dP statique de faisceaux, <b>bar</b>	0.0240
dP statique par étage, <b>bar</b>	0.0040

**Tableau III.6 : Caractéristique de l'aéroréfrigérant.**

## VII. Conclusion

Le logiciel CHEMCAD nous a permis de fournir des caractéristiques détaillées précises de notre aéroréfrigérant en fonction des conditions de fonctionnement ainsi que des normes industrielles, facilitant la tâche de conception détaillée des composants de cette machine à l'aide d'outils de simulation.

# *CHAPITRE IV*

## *MAINTENANCE DE L'AÉROREFRIGÉRANT*

### I. Maintenance appliquée aux aéroréfrigérants

#### 1. Maintenance préventive

Ce type de maintenance appliquée aux aéroréfrigérants comprend :

- Les contrôles ou visites systématiques,
- Les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites,
- Les remplacements systématiques,
- La maintenance conditionnelle ou les contrôles non destructifs.

#### **Pourquoi adopter une maintenance préventive ?**

##### 1) Améliorer la fiabilité des aéroréfrigérants :

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement de l'ensemble de l'aéroréfrigérant. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer compl tement certaines défaillances.

##### 2) Garantir la qualité de refroidissement :

La surveillance quotidienne est pratiqu e pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Ce contrôle des aéroréfrigérants permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité du refroidissement est ainsi assurée sans excès ou déficit de chaleur.

##### 3) Améliorer l'ordonnancement des travaux :

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au programme d'arrêt des baies d'aéroréfrigérants, devra être validée par la production. Cela implique la collaboration du service d'exploitation, ce qui facilite la tâche du service de maintenance.

Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable d'exploitation ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un programme défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

##### 4) Assurer la sécurité humaine :

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le programme. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs, le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

r glementaires.

### 5) Améliorer la gestion des stocks :

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

### 6) Améliorer le climat de relation humaine :

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, par exemple le manque de pièces de rechange, entraînent l'arrêt des aéroréfrigérants pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- La sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes.
- La fiabilité : amélioration, connaissance du matériel.
- La production : moins de pannes en production.

## 2. Critiques

La maintenance préventive appliquée aux aéroréfrigérants est réalisée par les agents de maintenance qui surveillent l'état des organes. En principe, les inspections sont faites suivant une liste des points à examiner. Si l'état est bon, on ne dit rien ; sinon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange. Il s'agit là d'une détection d'anomalie et non pas de maintenance préventive.

L'évolution de l'état des organes des aéroréfrigérants n'est pas suivie, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable et l'achat de pièce de remplacement nécessaire (donc on n'a pas besoin de la tenir en stock, si le délai normal le permet).

De plus, un effectif faible de techniciens de maintenance limite le nombre de tâches accomplies. Donc durant le délai disponible, toutes les tâches programm es par le service méthodes ne peuvent pas être achevées. On recourt alors à les prioriser en plaçant en premier ceux ayant plus de contraintes et en laissant souvent en bas de la liste, les moins critiques comme ceux relatifs aux aéroréfrigérants.

## II. Inspections préconisées par le constructeur

a) Les paliers de toute manière doivent être graissés à travers les trous de graissage prévus à cet effet. Le lubrifiant doit être renouvelé suivant les indications données.

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

b) Après une période maximale de fonctionnement continu de deux ans, les supports devront être démontés, nettoyés et contrôlés.

c) Après le réassemblage, il faut répéter l'opération de lubrification.

d) Le niveau de l'air des ventilateurs auto variables doit être contrôlé périodiquement et gardé constant.

e) L'angle de calage des pales des ventilateurs devra être conforme à la valeur indiquée sur la spécification. Au aucun cas cet angle ne pourra être modifié sans l'autorisation écrite de constructeur. Une augmentation de l'angle de calage peut causer des dommages considérables au moteur.

f) Après quelque jour de fonctionnement, il faudra vérifier l'assiette des courroies et leur tension. Afin d'assurer une transmission de puissance correcte, il sera nécessaire de vérifier périodiquement la tension des courroies. Au même temps il faudra contrôler le serrage des vis de blocage des douilles « taper-lock ».

g) Contrôler périodiquement le serrage des raccords boulonnés de :

- Ventilateur ;
- Moteur ;
- Supports-arbre ou groupes moteur-réducteur ;
- Transmission ;
- Toutes les structures de soutien.

h) En cas de remplacement de quelques courroies trapézoïdales endommagées, changer le jeu complet de courroies de chacune des transmissions concernées. Le nouveau jeu est dans le numéro de code marqué sur chaque courroie. Le jeu de courroie d'une transmission doit être remplacé si une ou plusieurs courroies a un des défauts ci-dessous :

- Surface de contact carbonisée ;
- Gonflement ou ramollissement ;
- De petites fissures sur la coté ou à la base ;
- Rupture.

i) Pour le moteur électrique :

Vérifiez l'état du moteur à intervalles réguliers. La p riodicite  des contrôles dépend du degré d'humidité de l'air ambiant et des conditions climatiques spécifiques. Elle sera établie de

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

man re empirique pour ensuite être respectée rigoureusement.

j) Le moteur doit toujours être propre et correctement ventilé. En cas d'utilisation dans un environnement poussiéreux, le système de ventilation doit être vérifié et nettoyé à intervalles réguliers.

k) Vérifiez l'état des joints de l'arbre ; remplacez-les au besoin.

l) Vérifiez l'état des raccordements et du montage, ainsi que les vis de fixation.

m) Vérifiez l'état des roulements : bruit anormal, vibrations, échauffement excessif, aspect de l'huile souillée. Utilisez éventuellement un dispositif de surveillance en continu de l'état des roulements et du comportement vibratoire des machines.

n) En cas de signes d'usure, d muntez le moteur, vérifiez l'état des pièces et remplacez les pièces défectueuses.

o) Respecter les intervalles de lubrification des roulements et la quantité et le type de lubrifiant.

p) Utilisation de pièces de rechange identiques aux originales, fournies et contrôlées par le constructeur.

q) Pour les ventilateurs :

Examiner la condition générale du ventilateur périodiquement. Les intervalles auxquels ces inspections doivent être effectuées dépendent des conditions de fonctionnement du ventilateur et peuvent varier d'au minimum 2 semaines au maximum 6 mois.

r) Les vérifications suivantes doivent être effectuées :

- Couple de serrage du boulon
- Corrosion des dispositifs de serrage
- La condition générale des contours et des connecteurs des pales. Le nettoyage des pales peut devenir nécessaire afin de maintenir un équilibre approprié.

s) La formation du givre sur les pales en fonctionnement doit être strictement évitée.

t) Si la glace s'est formée sur un ventilateur stationnaire, elle doit être enlevée avant le démarrage.  viter l'endommagement des pales.

u) Si le ventilateur doit être actionné dans les deux directions de rotation, compl tement arrêter

l'unité avant de renverser la direction.

v) Vérifier les niveaux de vibration à des intervalles réguliers. Les rotors avec vibrations excessives doivent être arrêtés et la cause en doit être déterminée et corrigée.

### III. Identification et résolution des problèmes de performance des aéroréfrigérants

Plus de 80 % des aéroréfrigérants opèrent avec des paramètres inférieurs à ceux spécifiés dans leurs conceptions ou aux besoins de l'exploitant. Ceci impose une nécessité de diminuer le débit de production durant les jours d'été pour atteindre la température et pression requises du produit.

Les pertes de production durant ces jours peuvent atteindre 20-40 %. Causant ainsi l'entreprise des pertes considérables par ans pour une seule unité critique d'aéroréfrigérant. Comment identifier donc les causes de la dégradation de la performance ?

La section suivante offre un guide pratique permettant aux organisations d'identifier les problèmes basiques des aéroréfrigérants et propose des optimisations pour tirer mieux des aéroréfrigérants existants sans nécessité de nouveaux aéroréfrigérants ou ajout de baies supplémentaire.

Les aéroréfrigérants, utilisés dans les secteurs de la pétrochimie, le raffinage, gaz et électricité, ont principalement un mode opératoire assez simple. Le fluide de procédé chaud passe à travers les tubes à ailettes de la baie réfrigérantes où l'air passe à travers les tubes à ailettes de la baie pour refroidir le fluide de procédé à l'intérieur des tubes. La chaleur du fluide de procédé est évacuée vers l'air.

Quand cela paraît comme un concept simple, il n'est pas toujours facile à identifier et maintenir proprement les performances des aéroréfrigérants sur site.

Les raisons les plus courantes responsables pour la sous-performance des aéroréfrigérants sur site sont :

- Le débit du fluide de procédé ou les conditions peuvent changer à travers les années nécessitant l'évacuation d'une puissance thermique supérieure ou plus grande surface d'échange que celle originellement nécessaire.
- Une température de conception de l'air ambiant très basse ce qui induit un manque refroidissement durant les jours d'été.
- L'encrassement extérieur sur les tubes à ailettes qui réduit l'écoulement de l'air et le transfert thermique.

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

- L'encrassement intérieur dans les tubes à ailettes provoquant des pertes dans les performances.
- Manque des joints d'étanchéité à l'air.
- Distribution d'air ou débit faible à travers la baie aéroréfrigérant.
- Problèmes de fiabilité (parties mécaniques).
- Perte de contact thermique entre les ailettes et tubes ou ailettes détériorées (pliées, aluminium pourri, etc.).
- Recirculation de l'air chaud.

Les outils nécessaires pour l'inspection sur site sont :

- Caméra thermique.
- Lumiere de torche.
- Barre de mesure.
- Stroboscope.
- Inclinomètre (pour mesurer l'angle d'inclinaison des pales du ventilateur).
- Thermomètre avec thermocouple.
- Barre avec rubans.

### 1. Phase 1.  tude préliminaire :

La première des choses à faire est comparer les conditions d'opérations à ceux de conception. Pour avoir une bonne comparaison, la fiche technique de l'aéroréfrigérant fournie par le constructeur doit être collectée. Ce qui couvre la plupart des informations pertinentes comme :

- Données de base du procédé.
- Données du côté tube.
- Données du côté air.
- Données des matériaux et de construction.
- Données des équipements mécaniques.

Il n'est pas étrange de trouver que les conditions actuelles du procédé dépassent la conception originale de l'équipement par environs de 20 % ou plus.

Ces données donnent aussi une température d'air ambiant de conception qui est dans la plupart des cas inférieur à celle normale dans les jours chauds de l'été. Ceci est d  à :

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

- Les  t s sont en train de devenir de plus en plus chauds.
- L'extra chaleur générée par l'installation en global de 3-4  C (fours, réchauffeurs, pompes, moteurs, pipes, etc.) qui était/est souvent non prise en compte lors de la conception de l'aéroréfrigérant.

### 2. Phase 2.  tude sur site :

La chose suivante à faire est d'inspecter l'unité sur site où les aéroréfrigérants sont installés.

#### 2.1. Encrassement extérieur :

L'encrassement extérieur est problème très rencontré dans les applications des aéroréfrigérants. L'encrassement du côté d'air est souvent causé par des matières comme le pollen, la poussière ou encrassement spécifique en relation avec l'environnement de l'installation comme une mine ouverte, perte de catalyseur, autre installations dans le voisinage (aciéries, installations pétrochimiques, usine de ciment, etc.)

Dans les cas extrêmes, cela peut pratiquement boucher l'espace entre les tubes et les ailettes compl tement. L'application d'une méthode spéciale de nettoyage, dépendante de l'encrassement et du type d'aéroréfrigérant, peut résoudre ce problème.

Si cette opération n'est pas faite par une société spécialisée, il peut y avoir des résultats limités et même des résultats inverses causant un encrassement supplémentaire. Un scénario typique est quand l'encrassement faiblement enlevé se mixe avec l'eau/produit chimique constituant une substance boueuse entre les ailettes, qui se solidifie après la mise en marche de l'aéroréfrigérant et du ventilateur de nouveau après le nettoyage. Un autre problème quand les sociétés de nettoyage manquent d'expérience les ailettes peuvent être pliées.



**Figure V.1: Dif rants types d'encrassement.**

Dans l'ordre de déterminer si un tube à ailettes est encrassé extérieurement, une inspection

visuelle doit être faite à la rangée inférieure des tubes de la baie. Une baie s'encrasse de dessous seulement et doit être pour cela inspectée du dessous en utilisant une lumière de torche. La crasse démarre dans la rangée inférieure et graduellement passe vers les rangées supérieures en bouchant la baie.

Les sociétés spécialisées dans les aéroréfrigérants, sont capables de mesurer précisément le degré d'encrassement extérieur par mesure du débit d'air et de pression statique et les comparants avec les valeurs de conception.

Le gain après un propre nettoyage extérieur peut être énorme.

### 2.2. Encrassement intérieur

Ce problème peut survenir quand les fluides sont visqueux ou le procédé contient des solides. L'encrassement intérieur peut être détecté par les méthodes suivantes :

- Mesure de la chute de pression à travers la baie puis la comparer à la valeur de conception.
- Inspection pour des tubes pli s/déformés. Comme un tube bouché va être plus froid qu'un autre contenant le fluide chaud, différentes dilatations thermiques se produisent
- Utilisation de caméra thermique pour une vue d'ensemble de la baie.
- Mesure de la température de sortie des tubulures en utilisant des thermomètres infrarouges et des peintures non réfléchissantes (de même pour les points de référence). Si les différences sont larges d'une baie à une autre (même intensité de tous les ventilateurs), il y a des chances qu'il existe des problèmes d'encrassement intérieur.

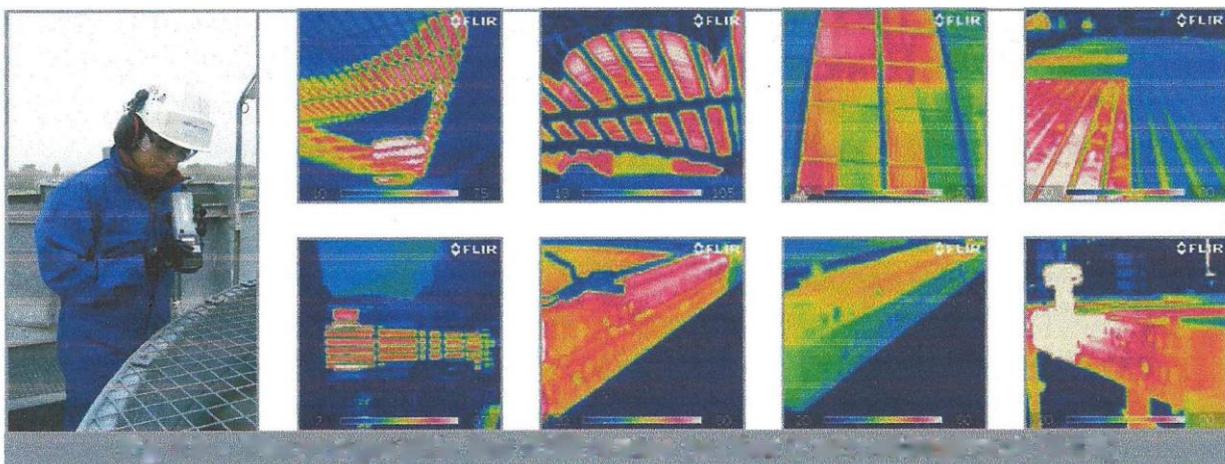


Figure V.2: Thermographie des différentes parties d'aéroréfrigérant.

### 2.3. Entretien :

L'entretien englobe toutes les réparations, les travaux de révisions, le nettoyage, le montage et le démontage des appareils.

Il existe deux types d'entretien Entretien périodique et entretien préventif. Les indices de l'encrassement sont :

- L'augmentation des pertes de charge des fluides circulant à travers l'appareil, ceci est due aux dépôts de saletés.
- Diminution de l'efficacité qui se manifeste par des changements de pression ou des écarts de températures des fluides dus aux encrassements et des dépôts sur les parois.

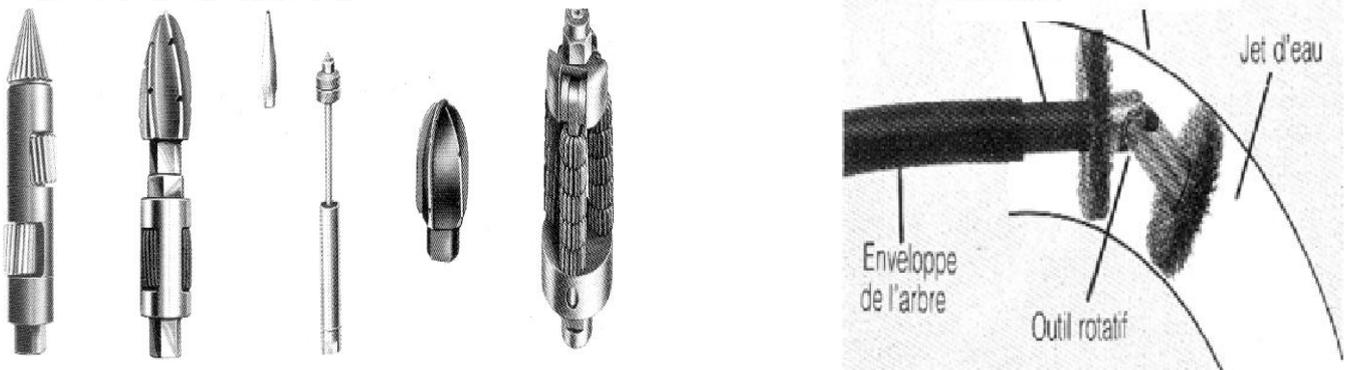
#### a) Prévention de l'encrassement pendant les phases de fonctionnement:

Les procédés mécaniques ou chimiques de prévention de l'encrassement pendant la phase de fonctionnement peuvent améliorer de façon significative les performances de l'appareil, mais également permettent d'augmenter le temps de service entre deux arrêts de maintenance.

#### i. Procédés mécaniques pour les liquides :

Les techniques utilisées pour les liquides sont bien adaptées lorsque les dépôts sont tendres et friables, avec une résistance de réentraînement faible.

Diverses techniques sont disponibles sur le marché pour le nettoyage en continue de la surface interne des faisceaux tubulaires :   boules, à brosses ou à ressort. Ces procédés nécessitent une filtration.



**Figure V.3: Exemple des outils de nettoyage (intérieur de tube) par fraises, boules, et brosse**

Le nettoyage de la surface interne des tubes se fait au moyen d'une circulation permanente (dans certains cas discontinue) de boules en caoutchouc spongieux. Le procédé consiste à injecter dans le circuit, en amont du faisceau tubulaire, des boules d'un diamètre légèrement

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

supérieur au diamètre intérieur des tubes.

Le choix du type de boules (diamètre, élasticité, etc.) se fait d'après le type de surface à traiter le niveau de température de fonctionnement (jusqu'à 140 C) et les conditions hydrodynamiques dans certains cas difficiles, les boules peuvent être recouvertes d'abrasif.

En service, les boules ont une densité très voisine de celle de l'eau afin de leur assurer une répartition la plus uniforme possible entre tous les tubes.

### ii. Procédés mécaniques pour les gaz :

Pour les échangeurs fonctionnant avec des gaz poussiéreux, il existe différents procédés mécaniques de nettoyage in situ (vapeur, air comprimé, eau) ou de grenailage, de soufflage acoustique, etc.

Le procédé à retenir dépend du type de dépôt et de la nature de la surface d'échange.

Procédés chimiques de traitement de l'eau :

Il existe un nombre important d'informations concernant l'efficacité des divers traitements chimiques de l'eau, que l'on peut utiliser pour réduire l'encrassement.

Pour éviter ou minimiser les dépôts entrants, différents traitements chimiques permettent de lutter avec efficacité : la décarbonatation à la chaux, sur résines ou à l'acide, l'adoucissement la germination ou ensemencement, les inhibiteurs d'entartrage.

Les actions destinées à prévenir l'encrassement biologique consistent soit à détruire les microorganismes, soit à empêcher leur développement. Les traitements correspondants utilisent soit des biocides (le plus utilisé est le chlore), soit des biostats.

### b) Méthodes de nettoyage :

La fréquence de nettoyage dépend des conditions de service et surtout de la nature des produits qui circulent :

Plus les produits sont sales, plus le nettoyage est fréquent.

On établit un programme de nettoyage spécialement étudié pour chaque équipement.

La méthode de nettoyage dépend du degré des dépôts sur les parois des tubes. Généralement on distingue deux méthodes de nettoyage

#### i. Méthode physico-chimique :

Rinçage à chaud ou à froid des divers dépôts par les réactifs chimique (fusion des dépôts).

#### Exemple :

- L'incrustation se forme sur les parois des condenseurs réfrigérants on l'élimine par rinçage par HCl avec un inhibiteur de corrosion et grattage

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

---

- Dépôt de sels ou de résine dans les échangeurs : on l'élimine par rinçage avec solvant ou avec l'eau chaude.

**NB :** Cette méthode s'effectue sans démontage de l'appareil. Elle est rapide mais le résultat n'est pas toujours assuré.

### ii. Méthode mécanique :

Le nettoyage mécanique de l'intérieur des tubes peut s'effectuer après un démontage partiel (enlèvement de la boite de distribution) alors que le nettoyage de l'extérieur des tubes demande l'enlèvement de tout le faisceau.

Le nettoyage mécanique est onéreux mais dans certain cas c'est le seul moyen d'enlever les dépôts (dépôts solides bien adhésifs et chimiquement inerte).

#### Exemple :

—L'intérieur des tubes : utilisation des grattoirs, foret spéciaux à commande mécanique ou manuelle, des brosses métalliques.

—Injection d'eau sous pression (70-80bar)   l'aide d'un flexible spécial de diamètre inférieur au diamètre des tubes.

—Utilisation d'une machine qui refoule de l'eau sous pression qui peut atteindre 2000 psi (il y a un moteur diesel et une pompe à piston qui provoque ce refoulement) : le flexible de la machine qu'on fait déplacer au niveau des tubes dans tous les sens nous réalise ce nettoyage externe.

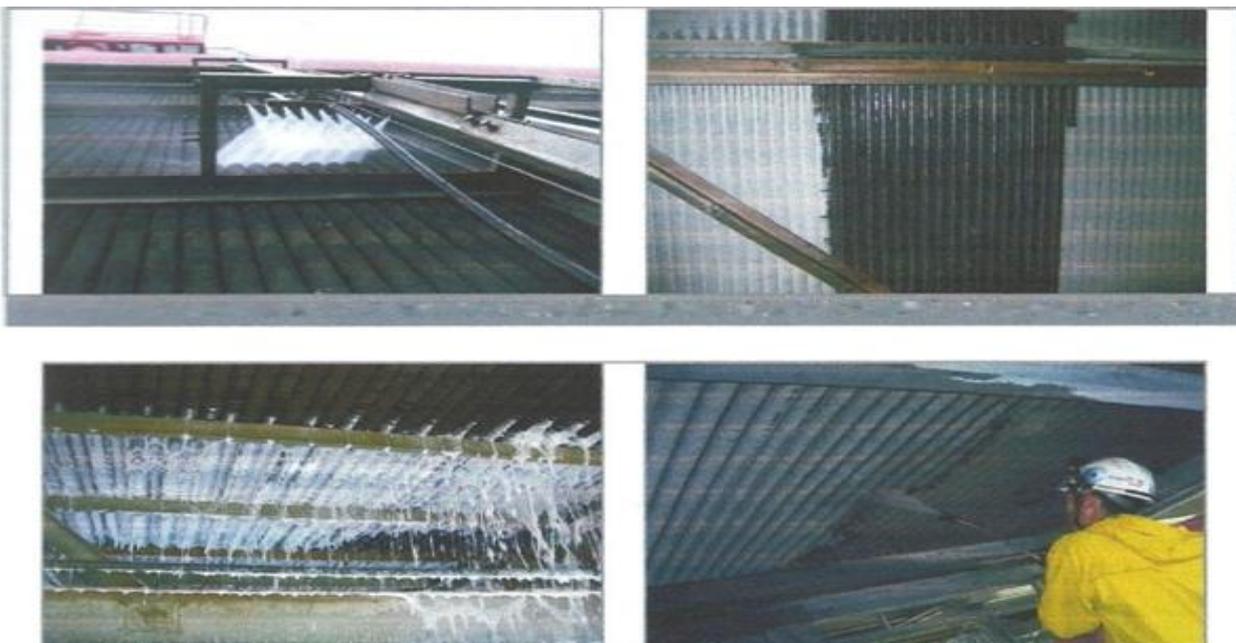


Figure V.4:Nettoyages chimique.

### 2.4. Vérification d'étanchéité des tubes

La d t ction visuelle est facile. Les causes des fuites sont :

- un d douanage imparfait,
- le fluage des goujons et l'endommagement des joints d'étanchéité ainsi qu'un montage non qualifié.
- corrosion bilatérale donc perçage des tubes, diminution de l'épaisseur dans ce cas les tubes ne résistent plus à pression.

#### Exemple de d t ction de fuites de tubes :

La vérification périodique de l'étanchéité des tubes des faisceaux est essentielle pour maintenir leurs performances initiales. Le KIT LD 2X2, permet un contrôle rapide et précis des fuites de tubes.

#### Fonctionnement :

Le KIT LD 2X2 se compose de 2 pistolets légers que l'on introduit dans chaque extrémité du tube. Le tube est ensuite pressurisé jusqu'à stabilisation de la pression. Si les manomètres indiquent ensuite une chute de la pression le tube fuit.

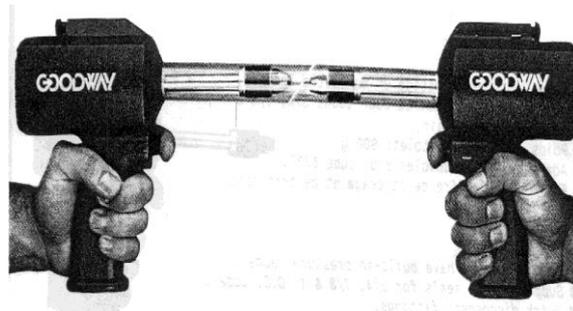


Figure V.5: Contrôle des fuites par le KIT LD 2X2.

### 2.5. Joints d'étanchéité à l'air :

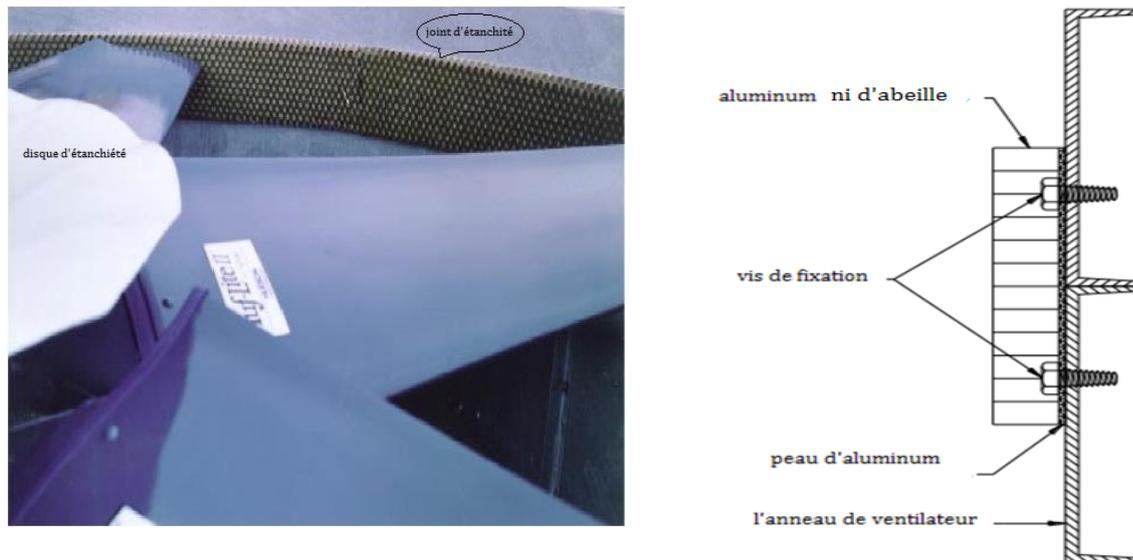
Les joints d'étanchéité (simples pièces métalliques qui fonctionnent comme joints) sont utilisés pour éliminer les fuites d'air qui peut avoir lieu entre les baies et les transitions.

Les pertes dans le débit d'air générées par manque de joints peuvent être considérables. Pour estimer les pertes en débit d'air causées par manque de joints, la surface ouverte doit être

multipliée par 14 m/s la vitesse moyenne avec laquelle l'air va passer à travers une ouverture sans aucune résistance.

Les joints doivent être inspectés pour des fuites entre les baies, sous les baies, etc.

Un bon ventilateur doit être équipé avec un disque d'étanchéité **Figure V.6** pour prévenir la recirculation d'air au centre du ventilateur. Les ventilateurs doivent être alors vérifiés pour voir s'ils sont équipés avec des disques d'étanchéité.



**Figure V.6: Joint d'étanchéité.**

### 2.6. Faible distribution d'air ou débit d'air

Une des principales causes de la faible performance des aéroréfrigérants existants est la faible distribution à travers la baie. Ce manque de débit d'air contre la conception peut être causé par une variété de petites causes qui s'accroissent, qui à son tour crée des problèmes. Donc il est important de passer par les points ci-dessous pour chaque ventilateur. Cela peut être très bénéfique pour augmenter la puissance thermique évacuée par simple augmentation du débit d'air.

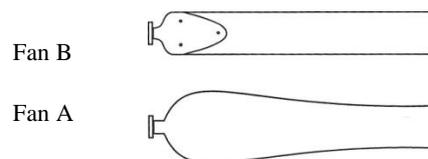
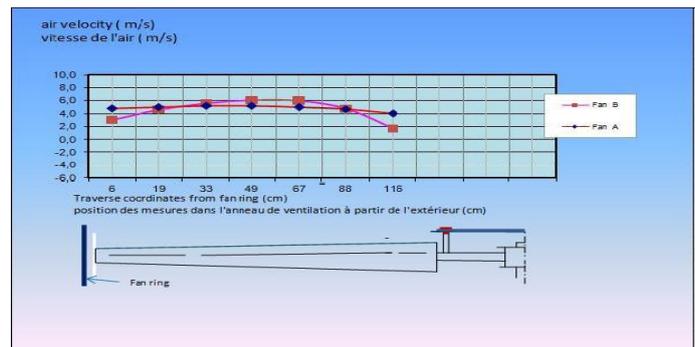
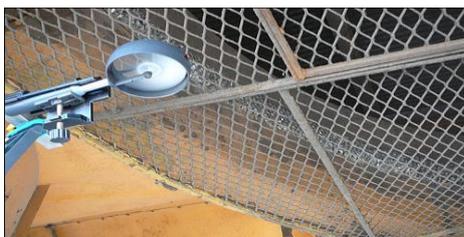
Liste d'inspections des ventilateurs arrêtés :

- Quelle est la distance entre le bout des pales et l'anneau de ventilateur (jeu en bout de pale)?
- Est-ce que les ventilateurs sont équipés par des disques d'étanchéité au centre du ventilateur ?
- Est-ce que l'anneau de ventilateur contient des diffuseurs à l'aspiration pour de

## Chapitre IV : Maintenance des aéroréfrigérants

conditions d'entrée plus convenues ?

- Est-ce le ventilateur tourne dans le sens correct (souvent le sens des aiguilles d'une montre) ?
- Est-ce que l'angle d'inclinaison de la pale est inférieur à 22  (mesuré au bout de la pale) ?
- Est-ce que toutes les pales du ventilateur sont inclinées à même angle (avec une tolérance de  $\pm 0.2^\circ$ ) ?
- Est-ce qu'il existe des ventilateurs à pales à angle d'inclinaison auto variable ?
- Liste d'inspections des ventilateurs en marche :
- Est-ce que le ventilateur tourne avec la vitesse de rotation de conception ?
- Est-ce qu'il existe un débit d'air négatif au bout ou au centre du ventilateur en utilisant la barre avec les rubans ?
- Est-ce qu'il y a ce qui se colle à protection des ventilateurs ?



**Figure V.7 : Mesure de la distribution d'air de différant type de pale.**

Au centre du rayon, la vitesse tangentielle est seulement 25% de la vitesse au bout de la p le. Pour compenser cette diminution de vitesse, la largeur de pale et le tors doivent être augmentés. Ceci est la raison de l'augmentation de l'efficacité et de l'uniformité du débit d'air des pales coniques (  largeur variable). La différence entre les pales à largeur fixe et ceux coniques, Les pales à largeur fixe ont une performance inférieure à celle désirée.

### 2.7. Perte de contact thermique entre les ailettes et les tubes ou ailettes détériorées (pliées, aluminium pourri, etc.)

L'aéroréfrigérant consiste en deux parties vitales, les ailettes et les ventilateurs. Les ailettes sont utilisées pour augmenter la surface de transfert thermique. Le rapport de surface entre les ailettes et le tube nu est approximativement 20 fois, c'est-à-dire qu'il est important d'avoir les ailettes en bonne condition.

Il y a des problèmes qui peuvent apparaître au niveau des ailettes pendant le fonctionnement :

- Suivant le type des ailettes, brumisation ou non de l'eau et l'environnement (marin, corrosif, etc.), l'interface bimétallique (surtout aluminium/acier), à travers lequel la chaleur doit être transférée du fluide de procédé dans les tubes en acier vers l'air passant par les ailettes en aluminium, peut être sévèrement dégradée durant le temps. Ceci cause une perte permanente dans la capacité thermique d'environ 50 % si les ailettes n'ont aucune fonction du tout.
- En faisant des mesures comme le débit d'air et la différence associée de température à travers la baie, l'utilisateur peut mesurer avec précision la quantité de chaleur rejetée dans l'air et ainsi la puissance thermique d'un aéroréfrigérant.
- Lors de l'inspection des ailettes pour conditions, c'est important d'avoir une bonne idée à l'esprit de quel type d'ailettes s'agit-il et quelles sont leurs caractéristiques.

### 3. Phase 3 : l'amélioration de l'aéroréfrigérant :

La méthode la plus effective pour augmenter la performance d'un aéroréfrigérant est d'augmenter le taux du débit d'air passant à travers la baie. Le débit d'air peut être augmenté par des moyens relativement simples qui peuvent avoir un grand impact sur la capacité de refroidissement. L'autre option est d'augmenter sa surface d'échange thermique, qui est plus coûteuse.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

### Conclusion Générale

Notre étude sur les aéroréfrigérants direct sec, inclut les points suivants :

- La description de l'équipement avec l'énumération de ses avantages et ses inconvénients, après on passe au dimensionnement d'un l'aéroréfrigérant utilisé dans une installation de séparation de naphta. A partir de conditions de service et des propriétés des physique des fluide moteurs, afin d'obtenir les caractéristiques détaillé de l'aéroréfrigérant, et le système de circulation d'air (ventilateur).
- Pour éviter les défauts et les pannes au niveau des aéroréfrigérants, il faut respecter toutes les inspections préconisées par le constructeur, et un programme de maintenance préventive doit être appliqué soigneusement pour assurer la fiabilité maximale de l'aéroréfrigérant et la qualité optimale de refroidissement.

# BIBLIOGRAPHIE

## Bibliographie

---

- 1] Feidt, R. Réfrigérant atmosphériques. Paris: Techniques de l'ingénieur. (s.d.).
- 2] : Technique de l'ingénieur « TRANSFERT DE CHALEUR»
- 3] Raffinage du pétrole. Tome 4- matériel et équipement
- 4] Manas, B. Aéroréfrigérants secs. Paris: Techniques de l'ingénieur. (s.d.).
- 5] Systèmes de refroidissement industriels. Commission Européenne. 2001).
- 6] Air-Cooled Heat Exchangers. Récupéré sur Stone Process Equipment  
Co: [Http: //www.stoneprocess.com/acooler.htm](http://www.stoneprocess.com/acooler.htm). (s.d.)
- 7] Manuel d'exploitation et d'entretien, projet HAMMA II -partie 6-  
(Aéroréfrigérants)-  
VOLUME 6-1 (aéroréfrigérants de l'alternateur0181FOMKFM202) TOME2
- 8] Air Cooled Heat Exchangers for General Refin- eryl Service 5th ed. New York:  
API Standard 661. American Petroleum Institute. (2002).
- 9] Huetz, J. Notions de Transfert Thermique Par Convection. Paris: Techniques de  
l'ingénieur (1994).
- 7] Ellmer. Practical Guide for Identifying and Solving Air Cooled Heat Exchanger  
Performance Problems in the Field, Hydrocarbon Engineering. M. (2008, April).
- 10] Common Operating Problems for Air-coolers. Récupéré sur  
[http://www.hheat- transfer.com/ache.html](http://www.hheat-transfer.com/ache.html). (s.d.).
- 11] Jacobi, A. M. (s.d.). Heat Transfer to Air-Cooled Heat Exchangers. Récupéré sur  
Wolverine Tube, Inc.
- 12] Nuovo Pignone. Manuel d'instructions, de Fonctionnement et d'Entretien  
Système du Refroidisseur à Air'. Vibo Valentia Marina: GEPS Oil & Gas Nuovo  
Pignone. (2004).
- 13] CHEMCAD Version 7 User Guide, by chemstations.