

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITÉ de BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie mécanique**



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER EN GÉNIE MECANIQUE**

**Spécialité : Energétique**

*Dimensionnement d'un échangeur de  
chaleur de la pompe centrifuge P502 de la  
raffinerie d'Alger*

Présenté par :

DJELLAB Mohamed

CHAKRAR Amar

Promoteur : BENKHEDA Younes

Co-promoteur : SINACER Zinedine

Année universitaire 2021/2022



## **Dédicace**

**A ma mère**

**Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.**

**A mon fiancée Randa**

**Tes prières m'ont toujours accompagné, je t'offre en guise de reconnaissance, ce travail qui, sans ton aide, ta générosité infinie, tes encouragements n'aurait vu le jour. Nulle dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments et mon profond attachement.**

**A qui je souhaite tout le bonheur du monde.**

**A ma belle-famille.**

**A toute ma famille.**

**A tous mes amis**

**A tous mes amis au travail chez Top shop**

**Vous qui lisez ce mémoire ; grâce à vous je continuerais...**

**Mohamed**

*Je dédie*

*Je remercie avant tout ALLAH le tout puissant qui m'a donné les capacités physique intellectuelle nécessaires à la réalisation de ce projet de fin d'étude*

*Ce modeste travail :*

*A ma source de bonheur :*

*Mon père, ma mère pour leurs amours, leur bonté, leur Sacrifice, leurs encouragements perpétuels, leur soutien.*

*Puisse Dieu prolonger leur vie dans le bonheur.*

*Ma grand-mère*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents*

*A mes frères et*

*Mes sœurs*

*A toute Ma famille*

*A tous mes amis*

*Amar*

# Remerciement

J'exprime ma profonde gratitude tout d'abord à ALLAH la miséricorde de m'avoir donné le courage, la volonté et la force pour réaliser ce travail.

J'exprime mes sincères remerciements à mon promoteur Mr Younes BENKHEDA Professeur au département de Génie Mécanique d'avoir bien voulu diriger ce travail, pour tous ses conseils et ses encouragements.

Nous tenons aussi à remercies le personnel de la raffinerie d'Alger SIDI ARCINE qui ont nous aidé à effectuer ce stage en particulier notre co-promoteur monsieur SINACER l'ingénieur au niveau de service maintenance GMI pour sa disponibilité pour répondre à nos questions.

Mes remerciements vont également aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Pour conclure j'ai souhaité adresser mes remerciements à ma famille ainsi que tous ceux qui m'ont apporté l'aide de près ou de loin afin d'accomplir au mieux cette étude.

## ملخص:

يعد ارتفاع درجة حرارة محامل المضخات من بين المشكلات التي تواجهها شركات إنتاج النفط.

من أجل تقليل التسخين وآثار التشوه ولتحسين عمر مكونات المضخة، بدأنا موضوع مشروع نهاية الدراسات هذا، والذي يتضمن دراسة حرارية بالإضافة إلى تحجيم المضخة. المبادل الحراري الذي يقلل من درجة حرارة مواد التشحيم التي تحمل المضخة. يتم تكييف هذا الأداء مع حجم المبادل في أبعاد تتناسب مع هذا التبريد. وكذلك استخدام برنامج Matlab لتأكيد حسابات التحجيم والدراسة مع الاختلافات في درجات حرارة المدخل والمخرج ومعدلات التدفق. هذه الدراسة لاستخراج الرسوم البيانية للمتغيرات وخاصة طول المبادل الحراري.

الكلمات المفتاحية: مضخة، محامل، تحجيم، مبادل حراري.

## Résumé

L'échauffement des roulements des pompes est parmi les problèmes vécus par les entreprises de production de pétrole.

Dans le but de réduire l'échauffement et les effets de déformation et d'améliorer la durée de vie des composants de la pompe nous avons entamé la thématique de ce projet de fin d'études, qui comprend une étude thermique ainsi que le dimensionnement d'un échangeur de chaleur concentrique qui permet de réduire la température du lubrifiant du palier de la pompe. Cette performance est adaptée à la taille de l'échangeur dans des dimensions proportionnelles à ce refroidissement. Ainsi que l'utilisation du logiciel Matlab pour confirmer les calculs de dimensionnement et l'étude avec des variations sur les températures et débits d'entrée et de la sortie. Cette étude est pour l'extrait des graphes des variables et spécialement la longueur d'échangeur de chaleur. Et l'étude avec un autre fluide de refroidissement pour le comparer la longueur de l'échangeur pour les deux fluides de refroidissement.

L'étude avec un autre fluide de refroidissement pour le comparer la longueur de l'échangeur pour les deux fluides de refroidissement.

**Mots clés :** pompe, roulements, dimensionnement, échangeur de chaleur.

### **Abstract:**

The overheating of pump bearings is among the problems experienced by oil production companies.

In order to reduce heating and the effects of deformation and to improve the life of the pump components, we have started the theme of this end-of-studies project, which includes a thermal study as well as the sizing of the pump. a concentric heat exchanger which reduces the temperature of the pump bearing lubricant. This performance is adapted to the size of the exchanger in dimensions proportional to this cooling. As well as the use of Matlab software to confirm the sizing calculations and the study with variations on the inlet and outlet temperatures and flow rates. This study is for the extract of the graphs of the variables and especially the length of heat exchanger. And the study with another coolant to compare the length of the exchanger for the two coolants.

**Keywords:** pump, bearings, sizing, heat exchanger.

# *Table des matières*

---

Liste de figure	
Liste des tableaux	
Abréviations	
Introduction générale .....	1
Chapitre I : Présentation de la Raffinerie d'Alger .....	3
I.1. Introduction .....	3
I.2. Présentation de la société nationale SONATRACH .....	3
I.3. Présentation de la raffinerie d'Alger .....	3
I.3.1. Situation géographique de la Raffinerie .....	3
I.3.2. Historique de la raffinerie .....	3
I.3.3. Capacité de production .....	4
I.4. Description des principales installations .....	5
I.5. Nouvelles installations et réhabilitation de la raffinerie d'Alger .....	6
I.6. Objectifs du programme de réhabilitation et d'adaptation .....	7
Chapitre II : Généralité sur des pompes.....	8
II.1. Introduction.....	8
II.2. Les pompes .....	8
II.3. Classification des pompes.....	8
II.3.1. Les pompes volumétriques .....	9
II.3.2. Les turbopompes.....	12
II.4. Les pompes centrifuges .....	12
II.4.1. Définition.....	12
II.4.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	13
II.4.3. Classification des pompes centrifuges .....	14
II.4.4. Equilibrage de la poussée axiale .....	15
II.4.5. Moteurs électriques d'entraînement .....	15
II.4.6. Types de corps des pompes centrifuges .....	16
II.4.6.1. Pompe horizontale .....	16
II.4.7. Équations de base .....	17
II.4.8. Rendements.....	18

II.4.9.	Risques et problèmes des pompes .....	19
Chapitre III :	l'échangeur de chaleur .....	20
III.1.	Introduction .....	20
III.2.	Définition d'un échangeur thermique .....	20
III.3.	Principe général de fonctionnement .....	20
III.4.	Composition d'un échangeur .....	21
III.5.	Les types des échangeurs de chaleur.....	22
III.5.1.	La famille tubulaire.....	22
III.5.2.	La famille à plaques .....	24
III.6.	Principaux buts et fonctions d'un échangeur de chaleur .....	26
III.7.	Critères de classement des échangeurs .....	27
III.7.1.	Type de contact.....	27
III.7.2.	Classement suivant la disposition des écoulements.....	28
III.7.3.	Classement fonctionnel.....	28
III.7.4.	Classement suivant la compacité de l'échangeur .....	29
III.7.5.	Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange .....	29
III.7.6.	Classement technologique.....	30
III.7.7.	Classement selon le nombre des fluides : .....	30
Chapitre IV :	Paliers roulements et lubrification.....	31
IV.1.	Introduction .....	31
IV.2.	Palier lisse.....	31
IV.3.	Palier à roulement .....	31
IV.3.1.	Roulement à rouleaux : .....	32
IV.3.2.	Roulements à billes : .....	32
IV.3.3.	Perte de puissance aux roulements : .....	33
IV.3.4.	Choix du type de roulement : .....	33
IV.4.	Tribologie .....	35
IV.4.2.	Formes de frottements.....	36
IV.4.3.	Usure .....	37
IV.5.	Lubrification.....	37
IV.5.1.	Classifications des lubrifiants selon utilisation .....	38
IV.5.2.	Classification des lubrifiants selon état physique.....	38
IV.6.	Régimes lubrification.....	38

IV.7.	Méthodes de lubrification.....	39
IV.7.1.	Lubrification par barbotage.....	39
IV.7.2.	Lubrification par circulation :.....	40
IV.7.3.	Graissage.....	40
IV.8.	Classification des huiles.....	41
Chapitre V : Étude De la pompe P 502.....		42
V.1.	Introduction.....	42
V.2.	Caractéristiques de pétrole brut.....	43
V.3.	Caractéristiques de la pompe P 502 .....	43
V.3.1.	Site géographique de la pompe P502 .....	43
V.3.2.	Performance de la pompe P502.....	43
V.3.3.	Roues .....	44
V.3.4.	Arbre.....	44
V.3.5.	Palier.....	44
V.3.6.	Roulements .....	45
V.3.7.	Moteur .....	45
V.3.8.	Courbe caractéristiques de la pompe P 502.....	46
V.4.	Calculs des performances de la pompe P502.....	46
Chapitre VI : Dimensionnement d'Échangeur de chaleur .....		48
VI.1.	Introduction .....	48
VI.2.	Dimensionnement d'un échangeur de chaleur : .....	48
VI.3.	Calcul des performances thermique pour l'échangeur de chaleur :.....	50
VI.4.	Simulation avec Matlab .....	57
VI.4.1.	L'étude de la longueur par Matlab .....	57
VI.4.1.1.	L'effet de débit massique .....	57
VI.4.1.2.	L'effet de la température d'huile : .....	60
VI.4.1.3.	Simulation avec Matlab pour un deuxième fluide de refroidissement.....	61
VI.4.2.	Comparaison entre les deux fluides de refroidissement :.....	62
Conclusion .....		63
Références .....		64

# Liste de figure

---

<b>Chapitre I : Présentation de la Raffinerie d'Alger .....</b>	<b>3</b>
Figure I- 1 : Organigramme montrant synoptique de la raffinerie d'Alger .....	5
<b>Chapitre II : Généralité sur des pompes .....</b>	<b>8</b>
Figure II- 1 : Pompe centrifuge .....	13
Figure II- 2 : Triangles des vitesses.....	18
<b>Chapitre III : l'échangeur de chaleur .....</b>	<b>20</b>
Figure III- 1 : Les composants d'un échangeur de chaleur.....	21
Figure III- 3 : Un échangeur monotube. ....	22
Figure III- 4 : Un échangeur coaxial. ....	23
Figure III- 5 : Un échangeur à tubes séparés .....	23
Figure III- 6 : Une batterie à ailettes. ....	23
Figure III- 7 : Un échangeur tubes et calandre.....	24
Figure III- 8 : Echangeur à plaques et joints (ALFA LAVAL) .....	24
Figure III- 9 ; Echangeur à plaques soudées (ALFA LAVAL). ....	25
Figure III- 10 : les composants et fonctionnement d'un échangeur à plaques brasées. ....	25
Figure III- 11: Echangeur rotatif .....	26
Figure III- 12 : Echangeur à lit.....	26
Figure III- 13 : Aéroréfrigérant .....	26
Figure III- 14 : classification des échangeurs selon le type de contact .....	28
Figure III- 15 : classification des échangeurs selon la configuration de l'écoulement .....	28
Figure III- 16 : classification fonctionnelle des échangeurs .....	29
Figure III- 17 : classification des échangeurs selon la compacité.....	29
Figure III- 18 : classification des échangeurs selon la nature de matériau .....	30
Figure III- 19 : classification technologique des échangeurs de chaleur.....	30
Figure III- 20 : classification des échangeurs selon le nombre des fluides. [21] .....	30
<b>Chapitre IV : Paliers roulements et lubrification.....</b>	<b>31</b>
Figure IV- 1 :Coussinets.....	31
Figure IV- 2 : Charges supportées par les roulements .....	32
Figure IV- 4 : Roulement à billes à contact oblique [29] .....	33
Figure IV- 3 : Roulement à billes à contact radial [28] .....	33
Figure IV- 5 : frottement entre deux corps solides.....	35
Figure IV- 6 : Lubrification par barbotage .....	39
Figure IV- 7 : lubrification par circulation .....	40
<b>Chapitre V : Étude De la pompe P 502 .....</b>	<b>42</b>
Figure V- 1: La pompe P 502.....	42
Figure V- 2: Vue de la pompe P 502.....	42
Figure V- 3: Courbe caractéristique de la pompe P502.....	46
<b>Chapitre VI : Dimensionnement d'Échangeur de chaleur .....</b>	<b>48</b>
Figure VI - 1 : Schéma d'installation de l'échangeur de chaleur .....	48
Figure VI – 2 : échangeurs double tubes co-courant et contre-courant.....	53
Figure VI - 3: La valeur obtenue des performances thermiques (eau-huile) .....	57

Figure VI - 4 : Evolution de la longueur du tube en fonction de débit massique du fluide chaud.....	58
Figure VI - 5: Evolution de la longueur en fonction de débit massique du fluide froid .....	59
Figure VI - 6 : evolution de la longueur en fonction de temperature d'huile.....	60
Figure VI - 7: les valeurs obtenues des performances thermiques (ammoniac-huile) .....	61

# Liste des tableaux

---

<b>Chapitre I : Présentation de la Raffinerie d'Alger</b> .....	<b>3</b>
<b>Chapitre II : Généralité sur des pompes</b> .....	<b>8</b>
<b>Chapitre III : l'échangeur de chaleur</b> .....	<b>20</b>
Chapitre IV : Paliers roulements et lubrification .....	31
Tableau IV- 1 : Avantages et inconvénients de la lubrification par circulation .....	40
Tableau IV- 2 : Avantages et inconvénients de la lubrification à la graisse. ....	41
<b>Chapitre V : Étude la pompe P 502</b> .....	<b>42</b>
Tableau V- 1: Caractéristiques de pétrole brut .....	43
Tableau V- 2 : site géographique de la pompe P502.....	43
Tableau V- 3 : Performances de la pompe P502.....	43
Tableau V- 4 : Caractéristiques des roues de la pompe P502.....	44
Tableau V- 5 : Caractéristiques d'arbre de la pompe P502 .....	44
Tableau V- 6 : Caractéristiques du palier de la pompe P502.....	44
Tableau V- 7 : Caractéristiques des roulements de la pompe P502 .....	45
Tableau V- 8 : Caractéristiques du moteur de la pompe P502.....	45
<b>Chapitre VI : Dimensionnement d'Échangeur de chaleur</b> .....	<b>48</b>
Tableau VI - 1: Les paramètres des tubes selon les diamètres (TEMA) .....	51
Tableau VI- 2 : comparaison entre l'eau et l'ammoniac .....	62

# Abréviations

---

**SONATRACH** : Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures

**GPL** : Gaz de pétrole liquéfié

**GNL** : Gaz naturel liquéfié

**RFCC** : Residual catalytic cracking

**HMT** : Hauteur manométrique totale

**CTA** : Centrale de Traitement d'Air

**PAC** : Cycle à compression

$\varphi$  : Le flux de chaleur W.

$\dot{m}$  : Débit massique kg/s

$C_p$  : Chaleur massique J/kg.°C

$T$  : Température °C

$\Delta T_{lm}$  : Différence de température moyenne logarithmique °C.

$V$  : Vitesse de fluide m/s

$\rho$  : Masse volumique kg/m<sup>3</sup>

$K$  : Conductivité thermique W·m<sup>-1</sup>/°C

$S$  : La surface m<sup>2</sup>

$P_r$  : Nombre de Prandtl

$Nu$  : Nombre de Nusselt

$Re$  : Nombre de Reynolds.

$d$  : diamètre mm

$\mu$  : Viscosité dynamique kg /m.s

$Req$  : résistance thermique équivalent m<sup>2</sup>.K/W

$h$  : Coefficient d'échange par convection W/m<sup>2</sup>.°C

$U$  : Coefficient d'échange global W/m<sup>2</sup>. °C

$A$  : surface d'échange m<sup>2</sup>

$L$  : Longueur caractéristique m

# Introduction générale

---

La Raffinerie, sur le plan quantitatif, veut continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité comme l'essence, gasoil, GPL, etc., ainsi que les produits qui servent de base pour l'industrie pétrochimique. Sur le plan qualitatif.

Les pompes sont des appareils mécaniques servant à véhiculer des liquides d'un point A, à un point B. Elles permettent, notamment, de prendre un liquide à la pression  $P_1$  et de le porter à la pression  $P_2$  (avec  $P_2 > P_1$ ).

Les pompes centrifuges sont des machines hydrauliques caractérisées par leur faculté à transmettre de l'énergie à des fluides (en particulier liquides) grâce à la force centrifuge. L'objectif principal est de transférer des fluides par une augmentation de la pression. Les pompes centrifuges peuvent avoir des conceptions différentes, mais leur principe de fonctionnement et leurs caractéristiques dynamiques des fluides sont toujours les mêmes.

Schématiquement, les pompes centrifuges sont formées d'un rotor appelé turbine ou roue qui tourne à l'intérieur d'un corps. Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission.

Les échangeurs de chaleur sont des appareils connus pour permettre le transfert de chaleur entre deux ou plusieurs courants de fluides. Le grand nombre de configurations différentes des appareils rend leur classification difficile. On a systématisé les échangeurs de chaleur en fonction des conditions d'exploitation, de construction, de capacité de transfert de chaleur et d'arrangement de courant du fluide.

L'étude effectuée dans ce projet de fin d'étude est le dimensionnement d'un échangeur de chaleur pour refroidir l'huile de lubrification du palier.

Notre travail est basé sur le dimensionnement de l'échangeur de chaleur concentrique par le choix des diamètres des tubes selon les tables TEMA pour obtenir une meilleure longueur de cet échangeur ce qui nous aide à obtenir la température souhaitée.

Notre travail mené dans ce projet de fin d'étude a été enchaîné de la façon suivante

Dans le premier chapitre de ce mémoire, on présente la raffinerie de SIDI ARCINE, Wilaya d'ALGER, Algérie.

- Le second chapitre est réservé pour la présentation d'une vue générale sur les pompes utilisées dans l'industrie.
- Le troisième chapitre est consacré aux généralités sur les échangeurs de chaleur

- Le quatrième chapitre consiste à une généralité sur les paliers des pompes.
- Le cinquième chapitre est réservé pour l'étude des performances de la pompe centrifuge p502.
- Le sixième chapitre consiste de dimensionnement d'échangeur de chaleur et calculer la longueur nécessaire pour refroidi l'huile et la simulation avec Matlab.
- Enfin, notre travail est achevé par une conclusion générale qui résume les principaux Résultats obtenus et quelques perspectives futures qui peuvent être traitées par la suite.

# ***Chapitre I : Présentation de la Raffinerie d'Alger***

## **I.1. Introduction**

En Algérie, l'industrie de raffinage est née avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi Messaoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérantes dans le cadre de la recherche et l'exploitation de brut.

Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures. [1]

## **I.2. Présentation de la société nationale SONATRACH**

Sonatrach est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent. [2]

Sonatrach est la première entreprise du continent africain, classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales Elle est 2ème exportateur GNL et de GPL et 4ème exportateur de gaz naturel. [2]

## **I.3. Présentation de la raffinerie d'Alger**

### **I.3.1. Situation géographique de la Raffinerie**

La raffinerie d'Alger se situe à 5 km au sud d'EL Harrach et à 20 km à l'est d'Alger, occupant une surface de 182 hectares (1.82 kilomètre carré). Cet emplacement a été choisi après une étude du sol et la découverte d'une nappe d'eau nécessaire pour l'alimentation des systèmes de refroidissement. [3]

### **I.3.2. Historique de la raffinerie**

La raffinerie d'Alger fut créée en décembre 1959 suite à la découverte du pétrole au sud algérien en septembre 1959, le chantier fut ouvert en janvier 1960, le démarrage de la raffinerie

n'a eu lieu que le 19 janvier 1964 par un groupe de compagnies étrangères. Le coût de construction est estimé à 210 millions dinars dont 170 millions par les installations et 40 millions de frais établis et autres.

Avant 1971, l'alimentation de la raffinerie était par tankers du pétrole de Bejaia au port pétrolier d'Alger, en suite par pipe de 26 pouces, jusqu'au parc de stockage

Un piquage a eu lieu à Beni Mansour à partir de pipe reliant Hassi-Messaoud - Bejaia, un oléoduc de 18 pouces d'une longueur de 131 Km jusqu' à la raffinerie avec un débit de 500 m<sup>3</sup>/h, cette pipe qui a été refait en 20 pouces avec un débit atteignant jusqu'à 800 m<sup>3</sup>/h.

En ce qui concerne le choix de la région algéroise, elle se présente comme un pôle futur de développement industriel. En plus, elle a l'avantage d'être le plus grand centre de consommation avec une part de 40% à 50% de la demande intérieur.

Il apparait clairement que la production à partir de la raffinerie d'Alger sera moins coûteuse que celle venant des autres raffineries.

La raffinerie, sur le plan quantitatif, veut continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité comme l'essence, gasoil, GPL, etc., ainsi que les produits qui servent de base pour l'industrie pétrochimique. Sur le plan qualitatif, un programme est mis en place, qui consiste en la suppression du plomb des essences avec une réduction actuelle de 0.4 g/L depuis le premier janvier 1999, jusqu'à 0.15 g/L à partir du premier janvier 2002 et la suppression totale du plomb prochainement. [4]

### **I.3.3. Capacité de production**

Le but primordial de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière.

La raffinerie a une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales qui sont :

- Butane et propane commerciaux ;
- Naphta (30% essence SR+70% solvant total) ;
- Essences normale et super ;
- Jet (Kérosène) ;
- Gas-oil ;

- Fuel lourd.

Au démarrage de la raffinerie la capacité de production est de 1800 tonnes/an et par la suite a atteint le plafond en 1991 avec 3 millions de tonnes/an, et aujourd'hui est de 2 700 000 tonnes/an [4].

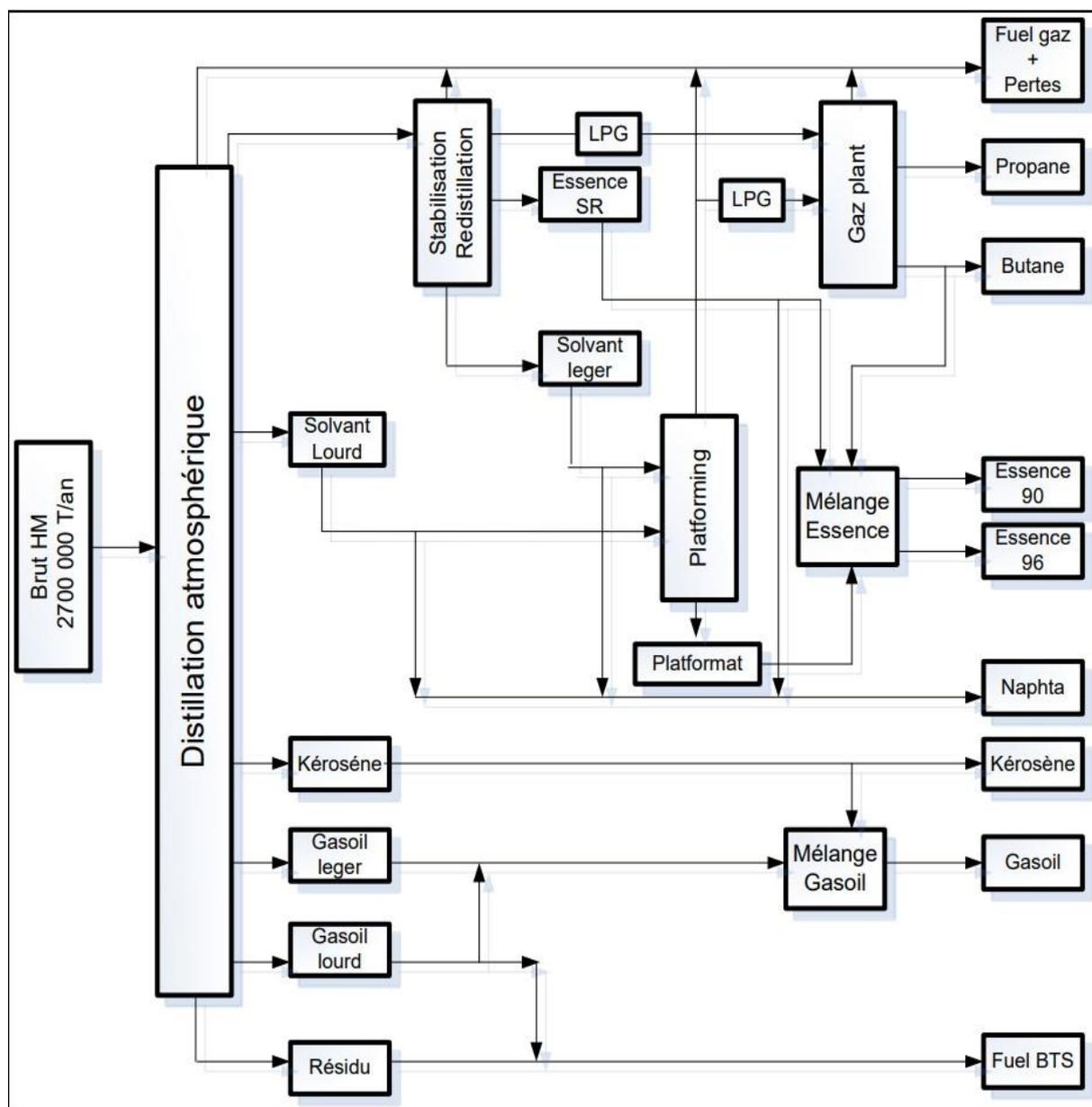


Figure I- 1 : Organigramme montrant synoptique de la raffinerie d'Alger

#### I.4. Description des principales installations

La raffinerie d'Alger est composée de plusieurs installations qui sont [1] :

- Une unité de distillation atmosphérique de 2 700 000 tonnes/an.

- Une unité de reforming catalytique de 2 500 m<sup>3</sup>/j dont le rôle est de transformer une coupe pétrolière à bas indice d'octane (mélange de solvant léger et de solvant lourd) provenant de l'unité de distillation en un reformat à haut indice d'octane qui est la base principale pour la fabrication des carburants automobiles (essence normale et essence super).
- Unité Gas-plant pour la séparation et traitement des GPL.
- Un parc de stockage pour le pétrole brut et pour les produits finis et semi-finis.
- Une unité de pomperie pour les expéditions de produits par pipes aux dépôts El-Harrach, Caroubier, du Port pétrolier, de l'Aéroport d'Alger au dépôt Chiffa (Blida).
- Unité de mélange (Ethylation) pour la fabrication des essences (Normal et Super).
- D'un port pétrolier équipé de trois postes de chargement et déchargement ainsi qu'une station de déballastage et d'écumage d'hydrocarbures.
- D'un laboratoire de contrôle de la qualité des produits.
- Une centrale thermoélectrique constituée d'un groupe turboalternateur qui développe 6MW d'énergie électrique, la centrale a pour but d'assurer les besoins énergétiques de la raffinerie (vapeur, eau, électricité, air).
- Deux chaudières à vapeur de 47 tonnes/h chacune.
- Deux stations de traitement des eaux.
- D'un poste de commandement d'intervention en 24/24h.
- Plusieurs ateliers de maintenance et de magasins.
- D'une rampe de chargement GPL alimentant les régions du centre du pays. [4]

### **I.5. Nouvelles installations et réhabilitation de la raffinerie d'Alger**

Le groupe Sonatrach conscient des défis majeurs auxquels il doit faire face à l'avenir, du fait de la demande croissante du marché en produits raffinés, de la sévèrisation progressive des spécifications des carburants (essences et diesel) ainsi que des exigences en termes de santé, de sécurité et de protection de l'environnement, un programme de réhabilitation, de remise à niveau et de modernisation de l'instrumentation des raffineries a été envisagé.

Ce programme de réhabilitation et adaptation des installations de production permettra à terme :

- D'assurer la continuité du niveau de production actuel sur les moyens et long terme, par un renouvellement et une mise à niveau des équipements,

- D'apporter sur les installations, les améliorations pour l'optimisation du fonctionnement des installations,
- De produire pour le marché national et l'exportation des carburants aux spécifications européennes, pour la préservation de l'environnement. [4]

## **I.6. Objectifs du programme de réhabilitation et d'adaptation**

La capacité de traitement actuelle est insuffisante pour la satisfaction de la demande de la région centre en produits raffinés, cette capacité de traitement sera augmentée de 35% c'est-à-dire 3.645.000 tonnes/an.

L'opération de réhabilitation consiste à :

- Installation d'une unité d'isomérisation et d'un reforming à régénération continue CCR pour produire des essences sans plomb à haute indice d'octane.
- Modernisation de l'instrumentation, et notamment le passage de l'instrumentation actuelle (de type pneumatique) à un système de contrôle basé sur le DCS et évolutif vers le contrôle avancé et l'optimisation de la marche des installations.
- Modernisation des équipements électriques de distribution utilisant la technologie numérique à base de microprocesseur et informatisation du système de supervision du réseau électrique pour la simplicité d'exploitation utilisant.
- Suppression de l'utilisation du plomb dans la production des essences et adaptation des installations pour permettre la production des carburants aux normes Européennes 2009.
- Modernisation et la réhabilitation avec extension des facilités de production et de distribution des utilités (vapeur, air service, air instrument, azote, eau de refroidissement, eau de chaudière, gaz naturel, électricité).
- Réaménagement et extension des facilités de réception, de stockage, et de distribution des produits raffinés.
- Réhabilitation et modernisation des unités de traitements des effluents, ce programme permettra également pour la raffinerie d'Alger : la valorisation du Fuel-oil pour augmenter la production des carburants par l'installation d'une unité de RFCC. [4]

# ***Chapitre II : Généralité sur des pompes***

## **II.1. Introduction**

On appelle turbomachine un appareil dont le rôle est d'assurer un échange d'énergie mécanique entre un débit permanent de fluide et rotor tournant à vitesse constante autour d'un axe. Une turbomachine dite génératrice lorsqu'elle communique de l'énergie au fluide et, réceptrice lorsqu'elle en reçoit de celui-ci. [5]

Les turbomachines se subdivisent en : pompes, compresseurs, ventilateurs ou soufflantes, selon la nature liquide ou gazeuse du fluide véhiculé et sa compressibilité. Dans le cas des pompes et des ventilateurs, la variation de son volume massique est nulle ou négligeable au cours de la traversée de la machine et l'on dit alors que le fluide se comporte de manière incompressible ; il n'en est pas de même dans le cas des soufflantes, où sa compressibilité intervient [6]

Les pompes sont, après les moteurs électriques, les machines le plus banalement utilisées aussi bien sur le plan industriel que dans le domaine domestique. Dans la plupart des cas, il s'agit de pompes de construction courante pour lesquelles l'utilisateur peut trouver les renseignements et les indications concernant ce matériel dans les catalogues de constructeurs

Cependant l'utilisation doit avoir une connaissance générale du fonctionnement des pompes afin d'effectuer le bon choix de la machine. Il faut surtout éviter le gaspillage d'énergie qui dû à l'utilisation des pompes mal adaptées aux installations [6]

## **II.2. Les pompes**

Les pompes sont des appareils qui servent à aspirer, refouler et comprimer les liquides et elles permettent de transformer l'énergie mécanique de rotation (ou de translation) en énergie hydraulique. En pratique, il s'agit souvent d'augmenter la pression du fluide. [7]

## **II.3. Classification des pompes**

Suivant les modes des déplacements des liquides à l'intérieur des pompes, on classe ces dernières en deux grandes familles :

- les pompes volumétriques.

- Les turbopompes,

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges. [8]

### **II.3.1. Les pompes volumétriques**

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Son fonctionnement repose sur le principe suivant :

Exécution d'un mouvement cyclique

Pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé à la fin,

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement, elles se décomposent en deux familles : [9]

#### **II.3.1.1. Les pompes volumétriques rotatives**

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement, on trouve plusieurs types [9]:

##### **II.3.1.1.1. Pompes à vis**

Elles sont constituées de deux ou trois vis s'engrenant entre elles. Le liquide remplit les cavités qui existent entre les vis et le corps. Pendant la rotation des vis, les cavités se déplacent transférant ainsi du liquide de la zone d'aspiration vers la zone de refoulement. Ce type de pompe volumétrique admet une vitesse de rotation élevée (3000 tr/mn) ; elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (100 bar). Par contre, elles n'admettent pas de particules solides. [10]

#### **II.3.1.1.2. Pompes à engrenages**

- **Pompes à engrenages extérieurs**

Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elles soit par la disposition, soit par la forme des engrenages. Dans tous les cas, le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite, hélicoïdale, ou encore à chevrons. Cette dernière solution présente l'avantage de rendre le mouvement plus uniforme. [10]

- **Pompes à engrenages intérieurs**

Le principe général consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre. Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce supplémentaire en forme de croissant qui permet l'étanchéité entre les deux trains d'engrenages. [9]

#### **II.3.1.1.3. Pompes à palettes libres :**

Le principe est le suivant : un corps cylindrique dans lequel tourne un tambour excentré par rapport au corps de pompe entraîne des palettes libres (généralement six). Celles-ci sont plaquées contre le corps par la force centrifuge développée par la rotation du tambour ou par des ressorts qui poussent les palettes. [10]

#### **II.3.1.1.4. Pompes à palettes flexibles :**

L'ensemble rotor-palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide.

Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides. Les caractéristiques débits, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédentes. [10]

#### **II.3.1.1.5. Pompes à lobes**

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage. Les rotors ne sont jamais en contact et, pour ce faire, sont entraînés par désengrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible. [7]

### **II.3.1.2. Les pompes volumétriques alternatives**

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes :

- **Le déplacement d'un piston animé d'un mouvement alternatif**

Selon les cas, le piston peut être en contact avec le cylindre, ou ne pas être en contact avec les parois de la chambre qui contient le liquide.

- **La déformation d'une membrane**

Le mouvement de la membrane est imposé, dans le cas général, par la pression obtenue sur la face arrière par une pompe à piston plongeur.

Le principe de fonctionnement est simple :

- Lorsque le piston, ou la membrane, se déplace vers le "point mort bas", le clapet d'aspiration se soulève et le liquide est aspiré. Le clapet de refoulement est fermé.
- Lorsque le piston, ou la membrane, se déplace vers le "point mort haut", le clapet d'aspiration se ferme tandis que celui de refoulement s'ouvre, permettant le refoulement du liquide pompe. [5]

#### **II.3.1.2.1. Pompes à piston**

Elles peuvent être à simple effet et, dans ce cas, le piston n'a qu'une seule phase active (premier temps : aspiration, deuxième temps : refoulement) sur les deux phases que comporte le cycle. Elles peuvent être à double effet et, dans ce cas, le piston est actif dans les deux phases, permettant un débit deux fois plus important et une plus grande régularité de débit. Il est possible d'associer plusieurs éléments de pompe à piston, décalés dans un cycle de rotation (pompe Triplex par exemple) de façon à augmenter le débit et la régularité. Ces pompes possèdent une grande capacité d'aspiration et permettent d'atteindre des pressions de refoulement importantes. [5]

#### **II.3.1.2.2. Pompes à membranes**

Dans ce type des pompes, le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériaux élastiques. La membrane est entraînée par l'intermédiaire d'un liquide tampon comprimé et décomprimé grâce aux mouvements alternatifs d'une pompe à piston. Le produit véhiculé se trouve ainsi entièrement isolé de la partie mécanique de la pompe, et peut présenter un caractère relativement corrosif. Le volume

balayé par le piston étant supérieur à celui balayé par la membrane, il est nécessaire de limiter la pression du liquide tampon afin d'éviter l'éclatement de la membrane. Une soupape de sécurité permet d'évacuer l'excédent de liquide tampon en fin de phase de refoulement. Il est alors nécessaire de prévoir un second dispositif de compensation qui admettra en fin de phase d'aspiration une quantité de liquide tampon à l'arrière de la membrane égale à celle chassée en fin de refoulement. [5]

Une pompe à membrane devra donc être équipée d'un système auxiliaire dit de "compensation". Pour des raisons de sécurité la membrane peut être doublée. Ces pompes sont utilisées sur les débits moyens de l'ordre de 80 m<sup>3</sup>/h et des températures inférieures à 150°C. Elles conviennent sur les très petits débits, et sont très souvent utilisées comme

### **II.3.2. Les turbopompes**

Une turbopompe est une machine dans laquelle l'énergie transmise au liquide est une énergie principalement cinétique, qui lui est communiquée par l'intermédiaire d'un rotor.

Elles sont toutes rotatives. Ce sont des pompes centrifuges, à hélice (axiale) et hélico-centrifuge. [7]

- **Les pompes à hélices (axiales)**

Elles sont destinées à générer un fort débit et une faible variation de pression, le liquide reste à une distance constante de l'axe de la pompe, elles sont utilisées généralement dans l'irrigation. [9]

- **Les pompes hélico-centrifuge**

Ce type de pompe a un impulseur qui est intermédiaire entre les deux types extrêmes, centrifuge et à hélice le mouvement imprimé au liquide est donc à la fois centrifuge et axial. [7]

## **II.4. Les pompes centrifuges**

### **II.4.1. Définition**

Une pompe centrifuge est un système ouvert, en quelque sorte un trou ou encore un conduit, dans lequel est mis en place un champ de forces centrifuges. Elle n'est pas basée sur le transport du fluide dans un godet ou sur la variation dans le temps d'un volume d'emprisonnement, le

fluide n'est plus poussé par une paroi matérielle, mais mis en mouvement et équilibré par un champ de forces. Cela est une notion très simple, « que nous allons le voir dans ce qui suit », elle est basée sur d'autres principes. La pompe centrifuge fonctionne et s'utilise selon d'autres lois, qui sont l'objet de l'ensemble des paragraphes qui vont suivre, Nous avons traité l'essentiel, cependant certains domaines restreints ou certains aspects particuliers n'ont pas été abordés. [11]

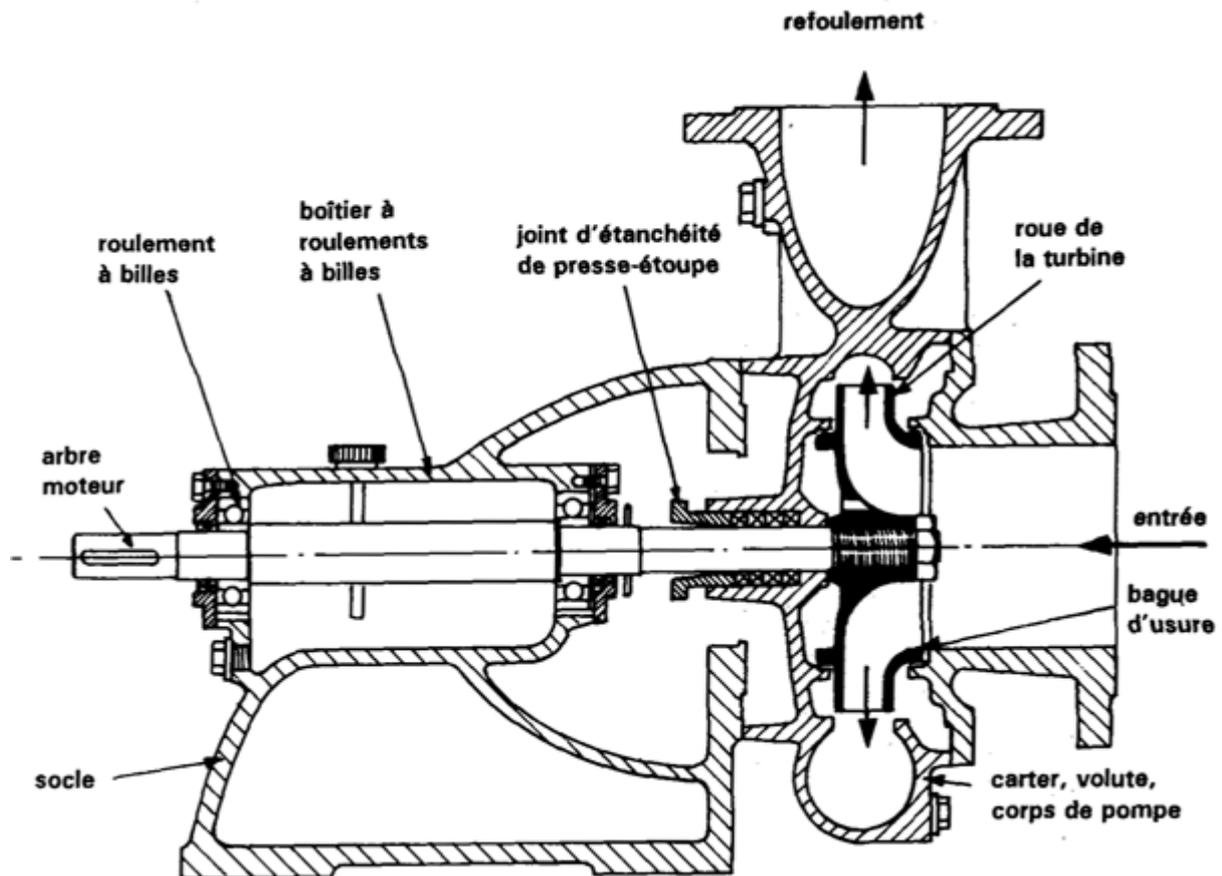


Figure II- 1 : Pompe centrifuge

#### II.4.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

On peut décomposer le fonctionnement en trois étapes :

- **L'aspiration :**

Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor

La pompe étant amorcée, c'est-à-dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage. [12]

- **L'accélération :**

Le rotor transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie du rotor, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie.

- **Le refoulement :**

Dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression au niveau de diffuseur. [12]

### **II.4.3. Classification des pompes centrifuges**

#### **II.4.3.1. Pompes centrifuges monocellulaires et multicellulaires**

L'ensemble roue-diffuseur-canaux constitue une cellule ou un étage.

- La pompe dite monocellulaires comprend une seule cellule composée d'une roue et une volute ou un corps de la pompe qui joue le rôle d'un diffuseur.
- La pompe appelée multicellulaires comprend plusieurs cellules où toutes les roues sont calées sur le même arbre.

Le but d'ajouter des cellules est d'augmenter la hauteur d'élévation.

- Les pompes monocellulaires destinées pour des pressions et des hauteurs moyennes.
- Les pompes multicellulaires destinées pour les hautes pressions et hauteurs de plusieurs centaines de mètres. [13]

#### **II.4.3.2. Pompes horizontales et verticales**

La pompe peut être placée verticalement dite pompe verticale destinées à équiper les puits et forage, comme elle peut être placée horizontalement appelée pompe horizontale et ce type il est le plus répandu à l'utilisation. [14]

### **II.4.3.3. Pompes à une seule et à double entrée**

Si on compare la pompe à une seule entrée avec la pompe à double entrée qui refoulaient le même débit avec la même vitesse de rotation, la pompe à double entrée elle est plus intéressante par ce qu'elle permet au liquide de pénétrer symétriquement de part et d'autre de l'axe verticale de la roue et d'obtenir un engin moins volumineux, bien équilibré, une hauteur plus grande et un meilleur rendement. [14]

### **II.4.4. Equilibrage de la poussée axiale**

Le problème d'équilibrage de la poussée axiale est assuré par une chambre placée derrière le flasque de la roue opposée à l'œillard, où règne une pression égale à la pression d'aspiration. A cet effet des ouvertures sont pratiquées dans le flasque, appelées tours d'équilibrage. Un système de bagues d'étanchéité permet de réduire les pertes par fuites. Ainsi les tours d'équilibrage permettent d'obtenir des pressions égales sur les deux faces de la roue. L'équilibrage ainsi réalisé est satisfaisant néanmoins il est bon de prévoir un palier de butée pour absorber la poussée résiduelle. [13]

L'équilibrage au niveau des pompes multicellulaires peut être obtenu par un dispositif aménagé coté refoulement de la dernière roue et comportant deux plateaux l'un fixe A, l'autre mobile B, étant calé sur l'arbre et pouvant se déplacer axialement. L'espace C entre les plateaux subit la pression de refoulement grâce à un passage étroit 1 donnant lieu à une fuite qui s'échappe par autre passage 2 de largeur variable et atteint la face externe du plateau B, face en relation avec la pression d'aspiration. Comme la poussée axiale déplace l'ensemble mobile B vers l'aspiration (flèche f) et que la différence des pressions de part et d'autre du plateau B s'exerce en sens inverse l'équilibrage est obtenu. [13]

### **II.4.5. Moteurs électriques d'entraînement**

Les moteurs électriques permettent une meilleure commande ce qui est précieux en exploitation. Ils sont plus utilisés que les moteurs diesel ou les turbines pour entraînement des pompes.

Les moteurs électriques qui conviennent pour l'entraînement des pompes centrifuges à une vitesse constante sont les moteurs asynchrones.

Les moteurs asynchrones sont des machines électriques dotée d'un stator fixe et un rotor tournant, le stator à une périphérie lisse ferromagnétique munies de trois bobines électriques, au centre du stator se trouve le rotor qui est formé d'un ensemble d'électroaimants nord sud.

Dont les bobines magnétisantes sont parcourues par un courant continu appelé courant d'excitation, ce qui engendre un champ magnétique dans le stator et fait tourner le rotor et transformant la puissance mécanique.

Les pompes centrifuges sont prévues pour fonctionner à l'aide d'un accouplement direct avec le moteur électrique.

- Généralement pour le groupe des pompes horizontales, la pompe et le moteur sont montés sur le même bâti rigide, l'accouplement étant réalisé par un manchon boulonné semi-plastique.
  - Dans le cas des pompes verticales, le moteur est aussi à l'axe vertical et il est posé à la surface du sol, tandis que la pompe est disposée plus bas. La transmission s'effectue à l'aide d'un arbre vertical composé d'éléments manchonnés de courte longueur nécessaire, le tout étant guidé par des paliers maintenus à l'intérieur d'un tubage. La distance entre la pompe et le moteur peut atteindre jusqu'à plusieurs dizaines de mètres.
- [13]

## **II.4.6. Types de corps des pompes centrifuges**

### **II.4.6.1. Pompe horizontale**

On trouve quatre types de corps principales [14]:

- Process lourdes : à axes d'aspiration et refoulement parallèles et verticaux dont les faces des tubulures sont horizontales et de même niveau.
- Process légers : axe de refoulement vertical comme celui de type process lourds mais décalé par rapport à l'axe longitudinal par contre l'axe de la tubulure d'aspiration est horizontal en prolongement de l'axe longitudinal de l'ensemble pompe-moteur.

La pompe est fixée sur sol à l'aide de pattes d'appui situées au niveau de l'axe longitudinale.

- Pompe in line : axes d'aspiration et refoulement sont alignés et perpendiculaires à l'axe moteur.
- Pompe multi-étages : axes d'aspiration et refoulement sont verticaux, ils sont situés sur la partie supérieure de la pompe.

### II.4.6.2. Pompe verticale

Les corps des pompes centrifuges verticales sont devisés en deux types principaux [14] :

- Pompes verticales de pied : l'axe de la tubulure d'aspiration est vertical. La tubulure d'aspiration est immergée dans le liquide où dans la partie inférieure. De plus l'axe de la tubulure de refoulement est horizontal.
- Pompe verticale à barrel extérieur : les deux axes des tubulures sont horizontaux.

### II.4.6.3. Position de la tubulaire d'aspiration

La tubulaire d'aspiration doit avoir un diamètre inférieur à la tuyauterie d'aspiration [14].

### II.4.6.4. Position de la tubulaire de refoulement

Dans le groupe des pompes où leurs moteurs d'entraînement tournent suivant le sens normal la tubulaire de refoulement se trouve à gauche qui l'axe longitudinal de la pompe. Dans le cas des pompes avec moteurs d'entraînement tournent suivant le sens inverse de la tubulaire de refoulement se trouve à droite de l'axe longitudinale de la pompe [14].

## II.4.7. Équations de base

Les analyses fondamentales de la turbomachine appliquent le concept de l'écoulement moyen. Mais l'écoulement réel est toujours non permanent dû à la présence d'un rotor en mouvement.

On suppose que l'écoulement soit axisymétrique, les propriétés de l'écoulement sont uniformes tout le long du passage.

Equation de conservation d'énergie pour système ouvert :

$$E = U + \frac{V^2}{2} + gz \quad \dots \dots \dots (1)$$

La roue est entourée par une Vitesse de rotation  $\omega$ .

La vitesse tangentielle  $U$  aux points d'entrée (1) et sortie (2) de l'aubage est proportionnelle aux rayons de la roue relative à ces points.

$$U^1 = \omega r^1 U^2 = \omega r^2 \dots \dots \dots (2)$$

Le fluide qui remplit l'espace compris entre deux aubages successifs animé du fait de la vitesse de rotation, d'une vitesse relative  $W_1$  et  $W_2$  aux points d'entrée et sortie, par rapport à

ces aubages. Les vitesses relatives  $W_1$  et  $W_2$  se composent avec les vitesses tangentielles  $U_1$  et  $U_2$  pour donner des vitesses absolues  $V_1$  et  $V_2$ .

En appliquant le théorème des moments des quantités de mouvement par rapport à l'axe de la pompe et on trouve l'équation de couple :

$$c = \dot{m}(V_2 r_2 \cos \alpha_2 - V_1 r_1 \cos \alpha_1) \dots \dots \dots (3)$$

Puissance :  $P = \dot{m}w = c\omega \dots \dots \dots (4)$

Equation d'Eluer :  $H = \frac{w}{g}$  et  $w = V_2 r_2 \cos \alpha_2 - V_1 r_1 \cos \alpha_1 \dots \dots \dots (5)$

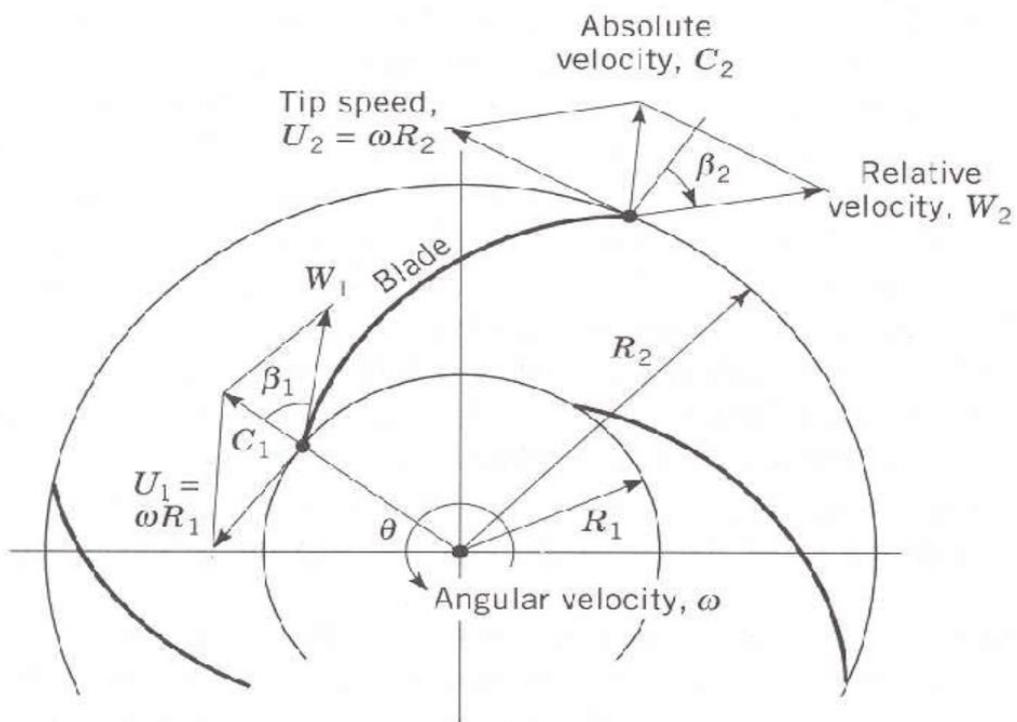


Figure II- 2 : Triangles des vitesses

### II.4.8. Rendements

Pour les pompes, on peut expliquer le rendement par le rapport de la puissance réelle délivrée au fluide (sous forme de pression ou HMT) sur la puissance consommée par la pompe. Dans le cas théorique où il y a perte d'énergie nulle le rendement est égal à 100%. Ce n'est pas en réalité. Les pertes sont la conséquence de plusieurs phénomènes.

### II.4.8.1. Pertes hydrodynamiques

Celles-ci sont dues aux pertes de mouvement et les parois intérieures qui sont fixes. La viscosité du fluide est un paramètre important dans ce genre de perte. Ces pertes par frottement on rajoute les pertes dues au changement brusque de direction ou de section.

$$\eta_h = \frac{H}{H_{th}} \quad (6)$$

### II.4.8.2. Pertes volumiques

La différence de pression entre l'entrée et la sortie provoque un retour de débit.

$$\eta_h = \frac{q_v}{q_v + q_{vfu}} \quad (7)$$

### II.4.8.3. Pertes mécaniques

Ce genre de perte est causé par contact entre deux organes mécaniques de la pompe. Où l'un est en mouvement et l'autre est fixe.

$$\eta_m = \frac{P_{roue}}{P_{arbre}} \dots \dots \dots (8)$$

## II.4.9. Risques et problèmes des pompes

### II.4.9.1. Cavitation

La cavitation apparait à l'intérieur de la pompe lorsque la pression du liquide décroît depuis la bride d'aspiration jusqu'à l'entrée de la roue devient inférieure à la pression de la vapeur saturante.

Pour les pompes multicellulaires la cavitation n'affecte que la première cellule.

Aussi on note que l'érosion est une des conséquences de la cavitation.

## ***Chapitre III : l'échangeur de chaleur***

### **III.1. Introduction**

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel dans toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande partie (90%) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de plusieurs paramètres : domaine de température et pression des fluides, propriétés physiques et agressivité des fluides, maintenance et encombrement. [15]

### **III.2. Définition d'un échangeur thermique**

Un échangeur de chaleur est un appareil destiné à assurer un transfert de chaleur entre deux ou plusieurs fluides. Cet appareil réchauffe un fluide de procédé et en refroidit un autre souvent sans changement de phase de l'un et l'autre. [16]

Les échangeurs thermiques permettent des échanges de chaleur entre : deux liquides, deux gaz, ou un gaz et un liquide. En cas de transfert de chaleur accompagné de changement de phase, les échangeurs thermiques peuvent assurer une fonction d'évaporation ou de condensation. [16]

### **III.3. Principe général de fonctionnement**

Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique.

Les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le nom de l'appareil.

Le principe général est simple mais il donne lieu à un grand nombre de réalisations différentes par la configuration géométrique.

Le principal problème des thermiciens, consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée.

La quantité de chaleur transférée dépend de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres ce qui rend une étude précise de ces appareils assez complexe. Les flux de chaleur transférés vont aussi dépendre des températures d'entrée et des caractéristiques thermiques des fluides (chaleurs spécifiques, conductivité thermique) des fluides ainsi que des coefficients d'échange par convection. [17]

### III.4. Composition d'un échangeur

Un échangeur de chaleur est constitué d'éléments d'échange de chaleur (figure III.1) tels que :

- ✓ un noyau ou une matrice contenant la surface de transfert de chaleur.
- ✓ les éléments de distribution de fluides comme les en-têtes ou les réservoirs, les buses ou les tuyaux d'entrée et de sortie...etc.

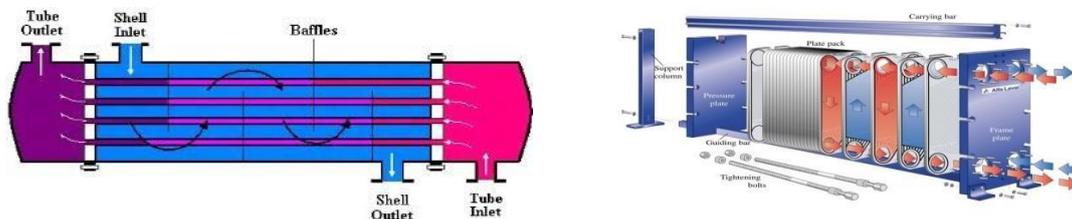


Figure III- 1 : Les composants d'un échangeur de chaleur

Habituellement, il n'y a pas de pièces mobiles dans l'échangeur de chaleur, mais il y a des exceptions, comme le récupérateur rotatif (Figure III.2) dans lequel la matrice est entraînée en rotation à une vitesse déterminée.

La surface de transfert de chaleur est en contact direct avec les fluides et à travers laquelle la chaleur est transférée par conduction. La partie de la surface qui sépare les fluides est appelée la surface de contact primaire ou directe. Afin d'augmenter la surface de transfert, des surfaces secondaires connus comme des ailettes peuvent être fixées à la surface principale.

L'étude complète d'un échangeur comporte une analyse thermique et hydraulique, une étude mécanique et une optimisation économique.

- L'étude thermique : consiste essentiellement à déterminer la surface d'échange thermique nécessaire, le flux thermique échangé, la distribution des températures des deux fluides de l'entrée à la sortie de l'appareil.
- L'étude hydraulique : a pour but de déterminer les pertes de charges dans l'appareil.
- L'étude mécanique : concerne le calcul des efforts et contraintes en fonctionnement compte-tenu des températures et pressions opératoires. [18]

### III.5. Les types des échangeurs de chaleur

On distingue deux grandes familles :

#### III.5.1. La famille tubulaire

Les échangeurs tubulaires représentent encore près de la moitié des échangeurs thermiques utilisés dans l'industrie. Ils présentent un certain nombre d'avantages :

- ✓ Ils sont particulièrement faciles à fabriquer.
- ✓ Relativement bon marché.
- ✓ De maintenance aisée.
- ✓ Ils peuvent être utilisés surtout à des pressions élevées et à de fortes températures.
- ✓ Leur robustesse et leur fiabilité contrebalancent leur encombrement [18].

On distingue, le plus souvent, trois catégories :

##### III.5.1.1. L'échangeur monotube

Un tube ayant généralement la forme d'un serpentín est lacé à l'intérieur d'un réservoir (Figure III.3). [19]



Figure III- 2 : Un échangeur monotube.

### III.5.1.2. L'échangeur coaxial

Deux tubes sont imbriqués l'un dans l'autre. En général, le fluide chaud ou à haute pression s'écoule dans le tube intérieur (Figure III.4). [19]

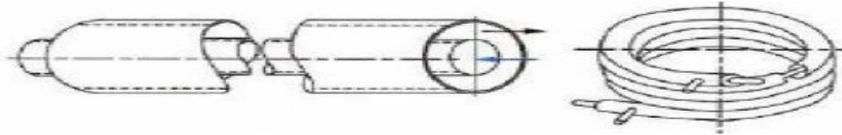


Figure III- 3 : Un échangeur coaxial.

### III.5.1.3. L'échangeur multitubulaire

Il peut exister sous trois formes :

- Échangeur à tubes séparés :

A l'intérieur d'un gros tube sont placés plusieurs petits tubes, maintenus écartés par des entretoises (Figure III.5). [19]

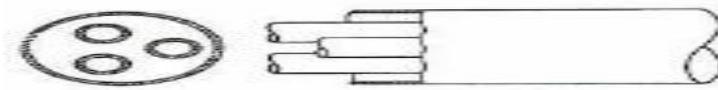


Figure III- 4 : Un échangeur à tubes séparés

- Échangeur à tubes à ailettes (batteries à ailettes) :

Il est constitué d'un faisceau de tubes, répartis en nappes, dans lesquels circule un fluide ayant un bon coefficient d'échange (liquide ou fluide frigorigène). Le fluide extérieur étant un gaz, on met des ailettes sur la face externe des tubes pour en améliorer l'échange (Figure III.6). [20]

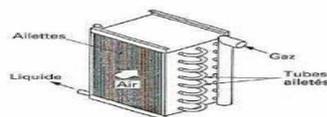


Figure III- 5 : Une batterie à ailettes.

- Échangeur à tubes et calandre :

Ils sont constitués d'un faisceau de tubes placé dans une enveloppe (calandre). Les tubes sont maintenus par des plaques (perforées) qui servent également de chicanes pour

l'écoulement du fluide circulant côté calandre (Figure III.7). [20]

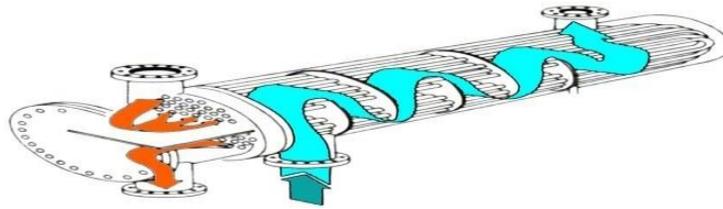
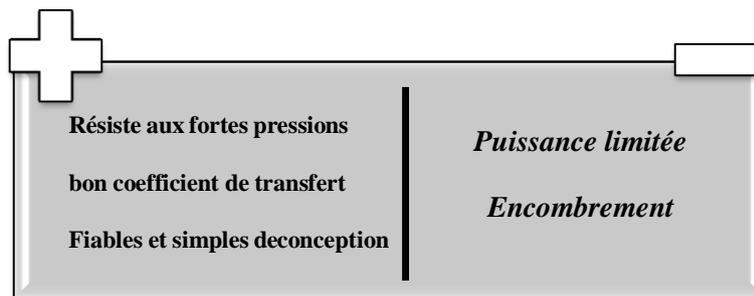


Figure III- 6 : Un échangeur tubes et calandre.

Les avantages et les inconvénients des échangeurs tubulaires [ 2 1 ] :



### III.5.2. La famille à plaques

De création plus récente que les échangeurs tubulaires, les échangeurs à plaques ont subi depuis leur création, il y a environ 60 ans, des améliorations substantielles. On distingue trois types : [18]

#### III.5.2.1. Les échangeurs à plaques et joints

A l'origine inventés pour la pasteurisation du lait dans les années 1920, les échangeurs à plaques et joints connaissent un véritable développement depuis les années 1970 grâce à différents progrès technologiques.

Ils sont souvent plus économiques que les échangeurs tubulaires et ils présentent l'avantage de permettre une efficacité énergétique et des gains économiques réels (Figure III.8). [20]

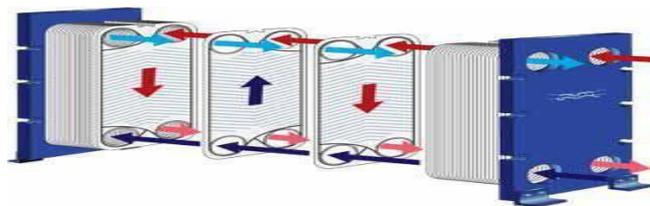


Figure III- 7 : Echangeur à plaques et joints (ALFA LAVAL)

### III.5.2.2. Les échangeurs à plaques soudées

On a constaté que :

- ✓ les échangeurs de chaleur tubulaires sont puissants mais encombrants.
- ✓ les échangeurs à plaques et joints sont compacts mais moins résistants à la pression.

Pour ces raisons et afin d'avoir un meilleur échangeur, les thermiciens ont associés les avantages des uns et des autres afin d'obtenir un échangeur de chaleur à plaques soudées. Son fonctionnement est similaire à celui de l'échangeur thermique à plaques et joints (Figure III.9). [20]



Figure III- 8 ; Echangeur à plaques soudées (ALFA LAVAL).

### III.5.2.3. Les échangeurs de chaleur à plaques brasées

Ils sont constitués d'un nombre variable de plaques corruguées (c'est-à-dire striées de manière transversale) de haute qualité. Celles-ci sont la plupart du temps en acier inoxydable ou en cuivre et une plaque sur deux est retournées à 180°.

Chacun des deux fluides circule donc à contre-courant de part et d'autre des plaques d'échange. Cela permet entre autres de maximiser la surface d'échange utile (Figure III.10). [20]

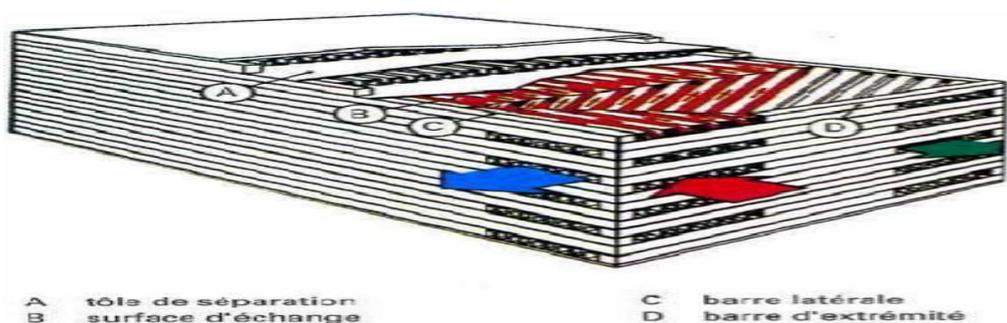


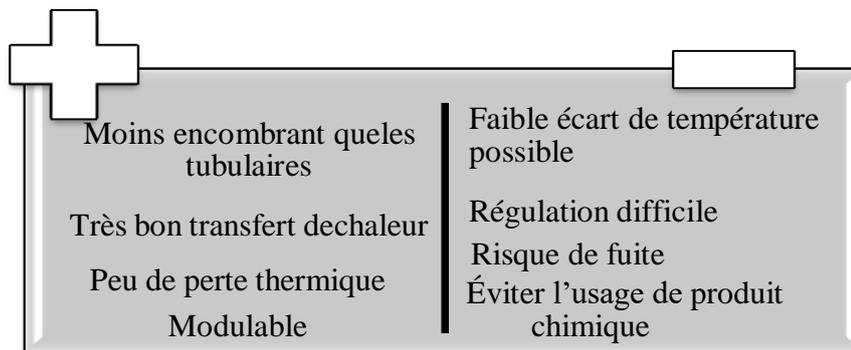
Figure III- 9 : les composants et fonctionnement d'un échangeur à plaques brasées.

Les échangeurs de chaleur à plaques brasées sont l'un des types d'échangeurs thermique les plus utilisés dans les industries du génie climatique.

Il existe d'autres types tels que :

- ✓ Les échangeurs à plaques spiralées.
- ✓ Les échangeurs à plaques à ailettes.
- ✓ Les échangeurs à plaques à microcanaux.
- ✓ Les échangeurs platulaires. [20]

Les avantages et les inconvénients des échangeurs à plaques [21]:



Et il existe d'autres types d'échangeurs de chaleur comme suit



Figure III- 11 : Échangeur à lit Figure III- 10: Échangeur rotatif Figure III- 12 : Aérateur réfrigérant

### III.6. Principaux buts et fonctions d'un échangeur de chaleur

La fonction principale de l'échangeur thermique est de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre à des niveaux de températures distincts. Les fonctionnalités des échangeurs thermiques sont extrêmement diverses et variées ; les principales en sont les suivantes :

- Préchauffeur ou refroidisseur d'un liquide ou d'un gaz (air par exemple) pour lesquels de très nombreux exemples pourraient être rappelés et qui se caractérise par une fonction

simple : le contrôle de la température du fluide en un point particulier du procédé.

- Récupérateur thermique qui permet d'introduire la notion de valorisation de l'énergie thermique d'un procédé. La fonction de cet échangeur est alors d'assurer le transfert d'une capacité thermique maximale afin de permettre une valorisation maximale du rejet thermique sur des critères énergétiques et économiques.
- Capteurs ou émetteurs thermiques dont les équipements ont pour fonction, respectivement, d'associer réception d'énergie thermique et transmission vers l'usage. Les exemples les plus courants sont les capteurs solaires thermiques ainsi que les radiateurs domestiques qui assurent le confort thermique dans un bâtiment.
- Déshumidificateurs ou condenseurs partiels qui assurent la condensation d'une vapeur en mélange avec un gaz incondensable pour obtenir, en fin d'opération, un gaz appauvri en vapeur : l'exemple rencontré fréquemment est le déshumidificateur d'air humide qui permet d'assurer un contrôle de l'humidité de l'air en sortie de Centrale de Traitement d'Air (CTA).
- Evaporateurs qui assurent l'évaporation complète ou partielle d'un liquide dans différents procédés notamment de production d'énergie mécanique (cycle moteur de Rankine, de Hirn) et de production frigorifique : cycle à compression (PAC), réfrigérateur. Condenseurs qui assurent la condensation complète ou partielle d'un gaz (vapeur) là encore par exemple pour la production d'énergie mécanique et frigorifique.
- Le caloduc (Heat Pipe), véritable système thermique diphasique, qui permet notamment d'assurer la dissipation de la chaleur générée par les éléments électroniques, la récupération d'énergie, le maintien en température stable et uniforme. [22]

### **III.7. Critères de classement des échangeurs**

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. Énumérons les principaux. [21]

#### **III.7.1. Type de contact**

- Échangeurs à contact direct

Le type le plus simple comprend un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale. [23]

- Échangeurs à contact indirect

Les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi (Figure III.14).

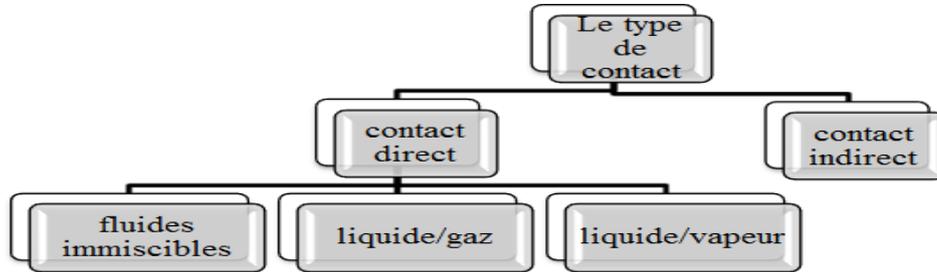


Figure III- 13 : classification des échangeurs selon le type de contact

### III.7.2. Classement suivant la disposition des écoulements

Dans les échangeurs à fluide séparés, les modes de circulation des fluides peuvent se ranger en deux catégories (Figure III.15) :

- Même sens « co-courants ».
- Sens contraire « contre-courant ».
- Ou bien les vecteurs vitesses sont perpendiculaire l'un à l'autre ; il s'agit cette fois de « courant croisés ». [21]

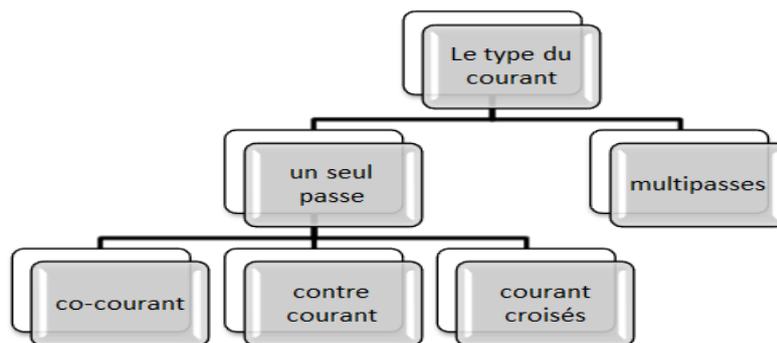


Figure III- 14 : classification des échangeurs selon la configuration de l'écoulement

### III.7.3. Classement fonctionnel

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique (Figure III.16). On rencontre alors les différents cas suivants :

- les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- un seul fluide a un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou descondenseurs. [21]

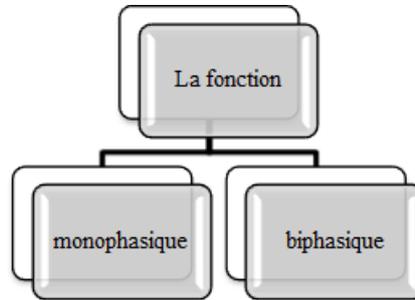


Figure III- 15 : classification fonctionnelle des échangeurs

### III.7.4. Classement suivant la compacité de l'échangeur

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur. Un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ; cette valeur est susceptible de varier de 500 à  $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (Figure III.17). [21]

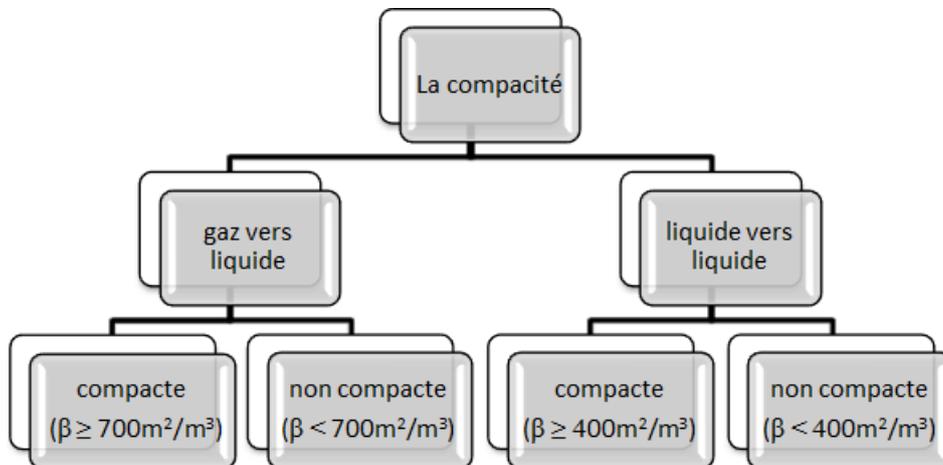


Figure III- 16 : classification des échangeurs selon la compacité

### III.7.5. Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange

On retiendra deux types de paroi (Figure III.18) :

- les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires.
- les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc. [21]

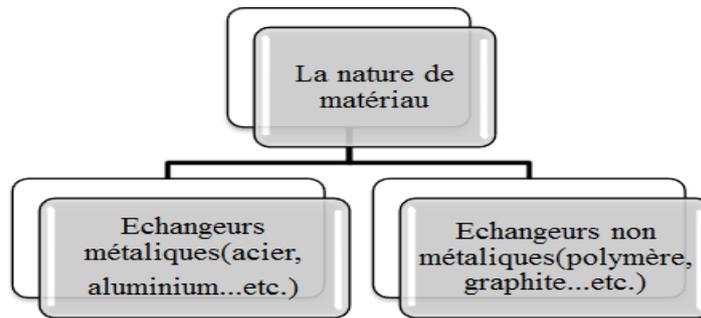


Figure III- 17 : classification des échangeurs selon la nature de matériau

### III.7.6. Classement technologique

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants (Figure III.19) :

- à tubes : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires.
- à plaques : à plaques brasées, soudées ou à plaques et joints.
- autres types : contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé. [21]

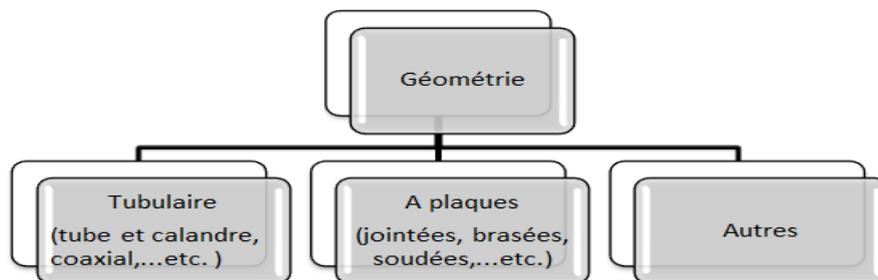


Figure III- 18 : classification technologique des échangeurs de chaleur

### III.7.7. Classement selon le nombre des fluides :

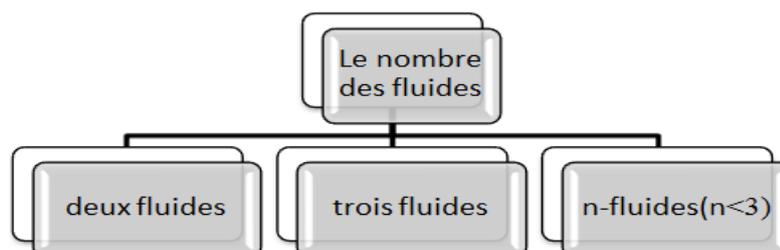


Figure III- 19 : classification des échangeurs selon le nombre des fluides. [21]

## ***Chapitre IV : Paliers roulements et lubrification***

### **IV.1. Introduction**

Les paliers sont des organes mécaniques qui ont pour rôle de supporter et guider les mouvements de rotation (palier rotatif) ou de translation (palier linéaire) ou la combinaison des deux mouvements (palier mixte) de l'arbre. Ils supportent aussi les charges et les transmettent à la partie fixe de la machine par les surfaces en contact.

On trouve trois types de charges supportées par les roulements : Charge radiale, axiale ou la combinaison des deux charges. [24]

Nous avons deux types de palier : Palier lisse et palier à roulement. Le choix de palier dépend de l'utilisation et le fonctionnement.

### **IV.2. Palier lisse**

C'est un palier où l'arbre prend un appui sur des coussinets. Les surfaces de contacts sont soumises au frottement de glissement pour assurer le guidage en rotation.

Les coussinets sont fabriqués de bronze, plomb, graphite, polyamide. [24]

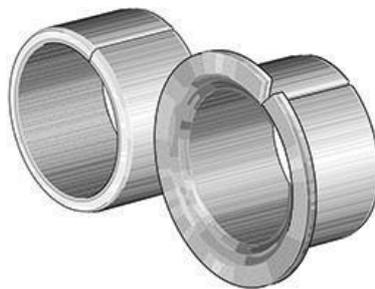


Figure IV- 1 :Coussinets

### **IV.3. Palier à roulement**

On a plusieurs types d'éléments roulants utilisés : les billes, les rouleaux, et les aiguilles.

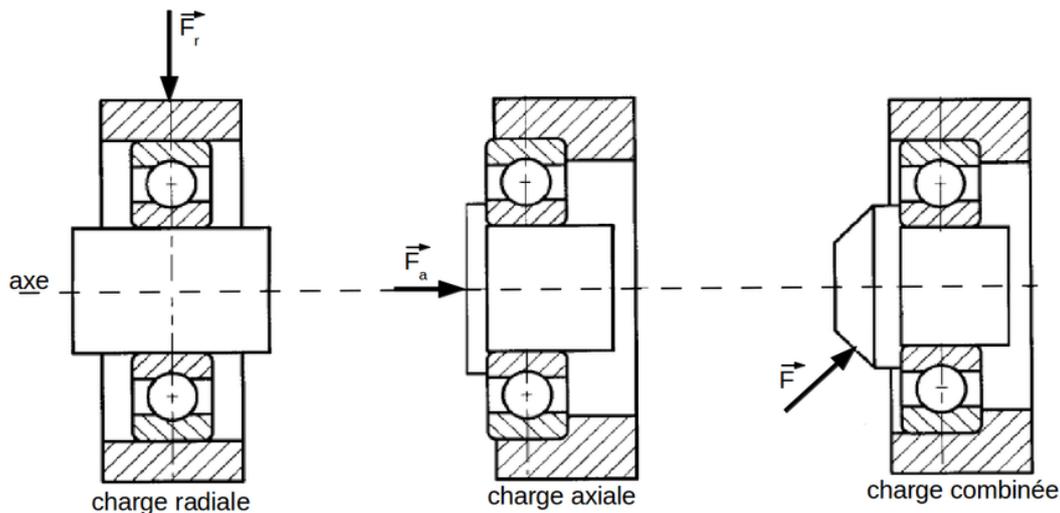


Figure IV- 2 : Charges supportées par les roulements

#### IV.3.1. Roulement à rouleaux :

- **Palier à rouleaux radiaux** : Ce genre de paliers à des caractéristiques de faible frottement, qui leurs permettent d'être utilisées pour des opérations à grandes vitesses. Ils supportent aussi des fortes charges radiales.
- **Palier à rouleaux aiguille** : La longueur est plus grande que le diamètre. Frottement plus important. Il est utilisé où il y a des mouvements oscillatoires.
- **Palier à rouleaux sphériques** : sont munis d'éléments roulants de forme sphérique. Il supporte des charges très grandes.
- **Roulements à rouleaux cylindriques** : sont des roulements munis d'éléments roulants de forme cylindrique. Ils supportent des charges radiales très importantes à une grande vitesse de rotation.
- **Roulements à rouleaux conique** : sont munis des éléments de forme conique. Ils supportent des charges radiales et axiales et combinées importantes mais dans un sens pour l'axiale et combinées. Une bonne aptitude à la vitesse.

#### IV.3.2. Roulements à billes :

- **Roulements à une rangée de billes à contact radial** : Peuvent supporter des charges radiales moyennes et axiales faible et des charges combinées moyenne. Une bonne aptitude à la vitesse.
- **Roulements à une rangée de billes à contact oblique** : Utiliser pour supporter des charges radiales et axiales et combinées moyennes. Mais les charges axiales doivent être

dans un seul sens. Grandes vitesses de rotation à condition d'avoir un bon système de lubrification et refroidissement. L'aptitude à la vitesse est moins que celle a contact radial.

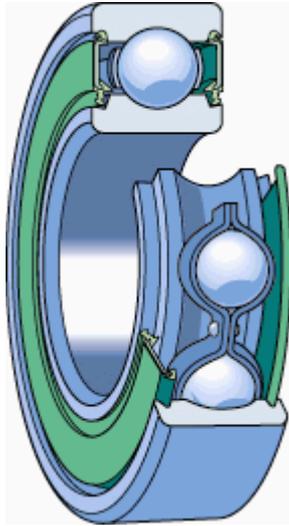


Figure IV- 4 : Roulement à billes à contact radial [31]

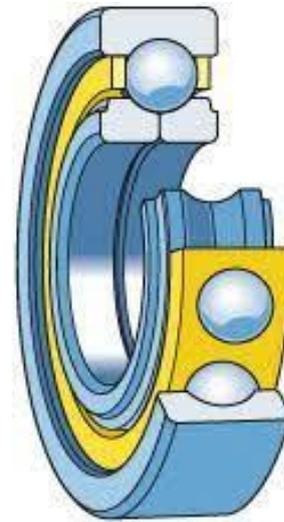


Figure IV- 3 : Roulement à billes à contact oblique [32]

- **Roulements à deux rangées de billes à contact oblique** : support des charges radiales importante et axiale dans les deux sens. Mais la vitesse est plus faible.

### IV.3.3. Perte de puissance aux roulements :

En fonctionnant, un palier à roulement génère plusieurs sources de chaleur situées au niveau des différentes interfaces (solide/solide et fluide/solide). Cette chaleur générée est ensuite évacuée dans les différents massifs (carters, arbre...) ainsi que dans le lubrifiant. La connaissance de la cinématique interne du roulement est nécessaire pour comprendre l'origine des pertes thermiques au niveau des contacts. [25]

### IV.3.4. Choix du type de roulement :

#### IV.3.4.1. Espace de montage

L'espace de montage disponible est dicté par certains critères ; le roulement doit donc présenter des dimensions appropriées. L'espace disponible est utilisé pour déterminer le diamètre d'alésage et le diamètre extérieur. [26]

#### IV.3.4.2. Capacité de charge

L'espace disponible peut accueillir des roulements présentant diverses capacités de charge. Les roulements à rouleaux ont une capacité de charge supérieure à celle des roulements à billes

de mêmes dimensions et supportent mieux les charges liés aux impacts. Le choix dépend du roulement fournissant la performance requise.

#### **IV.3.4.3. Vitesse**

La vitesse dépend d'un grand nombre de paramètres tels que le type et la taille du roulement, le type de cage utilisé et la méthode de lubrification. Avec un lubrifiant courant à la graisse, les roulements à billes à gorges profondes atteignent la plus grande vitesse admise tandis que les roulements à billes axiaux affichent la plus faible.

#### **IV.3.4.4. Désalignement de la bague intérieure/extérieure**

Les bagues intérieure et extérieure ne doivent pas être désalignées, mais elles présentent toujours un léger désalignement. Ce phénomène se produit lorsque l'arbre est déformé à la suite de charges excessives ou lorsqu'une correction est nécessaire pour compenser les erreurs dimensionnelles. Le degré de désalignement admis dépend du type de roulement concerné et des conditions de fonctionnement. L'angle admis est généralement très petit. Si la situation requiert un désalignement plus important, il est conseillé de recourir à d'autres options, comme les roulements à billes auto-aligneurs, les roulements à rouleaux auto-aligneurs ou les unités de roulements spéciales. [26]

#### **IV.3.4.5. Rigidité**

Les contraintes de charge provoquent la déformation du roulement, à commencer par les zones de contact entre les éléments roulants et le chemin de roulement. La rigidité du roulement décrit la relation entre la charge exercée sur le roulement et la déformation élastique des bagues intérieure et extérieure et des éléments roulants. Les roulements à rouleaux répondent aux critères de rigidité élevée. La rigidité peut également être augmentée, par exemple en utilisant des roulements à billes à contact oblique ou des roulements à rouleaux coniques préchargés

#### **IV.3.4.6. Bruit de roulement et couple**

Les roulements génèrent un niveau minimal de bruit de roulement et de couple. Si nécessaire, les roulements à billes à gorges profondes peuvent être optimisés pour un fonctionnement encore plus silencieux. Il est préconisé d'utiliser des roulements à billes à gorges profondes sur les applications telles que les moteurs électriques et les instruments de mesure, lesquelles requièrent de faibles niveaux de bruit et de frottement.

#### IV.3.4.7. Précision

Il existe plusieurs façons de déterminer le degré de précision des roulements. Les classes de précision sont fonction du type de roulement. Pour une précision de roulement garantie, le choix devra se porter sur les roulements à billes à gorges profondes, les roulements à billes à contact oblique et les roulements à rouleaux cylindriques. [26]

#### IV.3.4.8. Montage et dépose

Les modes opératoires pour le montage et la dépose des roulements dépendent de leurs types respectifs. Dans le cas de roulements dissociables, le montage et la dépose s'avèrent particulièrement aisés. C'est généralement le cas des roulements à rouleaux cylindriques, des roulements à rouleaux coniques et des roulements à aiguilles. Ces types de roulements s'imposent sur les applications sujettes à des inspections régulières. Le montage des roulements à billes auto-aligneurs et les roulements à rouleaux auto-aligneurs à alésage conique (avec ou sans manchons) s'avère plus difficile car le jeu interne est ajusté au cours de la procédure de montage. [26]

### IV.4. Tribologie

C'est la science du frottement, contact des surfaces, usure, lubrification, etc.

Les variables sont : Le type de mouvement, forces, température, vitesse et temps de déroulement de la contrainte. Les données des paramètres tribométriques comme le frottement, l'usure et la température peuvent être collectés de la zone de stress de la pièce. Le stress tribologique est le résultat de plusieurs critères de la surface, la géométrie de contact, la charge ou l'épaisseur du lubrifiant [27].

#### IV.4.1. Frottement

C'est la force tangentielle qui s'oppose au glissement d'une surface sur une autre.

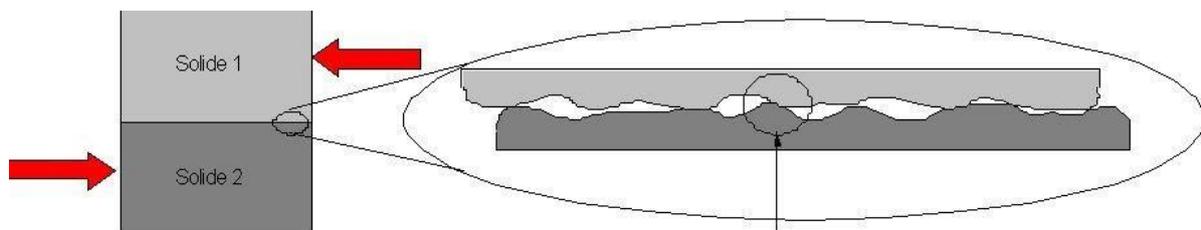


Figure IV- 5 : frottement entre deux corps solides

#### IV.4.1. Types de frottement

- **Frottement statique** : C'est une force qui empêche un mouvement de démarrer. Comme il y a aucun déplacement, il y a aucune consommation d'énergie.

Le coefficient de frottement statique dépend du type et l'état des matériaux pour les deux corps. Il est défini comme le coefficient de frottement qui correspond à la force maximale pour le démarrage du mouvement.

- **Frottement cinétique** : Différent de type précédant, c'est la force qui apparaît quand le corps est en mouvement, cette force freine le corps et elle est généralement inférieure au frottement statique. Pareil pour le coefficient de frottement cinétique qui est aussi appelé coefficient de frottement dynamique, il est inférieur au coefficient de frottement statique. Ce type de frottement consomme de l'énergie, car il y a un déplacement.
- **Frottement par glissement** : La force de frottement par glissement est dans le sens opposé du mouvement de glissement entre deux surfaces en contact. Influencée par les caractéristiques des surfaces et leurs états ainsi qu'à la force appliquée.
- **Frottement par roulement** : Le roulement est une translation du centre avec une rotation autour du centre. Ce type de frottement est généré par un contact avec des roulements sans glissements, influencé par la géométrie de surface en contact et la déformation des matériaux.

#### IV.4.2. Formes de frottements

- Frottement des solides : C'est le cas quand il y a deux solides qui sont en contact direct.
- Frottement de limite : La présence d'une couche moléculaire entre les surfaces en contact. Qui a des propriétés qui influencent les paramètres de frottement et usure.
- Frottement de fluide : Les deux surfaces sont complètement séparées par un film liquide de lubrifiant.
- Frottement mixte : Combinaison entre deux formes : limite et fluide. Ça arrive aux éléments de machine qui sont lubrifiées avec une lubrification hydrodynamique lors de démarrage et arrêt.
- Frottement de lubrifiant solide : C'est le cas lors de l'utilisation d'un lubrifiant de forme solide

### **IV.4.3. Usure**

L'usure est définie par la dégradation de l'état de la surface extérieure d'une pièce mécanique qui cause une perte de masse des matériaux. Ayant pour la conséquence le contact en contact avec la pièce.

#### **Mécanismes d'usure :**

- Usure par adhésion : Une interaction moléculaire et atomique sur des surfaces de deux corps frottant. Cette interaction peut enlever une masse de la matière du corps.
- Le transfert de masse dépend des caractéristiques physico-chimiques.
- Usure tribo-chimique : C'est quand il y a une réaction chimique dans les lieux de frottement, à cause d'un environnement réactive.
- Erosion : C'est la dégradation de l'état de surface des corps des machines, c'est l'arrachement de matières causé par des conditions externes.
- Usure abrasive : C'est le transfert de masse produit par la présence des particules ou petits corps à une grande vitesse. L'intensité de l'usure abrasive dépend de dimensions, quantité et nature de l'abrasif. La résistance à l'usure dépend de la porosité et la rugosité de surface.
- La contamination du lubrifiant avec des milieux abrasifs peut engendrer une usure abrasive.
- Fatigue de surface : C'est le résultat des charges périodiques aux points de contact qui provoque la fatigue et des ruptures par fissuration.
- Cavitation : C'est la naissance de bulles de gaz ou de vapeur dans un liquide soumis à une dépression. Qui peut causer un transfert de matière à l'intérieure du corps.

### **IV.5. Lubrification**

La lubrification est un ensemble de techniques qui utilisent des lubrifiants (huiles et graisses) permettant de séparer deux surfaces en mouvement et diminuer les frottements. Les huiles de lubrification sont généralement constituées d'huile de base de lubrifiant avec additifs chimiques dont la nature varie avec l'utilisation du produit. La lubrification a pour rôle :

- Réduire l'usure.
- Absorber et évacuer la chaleur dissipée par le contact entre deux corps.
- Réduire le frottement et faciliter le glissement ou le roulement.

- Assurer l'étanchéité.
- Evacuer les impuretés.

#### **IV.5.1. Classifications des lubrifiants selon utilisation**

- Lubrifiants des automobiles : destiné aux moteurs (diesel ou essence) et matériels de travaux publics.
- Lubrifiants industriels : pour les engrenages industriels, compresseurs, turbines, etc.

#### **IV.5.2. Classification des lubrifiants selon état physique**

- Lubrifiants liquides : huiles minérales, fluides synthétiques, fluides aqueux.
- Graisses.
- Lubrifiants solides.
- Lubrifiants gazeux.

### **IV.6. Régimes lubrification**

- **Régime hydrodynamique :**

Il y a aucun contact entre les surfaces. C'est le mouvement relatif entre deux surfaces de frottement qui provoque la formation d'une pellicule fluide exerçant une pression suffisante pour séparer les surfaces. Le mouvement à condition que la vitesse soit suffisante, crée une portance hydrodynamique.

Exemple d'application : Pistons, engrenages cylindriques peu chargé.

- **Régime élasto-hydrodynamique (mixte) :**

Peut être considéré comme un mélange entre la lubrification onctueuse et hydrodynamique. Un film de lubrifiant utilisé généralement où le contact entre les deux surfaces est dans des petites régions qui va engendre une augmentation de la pression et une déformation élastique conséquente.

Ces conditions ont un effet direct sur l'épaisseur et la viscosité du film lubrifiant. Ce phénomène est dû généralement à la rugosité des surfaces.

Exemple d'application : Roulements, engrenages.

- **Régime onctueux (limite) :**

Un film de lubrifiant recouvre les surfaces en contact, sous l'effet d'une haute pression et de faible vitesse. Ces surfaces ne sont séparées que par une couche très mince d'huile. Le frottement est relativement important.

Exemple d'application : Pompe à palette, engrenage à roue et VIS.

- **Régime extrême pression :**

Il y a une réaction chimique entre les additives extrêmes pressions continuent dans le lubrifiant. Un film réactif se produit par conséquent qui sert à séparer les surfaces.

Exemple d'application : Transmissions des véhicules.

## IV.7. Méthodes de lubrification

### IV.7.1. Lubrification par barbotage

Cette méthode est utilisée pour la lubrification des engrenages, la denture est immergée dans un bain d'huile, avec la rotation, les dents entraînent une certaine quantité d'huile. Si les projections de l'huile sur les parois par effet centrifuge sont suffisantes, l'huile peut être recueillie puis canalisée vers les roulements et paliers et dentures. [28]

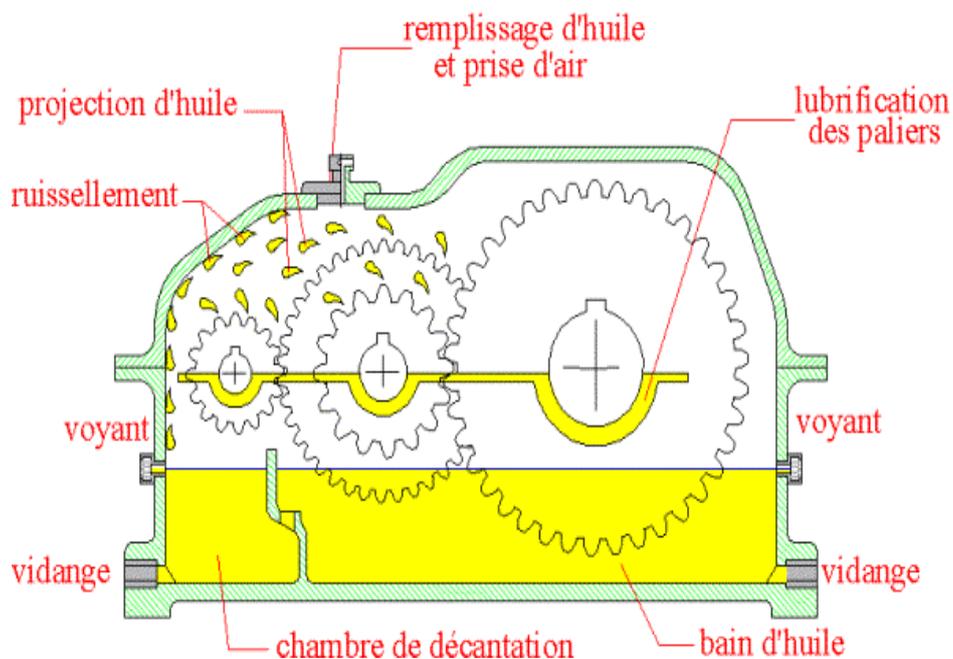


Figure IV- 6 : Lubrification par barbotage

### IV.7.2. Lubrification par circulation :

Un circuit d'huile en permanence dédié à l'équipement arrive près des points à lubrifier grâce à une pompe et des canalisations. On peut installer un échangeur de chaleur pour assurer le bon refroidissement de l'huile.

Exemple d'application : Réducteur à engrenage. [28]

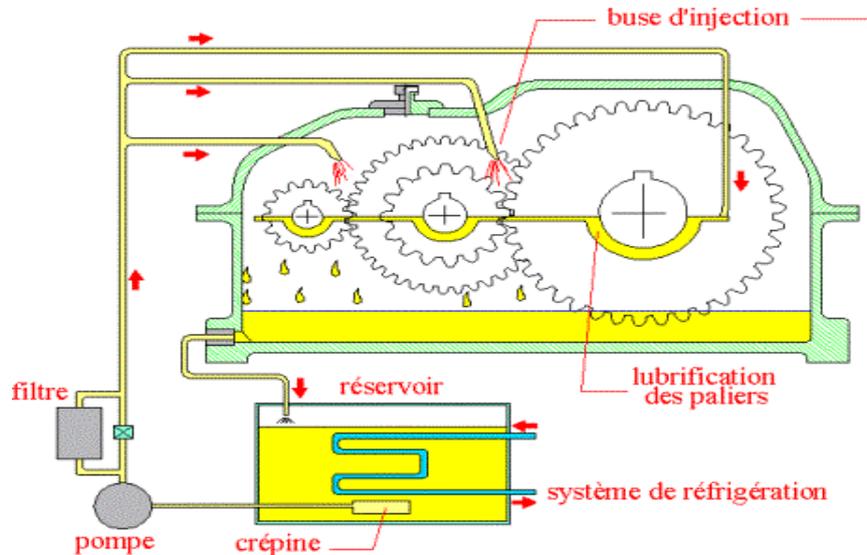


Figure IV- 7 : lubrification par circulation

Tableau IV- 1 : Avantages et inconvénients de la lubrification par circulation

Méthode	Avantages	Inconvénients
<b>Barbotage</b>	Fonctionnement facile et simple. Facilite de la maintenance.	Nécessite un grand débit d'huile et par conséquent un grand réservoir.
<b>Circulation</b>	Bon refroidissement et contrôle des températures. Filtration d'huile. Nécessite moins de débit.	Nécessite une installation spéciale.

### IV.7.3. Graissage

Les graisses utilisées doivent avoir une consistance suffisante, présenter une bonne stabilité au malaxage et contenir des additifs en extrême pression.

Exemple d'application : Les petits réducteurs pour faibles puissances.

Tableau IV- 2 : Avantages et inconvénients de la lubrification à la graisse.

<b>Méthode</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Huile</b>	Fonctionnement à forte puissance. Bon refroidissement et évacuation d'impuretés.	Maintenance plus exigeante. Nécessite des installations dans le cas de circulation.
<b>Graisse</b>	Permet le graissage à vie. Diminution des fuites. Maintenance moins exigeante.	Il n'y a pas un refroidissement ou une évacuation d'impuretés. Ne convient qu'aux petits réducteurs.

#### **IV.8. Classification des huiles**

La classification des huiles dépend de leurs propriétés physiques comme : La viscosité dynamique  $\mu$  et viscosité cinématique  $\nu$ , index de viscosité, point d'écoulement, etc.

- **ISO** : La classification est basée sur leur viscosité. Qui est appliquée pour les huiles industrielles. La désignation est : ISO VG suivi d'un nombre qui indique la viscosité moyenne en centistoke à 40°C.
- **SAE** : Une classification dédiée aux automobiles et véhicules industriels. Est basée sur la viscosité des huiles, mais définit des tranches ou intervalles continus de viscosité avec des valeurs minimales et maximales.

# Chapitre V : Étude De la pompe P 502

## V.1. Introduction

La pompe P 502 est une pompe centrifuge horizontale multicellulaire de la marque ITT/ GOULDS, du modèle 3640 XL. Cette pompe est utilisée au niveau de l'unité de distillation atmosphérique pour pomper le pétrole brut sortant de ballon de pré-flash vers le quatrième train des échangeurs de chaleur. [29]



Figure V- 1: La pompe P 502

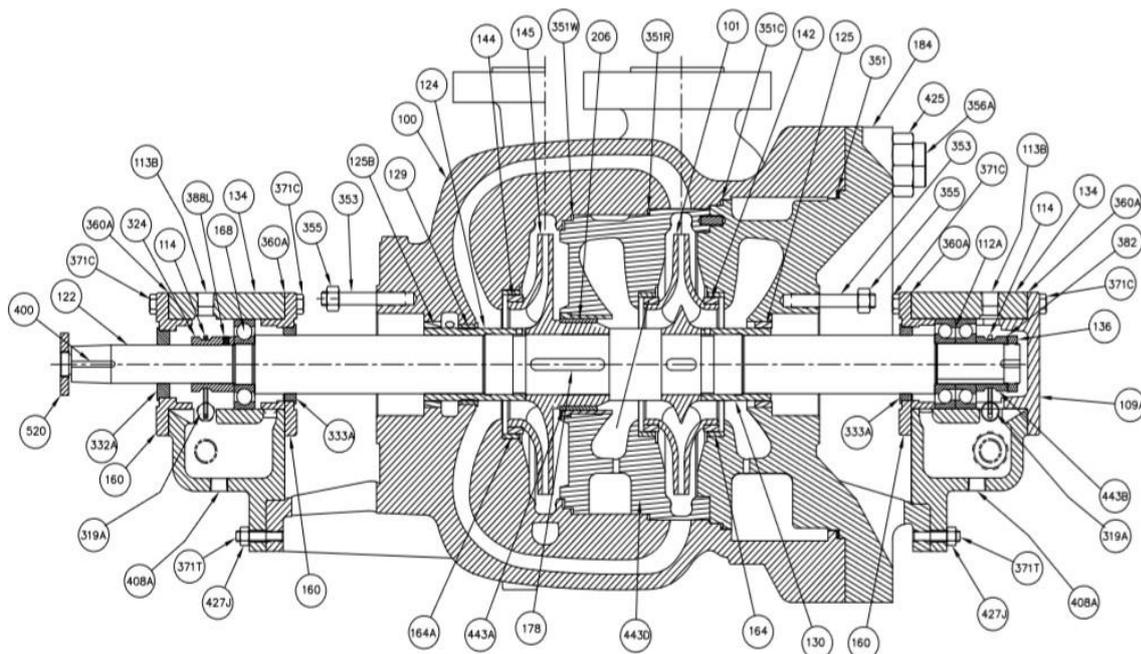


Figure V- 2: Vue de la pompe P 502

## V.2. Caractéristiques de pétrole brut

Tableau V- 1: Caractéristiques de pétrole brut

Température de pompage	440.15 K (167 °C)
Pression de vapeur	44129.25 Pa
Masse volumique	719 kg/m <sup>3</sup>
Viscosité cinématique	0.44 * 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s

## V.3. Caractéristiques de la pompe P 502

### V.3.1. Site géographique de la pompe P502

La pompe P 502 A/B a été fabriquée pour travailler dans des conditions extérieures bien définie qui sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V- 2 : site géographique de la pompe P502

Altitude	205 m
Température ambiante minimale	274.15 K (1 °C)
Température ambiante maximale	320.15 K (47 °C)
Humidité relative minimale	25 %
Humidité relative maximale	79 %
Conditions inhabituelles	Poussière, sismique

### V.3.2. Performance de la pompe P502

Tableau V- 3 : Performances de la pompe P502

Nombre d'étage	2
Type d'entrée	Pompe à double entrée
Débit optimale	597 m <sup>3</sup> /h
Pression d'aspiration de la première roue P <sub>1</sub>	362846.05 Pa
Décompression	2118236.4 Pa
Pression différentielle $\Delta P$	1755390.35 Pa
Hauteur H	253 m
NPSH dans la roue	1.97 m
NPSH dans le grade	3.29 m

Rendement hydraulique $\eta_h$	69 %
Puissance optimale	429 000 W
Région d'opération préférée	94.7 m <sup>3</sup> /h à 848 m <sup>3</sup> /h
Région d'opération autorisée	245 m <sup>3</sup> /h à 848 m <sup>3</sup> /h
Hauteur maximale	274.36 m
Puissance maximale	557 460 W
Vitesse de rotation N	1459 rpm

### V.3.3. Roues

Tableau V- 4 : Caractéristiques des roues de la pompe P502

Nombre des roues	2
Type des roues	fermé
Matériau	Acier carboné
Diamètre	597 mm
Nombre des aubages	7

### V.3.4. Arbre

Tableau V- 5 : Caractéristiques d'arbre de la pompe P502

Longueur (mm)	2160
Matériau	Acier AISI 4140

### V.3.5. Palier

L'arbre de la pompe P 502 est supporté par deux paliers l'un entre le moteur et la pompe et l'autre à extrémité de l'arbre.

Tableau V- 6 : Caractéristiques du palier de la pompe P502

Type de palier	Premier palier entre le moteur et la pompe (Roulement à une rangée de billes à contact radial 6224)	Deuxième palier à l'extrémité de la pompe (Roulement à une rangée de billes à contact oblique 7320)
Nombre des roulements	1	2
Montage des roulements	/	O

### V.3.6. Roulements

Les roulements utilisés au niveau de la pompe P 502 sont de type roulement à une rangée de billes à contact oblique et à contact radial de la marque SKF.

SKF abréviation de Svenska kullager fabriken, est un groupe multinational suédois leader dans le domaine de roulement mécanique.

Tableau V- 7 : Caractéristiques des roulements de la pompe P502

Type de roulements	Roulements à une rangée de billes à contact radial 6224	Roulements à une rangée de billes à contact oblique 7320
Matériau	Acier	Acier
Diamètre intérieur	120 mm	100 mm
Diamètre extérieur	215 mm	215 mm
Epaisseur	40 mm	47 mm
Nombre de billes	10	10

### V.3.7. Moteur

Tableau V- 8 : Caractéristiques du moteur de la pompe P502

Type de pilot	Moteur à induction
Vitesse de rotation	1500 rpm
Voltage	5500 V
Phase	3
Fréquence	50 Hz

### V.3.8. Courbe caractéristiques de la pompe P 502

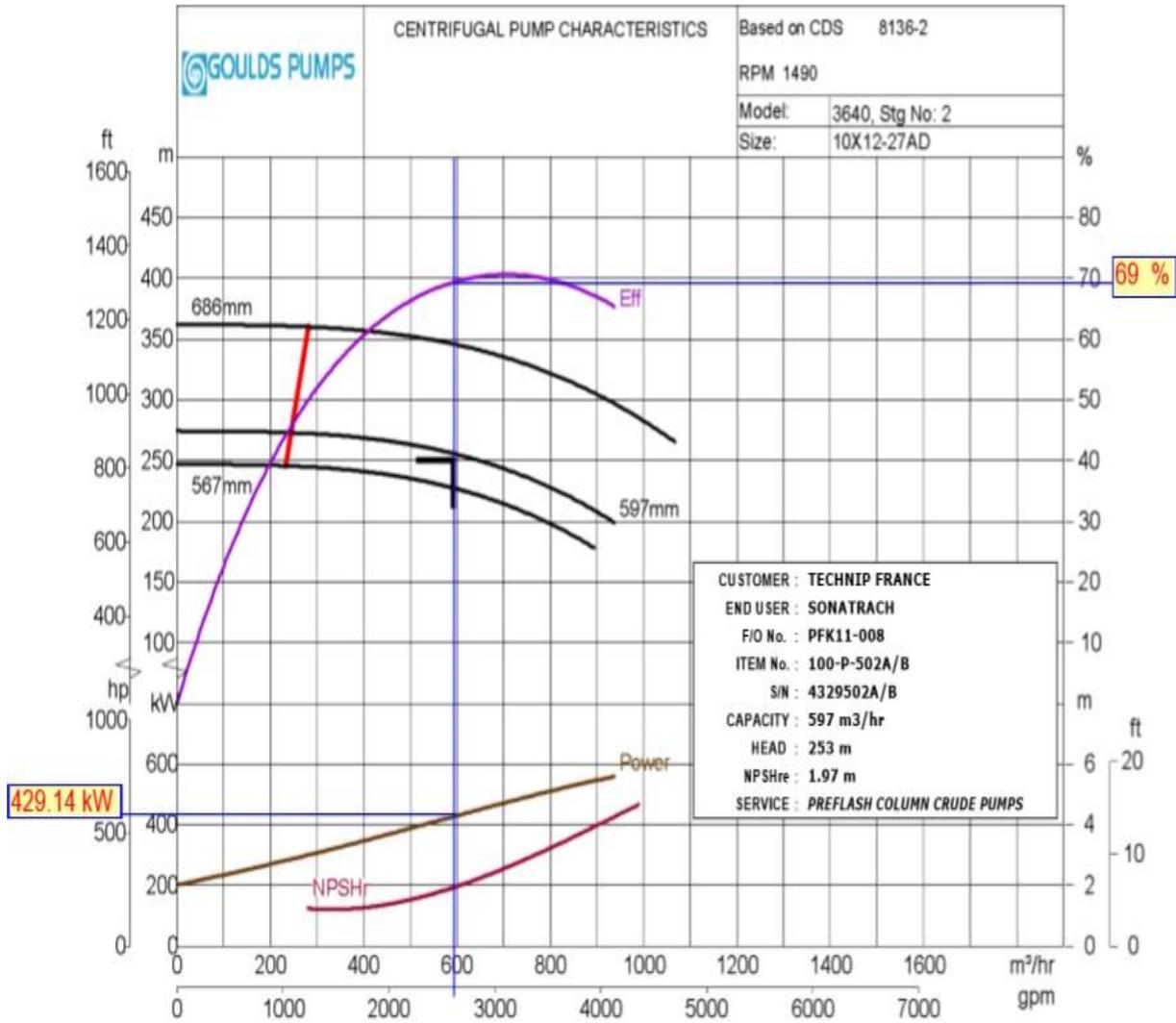


Figure V- 3: Courbe caractéristique de la pompe P502

### V.4. Calculs des performances de la pompe P502

$$\text{Vitesse angulaire : } \omega = \frac{\pi N}{30} = 152.7861 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Vitesse périphérique } U = \omega \cdot r = 45.6066 \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Puissance hydraulique : } P_h = \dot{m} \cdot \rho \cdot g \cdot H = 268575.79 \text{ (W)} \dots\dots (11)$$

$$\text{Hauteur théorique : } H_{th} = H / \eta_h = 366.66 \text{ (m)} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Puissance hydraulique théorique : } P_{hth} = \dot{m} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{th} = 389240.28 \text{ (W)} \dots\dots(13)$$

$$\text{Couple mécanique : } C = P_{hth} / \omega = 2547.61 \text{ (N.m)} \dots\dots (14)$$

Pression d'aspiration de la deuxième roue :  $P_2 = r_p \cdot P_1 = 876694.76 \text{ (Pa) } \dots (15)$

Rapport de pression  $r_p = \sqrt{1 + \frac{\Delta P}{P_1}} = 2.4161 \dots \dots \dots (16)$

# Chapitre VI : Dimensionnement d'Échangeur de chaleur

## VI.1. Introduction

Dans cette partie, nous allons dimensionner un échangeur de chaleur de type Coaxial (concentrique) dans le but de refroidir l'huile de lubrification des roulements de l'arbre.

Notre objectif est de diminuer la température d'huile lubrifiant de 393.15 (K) (120 °C) jusqu'à 313.15 (K) (40 °C), en utilisant l'eau froide.

## VI.2. Dimensionnement d'un échangeur de chaleur :

Le but du dimensionnement de l'échangeur de chaleur est de relier les températures d'entrée et de sortie, le coefficient de transfert de chaleur global et la géométrie de l'échangeur de chaleur au flux de chaleur entre les deux fluides.

Les deux problèmes de conception d'échangeurs de chaleur les plus courants sont ceux de la classification et du dimensionnement. Nous nous limiterons à la conception de récupérateurs uniquement. C'est-à-dire la conception d'un échangeur de chaleur à deux fluides utilisés dans le but de récupérer la chaleur perdue.

Cette conception est pour refroidir l'huile de lubrification du palier de la pompe centrifuge P502.

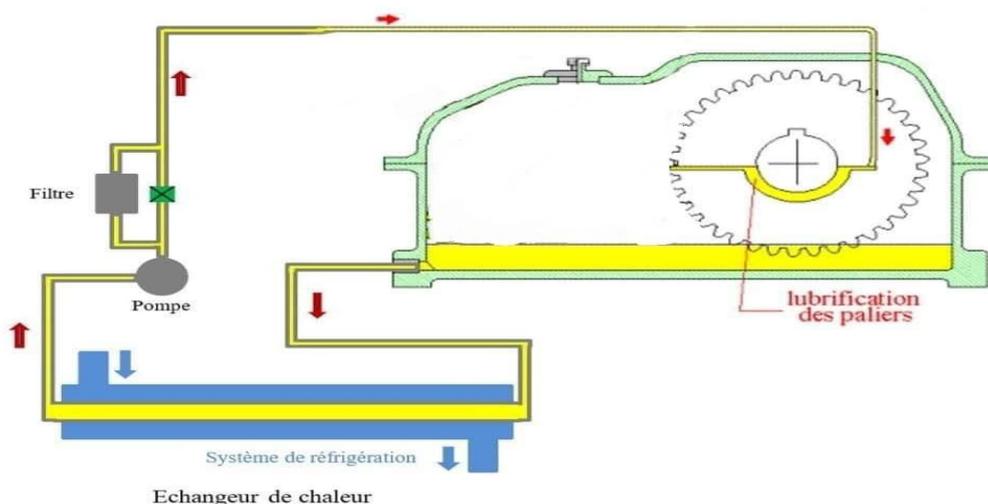
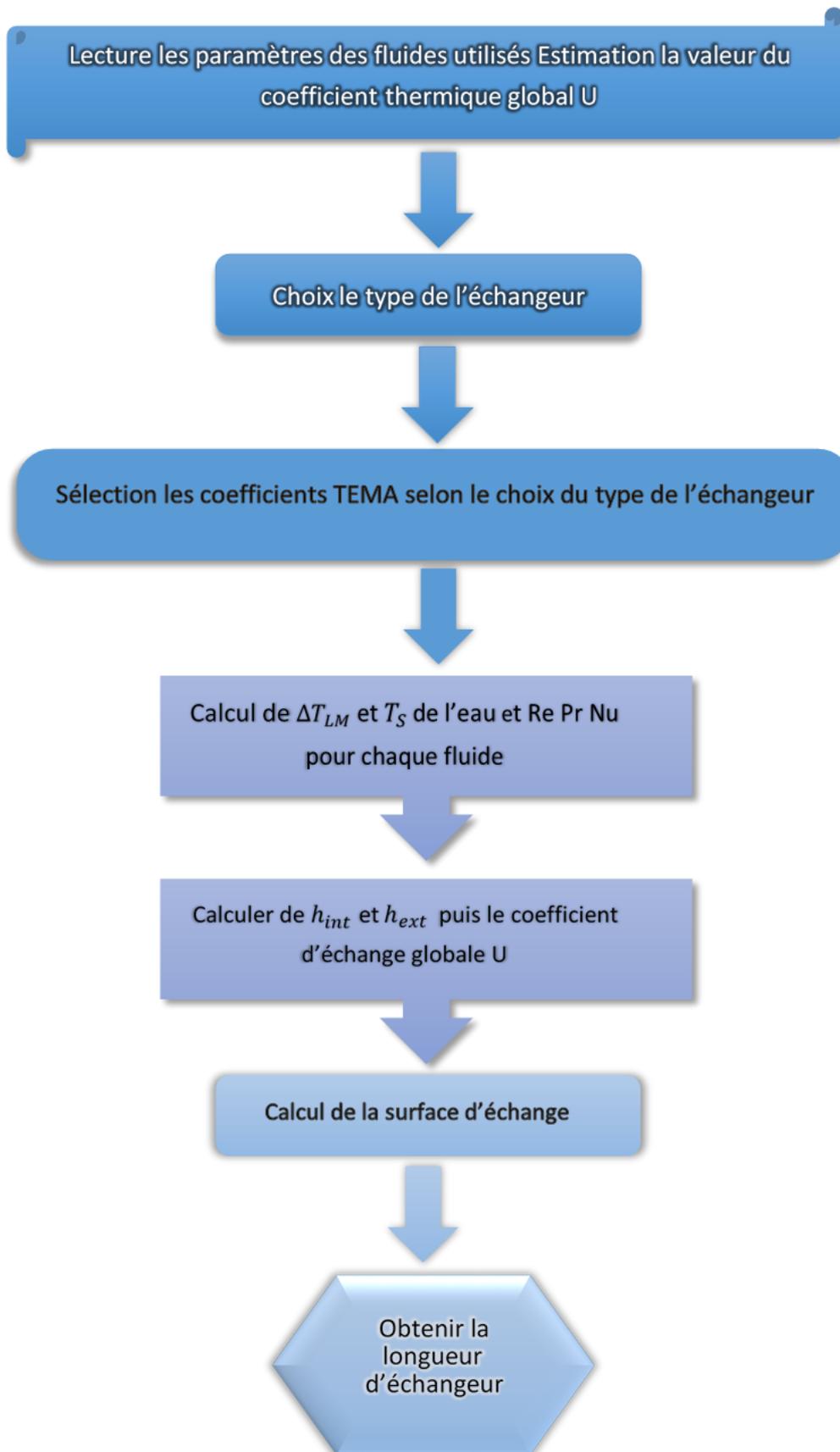


Figure VI - 1 : Schéma d'installation de l'échangeur de chaleur



### **VI.3. Calcul des performances thermique pour l'échangeur de chaleur :**

#### **✓ Etape 1 : donnée coté intérieur (huile)**

La température d'entrée :  $T_{C1} = 120 \text{ °C}$

La température de sortie :  $T_{C2} = 40 \text{ °C}$

La température moyenne d'huile :  $T_{Cm} = 70 \text{ °C}$

La chaleur spécifique  $C_{pc} = 2132 \text{ J/Kg K}$

Le débit massique :  $\dot{m}_c = 0.01 \text{ Kg/s}$

La conductivité thermique :  $K_c = 0.1380 \text{ W/m °C}$

La viscosité  $\mu_c = 0.00769 \text{ Kg/ms}$

La masse volumique :  $\rho_c = 852 \text{ Kg/m}^3$

#### **✓ Etape 2 : donnée cote extérieur (l'eau)**

La température d'entrée :  $T_{f1} = 20 \text{ °C}$

La chaleur spécifique  $C_{pf} = 4182 \text{ J/Kg K}$

Le débit massique :  $\dot{m}_f = 1.5 \text{ Kg/s}$

La conductivité thermique :  $K_f = 0.598 \text{ W/m °C}$

La masse volumique :  $\rho_f = 998 \text{ Kg/m}^3$

La viscosité  $\mu_f = 0.001002 \text{ Kg/ms}$

✓ **Etape 3 : Choix des diamètres selon les paramètres TEMA :**

Tableau VI - 1: Les paramètres des tubes en cuivre selon les diamètres (TEMA) .

Tube OD	BWG	Thickness	Tube ID	
in			in	
0.5	12	0.109	0.282	
	14	0.083	0.334	
	16	0.065	0.370	
	18	0.049	0.402	
	20	0.035	0.430	
	0.75	10	0.134	0.482
		11	0.120	0.510
		12	0.109	0.532
		13	0.095	0.560
		14	0.083	0.584
15		0.072	0.606	
16		0.065	0.620	
17		0.058	0.634	
18		0.049	0.652	
1		8	0.165	0.670
	9	0.148	0.704	
	10	0.134	0.732	
	11	0.120	0.760	
	12	0.109	0.782	
	13	0.095	0.810	
	14	0.083	0.834	
	15	0.072	0.856	
	16	0.065	0.870	
	17	0.058	0.884	
1.25	18	0.049	0.902	
	8	0.165	0.920	
	9	0.148	0.954	
	10	0.134	0.982	
	11	0.120	1.010	
	12	0.109	1.032	
	13	0.095	1.060	
	14	0.083	1.084	
	15	0.072	1.106	
	16	0.065	1.120	
17	0.058	1.134		
18	0.049	1.152		

Diamètre du tube extérieur est 19.05 mm (0.75 In)

Diamètre du tube intérieur est 8.4836 mm (0.334 In)

Epaisseur 2.1082 mm (0.083 In)

✓ **Etape 4 : détermination la température de sortie du fluide froide :**

Pour calculer la température de sortie du fluide froide on détermine le flux de chaleur échangé

$$\varphi_h = \dot{m}_h C_{pc} \Delta T$$

$$\Delta T = T_{ce} - T_{cs} = 80 \text{ K}$$

$$\varphi_h = 1641.64 \text{ W}$$

Donc on détermine  $T_{f2}$  :

Le flux de chaleur du fluide froide est donnée par :

$$\varphi_f = \dot{m}_f C_{pf} \Delta T$$

On a :

$$\varphi_h = \varphi_f$$

$$T_{f2} = \frac{Q}{\dot{m}_f C_{pf}} + T_{f1}$$

$$= \frac{1641,64}{6273} + 20$$

$$T_{f2} = 20.26^\circ\text{C}$$

Connaissant les températures d'entrée et de sortie des deux fluides, la différence de température moyenne logarithmique **DTLM** pour cet échangeur de chaleur à contre-courant devient :

$$\Delta T_2 = 40 - 20 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 120 - 20,26 = 99,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

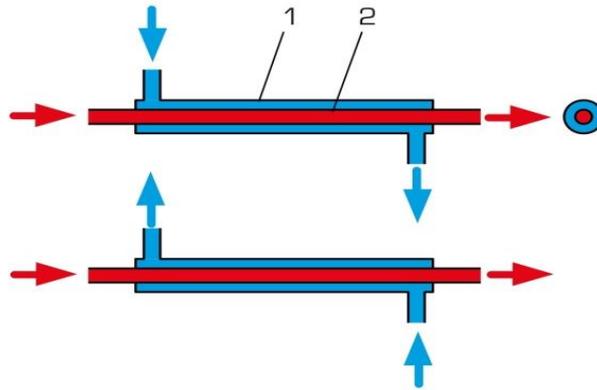


Figure VI - 2 échangeurs double tubes co-courant et contre-courant

La différence de température moyenne logarithmique est donnée comme suit :

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{Ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\Delta T_{LM} = 49.61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- ✓ **Etape 5 : Détermination la surface totale extérieur et intérieur des tubes et la vitesse d'écoulement pour les deux fluides :**

- **Pour l'huile :**

Pour calculer la vitesse d'huile on détermine la surface intérieure du tube :

$$V_c = \frac{\dot{m}_c}{\rho_c S_c}$$

$$S_c = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (6,3754 \times 10^{-3})^2}{4} = 3,19 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Alors  $V_c = 0,367 \text{ m/s}$

- **Pour l'eau :**

Pour calculer la vitesse d'huile on détermine la surface extérieure du tube :

$$V_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f S_f}$$

$$S_f = S_T - S_h$$

$$S_T = \frac{\pi(19,05 \times 10^{-3})^2}{4} = 2,85 \times 10^{-4} \quad m^2$$

$$S_h = \frac{\pi(8,4838 \times 10^{-3})^2}{4} = 5,65 \times 10^{-5} \quad m^2$$

$$S_f = 2,285 \times 10^{-4} \quad m^2$$

Alors  $V_f = 5.93 \quad m/s$

✓ **Etape 6 : détermination de Coefficient de convection et le coefficient thermique global :**

• **Pour l'huile :**

- Le nombre de **Reynolds** est donnée par :

$$Re_c = \frac{\rho_h V_h d_{int}}{\mu_h} = 259.7 \quad Re < 2000$$

Le régime d'écoulement dans cette partie est laminaire.

- **Nombre de Prandtl** : il caractérise la distribution des vitesses par rapport à la distribution de la température d'un fluide.

Le nombre de **Prandtl** est calculé à partir de nombre de **Reynolds**.

$$Pr_c = \frac{\mu_h C_{ph}}{K_h} = 118.8$$

- **Nombre de Nusselt** : est le rapport de la quantité de chaleur change par convection à la quantité de chaleur échangée par conduction.

Le nombre de **Nusselt** été calculé par la formule la plus utilisée est celle de Mac Adams :

$$Nu_c = 0,023(R_e)^{0,8}(P_r)^{0,4} = 13.28$$

- Calcul de **Coefficient de convection** thermique :

Coefficient de convection thermique : le coefficient de transfert de chaleur par convection est calculé à partir du Nusselt.

$$h_c = \frac{Nu d_{int}}{K_h} = 287.48 \text{ w/k.m}^2$$

- **Pour l'eau :**

- Le nombre de **Reynolds** est donnée par :

$$Re_f = \frac{\rho_f V_f d_{ext}}{\mu_f} = 62497$$

Le régime d'écoulement dans cette partie est Turbulent.

- Le nombre de **Prandtl** est calculé à partir de nombre de **Reynolds**.

$$Pr_f = \frac{0,001003 \times 4182}{0,6071} = 7$$

- Le nombre de **Nusselt** A l'intérieur des tubes été calculé par la formule la plus utilisée est celle de Mac Adams :

$$Nu_f = 0,023(R_e)^{0,8}(P_r)^{0,4} = 344.06$$

- Calcul de **Coefficient de convection** thermique :

Coefficient de convection thermique : le coefficient de transfert de chaleur par convection est calculé à partir du Nusselt.

$$h_f = \frac{Nu d_{ext}}{k_f} = 19472,03 \text{ w/k.m}^2$$

- ✓ **Etape 7 : détermination la résistance équivalent et le coefficient thermique globale :**

La résistance thermique est donnée par :

$$R_{eq} = \frac{1}{h_c \cdot A_{int}} + \frac{R_{fi}}{A_c} + \frac{1}{h_f \cdot A_{ext}}$$

- **Coefficient d'encrassement  $R_{fi}$ :**

L'**encrassement** est l'accumulation de matériaux non désirés sur des surfaces solides au détriment de la fonction.

On suppose que le tube est mense

Donc  $R_{fi} = 0$

On a les surfaces extérieures des tubes :  $A_{int} = A_{ext}$

Donc

$$R_{eq} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_f}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{287.48} + \frac{1}{19472}$$

$$R_{eq} = 0,0035$$

- **Détermination le coefficient thermique global :**

Le coefficient global d'échange thermique est fonction de la résistance thermique totale à l'échange thermique entre les deux fluides.

$$U = \frac{1}{0,0035} = 283.3 \text{ W/m}^2.K$$

On obtenir la **surface d'échange** :

$$A = \frac{\phi}{U\Delta T_{LM}} = \frac{1641,64}{283.3 \times 322.76} = 0,0187m^2$$

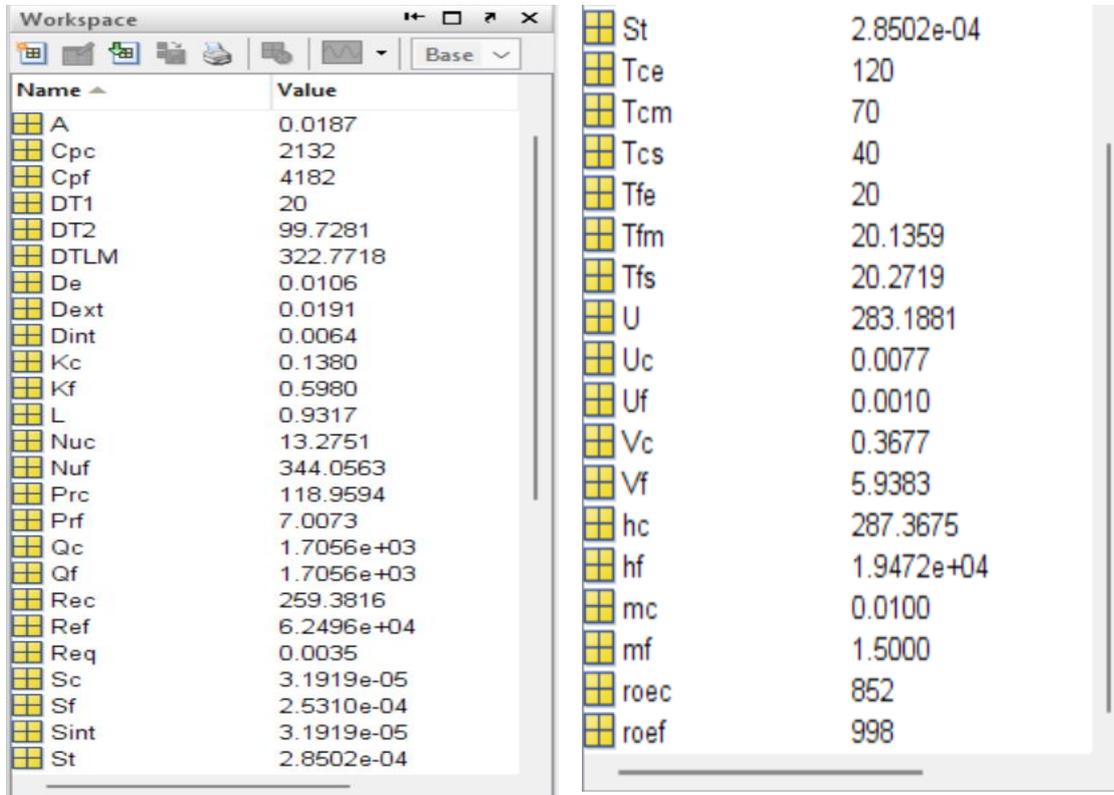
Finalement on déduire la longueur de tube de l'échangeur :

$$L = \frac{A}{\pi d_{int}} = \frac{0,0314}{\pi \times 0,00637} = 0.93m$$

On conclure que la longueur du tube doit être utilisée est  $0.93m$

## VI.4. Simulation avec Matlab

### VI.4.1. L'étude de la longueur par Matlab



Name	Value
A	0.0187
Cpc	2132
Cpf	4182
DT1	20
DT2	99.7281
DTLM	322.7718
De	0.0106
Dext	0.0191
Dint	0.0064
Kc	0.1380
Kf	0.5980
L	0.9317
Nuc	13.2751
Nuf	344.0563
Prc	118.9594
Prf	7.0073
Qc	1.7056e+03
Qf	1.7056e+03
Rec	259.3816
Ref	6.2496e+04
Req	0.0035
Sc	3.1919e-05
Sf	2.5310e-04
Sint	3.1919e-05
St	2.8502e-04

St	2.8502e-04
Tce	120
Tcm	70
Tcs	40
Tfe	20
Tfm	20.1359
Tfs	20.2719
U	283.1881
Uc	0.0077
Uf	0.0010
Vc	0.3677
Vf	5.9383
hc	287.3675
hf	1.9472e+04
mc	0.0100
mf	1.5000
roec	852
roef	998

Figure VI - 3: La valeur obtenue des performances thermiques (eau-huile)

On peut observer que la valeur de la longueur de tube de l'échangeur a été obtenue par les calculs de logiciel Matlab ( $L= 0.9317\text{m}$ ) et la même valeur a été obtenue par les calculs numériques ( $L= 0.93\text{m}$ )

#### VI.4.1.1. L'effet de débit massique

On a changé les débits et la température pour voir les différences de longueur d'échangeur :

Dans cette étude il y a deux différents débits massiques :

- Débit massique du fluide chaud (l'huile)
- Débit massique du fluide froid (l'eau)

- **L'influence de débit massique du fluide chaud en fonction de la longueur d'échangeur :**

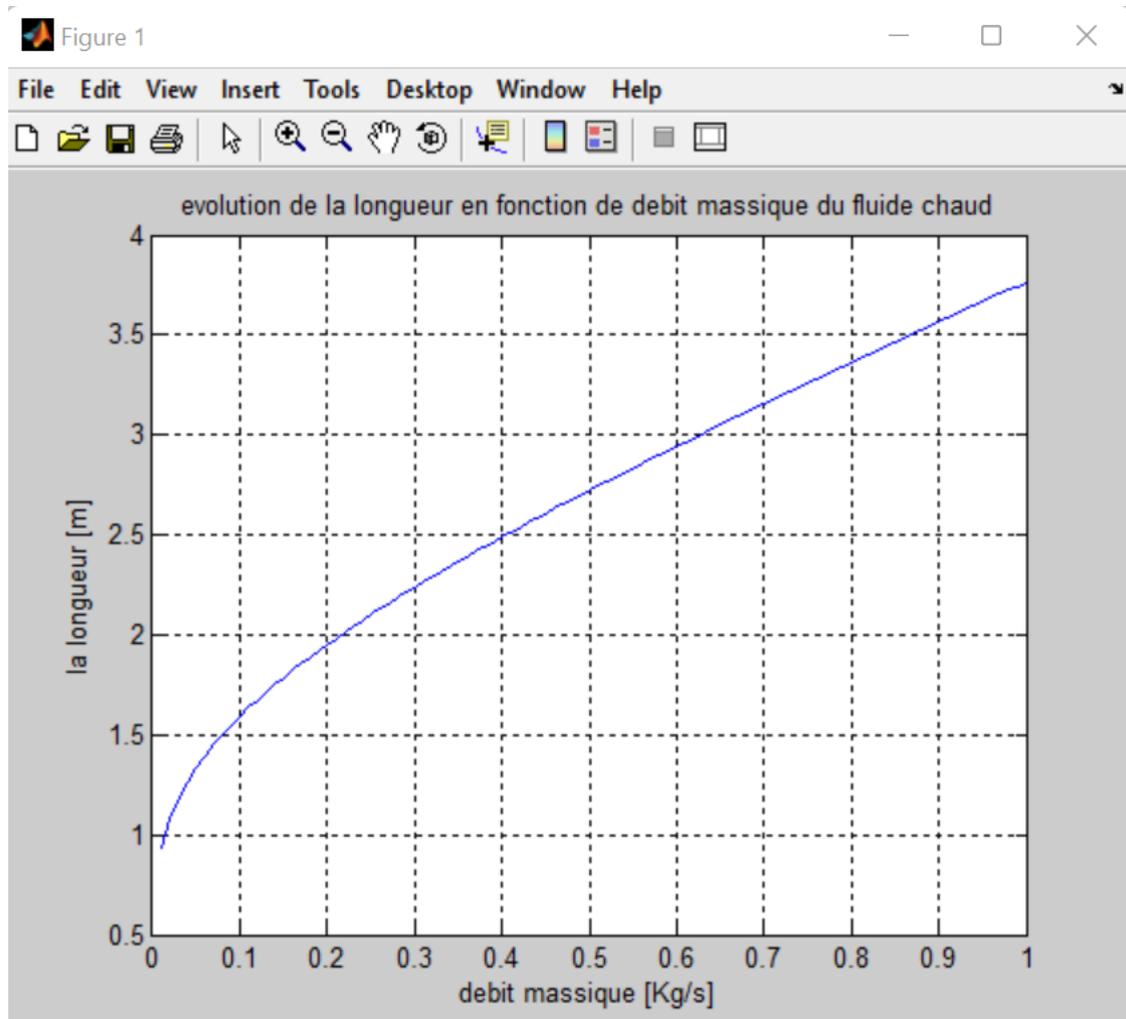


Figure VI - 4 : Evolution de la longueur du tube en fonction de débit massique du fluide chaud

Figure VI - 4 montre la variation de l'évolution de la longueur du tube en fonction de débit massique du fluide chaud (huile). On remarque que l'augmentation du débit massique augmente la longueur du tube.

- L'influence de débit massique du fluide froide on fonction de la longueur d'échangeur :

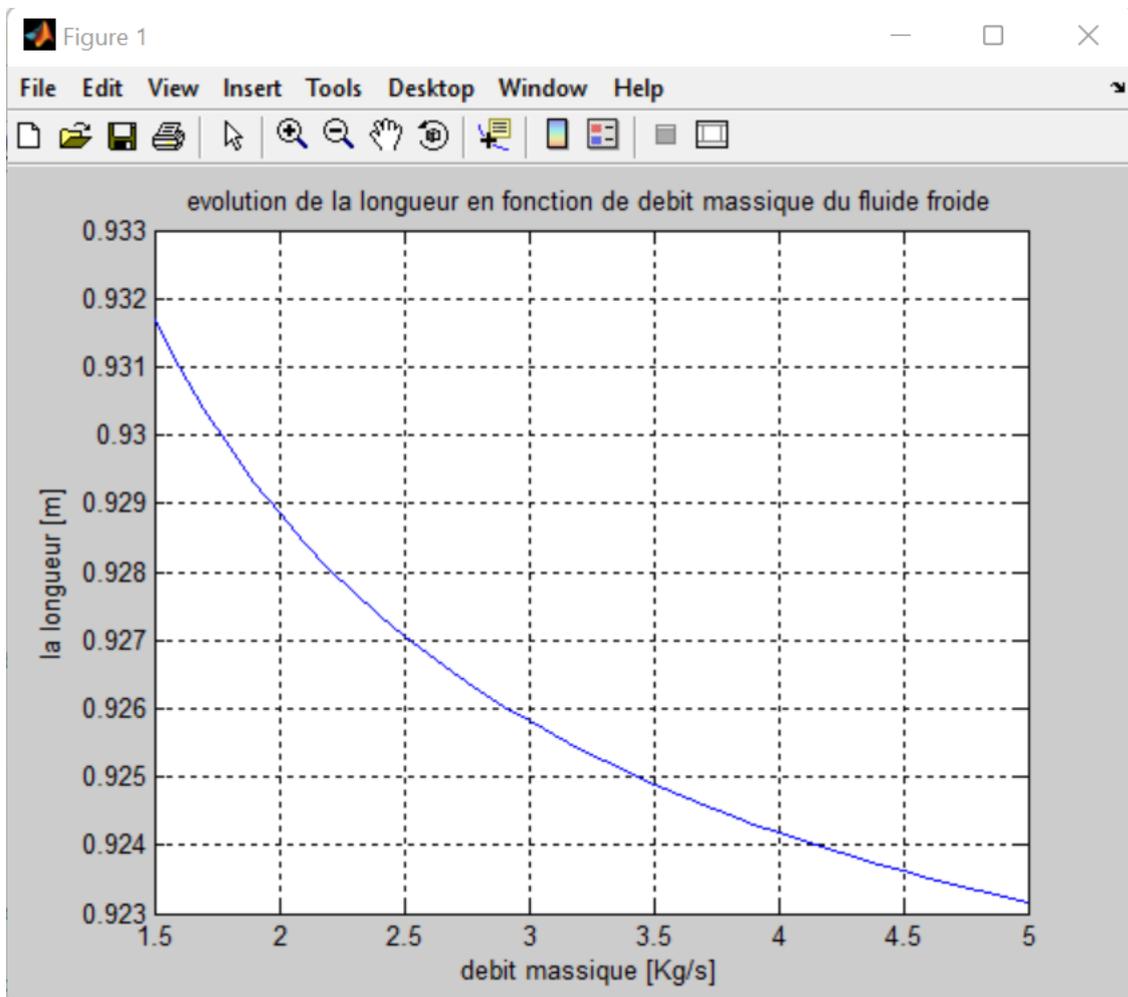


Figure VI - 5: Evolution de la longueur en fonction de débit massique du fluide froid

Figure VI - 5 montre la variation de l'évolution de la longueur en fonction de débit massique du fluide froid (eau). On remarque que l'augmentation du débit massique diminue la longueur.

### VI.4.1.2. L'effet de la température d'huile :

L'étude de l'influence de la température d'huile En fonction de la longueur d'échangeur on a fait des essais des différent valeur de température d'huile sur l'intervalle [40 ; 120] :

Figure VI - 6 montre la variation de l'évolution de la longueur en fonction de température

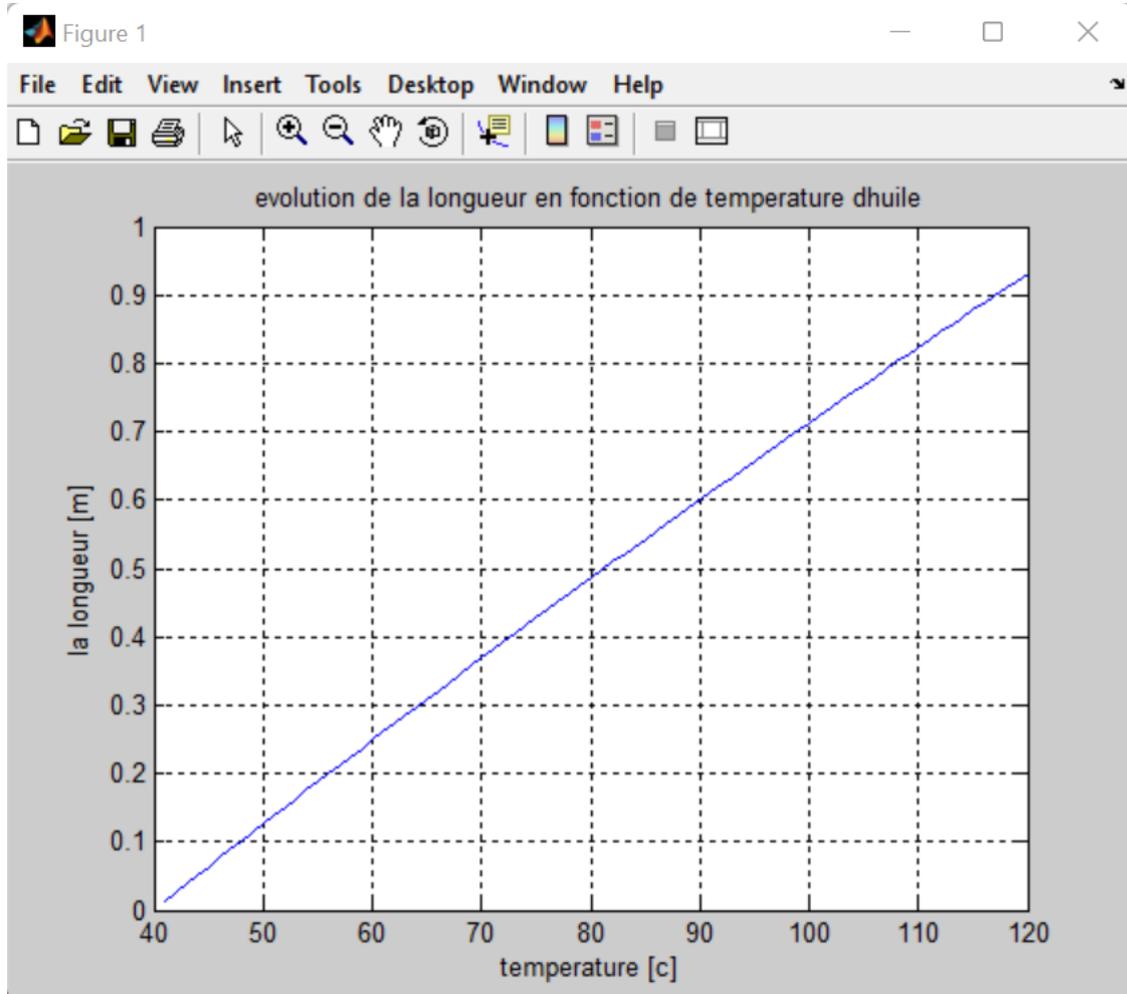


Figure VI - 6 : Evolution de la longueur en fonction de température d'huile

d'huile. On remarque que l'augmentation de la température augmente la longueur de tube utilisée.

Le tableau qui résume quelques valeurs des différentes températures et les résultats de la longueur d'échangeur :

Température Tce(°C)	47	60	75	100
Longueur L(m)	0.08	0.24	0.42	0.71

### VI.4.1.3. Simulation avec Matlab pour un deuxième fluide de refroidissement

On a choisi l'ammoniac comme un autre refroidissement dans cette l'étape.

- **Définition de l'ammoniac :**

L'ammoniac est un composé d'azote et d'hydrogène de formule  $NH_3$ . Un hydrure binaire stable et l'hydrure de nitrogène le plus simple, l'ammoniac est un gaz incolore avec une odeur piquante distincte

- **Donnée de l'ammoniac :**

La température d'entrée :  $T_{ea} = -30\text{ °C}$

La chaleur spécifique  $C_{pa} = 4465\text{ J/Kg K}$

Le débit massique :  $\dot{m}_a = 1.5\text{ Kg/s}$

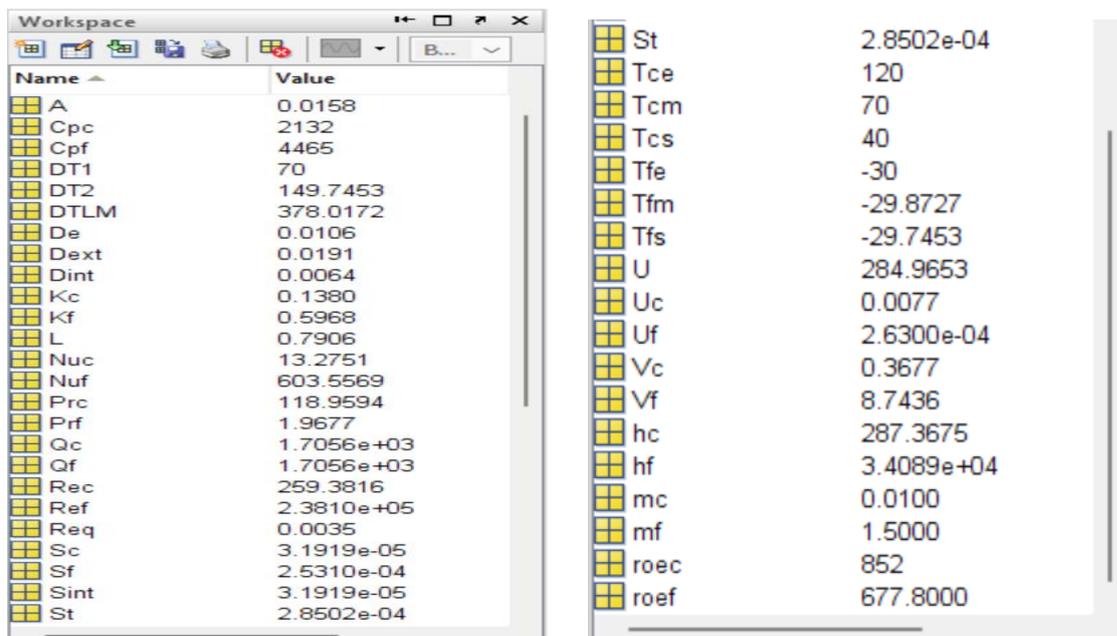
La conductivité thermique :  $K_a = 0.5968\text{ W/m °C}$

La masse volumique :  $\rho_a = 677.8\text{ Kg/m}^3$

La viscosité  $\mu_a = 0.000263\text{ Kg/ms}$

- **L'application des données sur Matlab :**

Après l'application de ces valeurs sur logiciel Matlab a obtenu les valeurs suivantes



Name	Value
A	0.0158
Cpc	2132
Cpf	4465
DT1	70
DT2	149.7453
DTLM	378.0172
De	0.0106
Dext	0.0191
Dint	0.0064
Kc	0.1380
Kf	0.5968
L	0.7906
Nuc	13.2751
Nuf	603.5569
Prc	118.9594
Prf	1.9677
Qc	1.7056e+03
Qf	1.7056e+03
Rec	259.3816
Ref	2.3810e+05
Req	0.0035
Sc	3.1919e-05
Sf	2.5310e-04
Sint	3.1919e-05
St	2.8502e-04
St	2.8502e-04
Tce	120
Tcm	70
Tcs	40
Tfe	-30
Tfm	-29.8727
Tfs	-29.7453
U	284.9653
Uc	0.0077
Uf	2.6300e-04
Vc	0.3677
Vf	8.7436
hc	287.3675
hf	3.4089e+04
mc	0.0100
mf	1.5000
roec	852
roef	677.8000

Figure VI - 7: Les valeurs obtenues des performances thermiques (ammoniac-huile)

Figure VI - 7 montre les valeurs obtenues des performances thermiques (ammoniac-huile). On remarque que la valeur de la longueur obtenus par l'ammoniac est  $L=0.7906m$ .

#### **VI.4.2. Comparaison entre les deux fluides de refroidissement :**

Tableau VI- 2 : comparaison entre l'eau et l'ammoniac

refroidissement	la longueur
l'eau	$L= 0.9317m$
l'ammoniac	$L=0.7906m$

- On peut observer que la meilleure valeur a été obtenue si ont utilisé l'ammoniac comme refroidissement  $L =0.7906 m$ , car la valeur a été obtenue par l'eau  $L= 0.9317 m$  est supérieure a l'autre fluide mais la différence n'est pas plus grande.
- Donc on peut utiliser l'eau pour le refroidissement dans cette étude parce qu'il est toujours disponible et il est économique par apport a l'ammoniac.

# Conclusion

---

Les pompes utilisées pour le transport du carburant sont sujettes à plusieurs problèmes pendant leur fonctionnement.

Ces problèmes sont des conséquences des différents facteurs, par exemple : les conditions de travail, l'entretien, les paramètres de fonctionnement et la surcharge pendant le fonctionnement.

L'échauffement des roulements met la pompe dans un grand risque qui peut causer un arrêt total du fonctionnement et une usure du roulement.

Le type du lubrifiant a un rôle très important dans le refroidissement des roulements ainsi qu'évacuer la chaleur et garder les roulements en bon état.

Il y'a plusieurs types de lubrifiants et de méthode de lubrification, tout dépend des mécanismes utilisés, l'écart de la température, le temps de fonctionnement, etc. Et pour garder le lubrifiant pour servir ce but, il faut faire un changement d'huile et utiliser un système de refroidissement d'huile avec une bonne efficacité.

Une étude utilisant l'ammoniac comme refroidisseur a permis de réduire la longueur de 15 % environ .

# Références

- [1] T. BELKHIR et A. LAOUBI , Etude d'Automatisation et de Régulation de la pression dans le ballon de gaz 500-D-002 à la raffinerie d'Alger SONATRAC, Master : Université Mouloud MAMMERI De Tizi-Ouzou, 2014.
- [2] A. Dorbane et A. Teguar, Le Partenariat Etranger, Option Strategique Pour Le Developpement De Sonatrach, vol. 11, Revue algérien de la sécurité et développement, 2022.
- [3] Manuel opératoire de la raffinerie d'Alger.
- [4] C. GUECHTOULI et N. SID , Traitement des eaux de rejet de la raffinerie de sidi rezzine en vue de leur reutilisation dans le refroidissement des tours, blida : Universite de saad dahlab , 2021.
- [5] h. ABDALLAH BENKHATTOU, Analyse et diagnostic des pompes industrielles (Etude de cas au niveau de HENKEL Ain Temouchent), Master génie mécanique: Université Abou bekr Belkaid Tlemcen, 2012.
- [6] S. SEGUEDEGBO C , Dimensionnement d'un circuit d'injection des huiles usagées à la tuyère ; étude du sourcing et bilan des impacts sur le taux de substitution en AF de l'atelier cuisson du Complexe Cimentier d'Onigbolo., Bénin, Abomey-Calavi: Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi , 2021.
- [7] N. e. BLIZAK et A. BENNACER, Conception d'un système anti-colmatage des pompes, Master : Université Mohamed Boudiaf, m'sila, 2020.
- [8] M. LIMAM et N. BENHAMMAMI, Etude de comparaison énergétique d'un groupement de pompe a fluide incompressible en serie et en paralleles, Master : Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem, 2019 .
- [9] A. CHERAYET et I. LIFA , Calcul de l'installation de ravitaillement d'une agglomération en eau potable, Master : Université Larbi Tebessi – Tébessa, 2021 .
- [10] I. Kedjough et R. Khattab, Etude, Conception et simulation d'une pompe centrifuge, Master: Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019.
- [11] B. E. Fantazi et b. S. Harkat , Etude de la cavitation dans les pompes centrifuges, master : Université de mohamedboudiaf M'sila , 2017.

- [12] A. HADJAB et Y. HADJAB , Revetement des ailettes d'une pompe centrifuge endommagée sous l'effet de la cavité, Master : Université Mohamed Boudiaf - M'Sila , 2020.
- [13] A. DUPONT, Hydraulique Urbaine tome 2, ouvrage de transport élévation et distribution des eaux. s.l. : 2838 Eyrolles..
- [14] CHETSSON, M. Installation des pompes centrifuges utilisées dans l'industrie pétrolière. s.l. : publication de l'institut français du pétrole, société des éditions Technip ISBN 2.1708-0213-9.
- [15] N. LATRECHE et M. RAHMANI, Etude de la convection forcée dans un tube à ailettes elliptiques, Master : Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2020.
- [16] S. A. BOUDAUD et A. EL HADI , Etude d'un échangeur à plaques, Master : Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem, 2019.
- [17] P. Tobaly, Échangeurs de chaleur, Paris France : IUT de St Denis, 2002.
- [18] M. ALI, Modélisation analytique des contraintes résiduelles dans les assemblages tubes-plaques tubulaires, Magister : Université Costantine 1, 2014.
- [19] H. OULEFEKI et N. OURARI , Diagnostic des dysfonctionnements des tours de refroidissement de la raffinerie de l'huile CEVITAL, Master : Université A/Mira de Bejaïa, 2019.
- [20] M. L. ARAISSIA , Gestion du flux de chaleur dans une pile à combustible, Master: UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA Université badj mokhtar- annaba, 2020.
- [21] B. Aïcha, Conception d'un Outil D'aide à la Décision pour le Choix et le Dimensionnement d'Un Échangeur de Chaleur, Master: Université Saad Dahlab Bida, 2017.
- [22] C. WEBER et A. MANIFICAT , Les échangeurs de chaleur, l'Association des Encyclopédies de l'Environnement et de l'Énergie, 2015.
- [23] A. MAANANI, Etude d'un échangeur eau-air; utilisation de la géothermie à haute température dans la région de Biskra., Master : Université Mohamed Khider de Biskra, 2020.
- [24] Operator and maintenance manuals 100-P-502 A/B by ITT.

- [25] N. Dimitri , Etude du comportement thermomécanique de paliers à roulements pour une application hautes vitesses, THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON, 2019.
- [26] TECHNICAL INSIGHT, NSK Europe, TI/FR/0104.
- [27] T. MANG et W. DRESEL, Lubricant and Lubrication, second edition éd., 2007.
- [28] Manuel : Total. Les lubrifiants. Manuel de formation cours EXP-PR-UT130..
- [29] Catalogue générale de la marque SKF.
- [30] M. a. REKIS et A. REZEG , Dimensionnement d'un ballon bi-phasique de récupération de condensat à l'UTBS, Master : université mohamed khider biskra, 2012.
- [31] manuel equipment filled-in data sheetsn 100-p-502AB.
- [32] manuel performance curve 100-p-502AB..