

N° Ordre ...../Faculté/UMBB/2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**

**Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

Présenté par :

CHERGUI SLIMANE

KAHLA ABDELMALIK

**Filière :** Hydrocarbures

**Option :** Mécanique des unités pétrochimique

**Thème**

---

**Etude mécanique et conception d'une pompe centrifuge à canal lateral  
p4155**

---

**Devant le jury :**

**MEFTAH SIHAM**

**UMBB**

**Président**

**SAHNOUNE KHALED**

**UMBB**

**Encadreur**

**SERIER MOHAMED**

**UMBB**

**Examineur**

**BLAIDI ABDERRAHMANE**

**UMBB**

**Examineur**

**Soutenu publiquement le 12/06/2016**

**Année Universitaire : 2015/2016**



# remerciements

*Je tiens à exprimer en premier lieu, mes remerciements mon Promoteur, Mr. KHALED SAHNONE pour avoir accepté de diriger mon travail, pour ses précieux conseils, pour son esprit d'ouverture et sa disponibilité, grâce à lui, mon travail s'est déroulé dans les meilleures conditions.*

*Merci professeur pour votre volonté, conscience professionnelle et votre sérieux.*

*Enfin mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de transport et équipements des hydrocarbures.*



## *Dédicace*

*Quoi que de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres qu'on aime.*

*Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour son soutien, surtout pour son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*A mes précieuses sœurs mohammed, haron et karim.*

*A tous mes amis de l'INH partout chaque un a son nom.*

*Et sans doute, à mes très chers amis de ferdjioua.*

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon binôme kahla abdelmalik,*

*Ch. Slimane*



# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents qui n'ont pas cessé de m'encourager  
durant mes études, à mon frère, ma sœur, toute la famille et  
mes amis. Et toutes les personnes qui nous ont aidés à la  
réalisation de ce travail, et tous ceux que j'aime et me  
souhaitent la réussite pour toute ma vie.*

*KAHLA Abdelmalik*



# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

## Chapitre I : Présentation le lieu de stage

I-1-Définition de l'entreprise (NAFTAL) .....	2
I-2-Création .....	2
I-3-Organisation .....	2
I-4-Les activités de l'entreprise .....	3
I-5-Situation géographique de l'entreprise.....	3
I-6-NAFTAL Branche GPL .....	4
I-7-Description de l'installation et procédures d'expédition du GPL .....	7

## Chapitre II : Généralités sur les pompes centrifuges

II-1-Introduction.....	11
II-2-Définition des pompes .....	11
II-3-Classification des pompes.....	12
II-4-Description d'une pompe centrifuge monocellulaire .....	16
II-5-Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	18
II-6-Domains d'utilisation d'une pompe centrifuge .....	18
II-7-Amorçage d'une pompe centrifuge .....	19
II-8-Triangle des vitesses et relations d'EULER .....	19
II-9-Débit de la pompe .....	22
II-10-La hauteur d'une pompe .....	22
II-11-Puissance de la pompe .....	23
II-12-Courbes caractéristiques de la pompe centrifuge.....	24
II-13-Point de fonctionnement .....	25

II-14-Pertes de charge dans une pompe centrifuge.....	26
II-15-Le couplage des pompes centrifuges .....	27
II-16-NPSH d'une pompe centrifuge .....	29
II-17-cavitation des pompes.....	29
II-18-Poussée axiale et Poussée radiale.....	32
II-19-Avantages et inconvénients de la pompe centrifuge.....	33

### **Chapitre III : Description de la pompe P4155**

III-1-Explication un modèle .....	34
III-2-La situation géographique de la pompe P4155 .....	34
III-3-Rôle de la pompe P4155 dans l'unité de GPL.....	35
III-4-Description de la pompe P4155.....	35
III-5-Principe de fonctionnement de la pompe P4155 .....	36
III-6-La différence entre la pompe P4155 et les pompes centrifuges ordinaires .....	41
III-7-Les avantages de la pompe.....	41
III-8-Principaux composants de la pompe p4155 .....	42
III-9-L'équilibrage de la pompe P4155 .....	46
III-10-Refroidissement de la pompe P4155 .....	46
III-11-Garniture mécanique de la pompe P4155.....	46
III-12-Les courbes caractéristiques de la pompe P4155 .....	48
III-13-Autre accessoires.....	49
III-14-La machine d'entraînement de pompe P4155 .....	50

### **Chapitre IV : Partie de calculs**

#### **1<sup>ère</sup> partie : calcul hydraulique**

IV-1-Détermination des paramètres principaux.....	51
IV-2-Calcul des diamètres de l'arbre et du moyeu .....	54

IV-3-Détermination des paramètres du rotor à l'entrée .....	56
IV-4-Détermination des paramètres du rotor à la sortie de la roue.....	58

## **2<sup>ème</sup> partie : Calcul mécanique**

IV-1-Vérification à la torsion .....	62
IV-2-Vérification à la flexion.....	63
IV-3-Vérification les résultats à l'aide de logiciel (RDM6) .....	73
IV-4-Calcul du moment résultant total.....	76

## **Chapitre V : Simulation d'écoulement de fluide par le logiciel CFX "ansys"**

V-1-Présentation du logiciel CFX .....	78
V-2-Simulation d'écoulement de fluide .....	80
V-3-Interprétation des résultats.....	92

## **Chapitre VI : Maintenance et sécurité**

VI-1-Définition .....	93
VI-2-Objectifs de la maintenance .....	93
VI-3-Type de maintenance .....	93
VI-4-Maintenance de la pompe P4155.....	95
VI-5-Sécurité de la pompe .....	101
VI-6-Sécurité au niveau de l'atelier.....	103
CONCLUSION .....	104
BIBLIOGRAPHIE	

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

## Chapitre I : Présentation le lieu de stage

I-1-Définition de l'entreprise (NAFTAL) .....	2
I-2-Création .....	2
I-3-Organisation .....	2
I-4-Les activités de l'entreprise .....	3
I-5-Situation géographique de l'entreprise.....	3
I-6-NAFTAL Branche GPL .....	4
I-7-Description de l'installation et procédures d'expédition du GPL .....	7

## Chapitre II : Généralités sur les pompes centrifuges

II-1-Introduction.....	11
II-2-Définition des pompes .....	11
II-3-Classification des pompes.....	12
II-4-Description d'une pompe centrifuge monocellulaire .....	16
II-5-Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	18
II-6-Domains d'utilisation d'une pompe centrifuge .....	18
II-7-Amorçage d'une pompe centrifuge .....	19
II-8-Triangle des vitesses et relations d'EULER .....	19
II-9-Débit de la pompe .....	22
II-10-La hauteur d'une pompe .....	22
II-11-Puissance de la pompe .....	23
II-12-Courbes caractéristiques de la pompe centrifuge.....	24
II-13-Point de fonctionnement .....	25

II-14-Pertes de charge dans une pompe centrifuge.....	26
II-15-Le couplage des pompes centrifuges .....	27
II-16-NPSH d'une pompe centrifuge .....	29
II-17-cavitation des pompes.....	29
II-18-Poussée axiale et Poussée radiale.....	32
II-19-Avantages et inconvénients de la pompe centrifuge.....	33

### **Chapitre III : Description de la pompe P4155**

III-1-Explication un modèle .....	34
III-2-La situation géographique de la pompe P4155 .....	34
III-3-Rôle de la pompe P4155 dans l'unité de GPL.....	35
III-4-Description de la pompe P4155.....	35
III-5-Principe de fonctionnement de la pompe P4155 .....	36
III-6-La différence entre la pompe P4155 et les pompes centrifuges ordinaires .....	41
III-7-Les avantages de la pompe.....	41
III-8-Principaux composants de la pompe p4155 .....	42
III-9-L'équilibrage de la pompe P4155 .....	46
III-10-Refroidissement de la pompe P4155 .....	46
III-11-Garniture mécanique de la pompe P4155.....	46
III-12-Les courbes caractéristiques de la pompe P4155 .....	48
III-13-Autre accessoires.....	49
III-14-La machine d'entraînement de pompe P4155 .....	50

### **Chapitre IV : Partie de calculs**

#### **1<sup>ère</sup> partie : calcul hydraulique**

IV-1-Détermination des paramètres principaux.....	51
IV-2-Calcul des diamètres de l'arbre et du moyeu .....	54

IV-3-Détermination des paramètres du rotor à l'entrée .....	56
IV-4-Détermination des paramètres du rotor à la sortie de la roue.....	58

## **2<sup>ème</sup> partie : Calcul mécanique**

IV-1-Vérification à la torsion .....	62
IV-2-Vérification à la flexion.....	63
IV-3-Vérification les résultats à l'aide de logiciel (RDM6) .....	73
IV-4-Calcul du moment résultant total.....	76

## **Chapitre V : Simulation d'écoulement de fluide par le logiciel CFX "ansys"**

V-1-Présentation du logiciel CFX .....	78
V-2-Simulation d'écoulement de fluide .....	80
V-3-Interprétation des résultats.....	92

## **Chapitre VI : Maintenance et sécurité**

VI-1-Définition .....	93
VI-2-Objectifs de la maintenance .....	93
VI-3-Type de maintenance .....	93
VI-4-Maintenance de la pompe P4155.....	95
VI-5-Sécurité de la pompe .....	101
VI-6-Sécurité au niveau de l'atelier.....	103
CONCLUSION .....	104
BIBLIOGRAPHIE	

# *Liste des figures*

<b>Figure-I-1</b> -situation géographique de l'entreprise .....	3
<b>Figure-I-2</b> -Schéma de circulation des fluides chargement-déchargement butane.....	6
<b>Figure-I-3</b> - schéma de circulation des fluides chargement-déchargement propane.....	6
<b>Figure-I-4</b> -Schéma du circuit de transfert butane de terminal arrivé vers palistissus.....	7
<b>Figure-I-5</b> -Schéma de terminal arrivé TA.....	10
<b>Figure-II-1</b> -Schéma montre la classification des pompes .....	15
<b>Figure-II-2</b> -Schémas montre les différents types des pompes.....	16
<b>Figure-II-3</b> -Pompe centrifuge monocellulaire.....	16
<b>Figure-II-4</b> -Schéma montre le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	18
<b>Figure-II-5</b> -Schéma d'un impulseur.....	20
<b>Figure-II-6</b> -Courbe réelle $H=f(Q)$ .....	24
<b>Figure-II-7</b> -Courbe de la puissance absorbée $N=f(Q)$ .....	25
<b>Figure-II-8</b> -Courbe du rendement $\eta =f(Q)$ .....	25
<b>Figure-II-9</b> -Montre le point de fonctionnement.....	26
<b>Figure-II-10</b> -Courbe de la hauteur $H=f(Q)$ des pompes couplées en série.....	28
<b>Figure-II-11</b> -Courbe $H=f(Q)$ des pompes couplées en parallèle.....	29
<b>Figure-II-12</b> -Variation du NPSH requis et NPSH disponible avec le débit circulé.....	30
<b>Figure-II-13</b> -Dégâts de la cavitation.....	31
<b>Figure-III-1</b> -Partie hydraulique de la pompe.....	35
<b>Figure-III-2</b> -Représentation le type d'écoulement du liquide.....	37
<b>Figure-III-3</b> -Plan coupe de la pompe P4155.....	39
<b>Figure-III-4</b> -Schéma des corps intermédiaires d'aspiration et de refoulement.....	42

<b>Figure-III-5</b> -Schéma montre les types des roues de la pompe 4155.....	44
<b>Figure-III-6</b> -Montre un accouplement élastique.....	44
<b>Figure-III-7</b> -Schéma d'un Palier lisse.....	45
<b>Figure-III-8</b> -Montre une garniture mécanique simple.....	47
<b>Figure-III-9</b> -courbes caractéristique NPSH-Q.....	48
<b>Figure-III-10</b> -courbes caractéristique H-Q.....	48
<b>Figure-III-11</b> -courbes caractéristique de la pompe 4155.....	49
<b>Figure-IV-1</b> -Schématisation de l'arbre de la pompe.....	61
<b>Figure-V-2</b> -Les effort agissant sur l'arbre.....	63
<b>Figure-V-1</b> -L'interface de logiciel ansys ( <i>workbench</i> ).....	79
<b>Figure-V-2</b> -Les informations des données du service de la pompe dans <i>Vista CPD</i> .....	81
<b>Figure-V-3</b> -Les paramètres géométriques de l'impulseur dans <i>Vista CPD</i> .....	81
<b>Figure-V-4</b> -Interface graphique montre les résultats extraits par <i>Vista CPD</i> .....	82
<b>Figure-V-5</b> -Interface graphique montre le plan de projet.....	82
<b>Figure-V-6</b> -Interface graphique du module CFX-Solver .....	87
<b>Figure-V-7</b> -Graphe montre la variation de pression entre deux aubes (50% càd médian).....	88
<b>Figure-V-8</b> -Montre variation des angles alpha et beta en fonction de location de fluide.....	89
<b>Figure-V-9</b> -Montre la variation de la vitesse angulaire en fonction de location de fluide.....	90
<b>Figure-V-10</b> -Montre la variation de pression dans l'impulseur à 50% (entre 2 aubes).....	90
<b>Figure-V-11</b> -Montre la variation de pression dans l'impulseur à 50% (entre 2 aubes).....	91
<b>Figure-V-12</b> -Montre la variation de la vitesse angulaire dans l'impulseur à 50%.....	91
<b>Figure-V-13</b> -Montre la variation de la vitesse entre les 2 disques de l'impulseur à 50%.....	91
<b>Figure-V-14</b> -Montre la variation de pression dans l'impulseur à la circonférence de l'impulseur.....	91
<b>Figure-V-15</b> -Montre la variation de la vitesse du fluide dans l'aube.....	92

<b>Figure-VI-1</b> -Types des maintenances.....	94
<b>Figure-VI-2</b> -Schéma détaillé de la pompe 4155.....	96

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau-III-1</b> -montre explication de modèle .....	34
<b>Tableau-III-2</b> -caractéristique principale de la pompe centrifuge 4155.....	36
<b>Tableau-III-3</b> -montre la liste des pièces de la pompe 4155.....	40
<b>Tableau-III-4</b> -montre la différence entre la pompe 4155 et les pompe centrifuge ordinaires.....	41
<b>Tableau-III-5</b> -caractéristique de moteur électrique .....	50
<b>Tableau-IV-1</b> -paramètres de la pompe 4155.....	51
<b>Tableau-IV-2</b> -résumé les valeurs des moments fléchissant des tronçons.....	72
<b>Tableau-V-1</b> -Donner par CFX résumé les paramètres hydrauliques.....	88
<b>Tableau-VI-1</b> -Les hypothèses de panne et leur remède.....	101

# Introduction :

Aujourd'hui, le pétrole est considéré comme une grande source d'énergie qui contribue à la satisfaction des besoins énergétiques en Algérie. Il est imposé essentiellement grâce à ces caractéristiques propres, à sa sécurité d'approvisionnement, son prix compétitif.

Dans l'industrie pétrolière, la diversité et la complexité des procédés technologiques ont conduit à la construction des machines de haute qualité et performance qui fonctionnent avec une sécurité élevée, et du fait l'une des fonctions technologiques les plus importantes dans ces procédés, est le pompage des liquides, cette fonction assure par les pompes.

Les pompes sont des appareils qui fournissent de l'énergie au liquide, cette énergie permet au liquide de couler dans une conduite, de monter à un niveau le plus élevé.

Le mécanicien doit être en mesure de choisir des pompes selon les exigences technologiques, les règles de l'entretien et avoir une base théorique adéquate pour veiller ou respecter les bonnes conditions d'exploitation.

Notre étude porte sur les pompes centrifuges a canal latéral utilisé au l'unité de GPL ce dernier a pour rôle de transfert du butane qui existe dans les réservoirs sphérique et cylindrique horizontaux (cigare) vers le paletisseuse.

Nous allons étudier la pompe centrifuge à canal latéral de sa constitution générale en passant sur son principe de fonctionnement pour arriver en fin à l'étude des paramètres d'exploitation d'une pompe centrifuge a canal latéral, un calcul hydraulique et mécanique nous permettra de connaître son régime de fonctionnement adéquat et enfin une meilleure maîtrise des conditions d'exploitation qui garantissent la sécurité de cette machine.

---

## I-Présentation de l'entreprise (NAFTAL) :

### I-1-Définition de l'entreprise (NAFTAL) :

NAFTAL est une société par actions (SPA) au capital social de 15 650 000 000 DA. Fondée en 1982 et filiale à 100% du Groupe Sonatrach, elle est rattachée à l'activité commercialisation. Elle a pour mission principale, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers et dérivés sur le marché national.

L'appellation de l'entreprise (NAFTAL) choisie dans le cadre d'un concours interne est tirée de deux symboles :

- **NAFT** : terme arabe qui signifie pétrole.
- **AL** : référence à Algérie.

Donc **NAFTAL** veut dire **Pétrole d'Algérie**.

### I-2-Création :

Issue de SONATRACH, l'entreprise E.R.D.P a été créée par le décret N°80/101 du 06 avril 1980. Entrée en activité le 01 janvier 1982, elle est chargée de l'industrie du raffinage et de la distribution du produit pétrolier sous le sigle NAFTAL.

En 1987 l'activité raffinage est séparée de l'activité distribution, la raison sociale de la société change suite à cette séparation des activités, NAFTAL est désormais chargée de la commercialisation et de la distribution des produits et divers.

A partir de 1998, elle change de statut et devient filiale à 100% de sonatrach.

### I-3-Organisation :

- L'organisation de (NAFTAL) est articulée autour des structures centrales chargées de la définition de la politique, du suivi et du contrôle des activités de l'entreprise et de structure opérationnelles décentralisées de distribution des produits pétroliers.
- Ces structures opérationnelles bénéficient d'un soutien logistique et de maintenance assurée par des directions régionales spécialisées.

- Ces entités opérationnelles ont pour mission la distribution de l'entreprise des produits commercialisés (NAFTAL) dans les champs d'influence d'une ou plusieurs wilayas.

#### I-4-Les activités de l'entreprise :

NAFTAL a pour mission principale, la distribution et la consommation des produits pétroliers sur le marché national.

Elle intervient dans les domaines suivant :

- Enfutage G.P.L.
- Formulation des bitumes.
- Distribution, stockage et commercialisation des carburants G.P.L, lubrifiants, butanes, pneumatiques, carburants spéciaux.
- Transport des produits pétroliers.

#### I-5-Situation géographique de l'entreprise :



Figure-I-1-Situation géographique de l'entreprise

---

L'entreprise de Naftal est stratégique et important implanté sur un terrain de superficie de 70 hectares, situé à 21 Km de wilaya de Constantine précisément axe commune de BOUNOUARA, assure les besoins (en gaz butane et propane liquéfiés, en essence, gas-oil...) des wilayas de : Constantine, Mila, Guelma, Souk Ahras. Alimenté de la raffinerie de Skikda par le pipeline.

### **I-6-NAFTAL Branche GPL :**

La zone G.P.L de Constantine est parmi les zones stratégiques importantes de (NAFTAL) ; implantée sur un terrain d'une superficie de 20 hectares, Leader dans la distribution des G.P.L, NAFTAL branche G.P.L avec ses 11000 agents structurés au sein de 19 districts couvrant, tout le territoire national, assure en toute maîtrise.

Les approvisionnements en G.P.L vrac et conditionné.

- le conditionnement en bouteilles du butane et du propane ;
- la livraison à la clientèle des G.P.L, en vrac ou en conditionné ;
- la livraison du G.P.L carburant (sirghaz).

Chaque année 2,7 millions de tonnes de G.P.L sont mouvementés par canalisation, cabotage, routes et voies ferrées.

Pour être au service de sa clientèle, NAFTAL exploite 45 centres de distribution et 47 dépôts relais.

42 de ces centres assurent les prestations de remplissage de 100 millions de bouteilles par an, ainsi que la distribution des GPL vrac à la clientèle.

Les 03 autres centres sont spécialisés dans le stockage et la distribution des GPL vrac.

NAFTAL mobilise une flotte de 1100 camions de différents types pour assurer la livraison quotidienne de :

- 7600 points de vente en butane conditionné ;
- 5500 clients en propane ;
- 417 stations-services en Sirghaz.

---

**I-6-1-Centre vrac de khroub :**

Le centre Vrac est alimenté par un pipeline à partir de Skikda de:

- 105 Km de longueur.
- 10 Pouces de diamètre.
- 5317 M<sup>3</sup> de volume.
- Fluide véhiculé : Propane/Butane.

**I-6-2-Terminal arrivée (TA) :**

L'installation comprend :

- Une gare racleur d'arrivée.
- Un poste de comptage.
- Poste de régulation de débit /pression.
- Un réservoir de purge.

**I-6-3-Stockage :**

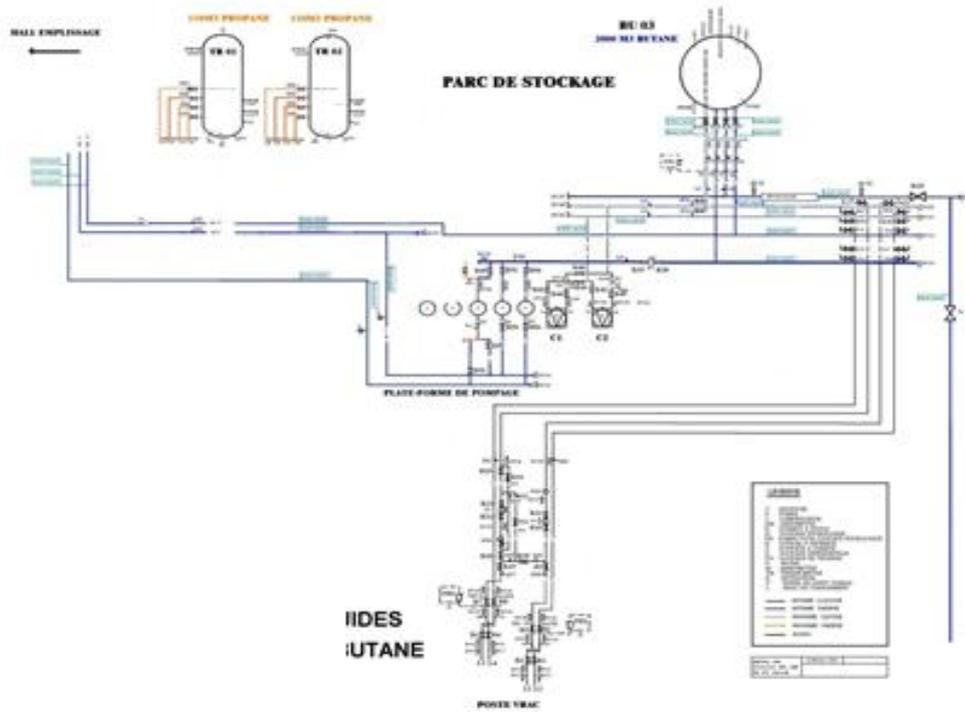
-02 Sphères de stockage Butane:	2x2845 M3
-01 Sphère de stockage mixte Bu/Pro	2000 M3
-01 Sphère de stockage Propane	2000 M3

**I-6-4-La salle de contrôle GPL :****Le système de supervision et de commande :**

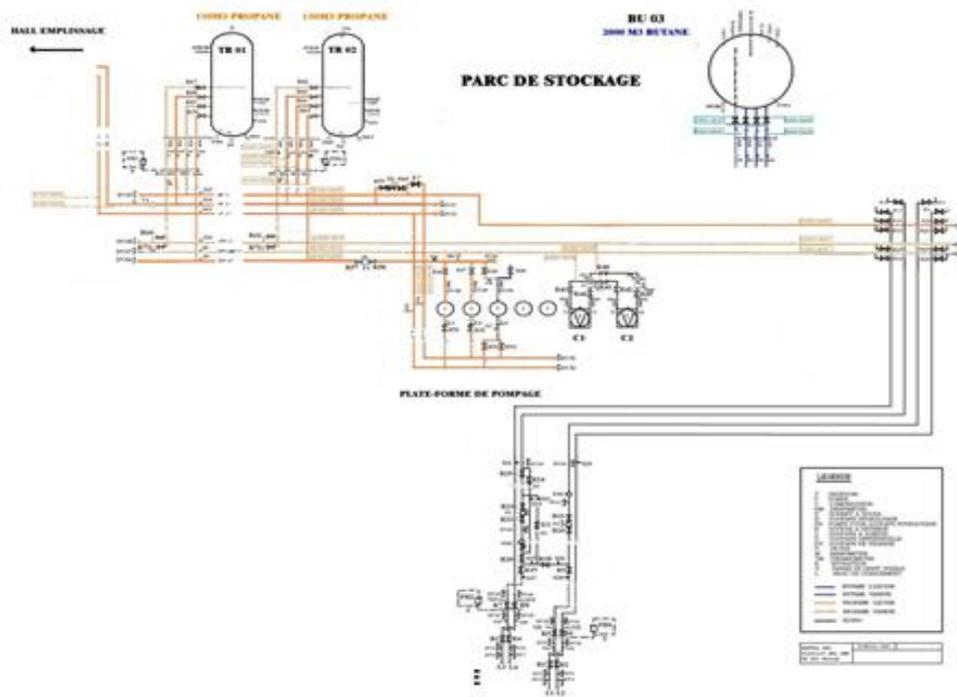
La salle de contrôle est équipée d'un système de contrôle automatisé du processus de réception, stockage et transfert du GPL permettant :

- La visualisation de l'état des installations.
- La lecture des valeurs des instruments de mesure (Température, Pression, Débit, Niveau ...).
- Le pilotage des vannes motorisées.
- La commande des pompes.
- Le suivi de l'historique des mouvements produits.

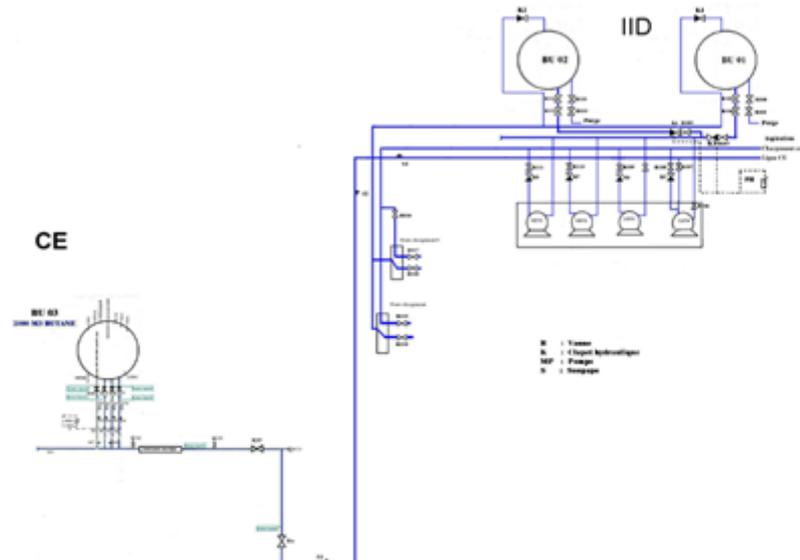
**Schémas des procès :**



**Figure-I-2-Schéma de circulation des fluides chargement-déchargement butane**



**Figure-I-3-Schéma de circulation des fluides chargement-déchargement propane**



**Figure 1-4 : Schéma du circuit de transfert butane de terminal arrivé vers Palistissus**

## **I-7-Description de l'installation et procédures d'expédition du GPL :**

### **a-Terminal booster Skikda (TB) :**

La pression en sortie des bacs de stockage réfrigéré étant trop faible, compte tenu du type de pompes nécessaires pour réaliser l'expédition vers El Khroub, une première élévation de la pression est réalisée par la pompière booster (installées dans l'enceinte de la raffinerie, ces pompes alimentent les pompes principales d'expédition.

Le comptage du GPL expédié est installé au refoulement des pompes booster.

### **b-Terminal départ Skikda (TA) :**

Les pompes principales d'expédition élèvent la pression à un niveau suffisant pour envoyer le produit à EL Khroub. La pression d'expédition dans la pipe est contrôlée par un poste de régulation. Cette pression d'expédition dépend du régime été ou hiver, c'est-à-dire des conditions de pression à l'arrivée dans la sphère (stockage sous pression ou  $P=T_v$  à la température donnée du Stockage).

La PCV réalise les pertes de charges supplémentaires compensatoires lors du régime

---

hiver afin de garder une plage optimale de travail pour la vanne de réglage du débit FCV à l'arrivée.

**c-Poste de sectionnement (PS) :**

Une vanne motorisée sectionne automatiquement le pipe en cas de détection d'une fuite importante sur chaque poste de sectionnement.

Un régulateur contrôle en permanence la pression dans le pipe et la vitesse de chute de pression.

**d-Terminal arrivé à El Khroub (TA) :**

La régulation du débit et de la pression vers le stockage d'arrivée est assurée par le poste régulation de débit-pression.

En aval de la régulation, le collecteur général se divise en 3 branches, chacune alimentant les capacités de stockage, soit butane, soit propane, soit contaminant.

**d.1.Installation TA :**

D'une installation d'arrivée de pistons racleurs composé d'une gare d'arrivée GRA4001 de 10, de ses tuyauteries de réception et de purges ainsi que de ses vannes. La gare racleuse est équipée :

- d'un système de sécurité pour l'ouverture sous pression.
- d'un chariot extérieur.
- d'un indicateur de passage du racleur repère XS4101.1
- d'un système de manutention extérieur.
- d'un support permettant l'extraction de paniers.
- de racleurs constitués du bâti, du pousseur extracteur manuel et du panier mobile coulissant sur le bâti.
- d'une ligne de transfert de GPL vers le stockage du centre GPL vrac ainsi que celui du centre enfûteur d'El-Khroub; composée de:
- Un manifold de comptage de GPL comprenant deux lignes constituées chacune d'un débitmètre massique FT4111A et FT4111B avec vannes manuelles d'isolement et instrumentation.

- d'un manifold de régulation de débit/pression de GPL constitué de trois lignes de régulation, dont une ligne avec vanne de régulation manuelle repère HV4113.2 et de deux lignes avec vanne de régulation automatique repère FV4112A et FV4112.B avec leurs vannes d'isolement.
- d'une ligne de liaison aux installations existantes et nouvelles, divisées en trois départs, munie chacune d'un clapet anti-retour et d'une vanne d'isolement motorisée repère MOV4114.1-4114.2 et 4114.3.

Ces départs sont raccordés selon la densité des produits respectivement à :

- une ligne d'alimentation en butane des 2 sphères existantes S50 / S51, de la nouvelle sphère mixte butane/propane S60 du centre GPL vrac et de la sphère existante T1 du centre enfûteur d'El-Khroub.
- une ligne d'alimentation propane de la nouvelle sphère mixte butane/propane S4141, de la nouvelle sphère propane S4142 au niveau du centre GPL vrac ainsi que des 2 cigares existants de 150m<sup>3</sup> repère T2 et T3 du centre enfûteur d'El-Khroub.
- une ligne de récupération du mélange (contaminas) résultant de l'interface des produits butane/propane transférés selon leur densité, stocké dans le cigare T4171 de contaminas prévu et installé au centre enfûteur d'El-Khroub.
- D'un circuit de récupération des purges de butane et de propane provenant de la gare racleuse, des modules de régulation, des collecteurs principaux et des soupapes de sûreté raccordé au réservoir R4115 instrumenté.
- Les contaminas sont raccordés au cigare T4171 instrumenté via une conduite au départ de la citerne de purge repère R4115.
- La vidange du cigare T4171 par camion-citerne est assurée par une électropompe MP4172 horizontale monocellulaire dont le refoulement est relié aux deux bras de chargement des camions citernes.
- Le transfert du butane, propane ou contaminas selon le produit purgé au niveau du terminal arrivée est effectué par une électropompe repère P4115. L'électropompe centrifuge verticale de reprise des purges repère P4115 est immergée dans le citerne R4115 et montée directement sur le support du moteur électrique Cette dernière est pourvue de toute son instrumentation de mesure et de Contrôle y compris ses auxiliaires.

La protection des installations contre les surpressions est assurée par :

- un pressostat repère PSHH4114.2 déclenchant la fermeture de la vanne motorisée repère MOV4110 qui alimente la ligne de transfert du GPL.
- deux soupapes de sûreté repèrent PSV4110A et 4110B équipés de vannes d'isolement dont la décharge est raccordée à la citerne de purge.

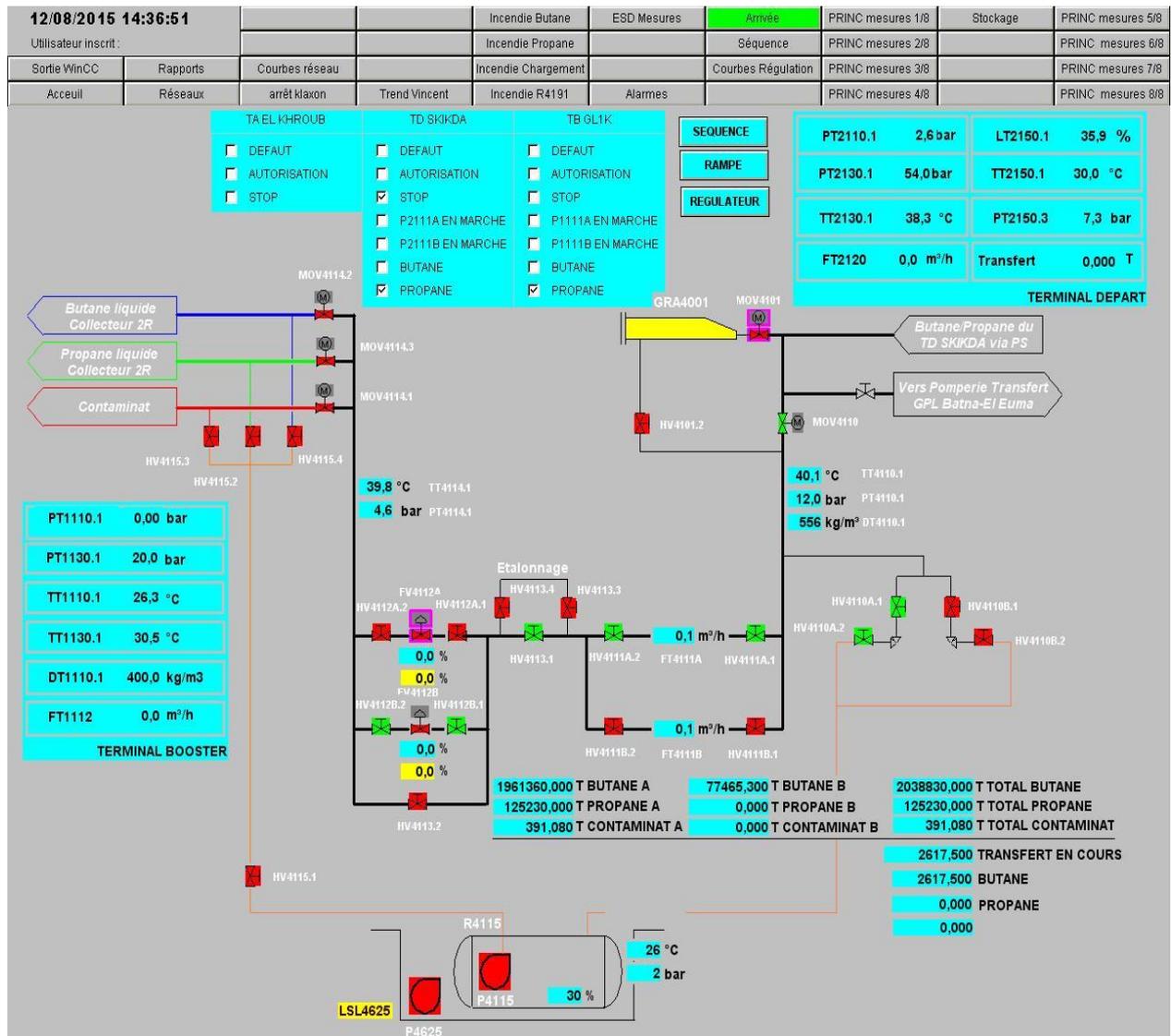


Figure-I-5-Schéma de terminal arrivé TA

---

---

## **II-Généralités sur les pompes centrifuges :**

### **II-1-Introduction :**

Les pompes sont des machines hydrauliques qui servent à déplacer des liquides (ou les Pompes sont destinées à faire circuler le liquide).

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration « entrée de la pompe » et la région de refoulement « sortie de la pompe ».

Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide, de l'énergie potentielle (par accroissement de la pression en aval) soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Au point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

### **II-2-Définition des pompes :**

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.

Cette machine n'est plus 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 force. Cela est une notion très simple, nous allons le voir dans ce qui suit, mais c'est aussi une notion moins spontanée que celle d'un récipient mobile. Puisqu'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 articles qui vont suivre. Nous y avons traité l'essentiel, cependant certains domaines restreints ou certains aspects particuliers n'ont pas été abordés. Ils le seront dans un autre cadre.

Notre perception du sujet reste imparfaite et approximative. L'évolution de nos connaissances n'est pas terminée et nous sommes encore loin de l'asymptote.

Une pompe est un appareil mécanique conçu pour déplacer un liquide entre deux

points de pression différente. Cette différence de pression est une condition nécessaire à l'écoulement du liquide mécanique en une pression différentielle qui permet la circulation du fluide.

### II-3-Classification des pompes :

Devant la grande diversité de situations possible, on trouve un grand nombre de machines que l'on peut classer en deux grands groupes :

**II-3-1-Turbopompe (pompe dynamique) :** On appelle turbopompe toute machine dans laquelle une ou plusieurs roues « impulseur » tournant autour d'un axe, échange de l'énergie avec un fluide s'appuient sur la loi de la centrifugation.

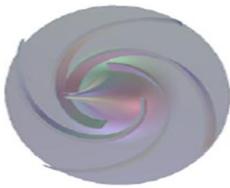
On classe les turbopompes en trois types essentiels suivant la direction du liquide à l'intérieur de la roue :

- Les pompes centrifuges.
- Les pompes axiales ou à hélices.
- Les pompes à hélico-centrifuges.

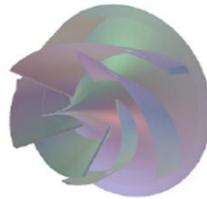
Pour le premier type, la direction de l'écoulement du liquide est radiale.

Pour le deuxième type, la direction de l'écoulement du liquide est axiale.

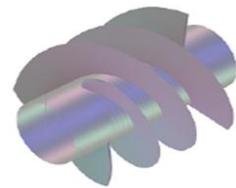
Pour le troisième type, la direction de l'écoulement du liquide est diagonale.



*Centrifuge*



*Hélico-centrifuge*



*Axiale*

### Classification des pompes centrifuges :

La classification des pompes centrifuges est basée sur la forme de la trajectoire du liquide à l'intérieur du rotor, mais aussi la variété des types de pompes centrifuges qui existe dans l'industrie nous oblige d'établir une classification, dont les critères les plus souvent utilisés sont :

**\*la disposition de l'axe :**

-axe horizontal -axe vertical -axe incliné

**\*le nombre d'étages :**

-un seul étage (monocellulaire) -plusieurs étages (multicellulaire)

**\*le type de récupérateur :**

-pompe avec diffuseurs -pompes avec ailettes -pompe avec volutes

**\*l'importance de la pression engendrée :**

- pompe à basse pression -pompe à moyenne pression -pompe à haute pression

**\*les moyens d'entraînement :**

-entraînement par courroie -entraînement par engrenage  
-entraînement par accouplement direct

**\*la forme de la roue :**

-roue à simple aspiration ou double aspiration.

**\*La destination :**

-pompe à eau -pompe à acide -pompe à liquide chargé

**\* la force motrice utilisée :**

-moteur électrique -moteur diesel

**II-3-2-les pompes volumétriques :**

On appelle pompe volumétrique toute machine assurant l'augmentation de l'énergie du liquide dont le principe est basé sur la variation du volume d'un espace relié alternativement à la conduite d'aspiration et celle de refoulement, la partie hydraulique de la pompe est un engrenage, un piston ou palette.

---

**a)-Pompes volumétriques rotatives :**

Ces pompes sont des pompes volumétriques ou le refoulement est assuré par le mouvement rotatif ou bien alternatif et rotatif en même temps des éléments de refoulement.

Parmi les pompes rotatives volumétriques, on distingue:

- pompe à vis.
- pompe à engrenage.
- pompe à palette.
- pompe à lobe.

**b)-Pompes volumétriques alternatives (à piston) :**

Elles utilisent un piston qui effectue un mouvement rectiligne dans un cylindre muni de valves, qui régulent le débit du liquide dans le cylindre.

Dans une pompe à piston, on emprisonne un certain volume de liquide dans un cylindre pour générer la pression sous une force mécanique sur le piston. Le cylindre dispose de deux soupapes l'une pour l'aspiration et la seconde pour assurer le refoulement, ces dernières s'ouvrent et se referment sous l'action de la pression du liquide.

Les pompes à piston sont classées selon plusieurs critères :

- 1- Selon le mode d'entraînement :
  - pompe à action directe.
  - pompe à mécanisme bielle manivelle.
- 2- Selon le nombre de cylindres :
  - pompe simple « 1 cylindre ».
  - pompe duplex « 2 cylindres ».
  - pompe triplex « 3 cylindres ».
- 3- Selon le principe de fonctionnement :
  - pompe à simple effet.
  - pompe à double effet.

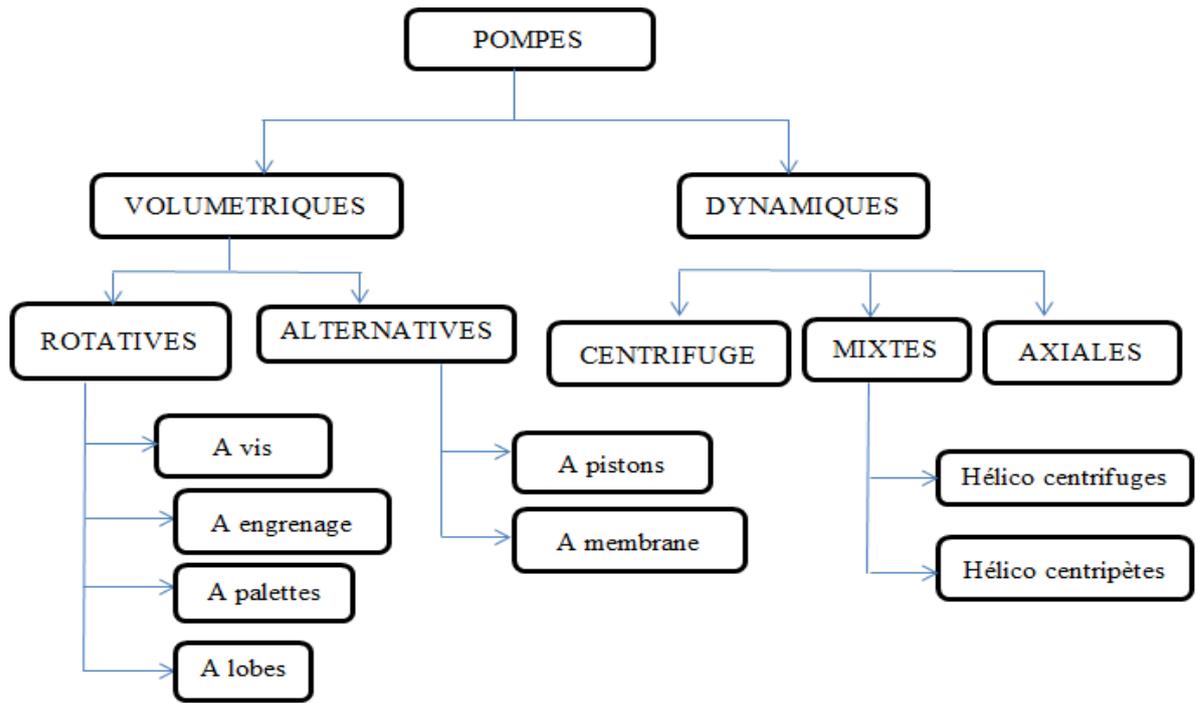
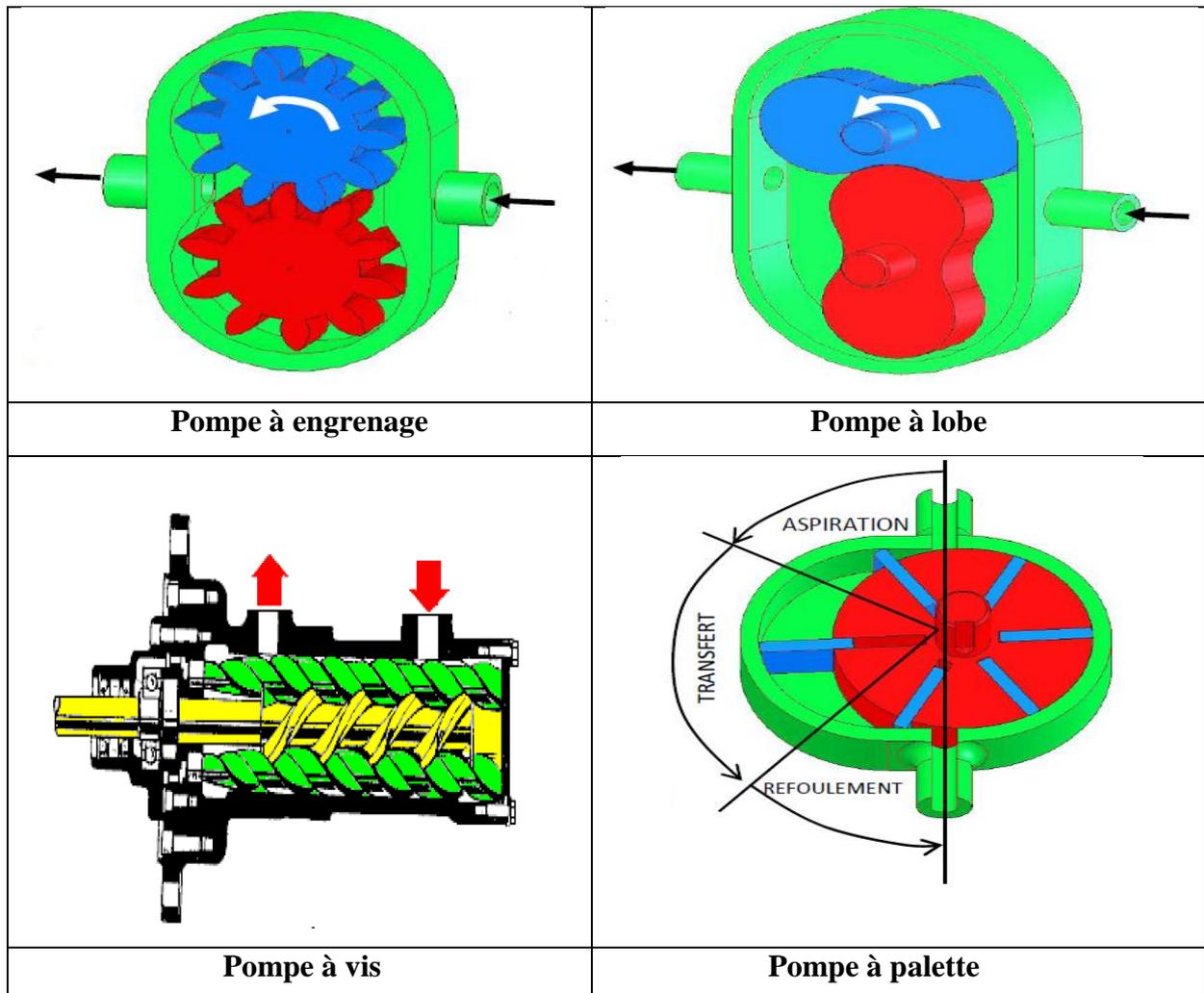
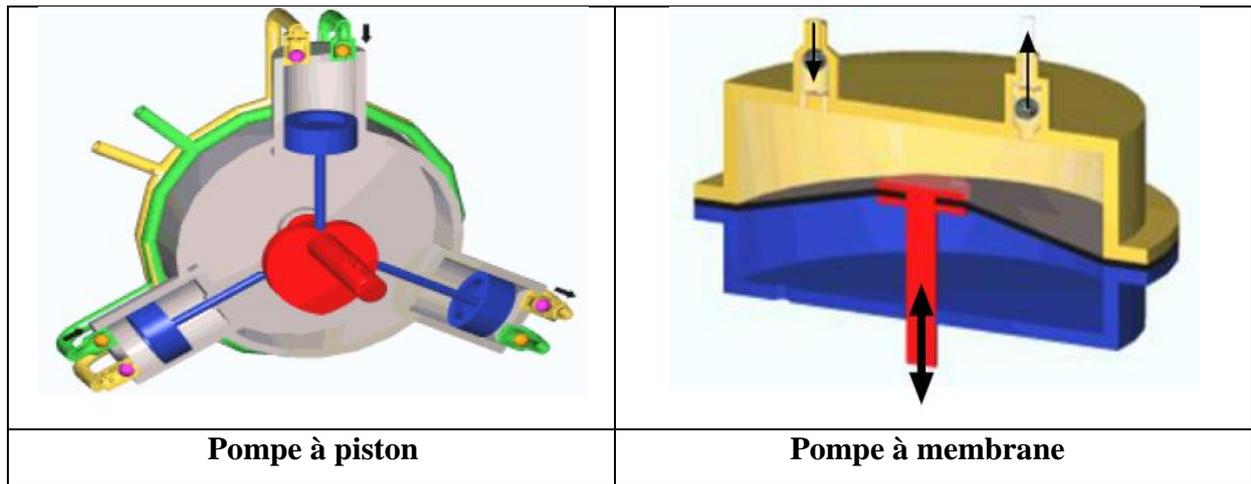


Figure-II-1-Schéma montre la classification des pompes

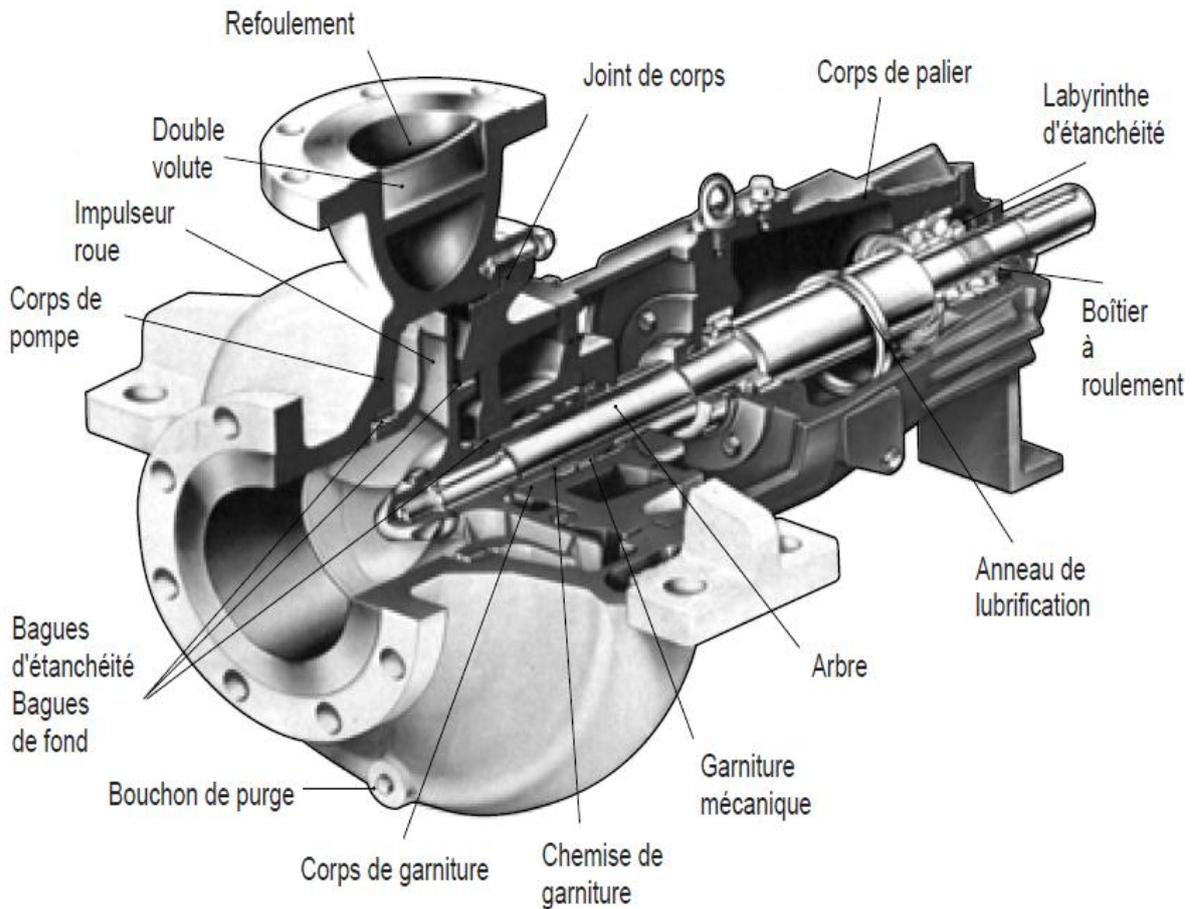




**Figure-II-2-Schémas montre les différents types des pompes**

**II-4-Description d'une pompe centrifuge monocellulaire :**

La pompe centrifuge la plus simple est la pompe monocellulaire à roue en porte à faux comme représentée sur le schéma ci-dessous.



**Figure-II-3-Pompe centrifuge monocellulaire**

Cette pompe est composée d'éléments statiques et de pièces tournantes.

On distingue dans les éléments statiques :

- le corps de pompe sur lequel se trouvent les tubulures et brides d'aspiration et de refoulement.
- le corps de garniture (ou plateau de garnitures) fermant l'arrière du corps de pompe, est traversé par l'arbre et reçoit le système d'étanchéité (tresses ou garniture mécanique).
- le corps de palier dans lequel sont montés des roulements ou des paliers à coussinet et qui contient le système de lubrification. Le corps de palier possède souvent une béquille de supportage.

Les parties tournantes ou rotor composé de l'arbre sur lequel sont montés les roulements, l'impulseur (ou roue), le moyen d'accouplement et les pièces tournantes de la garniture mécaniques.

L'ensemble mobile appelé rotor se compose :

- d'un arbre sur lequel est monté :
  - un impulseur (ou roue).
  - un accouplement permettant la liaison avec la machine d'entraînement.
  - diverses pièces telles que chemises d'arbre, déflecteur ou labyrinthe d'étanchéité, écrous de fixation ...
- d'éléments liant le rotor et les pièces fixes et donc soumises à frottement :
  - les roulements.
  - la garniture d'étanchéité.

Parmi ces différentes pièces, l'impulseur et la volute sont celles qui sont directement impliquées dans la fonction de pompage de la machine. Au travers elles, se produisent les variations de vitesse et de la pression du liquide.

## II-5-Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge est constituée par:

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

Le principe de fonctionnement des pompes centrifuges est basé sur la force centrifuge qui s'exerce toujours sur un corps mouvement circulaire, et elle a tendance à faire sortir le corps de son orbite circulaire.

Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur qui tourne d'où il sera propulsé radialement vers l'extérieur par la force centrifuge.

Au niveau de l'impulseur la vitesse de fluide augmente puis cette vitesse est convertie en pression, par réduction cette vitesse au niveau de diffuseur.

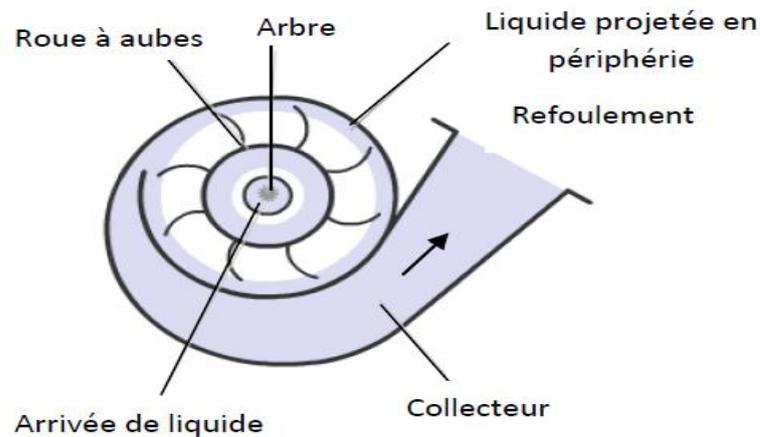


Figure-II-4-Schéma montre le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

## II-6-Domains d'utilisation d'une pompe centrifuge :

Ce sont les pompes les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

---

Les pompes centrifuges sont utilisées dans plusieurs domaines tels que :

- L'agriculture : les stations de pompage, le matériel de traitement ....
- L'industrie pétrolière : les stations de raffinage, les stations d'alimentation en GPL ...
- La production et l'alimentation en eau potable : les stations de dessalement, les châteaux d'eau.
- La production de l'énergie électrique : les installations de refroidissement des centrales thermiques.

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas:

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

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques.

Par contre contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.

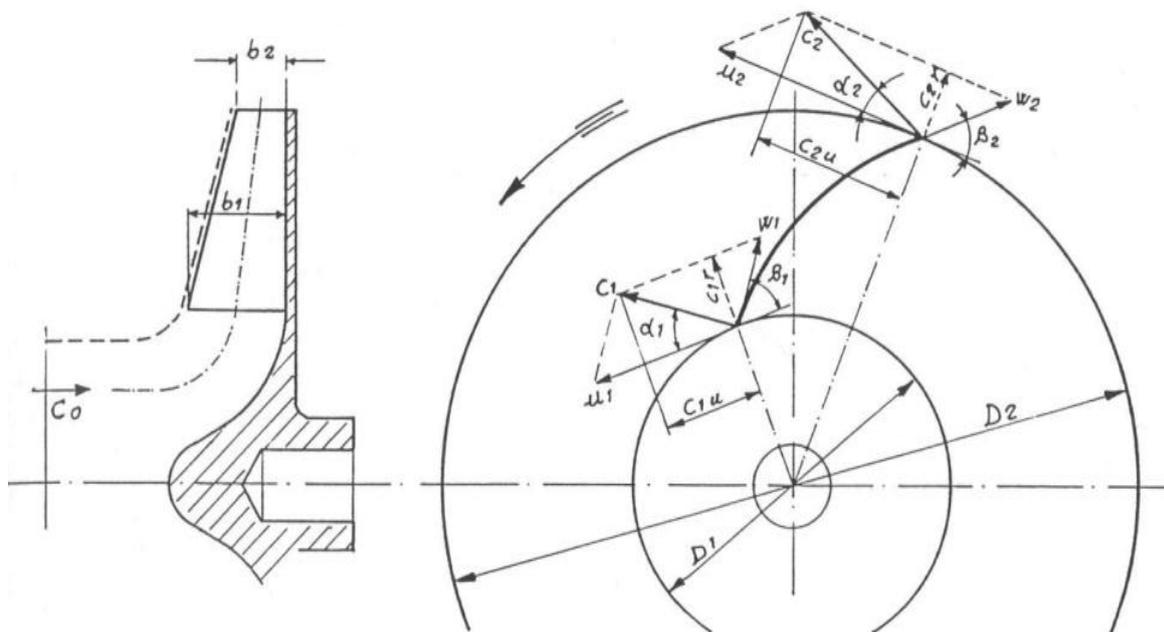
### **II-7-Amorçage d'une pompe centrifuge :**

Les pompes centrifuges ne peuvent s'amorcer seules. L'air contenu nécessite d'être préalablement chassé. On peut utiliser un réservoir annexe placé en charge sur la pompe pour réaliser cet amorçage par gravité.

Pour éviter de désamorcer la pompe à chaque redémarrage, il peut être intéressant d'utiliser un clapet anti-retour au pied de la canalisation d'aspiration.

### **II-8-Triangle des vitesses et relations d'EULER :**

Un impulseur d'une pompe est schématisé sur la figure ci-après, où figurent ses caractéristiques géométriques :  $r_1, r_2$  : rayon de la roue à l'entrée et à la sortie.



**Figure-II-5-Schéma d'un impulseur**

- La vitesse de rotation  $n$  [tr/min] c'est le nombre de tours qu'effectue la pompe par unités de temps.  

$$\omega = 2\pi n$$

L'écoulement en chaque point est caractérisé par un triangle des vitesses déterminées par les trois Vecteurs suivants :

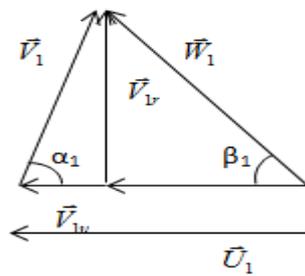
$\vec{W}$  : vitesse relative dans la roue       $\vec{V}$  : vitesse absolue       $\vec{U}$  : vitesse d'entraînement

$$\mathbf{U} = \mathbf{r} \cdot \boldsymbol{\omega}$$

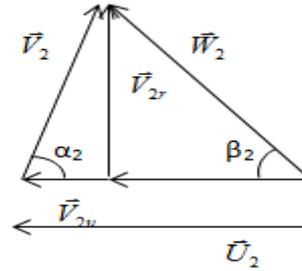
On désigne par  $\alpha$  et  $\beta$  les angles de  $\vec{V}$  et de  $\vec{W}$  avec  $\vec{U}$ .

Il est utile de représenter le triangle des vitesses à l'entrée et le triangle des vitesses à la sortie de la roue, les paramètres d'entrée et sortie étant respectivement repérés par l'indice **1** et **2**.

Soit  $C$  le couple exercé sur l'arbre de la pompe.



L'entrée au point A



La sortie au point B

L'application du théorème du moment cinétique à la roue mobile conduit à la relation d'EULER :

Du système des équations :

$$P = C \cdot \omega$$

$$C = q_m \cdot (r_2 V_2 \cos \alpha_2 - r_1 V_1 \cos \alpha_1)$$

$$P = q_m \cdot g \cdot H_{th}$$

$$H_{th} = (1/g)(U_2 V_2 \cos \alpha_2 - U_1 V_1 \cos \alpha_1)$$

On posant:  $V_{1U} = V_1 \cos \alpha_1$

$$V_{2U} = V_2 \cos \alpha_2$$

On déduit :

Par ailleurs l'entrée du liquide étant pratiquement toujours axiale .

$$\alpha_1 = \pi/2 \quad \text{donc : } \cos \alpha_1 = 0 \quad \text{D'où } V_1 r_1 \cos \alpha_1 = 0$$

D'où :  $H_{th,\infty} = (1/g) U_2 V_2 \cos \alpha_2 = (1/g) U_2 V_{2U}$

## II-9-Débit de la pompe :

### II-9-1-Débit théorique :

Le débit théorique caractérisé par la pompe idéale, là où n'existe pas des fuites de liquide véhiculé, il est donné par la formule suivante :

$$Q = v \cdot 2\pi \cdot R \cdot b$$

D'où :  $v$  : la vitesse radiale à la sortie de la pompe.

$R$  : rayon extérieur de la même roue.

$b$  : largeur de fonte de la roue de sortie.

### II-9-2-Débit réel :

Le débit réel diffère du débit théorique à cause des fuites ces sont :

-Fuite extérieure

-Fuite intérieure

$$Q_r = Q_{th} - Q_f$$

D'où :  $Q_{th}$  : Débit théorique en circulation

$Q_f$  : Débit de fuites

## II-10-La hauteur d'une pompe :

### II-10-1-Hauteur théorique :

Cette hauteur est assurée par une pompe idéale dans laquelle le nombre des aubes est fixé, leur épaisseur est nulle, ou il ne se produit aucune perte d'énergie c'est-à-dire toute que l'énergie disposée à faire tourner le rotor est transmise intégralement au liquide.

$$H_t = (1/g)(U_2 V_{2U})$$

Avec la supposition d'une radiale de liquide.

Ou :  $U_2$  : est la vitesse tangentielle à la sortie de la roue.

$V_{2u}$  : est la projection de (v) suivant la direction de (u).

### II-10-2-Hauteur réel :

Dans le cas réel ou la condition d'une pompe idéale n'est pas vérifiée d'où aura une notion de la hauteur réelle donnée par la formule suivante :

$$H_r = k \cdot H_t \cdot \eta_h$$

D'où :  $k$  : coefficient qui tient compte du nombre d'aubes.

$\eta_h$  : rendement hydraulique de la pompe.

$H_t$  : la hauteur théorique.

### II-11-Puissance de la pompe :

**II-11-1-Puissance absorbée** : C'est une puissance appliquée à l'arbre du rotor est égale à énergie reçue en une seconde par le courant de liquide.

$$P = C \cdot \omega = \rho g (H_r + \Delta h) (Q_r + Q_f) + \Delta h_{méc}$$

D'où :  $\Delta h$  : les pertes aérodynamiques (décharge)

$Q_r$  : les pertes de fuites

$\Delta h_{méc}$  : les pertes mécaniques

$C$  : couple de torsion

$\omega$  : vitesse angulaire

**II-11-2-puissance utile** : C'est une puissance transmise au liquide.

$$P_{ut} = \rho g H Q$$

**II-11-3-Puissance indiquée :** C'est une puissance absorbée après la détermination de pertes hydraulique.

$$P_{in} = \rho g (H_r + \Delta h) (Q_r + Q_f)$$

$$P_{ab} = P_{in} + \Delta h_{méc}$$

## II-12-Courbes caractéristiques de la pompe centrifuge :

### II-12-1-La courbe hauteur-Débit :

On trace cette courbe réelle à partir de la courbe théorique par soustraction des pertes d'énergie. Cette courbe montre la variation de la pression ou hauteur en fonction du débit, ce qui permet à l'exploitant d'obtenir la pression désirée par une simple manœuvre de la vanne de refoulement, ce qui change le débit. On note que cette courbe est valable pour une vitesse constante.

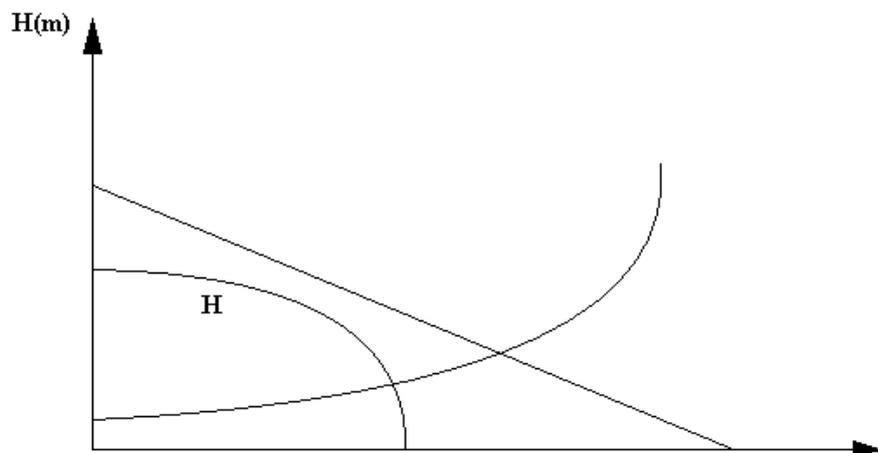


Figure-II-6-Courbe réelle  $H=f(Q)$

### II-12-2-La courbe de puissance :

Elle représente la puissance absorbée par l'arbre de la pompe. Ce qui permet de faire le choix du moteur qui convient. Elle démarre avec une puissance minimale qui s'explique par la caractéristique des moteurs qui développent leur puissance progressivement.

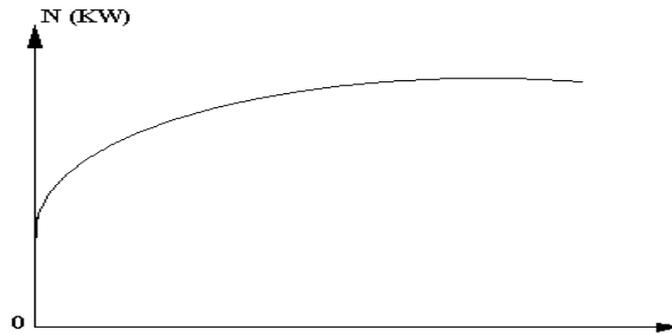


Figure-II-7-Courbe de la puissance absorbée  $N=f(Q)$

### II-12-3-La courbe Rendement-Débit :

Elle montre l'efficacité de la pompe. Elle se définit comme étant le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée par l'arbre.

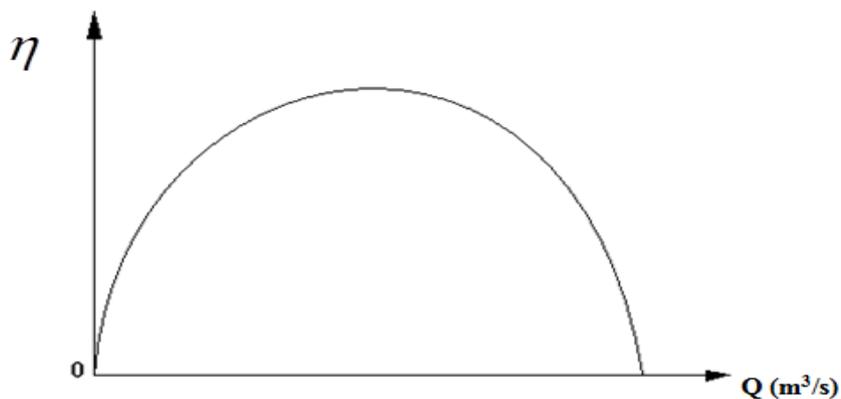


Figure-II-8-Courbe du rendement  $\eta =f(Q)$

### II-13-Point de fonctionnement :

La caractéristique pression-débit de la pompe étant connue, pour déterminer le point de fonctionnement de l'ensemble {POMPE + INSTALLATION} il faut connaître les besoins de L'installation.

Il faut tracer sur le même graphe la courbe de la pompe et la caractéristique de la conduite L'importance de connaître le point de fonctionnement est qu'il représente le point optimum ou l'énergie consommée par le circuit est égale à l'énergie produite par la pompe.

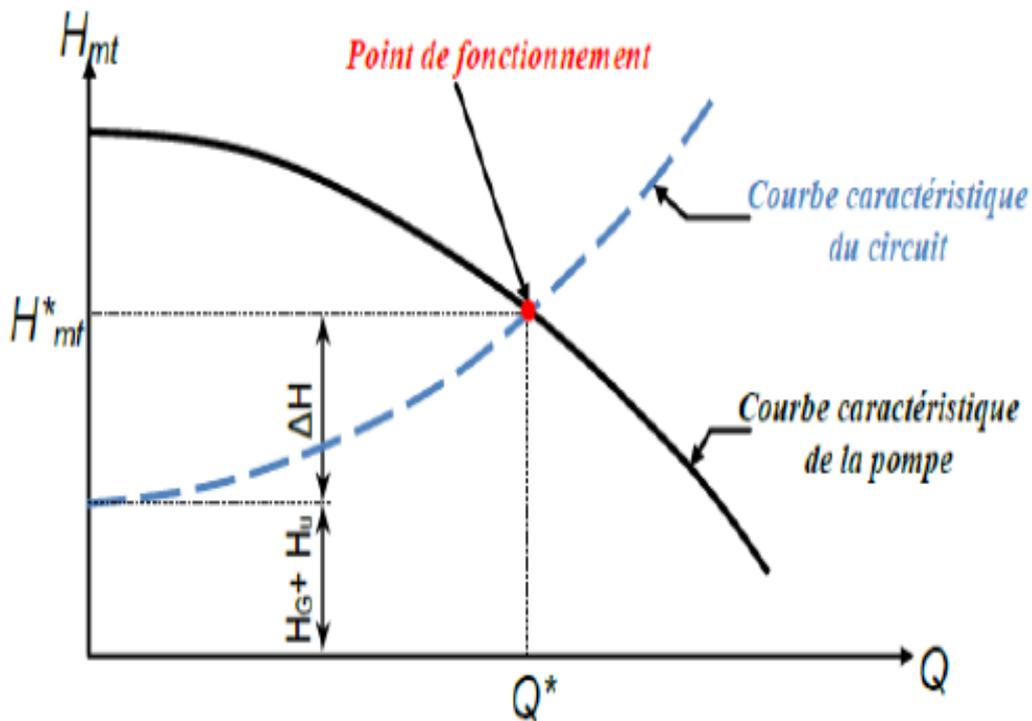


Figure-II-9-Montre le point de fonctionnement

## II-14-Pertes de charge dans une pompe centrifuge :

L'échange d'énergie dans le cas réel s'accompagne de pertes d'énergies qui dépendent de la construction de la pompe. Ces pertes sont :

### II-14-1-Les pertes hydrauliques :

Résultant des effets de viscosité et de turbulence, elles sont dues aux frottements, chocs et tourbillons.

$$\eta_h = H/H_{th}$$

$H$  : la hauteur réelle

$H_{th}$  : la hauteur théorique

---

**II-14-2-Les pertes volumétriques :**

Ayant pour les fuites à travers les jeux qui existent entre le rotor et l'enveloppe.

$$\eta_v = Q_r / (Q_r + Q_f)$$

$Q_r$  : le débit réel

$Q_f$  : le débit des fuites volumétriques

**II-14-3-Les pertes mécaniques :**

Qui englobe les pertes par frottements mécaniques dans les garnitures d'étanchéité, dans les paliers ainsi que le frottement entre le disque et le liquide.

$$\eta_m = N_r / N_a$$

$N_r$  : la puissance reçue par le rotor

$N_a$  : la puissance absorbée

**II-14-4-Les pertes d'énergies globales :**

C'est l'ensemble des pertes hydrauliques, volumétrique et mécanique.

$$\eta_g = \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_h$$

$\eta_v$  : le rendement volumétrique

$\eta_m$  : le rendement mécanique

$\eta_h$  : le rendement hydraulique

**II-15-Le couplage des pompes centrifuges :**

Pour parvenir à obtenir certaines conditions de fonctionnement impossibles à réaliser avec une seule pompe, les utilisateurs associent parfois deux pompes dans des montages en série ou en parallèle.

On considère deux pompes P1 et P2 ayant des caractéristiques différentes.

### II-15-1-Couplage en série :

Le couplage en série permet d'augmenter la pression tout en maintenant le débit constant.

Dans ce cas, il est plus simple, moins encombrant économique de construire une pompe à un ou plusieurs impulseur qui représente en réalité un couplage en série.

Pour obtenir la courbe résultante de l'ensemble, on procède à une somme géométrique des pressions pour chaque débit donnée c'est-à-dire le long de l'axe de H.

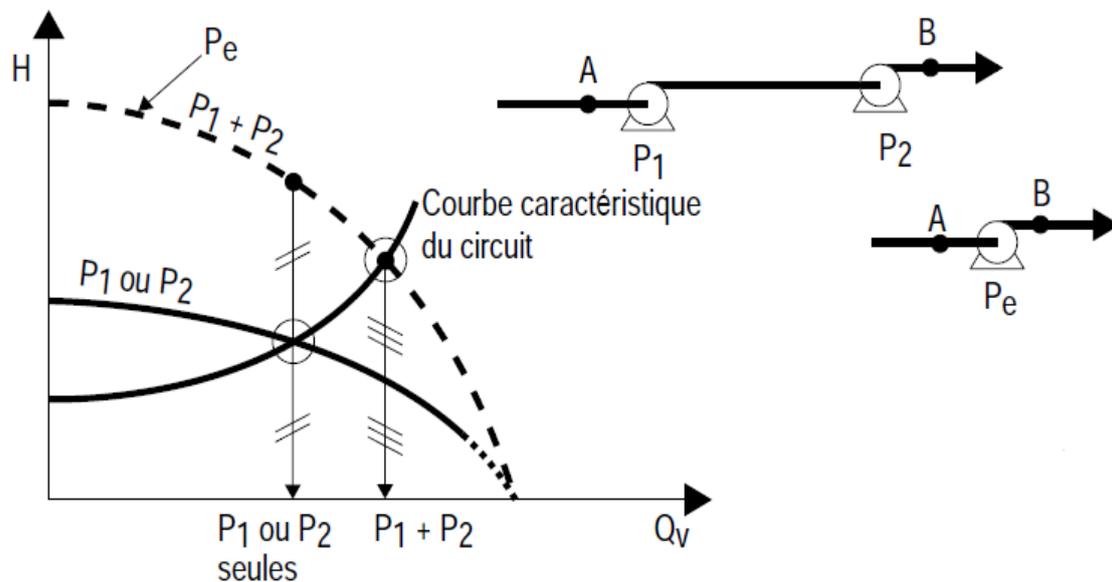


Figure-II-10-Courbe de la hauteur  $H=f(Q)$  des pompes couplées en série

### II-15-2-Couplage en parallèle :

Le couplage en parallèle permet d'augmenter la pression tout en maintenant le débit constant.

Pour obtenir la courbe résultante de l'ensemble, on procède à une somme géométrique des débits pour chaque pression donnée c'est-à-dire le long de l'axe de Q.

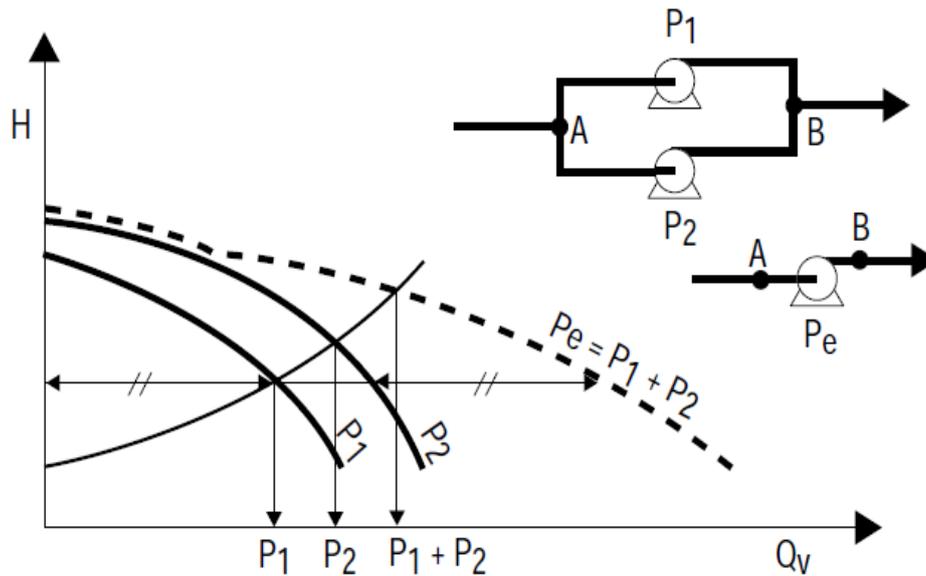


Figure-II-11-Courbe  $H=f(Q)$  des pompes couplées en parallèle

## II-16-NPSH d'une pompe centrifuge :

### NPSH - Net Positive Suction Head (Charge nette absolue à l'aspiration)

En hydraulique, NPSH est un sigle pour net positive suction head. En un point d'un circuit hydraulique, la valeur NPSH mesure la différence entre la pression du liquide en ce point et sa pression de vapeur saturante.

Le NPSH est un paramètre important à prendre en compte dans la conception d'un circuit : lorsque la pression d'un liquide descend sous la valeur de la pression de vapeur, le liquide se vaporise. Ce phénomène est très dangereux à l'intérieur d'une pompe centrifuge, car il crée une cavitation (implosion de bulles de vapeur) qui endommage le corps de pompe tout en réduisant le rendement.

### NPSH requis :

Pour chaque pompe, il y a un NPSH minimal en dessous duquel la cavitation apparaît, c'est ce qu'on appelle le NPSH requis. On la note NPSH requis.

Chaque constructeur de pompe détermine par des essais de cavitation forcée, le NPSH requis de ses pompes.

Le NPSH requis augmente avec le débit  $QV$ .

Le constructeur de la pompe fournit la courbe NPSH requis en fonction de  $QV$ . En pratique, pour qu'une pompe puisse fonctionner normalement (sans cavitation), il faut calculer le NPSH disponible et vérifier qu'il est bien supérieur au NPSH requis (qu'on aura déterminé à l'aide de la courbe fournie par le constructeur).

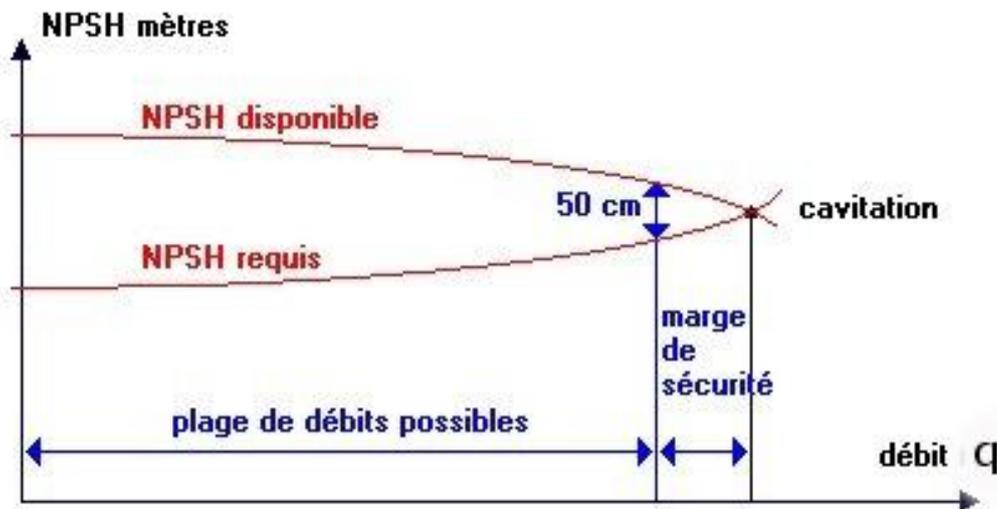


Figure-II-12-Variation du NPSH requis et NPSH disponible avec le débit circulé

## II-17-cavitation des pompes :

### II-17-1-Définition de cavitation :

Cavitation est un terme employé pour décrire le phénomène qui se produit dans une pompe quand le NPSH est insuffisamment disponible.

La cavitation se produit quand la pression absolue du liquide s'abaisse au-dessous de sa pression de vapeur saturante. La pression de vapeur saturante est à la fonction de la nature du fluide et de sa température.

Ce phénomène se manifeste par la formation, au sein de l'écoulement, de bulles, poches, tourbillons ou torches de vapeur. Dans les pompes, ces structures de vapeur apparaissent dans les zones de faible pression à l'entrée des aubes de roue et sont transportées dans les zones à plus haute pression. Sous l'action du gradient de pression, elles implosent dès que la pression locale dans l'écoulement redevient supérieure à la pression de vapeur. Ces

---

implosions produisent des micros jets et des surpressions (onde de choc) qui peuvent atteindre plusieurs centaines.

### II-17-2-Conséquences de la cavitation :

Les effets de la cavitation se manifestent par :

**a)-Érosion de cavitation :** les implosions répétées des poches de cavitation, qui se produisent près des parois métalliques, altèrent progressivement la structure cristalline dans le cas des alliages métalliques ou les matériaux d'autres natures (plastiques) et peuvent détruire très rapidement les aubes de la roue : c'est le phénomène d'érosion par cavitation.

**b)-Bruit de cavitation :** La première manifestation d'une pompe qui cavité est le bruit, qui révèle la présence de microbulles dans l'écoulement.

**c)-Pertes de performances :** Pour des poches de vapeur encore plus développées, les pompes subissent des chutes de leurs performances (hauteur totale d'élévation, rendement, puissance).

**d)-Vibrations :** Lorsque les poches de vapeur à l'entrée de la pompe atteignent une dimension importante vis-à-vis de la taille de la pompe, du niveau de pression ou du (NPSH) à l'entrée de la roue, une augmentation du niveau vibratoire due à la cavitation peut se rencontrer



Figure-II-13-Dégâts de la cavitation

---

**II-17-3-Comment éviter la cavitation :**

On peut dresser une liste de conseils à respecter, si le procédé le permet, pour éviter la cavitation:

- \_ Préférer si possible les montages de pompes en charge.
- \_ Évité de transporter des liquides à des températures trop élevées.
- \_ Eviter une alimentation à partir d'un réservoir sous pression réduite.
- \_ Diminuer les pertes de charge du circuit d'aspiration.

Si ces conseils ne peuvent être appliqués en raison des exigences du procédé, il ne reste plus qu'à trouver une pompe dont les caractéristiques montrent des valeurs de NPSH requis suffisamment faibles.

**II-18-Poussée axiale et Poussée radiale :****II-18-1-Poussée axiale :**

Tout corps baignant dans un fluide est soumis aux forces créées par la pression de ce fluide.

Les forces qui résultent de l'action des pressions sur les flasques avant et arrière de section différente d'une roue donnent naissance à une poussée axiale généralement dirigée vers l'aspiration.

**II-18-2-Méthode d'équilibrage de la poussée axiale :**

- Utilisation d'impulseur à double aspiration.
- Installation en oppose dans les pompes multicellulaires.
- Perçage d'orifices sur le flasque arrière de l'impulseur.
- Utilisation d'un tuyau de décharge reliant le refoulement à l'aspiration.
- Utilisation de nervures sur le flasque arrière.
- Installation d'un disque d'équilibrage sur le même arbre.

**II-18-3-Poussée radiale :**

Cette poussée, perpendiculaire à l'axe, résulte d'une mauvaise répartition de la pression autour de la roue dans les pompes à volute. La poussée radiale conserve une direction fixe, change de sens autour du débit nominal, en s'annulant pour ce dernier. Elle entraîne un fléchissement de l'arbre et le soumet à une flexion rotative.

**II-19-Avantages et inconvénients de la pompe centrifuge :****II-19-1-Avantages :**

- Des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuse.
- A caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques.
- Leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques ».
- Elles sont adaptées à une très large gamme de liquides.
- Leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux.

**II-19-2-Inconvénients :**

- Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux.
- Production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bars).
- Elles ne sont pas auto-amorçantes.

## III-Description de la pompe P4155

### III-1-Explication un modèle :

Selon les normes, notre pompe est de type CEHA6106/5AAA1A0 ou :

Caractéristique	Code	Définition
<b>Type</b>	CEH	Pompe à canal latéral, multicellulaire, autoamorçante, à bas NPSH
<b>Construction</b>	A	Premier stade de fabrication
<b>Calibres</b>	6106	Calibre et nombre d'étages
	/5	Pour GPL
<b>Etanchéité d'arbre</b>	AAA	Garniture mécanique
<b>Matière</b>	1A	Corps en font GGG, roues en laiton
<b>Etanchéité de corps</b>	0	Etanchéité par tirant

**Tableau-III-1-Explication du modèle**

Au sien de l'unité GPL la pompe est appelée P4155.

\*La base de conception de l'unité du GPL est des procédés du remplissage et du déboîtage des citernes et des réservoirs.

\*Les gaz résiduels principalement du propane et butane fournis par la zone de stockage terminal-départ, est pompé à 10bars et achemine vers les sphères.

### III-2-La situation géographique de la pompe P4155 :

La pompe P4155 existe au niveau de centre du GPL, elle se situe au-dessous de la sphère. Cette pompe centrifuge entraînée par un moteur électrique asynchrone, placé horizontalement et aspiré en charge  $\Delta Z$  négatif, leur partie inférieure est fixée sur une base en béton. Les conduites d'aspiration et de refoulement se situent au-dessus de la fondation de base.

### III-3-Rôle de la pompe P4155 dans l'unité de GPL :

C'est une pompe de transfert du butane C<sub>4</sub>. Elle aspire du **butane liquéfié** à partir d'un réservoir sphérique **BU03** et le refoule vers le paletisseuse (zone de remplissage des bouteilles du butane) à pression de refoulement égale 40bar.

### III-4-Description de la pompe P4155 :

La pompe P4155 est une pompe centrifuge horizontale multicellulaire à corps segmentés, qui répondent aux spécifications techniques, cette pompe à canal latéral auto-amorçantes fonctionné silencieusement et permet le pompage simultané de gaz et de liquide.

Elle est comporte de 5 étages à canal latéral et un étage centrifuge pour rétention, elle fabrique par le constructeur **sterling sihi**. Utilisées pour le pompage de liquides propres dans des conditions de pompage difficiles. Leur utilisation est également conseillée lorsque le NPSH disponible est inférieur à 0.85m.



**Figure-III-1-Partie hydraulique de la pompe**

Cette pompe dont des caractéristiques principales se trouvent dans le tableau2.

<b>Débit</b>	<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Vitesse de rotation</b>	1450 tr/min
<b>Hauteur de refoulement</b>	60m
<b>Température</b>	-20 <sup>0</sup> C
<b>Pression nominale</b>	40bar
<b>Etanchéité d'arbre</b>	Garniture mécanique simple
<b>Sens de rotation</b>	Anti-horaire, vu de la cote de refoulement
<b>Poids (moteur et pompe)</b>	525Kg

**Tableau-III-2-Les caractéristiques principales de la pompe centrifuge P4155**

Les composants hydrauliques utilisés proviennent de notre système modulaire à canal latéral (interchangeabilité des pièces), elle est équipée d'une roue centrifuge placée en amont à canal latéral (les étages sont connectés en série) de manière à obtenir un faible NPSH.

L'arbre ne possède qu'une seule garniture d'étanchéité, située côté entraînement. Cette étanchéité est réalisée par garniture mécanique simple. L'arbre de la pompe est supporté, côté entraînement, par un roulement à billes à contact oblique à un rangé, côté libre lubrifié à huile et côté aspiration par un coussinet lubrifié par le liquide pompé, L'étanchéité entre corps est assurée par joints toriques. L'assemblage des corps est réalisé par l'intermédiaire de tirants externes. La patte de la pompe est montée sur le flasque de refoulement.

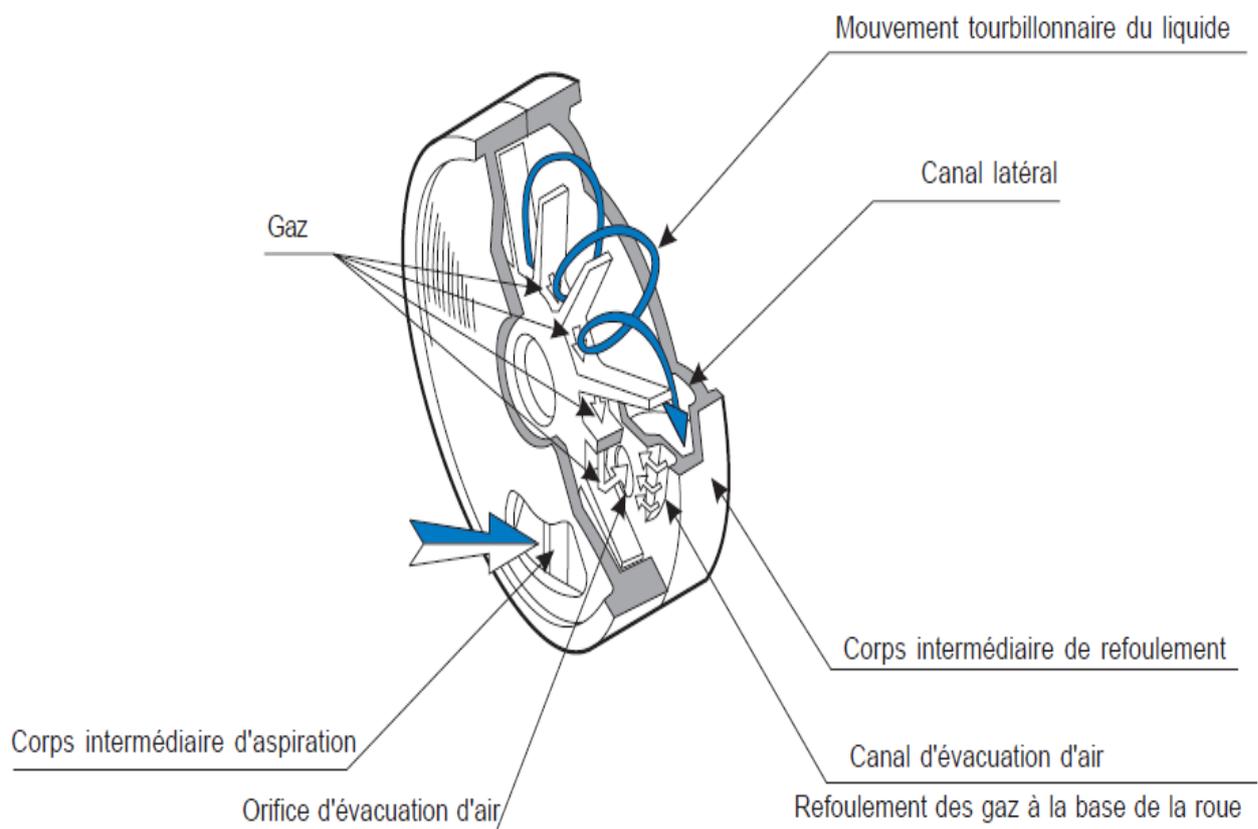
### **III-5-Principe de fonctionnement de la pompe P4155 :**

La pompe P4155 est un système de pompe à canal latéral combinée. Elle est équipée d'une roue centrifuge placée en amont et des étages à canal latéral (les étages sont connectés en série) de manière à obtenir un faible NPSH.

Cet étage centrifuge génère suffisamment de pression pour compenser les pertes de charge engendrées par le premier étage à canal latéral et permet de diminuer le NPSH requis.

Un étage à canal latéral est constitué par :

- un corps intermédiaire d'aspiration avec la lumière d'aspiration ;
- un corps intermédiaire de refoulement avec le canal latéral, ce corps contient un canal d'évacuation d'air situé à l'extrémité du canal latéral, la lumière de refoulement et un orifice d'évacuation d'air ;
- une roue ouverte à ailettes située entre les deux corps intermédiaires.



**Figure-III-2-Représentation le type d'écoulement du liquide**

La pression est générée par un effet tourbillonnaire dans le canal latéral. La rotation de la roue ouverte à ailettes engendre une dépression au début du canal latéral permettant l'aspiration du gaz ou du liquide mélangé à du gaz. Le canal de déplacement de l'air provoque un effet de piston liquide. Le gaz véhiculé à la base des ailettes est alors rejeté par l'orifice d'évacuation d'air. En cas d'absence du gaz, le liquide passe par cet orifice et aussi par le canal de déplacement.

Une pompe à canal latéral peut chasser l'air de la conduite d'aspiration et elle est donc particulièrement recommandée pour le pompage d'un réservoir en dessus de la pompe (en charge). Une pompe à canal latéral peut pomper de grande quantité de gaz par entraînement, et les mélanges liquide-gaz sont donc possibles. La capacité autoamorçante et la possibilité de pomper une grande quantité de gaz garantissent un pompage continu même dans les cas où il y a évaporation du liquide, ce qui assure une sécurité accrue dans le processus industriel.

Afin d'éviter la cavitation, la hauteur comprise entre le niveau du liquide et l'entrée de la pompe à l'aspiration est limitée. Cette hauteur est liée aux NPSH ou Net Positive Suction Head. En raison de leur conception très particulière, notre pompe ayant un NPSH très faible. L'entrée axiale combinée avec un diamètre élevé permet d'atténuer les perturbations de l'écoulement et de diminuer les pertes par frottement. Ajoutée au faible NPSH dû à la roue centrifuge, la pompe peut accepter un NPSH disponible inférieur à 0,85 m.

La pompe P4155 est donc particulièrement recommandée pour le pompage des liquides proches de leur température d'ébullition pour un coût acceptable. Le faible NPSH garantit également un rendement optimal avec l'absence de cavitation.

#### **Base NPSH de la pompe :**

Les pompes centrifuges de série CEH ayant un NPSH très faible, mais sont sujettes au désamorçage si le liquide pompé contient des bulles de gaz, ces pompes ont exactement les propriétés inverses ils utilisant donc un impulseur centrifuge classique en amont et des roues à ailettes dont des propriétés de résistance à la cavitation et résistance au désamorçage.

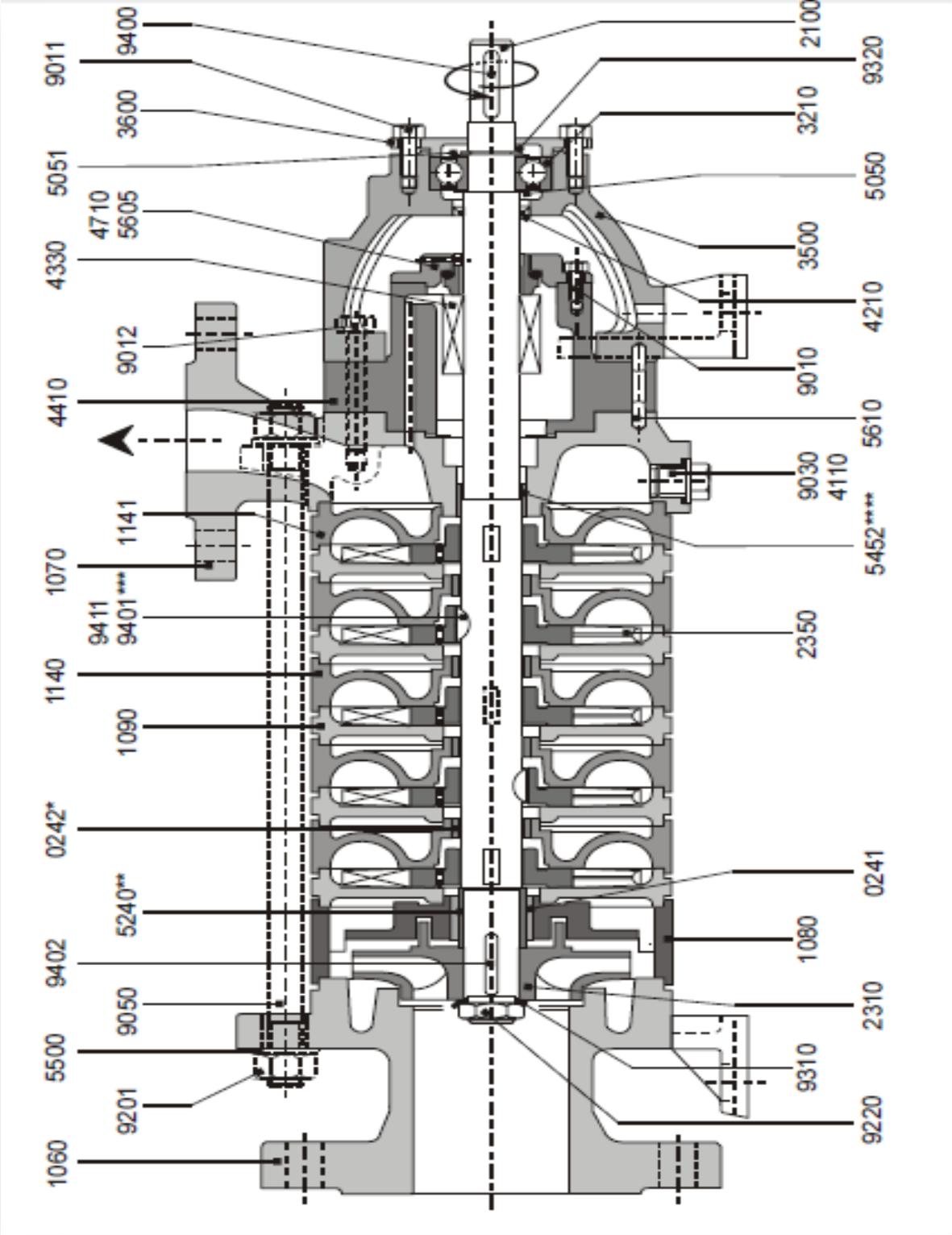


Figure-III-3-Plan coupe de la pompe P4155

<b>0241</b>	Coussinet du corps centrifuge
<b>0242</b>	Coussinet de corps de refoulement
<b>1060</b>	Flasque d'aspiration
<b>1070</b>	Flasque de refoulement
<b>1080</b>	Corps centrifuge de précompression
<b>1090</b>	Corps intermédiaire d'aspiration
<b>1140</b>	Corps intermédiaire de refoulement
<b>1141</b>	Corps intermédiaire de refoulement (dernier corps avant flasque de refoulement)
<b>2100</b>	Arbre
<b>2310</b>	Roue centrifuge de précompression
<b>2350</b>	Roue à ailettes d'étages à canal latéral
<b>3210</b>	Roulement à billes
<b>3500</b>	Patte arcade
<b>3600</b>	Couvercle de roulement ouvert
<b>4210</b>	Bague d'étanchéité du roulement à billes
<b>4212</b>	Joint d'étanchéité
<b>4330</b>	Garniture mécanique
<b>4410</b>	Boîtier de garniture mécanique
<b>4710</b>	Couvercle porte-grain
<b>5050</b>	Entretoise
<b>5051</b>	Entretoise
<b>5240</b>	Chemise d'arbre
<b>5500</b>	Rondelle plate (tirant d'assemblage)
<b>5605</b>	Pion d'arrêt
<b>9010</b>	Vis H (fixation du porte-grain)
<b>9011</b>	Vis H (fixation couvercle de roulement)
<b>9012</b>	Vis H (assemblage flasque refoulement/boîtier de garniture/patte arcade)
<b>9030</b>	Bouchon (orifice de vidange flasque de refoulement)
<b>9050</b>	Tirants d'assemblage
<b>9201</b>	Ecrou H (tirant d'assemblage)
<b>9220</b>	Ecrou H (arbre, pas à gauche)
<b>9310</b>	Frein d'écrou d'arbre

<b>9320</b>	Circlips (roulement)
<b>9400</b>	Clavette plate (entraînement moteur)
<b>9401</b>	Clavette plate (entraînement roue à ailettes)
<b>9512</b>	Rondelle élastique (pompe équipée du boîtier de refroidissement)

**Tableau-III-3-Montre la liste des pièces**

### III-6-La différence entre la pompe P4155 et les pompes centrifuges ordinaires :

Les principales différences sont les suivantes :

<b>P4155</b>	<b>Pompe centrifuge simple</b>
Pompage les mélanges bi-phasiques et des liquides	Pompage des liquides.
L'entrée et la sortie dans l'étage sont axiales	L'entrée et la sortie dans l'étage sont axial-radial
Faible NSPH <sub>r</sub>	NSPH <sub>r</sub> correspondant
Nombre des pièces sont petites	Nombre des pièces sont grandes
Passage du liquide de l'étage vers l'étage suivant est indirect (par capacité intermédiaire)	Le passage de liquide de l'étage vers une autre est direct
La poussée axiale est très faible	La poussée axiale est grande
Débit de refoulement est limité (35 m <sup>3</sup> /h).	Débit maximal plus grand
La courbe caractéristique ( $\eta$ -Q) descend	La courbe caractéristique ( $\eta$ -Q) descend après le point de fonctionnement.

**Tableau-III-4-Montre la différence entre la pompe p4155 et les pompes centrifuges ordinaires**

### III-7-Les avantages de la pompe :

- Elle permet de réaliser à N donné, de très fortes hauteurs par étage, et de faibles débits, ou inversement à Q, H donnés des vitesses de rotation modérées.

- Elle est autoamorçante à faible  $NPSH_r$  0.85m.
- Elles sont capables d'assurer le pompage stable des mélanges diphasiques dans des bonnes conditions.
- Elles sont capables de fonctionner à petit débit, sans vibrations, à condition de disposer d'une puissance d'entraînement suffisante. La forte pente de la courbe caractéristique, toujours descendante et sans discontinuité, autorise une régulation précise du débit ou de la pression.
- Elles supportent une poussée axiale très petite. Associées à une roue centrifuge, elles permettent d'obtenir, grâce à leur faible vitesse de rotation de très bonnes caractéristiques d'aspiration.

### III-8-Principaux composants de la pompe p4155 :

#### III-8-1-Corps du p4155 :

Le corps d'une pompe c'est l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator. Pour notre pompe le corps sous forme cylindrique a été moulé en plusieurs pièces en fonte dont épaisseur remarquable. Il est constitué principalement de la d'un Corps intermédiaire d'aspiration et de refoulement. Ce dernier contient un canal latéral du liquide et une rainure et aussi un orifice pour évacuer l'air. Leur assemblage est réalisé par des tirants et leur étanchéité par joints toriques.



Corps intermédiaire d'aspiration



Corps intermédiaire de refoulement

(Face externe)

Figure-III-4-Schéma des corps intermédiaires d'aspiration et de refoulement

### **III-8-2-Flasques d'aspiration et de refoulement :**

Les flasques d'aspiration et de refoulement des liquides sont des parties de la pompe, ces flasques de type axial-radial dont huit trous à l'aspiration et quatre trous au refoulement, ils permettent de relier la pompe avec les tuyauteries d'aspiration et de refoulement à l'aide des goujons et écrous, joint d'étanchéité, peuvent soumis à grands forces et moments à cause de ses épaisseurs et sa matière de fabrication (fonte).

Les diamètres des flasques d'aspiration et de refoulement sont respectivement 185mm et 140mm.

### **III-8-3-L'arbre :**

Il est installé horizontalement, et constitué des parties à diamètre différent où sont montées les roues et les chemises d'arbre, il est fabriqué de l'acier inoxydable qui résister aux différentes sollicitations exercées par certaines pièces. (Impulseur, Joint, paliers...etc.).

### **III-8-4-Les roues :**

La pompe P4155 se compose de six roues, cinq roues de même genre ouvert à ailettes et la sixième de type fermé avec aspiration axiale unique. Cette pompe n'est pas liée à un seul modèle d'impulseur, mais le type meilleur qui donne un bon rendement c'est le type modulaire. Elles sont freinées sur l'arbre avec un serrage de la tolérance positive pour éviter leur dressage à la haute vitesse de vibration due aux forces centrifuges.

La roue ouverte à ailettes se forme de petit disque et des ailettes, ces derniers ayant une forme droite simple (25 ailettes), à l'inverse de la roue fermée qui forme de l'ensemble (disque, contre disque, 5aubes) ; le contre-disque ajoute au poids du rotor, il est concevable comme une masse soutenue par l'arbre, réduisant ainsi la vitesse critique. En conséquence, on sera obligé de réduire la vitesse de rotation et le rapport de pression réalisable par la roue sera ainsi réduit.

Les roues seront fixées sur l'arbre moyennant des clavettes (clavettes plates pour les roues ouvertes à ailettes et clavettes disque pour les roues fermées). La roue soit montée sur l'arbre à chaud, pour obtenir un ajustage d'interférence, qui améliore le comportement

dynamique du rotor c.à.d. qui réduit les vibrations. Les roues de P4155 sont fabriquées en laiton et le sens de rotation est celui des aiguilles d'une montre vue du côté d'accouplement.



**Roue à ailettes**



**Roue fermé**

**Figure-III-5-Schéma montre les types des roues de la pompe 4155**

### **III-8-5-Accouplement élastique :**

C'est la pièce qui permettant la liaison entre la machine d'entraînement et l'arbre de la pompe, elle permet de transmis le mouvement d'arbre moteur vers arbre-pompe, il formé :

- D'un plateau solidaire de l'arbre moteur ;
- D'un plateau solidaire de l'arbre de la pompe ;
- D'une pièce souple reliant entre ces deux plateaux, pour une protection lors de fonctionnement dans une atmosphère explosible. Peut supporter un moment max=48600 N.m, leur montage avec l'arbre se fera à l'aide d'une clavette plate.



**Figure-III-6-Montre un accouplement élastique**

---

### III-8-6-Palier lisse :

Le rotor est porté à côté d'aspiration (étage de précompression) par un palier lisse à lubrification et refroidissement par butane  $C_4$ , ce palier constitué de coussinet comportant une rainure permettant l'arrivée de lubrifiant. La vitesse tangentielle de l'arbre par rapport au palier soit suffisante. En permanence, un film de liquide sépare les deux surfaces respectivement. L'usure est alors pratiquement nulle et les frottements fortement réduits.

Le coussinet en carbone antimoine est utilisé uniquement pour une conception haute température. Cette conception haute température inclut également un presse-étoupe refroidi ou une garniture mécanique refroidie avec rondelles Belleville.



**Figure-III-7-Schéma d'un Palier lisse**

### III-8-7-Palier avec roulement à billes :

Le rotor supporté à côté d'accouplement par 'palier roulement à billes' avec refroidissement par liquide pompé, se fait éloigner de roulement par refroidissement de patte arcade et de conception telle qu'aucune déformation par différence de dilatation thermique.

Ce palier se forme d'un roulement à billes de type 625 monté sur les circlip avec entretoise des deux cote, et ainsi de bague d'étanchéité, il lubrifie par huile à vie jusqu'à prochain changement du roulement s'il y a une usure. Ce palier est protégé par un couvercle du roulement ouvert et patte arcade.

### **III-9-L'équilibrage de la pompe P4155 :**

La pompe P4155 équilibré grâce à la roue à ailettes, les pressions qui agissant sur les surfaces des roues et de l'arbre dans la direction axiale est minimale à cause de la présence des ailettes qui minimise le contact entre liquides et la surface latéral de l'impulseur, ce type des roues peut absorber l'énergie cinétique facilement et éliminé les forces axiales agissant sur les roues à l'intérieur de la pompe.

### **III-10-Refroidissement de la pompe P4155 :**

La réfrigération de garniture mécanique est effectuée par refroidissement de l'ensemble de la garniture par circulation de liquide pompé (butane C<sub>4</sub>) dans la chambre de réfrigération du corps de garniture et entre les surfaces de contact des grains ;

La pression de refoulement permet de circulation le liquide du refoulement vers la garniture mécanique à travers d'un trou dans la boîte garniture pour refroidie les surfaces de contact des grains fixe et tournant (à cause d'échauffement provoque par le frottement des faces). Le butane passe de l'intérieur de garniture vers dernier étage de la pompe ;

Le produit pompé est filtré pour éviter le risque de contenir des particules solides amenant une destruction de la garniture.

Pour les paliers, le refroidissement est assuré par le liquide pompé soit les paliers lisses ou les paliers à roulement, ce fluide (butane C<sub>4</sub>) ayant une température -40<sup>0</sup>C à la pression de service.

### **III-11-Garniture mécanique de la pompe P4155 :**

La garniture mécanique c'est un système d'étanchéité dynamique, cette étanchéité est réalisée par contact entre le grain fixe et grain mobile solidaire de l'arbre, pendant le fonctionnement de la pompe la liquide sous-pression est arrêté par la surface de contact entre les deux pièces, ces derniers doivent être dans un bon état de surface pour éliminer les fuites ;

Cette garniture constituée essentiellement de deux pièces :

- **grain fixe** : qui est appui contre le chapeau de la garniture par l'intermédiaire d'un joint statique d'étanchéité (joint de grain), Ce grain en carbone, il est immobilisé en rotation par un ergot.
- **Grain mobile** : qui est entraînée en rotation par un ressort solidaire de l'arbre. La force exercée par le ressort permet de maintenir une pression sur la surface de contact entre les deux pièces avec un joint torique a pour but d'éviter toute fuite le long de l'arbre.

Le montage des deux pièces principales sur des joints toriques elle besoin d'une souplesse suffisante pour s'auto-aligner en fonctionnement, et leur contact entre eux doivent être lubrifié par un film de liquide. Ce film est renouvelé très lentement. Ce qui correspond à un débit de fuite très faible de l'ordre de quelques  $\text{cm}^3/\text{jour}$  par exemple. La vaporisation de ce film conduit à la destruction immédiate de la garniture pour éviter ce risque l'évacuation de la quantité de chaleur dégagée par le frottement il faut assurer le refroidissement de garniture par la circulation de liquide pompé à l'intérieur de boîte de garniture.



**Figure-III-8-Montre une garniture mécanique simple**

### III-12-Les courbes caractéristiques de la pompe P4155 :

Les pompes centrifuges en général sont faites pour fonctionner sous une gamme de conditions comme le débit de refoulement, vitesse de rotation, rendement. Il est essentiel qu'on sache le comportement de la pompe sous différentes conditions. Les courbes caractéristiques les plus importantes sont celles en fonction du débit.

#### III-12-1-Courbe caractéristique NPSH-Q :

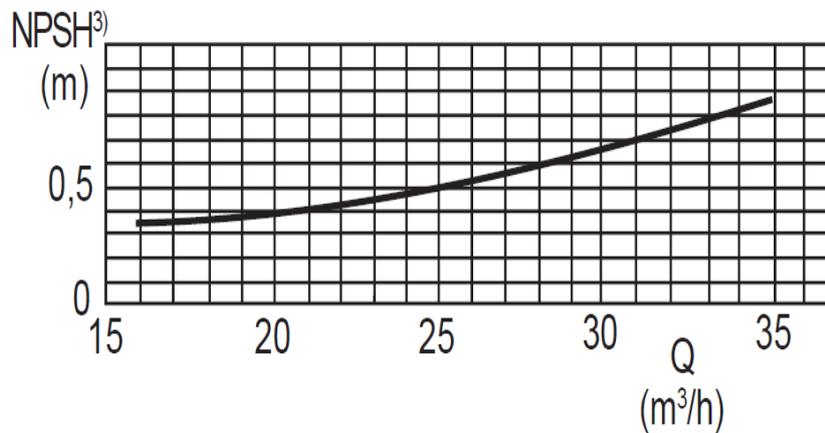


Figure-III-9-courbes caractéristique NPSH-Q

#### III-12-2-Courbe caractéristique H-Q :

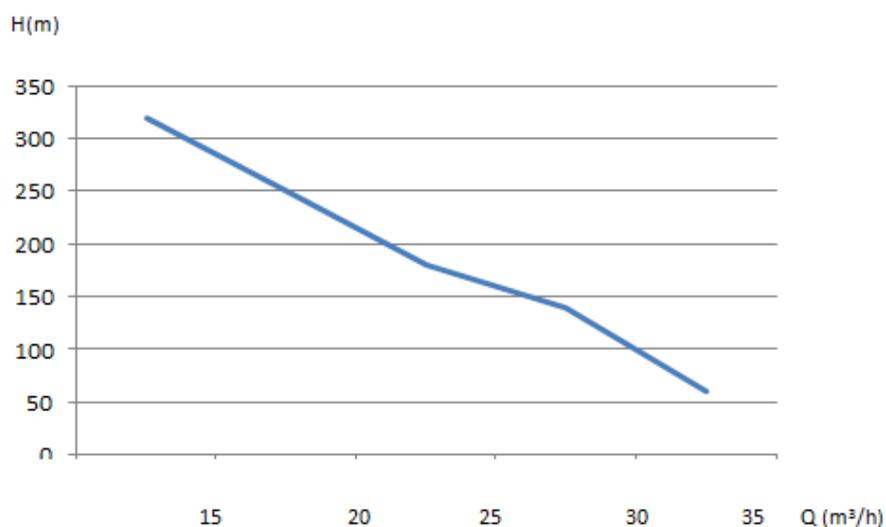


Figure-III-10-courbes caractéristique H-Q

### III-12-3-Courbe caractéristique P-Q :

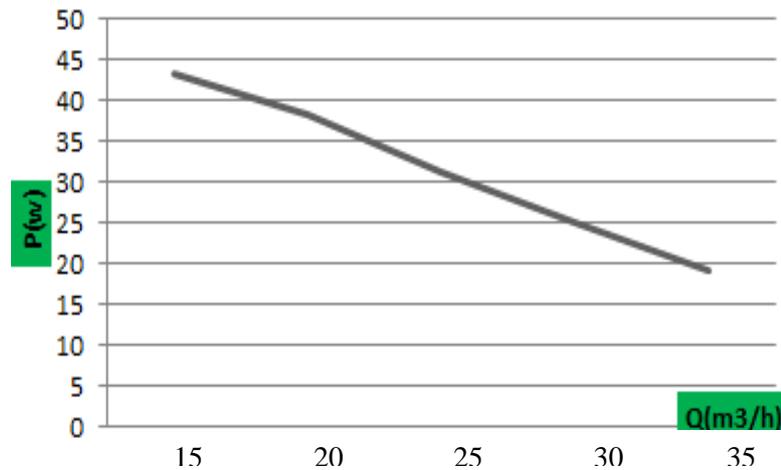


Figure-III-11-courbes caractéristique de la pompe 4155

### III-13-Autres accessoires:

#### a)-Contrôleur de puissance :

Un contrôleur de puissance mesure la puissance absorbée par le moteur, si cette puissance est trop élevée, le moteur est arrêté.

#### b)-Thermomètre :

La sonde T100 est un thermomètre à résistance destinée au contrôle de température des paliers ou liquide pompé. Pour son montage, un raccord fileté est indispensable.

#### c)-Contrôleur du niveau :

On utilise un contrôleur de niveau pour protéger la pompe d'un manque éventuel de liquide en cours de fonctionnement, il permet de suivre le niveau de liquide au niveau de conduite d'aspiration.

#### d)-Filtre :

Le gaz liquéfié pouvant dégager des oxydes, le filtre permet d'empêcher la pénétration des oxydes dans la pompe. Il est nettoyé à intervalle régulier.

**e)-Manomètre :**

Le contrôle de pression se fera au moyen des manomètres installés sur la conduite d'aspiration et de refoulement de la pompe.

**III-14-La machine d'entraînement de pompe P4155 :**

La pompe P4155 est entraînée par un moteur électrique de série INERIS 01 ATEX 0001X antidéflagrant (peuvent être travaillés dans une atmosphère explosive sans risque d'explosion) dont les caractéristiques se trouvent dans le tableau suivant :

<b>Puissance</b>	<b>19KW</b>
<b>Fréquence</b>	<b>50HZ</b>
<b>Cosφ</b>	<b>0.84</b>
<b>Poids</b>	<b>150 kg</b>

**Tableau-III-5-Montre les caractéristiques de moteur électrique**

**1<sup>ère</sup> partie : calcul hydraulique de la pompe P4155 :****But de calcul :**

Le calcul hydraulique de la pompe centrifuge est effectué pour une approche afin de calculé les paramètres hydraulique de la pompe, le calcul consiste a déterminé les dimensions principales de l'impulseur, les rendements.

**Tableau-6- paramètres de la pompe P4155 :**

Paramètres	Désignation	valeurs	Unités
Débit	Q	0.00972	m <sup>3</sup> /s
Vitesse de rotation	N	1450	tr/min
Hauteur d'élévation	H	60	m
Température du butane	T	- 20	C°
Pression de refoulement	P <sub>r</sub>	40	bars
Masse volumique du butane à -20C°	P	622	kg/m <sup>3</sup>
Puissance du moteur	P <sub>m</sub>	19	KW

**Calcul d'un impulseur :****1-Détermination des paramètres principaux :****1-1-Vitesse spécifique :**

La vitesse spécifique c'est la vitesse à laquelle tournait une pompe géométriquement semblable, calcule pour refouler un débit à une hauteur de un mètre nous déterminons cette

vitesse d'après la formule suivant :

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{\left(\frac{H}{i}\right)^{3/4}}$$

La hauteur d'un impulseur :

$$H_i = H/i = 60 / 6 = 10\text{m}$$

$$H_i = 10\text{m}$$

$$N_s = 3,65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{0.00972} / (10)^{0.75}$$

$$N_s = 92.79\text{tr/min}$$

**1-2-- Diamètre de l'arrête d'entrée Dr :**

Pour le cas de notre pompe le coefficient du calcul est :  $K_0 = 4$

On détermine la valeur de diamètre réduit Dr à partir de la formule suivante :

$$\begin{aligned} Dr &= K_0 \cdot 10^3 (Q/n)^{1/3} \\ &= 4 \cdot 10^3 (0,00972/1450)^{1/3} \end{aligned}$$

<b>Dr = 75.42 mm</b>
----------------------

**1-3-Rendement :****1-3-1- Rendement hydraulique :**

Il caractérise les pertes de charge dans la pompe par frottement sur les parois de la roue, et dans la tubulure d'entrée.

Le rendement hydraulique des pompes centrifuges à vitesse spécifique faible ou moyenne peut être, en première approximation calculée à la moyenne de la formule empirique:

$$\eta_h = 1 - \frac{0,42}{[\log(D_{r1}) - 0,172]^2} = 1 - \frac{0,42}{(\log 75,42 - 0,172)^2} = 0,85$$

<b><math>\eta_h = 0,85 = 85\%</math></b>
--

Donc 15% de la hauteur de la charge théorique de la pompe est disparue par frottement de liquide durant son passage de l'aspiration jusqu'à le refoulement.

**1-3-2- Rendement volumétrique :**

Il caractérise les pertes du débit à l'intérieur de la pompe. Il est donné par la formule :

$$\eta_v = \frac{1}{1 + 0,68(N_s)^{-2/3}} = \frac{1}{1 + 0,68(92,79)^{-2/3}} = 0.967$$

**1-3-3- Rendement mécanique :**

Il caractérise les pertes de puissance dues aux frottements mécaniques dans les garnitures mécaniques ; dans les paliers, et le frottement qui se produit entre les surfaces externes du rotor et le liquide.

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \frac{820}{N_s^2}} = \frac{1}{1 + \frac{820}{92,79^2}} = 0,913$$

$$\eta_m = 0,913 = 91,3\%$$

**1-3-4- Rendement global :**

$$\eta_g = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m = 0,85 \cdot 0,967 \cdot 0,913 = 0,75$$

$$\eta_g = 75\%$$

**1-4- Puissance consommée par la pompe :**

C'est la somme de la puissance utile et les pertes de puissance.

$$P_{ab} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_v \cdot H}{\eta_g} = \frac{622 \cdot 9,81 \cdot 60 \cdot 0,00972}{0,75}$$

$$P_{ab} = 4.74 \text{ Kw}$$

**1-5- Puissance du moteur d'entraînement  $P_m$  :**

$$P_m = K \cdot P_{ab}$$

**K** : Coefficient de réserve, pour assurer un entraînement sans risque.

On prend : **K= 1,15**

D'où  $p_m = 1,15 \cdot 4,74 = 5,45 \text{ kW}$

$$P_m = 5.45 \text{ KW}$$

La puissance du moteur est celle qui doit fournir le moteur pour que la pompe fonctionne et développe une puissance suffisante pour rejeter le liquide à une condition que  $P_m > p_{ab}$ .

## 2- Calcul des diamètres de l'arbre et du moyeu :

### 2-1- Diamètre de l'arbre :

L'arbre de la pompe en fonctionnement est soumis à l'action de toute une série de forces extérieures dont la principale qui permet de dimensionner cet arbre est due au couple de torsion. Le couple de torsion agissant sur l'arbre à section circulaire est donné par la formule suivante :

$$M_t = [\tau] \cdot W_t$$

Avec :

$[\tau]$  : la contrainte limite de résistance à la torsion.

$W_t$  : le module de résistance à la torsion de la section.

$M_t$  : étant le couple de torsion

$$W_t = \frac{\pi \cdot d_a^3}{16}$$

Et

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 1450}{30} = 151,8 \text{ rd/s}$$

$$M_t = \frac{P_m}{\omega} = \frac{5,45 \cdot 1000}{151,8} = 35,9 \text{ N.m}$$

Nous aurons :

$$d_a = \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi[\tau]}}$$

La nuance de l'acier de l'arbre est X20Cr13 qui nous donne d'après la norme (ISO) sa limite d'élasticité  $R_e = 600 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  ; et sa limite à la rupture  $R = 750 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

$[\tau] = R_e / n$        $n$  : étant le coefficient de sécurité (en prend  $n = 4$ )

$$\tau = \frac{600 \cdot 10^6}{4} = 150 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$d_a = \sqrt[3]{\frac{16.35,9}{150 \cdot 10^6}} = 0,01564m$$

$$\boxed{d_a = 15,64mm}$$

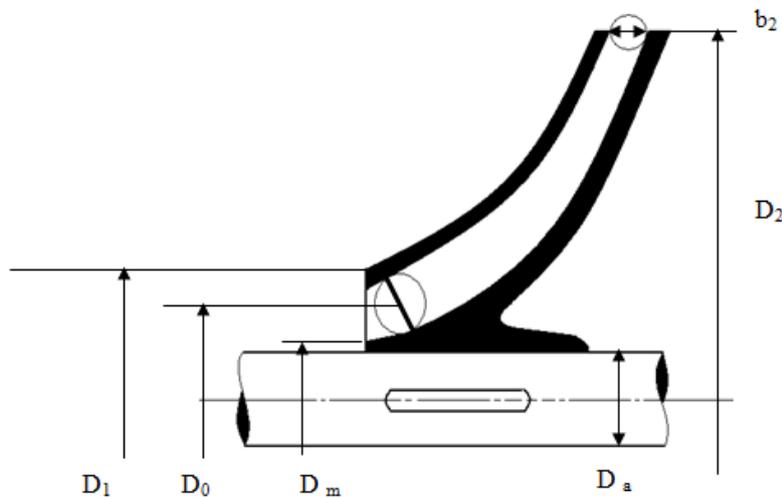
Le diamètre réel de l'arbre au manchon d'accouplement est de 50 mm donc notre arbre est vérifié à la torsion. Cette différence résulte du fait qu'on a pris en considérations que l'effort de torsion par contre l'arbre est soumis à d'autres forces qui influent sur le calcul de son diamètre réel.

### 2-2- Diamètre de moyeu de la roue :

La forme du moyeu dépend principalement du mode d'accouplement de la roue avec l'arbre on admet généralement dans le cas d'un clavetage libre.

$$d_m = (1,2 \div 1,25) d_a \quad \text{d'où : } d_m = 1,25 \cdot 15,64 = 19,55 \text{ mm}$$

### 3- Détermination des paramètres du rotor à l'entrée :



#### 3-1- Débit de circulation dans la pompe :

$$Q_c = \frac{Q_v}{\eta_v} = \frac{0,00972}{0,967} = 0,01m^3 / s$$

$$D_1 = \sqrt{\left[ \frac{4Q_c}{\pi V_0} + d_m^2 \right]}$$

$V_0$  : vitesse absolue à l'entrée

$$V_0 = (0,06 \div 0,08) \cdot \sqrt[3]{(Q_c \cdot n^2)} = (0,06 \div 0,08) \sqrt[3]{0,01 \cdot 1450^2}$$

$$V_0 = (0,06 \div 0,08) \cdot 27,6$$

$$V_0 = 1,65 \div 2,2 \text{ m/s}$$

$$D_1' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot 1,65} + (0,01913)^2} = 0,09 \text{ m}$$

$$D_1'' = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot 2,2} + 0,01955^2\right)} = 0,078 \text{ m}$$

Le diamètre moyen sera :  $D_1 = \frac{D_1' + D_1''}{2} = \frac{0,09 + 0,078}{2} = 0,084 \text{ m}$

$$\mathbf{D_1 = 84 \text{ mm}}$$

D'où la vitesse absolue à l'entrée de la roue :

$$V_0 = \frac{4Q_c}{\pi(D_1^2 - d_m^2)} = \frac{4 \cdot 0,01}{\pi(0,084^2 - 0,01955^2)} = 1,9 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{V_0 = 1,9 \text{ m/s}}$$

### 3-2- Diamètre moyen de l'arbre d'entrée $D_0$ :

$$D_0 = (0,7 \div 0,9) \cdot D_1$$

$$D_0 = 0,7 \cdot 0,084 = 0,0588 \text{ m} = 588 \text{ mm}$$

$$\mathbf{D_0 = 588 \text{ mm}}$$

### 3-3- Calcul de la largeur de la fente à l'entrée de la roue $b_1$ :

Sans tenir compte de l'épaisseur de l'aube :

$$b_1 = \frac{Q_c}{\pi \cdot D_0 \cdot V_{1m}'}$$

$V_{1m}'$  : composante radiale de la vitesse absolue du liquide à l'entrée de la roue le cas où l'entrée est parfaitement radiale :  $\alpha = \pi/2$

Donc :  $V_{1m}' = V_0 = 1,9 \text{ m/s}$

$$b_1 = \frac{0,01}{\pi \cdot 0,0588 \cdot 1,9} = 0,0284m$$

$$\boxed{b_1 = 284mm}$$

### 3-4- Angle de l'aube à l'entrée de la roue $\beta_1$ :

A cause de l'épaisseur des aubes, la section du courant du liquide à l'entrée des aubes diminue, donc la vitesse du liquide augmente, et pour tenir compte de cette augmentation, la vitesse absolue à l'entrée est multipliée par un coefficient  $k_1$  tel que  $k_1 = 1,1 \div 1,5$ .

$k_1$  : coefficient de rétrécissement

$V_{1m}$  : vitesse absolue de liquide à l'entrée de la roue

$$V_{1m} = K_1 \cdot V_0$$

$$V_{1m} = 1,15 \cdot 1,9 = 2,18m/s$$

$$\boxed{V_{1m} = 2,18m/s}$$

D'après le triangle de vitesses nous avons :

$$tg\beta_{1,0} = V_{1m} / U_1$$

$U_1$  : vitesse tangentielle à l'entrée de la roue :

$$U_1 = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{D_0}{2} = \frac{\pi \cdot 1450 \cdot 0,0588}{60} = 4,46m/s$$

$$\boxed{U_1 = 4,46m/s}$$

Donc :  $tg\beta_{1,0} = \frac{V_{1m}}{U_1} = \frac{1,9}{4,4} = 0,446 \Rightarrow \beta_{1,0} = 24^\circ$

L'angle d'aube à l'entrée  $\beta_1$  est  $\beta_1 = \beta_{1,0} + \delta$

$\delta$  : est l'angle d'attaque pour le calcul  $\delta = (3 \div 8)^\circ$

On choisit  $\delta = 3$  donc :  $\boxed{\beta_1 = 27^\circ}$

**4- Détermination des paramètres du rotor à la sortie de la roue :****4-1- Charge théorique en tenant compte du nombre d'aubes :**

$$H_{thZ} = \frac{H/i}{\eta_g} = \frac{60/6}{0,75} = 13,3m$$

**4-2- Vitesse circonférentielle :**

$$U_2 = \sqrt{(2gH_t)} = \sqrt{(2 \cdot 9,81 \cdot 13,3)} = 16,17m/s$$

$$\mathbf{U_2 = 16,17m/s}$$

**4-3- Diamètre de la roue à la sortie D<sub>2</sub> :**

$$U_2 = \frac{\pi \cdot n \cdot D_2}{60} \Rightarrow D_2 = \frac{60U_2}{\pi n} = \frac{60 \cdot 16,17}{\pi \cdot 1450} = 0,213m$$

$$\mathbf{D_2 = 213mm}$$

**4-4- Angle de l'aube à la sortie de la roue β<sub>2</sub> :**

$$\sin \beta_2 = \sin \beta_1 \cdot \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{V'_{2m}}{V'_{1m}}$$

Où V'<sub>2m</sub> : composante méridienne à la sortie

$$V'_{2m} = 0,8 \cdot V'_{1m} = 0,8 \cdot 1,9$$

$$\mathbf{V'_{2m} = 1,52m/s}$$

k<sub>1</sub> = 1,15 k<sub>2</sub> = 1,1

W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub> : vitesses relatives à l'entrée et à la sortie de la roue, pour minimiser les pertes on prend W<sub>1</sub>/W<sub>2</sub> = 1,1

$$\sin \beta_2 = 0,454 \cdot 1,1 \cdot 0,45 \cdot 0,8 = 0,417$$

$$\mathbf{\beta_2 = 24,67^\circ}$$

**4-5- Nombre d'aube :**

$$Z = 6,5 \cdot \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

$$Z = 6,5 \cdot \frac{213 + 84}{213 - 84} \sin \frac{24,67 + 27}{2} = 6,52 \approx 6 \text{ aubes}$$

**4-6- Précision des valeurs calculées :**

$$\mu = \frac{2\psi}{Z} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}$$

$\mu$  : coefficient de correction ;

$$\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,6 \cdot \sin \beta_2 ; \quad \psi = 0,65 + 0,6 \sin 24,67^\circ = 0,9$$

$$\boxed{\psi = 0,9}$$

$$\mu = \frac{2 \cdot 0,9}{6} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{84}{213}\right)^2} = 0,355$$

$$\boxed{\mu = 0,355}$$

Puis on précise la valeur de  $U_2$  :

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left[ \left( \frac{V_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + g H_\infty \right]}$$

$$H_\infty = (1 + \mu) \cdot H_{th} = (1 + 0,355) \cdot 13,3 = 18,02$$

$$V_{2m} = K \cdot V'_{2m} = 1,1 \cdot 1,52 = 1,67 \text{ m/s}$$

$$\boxed{V_{2m} = 1,67 \text{ m/s}}$$

$$U_2 = \frac{1,67}{2 \operatorname{tg} 24,67} + \sqrt{\left[ \left( \frac{1,67}{2 \operatorname{tg} 24,67} \right)^2 + 9,81 \cdot 18,02 \right]}$$

$$\boxed{U_2 = 15,23 \text{ m/s}}$$

$$D_2 = \frac{U_2}{\omega} = 2 \cdot \frac{15,23}{151,8} = 0,20 \text{ m}$$

$$\boxed{D_2 = 200 \text{ mm}}$$

#### 4-7- Largeur de la fente à la sortie de la roue :

$$b_2 = \frac{Q_c}{\pi \cdot D_2 \cdot V'_{2m}} = \frac{0,01}{\pi \cdot 0,200 \cdot 1,52} = 0,0104 \text{ m}$$

$$\boxed{b_2 = 10,4 \text{ mm}}$$

#### 4-8- Vérification des coefficients de rétrécissement du courant $K_1$ et $K_2$ :

$$K_1 = \frac{1}{1 - \frac{Z \cdot e}{\pi \cdot D_1 \cdot \sin \beta_1}}$$

$$K_2 = \frac{1}{1 - \frac{Z \cdot e}{\pi \cdot D_2 \cdot \sin \beta_2}}$$

Z=6 aubes, e : épaisseur de l'aube (e = 3mm)

$$K_1 = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 3}{\pi \cdot 84 \cdot \sin 27^\circ}} = 1,17 \quad ; \quad K_2 = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 3}{\pi \cdot 213 \cdot \sin 24,67^\circ}} = 1,06$$

Les valeurs de  $k_1$  et  $k_2$  calculées sont proches de celles utilisées dans les formules précédemment donc les paramètres calculés sont proches de la réalité.

#### 4-9- Calcul des vitesses relatives à la sortie de la roue :

$$W_1 = K_1 \cdot \frac{V'_{1m}}{\sin \beta_1} = 1,15 \cdot \frac{1,9}{\sin 27^\circ} = 4,81 \text{ m/s}$$

$$\boxed{W_1 = 4,81 \text{ m/s}}$$

$$W_2 = K_2 \cdot \frac{V'_{2m}}{\sin \beta_2} = 1,1 \cdot \frac{1,52}{\sin 24,67^\circ} = 4 \text{ m/s}$$

$$\boxed{W_2 = 4 \text{ m/s}}$$

## 2<sup>ème</sup> partie : Calculs mécaniques

### But de calcul mécanique :

Le calcul mécanique permet de vérifier la résistance de l'arbre aux différentes contraintes (la torsion et la flexion) et à déterminer la flèche maximale durant son fonctionnement.

Les données nécessaires au calcul de l'arbre sont les suivants :

- Les poids des différents étages de l'arbre seront considérés comme étant des charges concentrées.
- Les poids des roues  $P_r$  et d'accouplement  $P_a$  seront pris comme étant des charges concentrées.
- Matière de l'arbre : l'acier inoxydable X20Cr13

Les caractéristiques mécaniques de ce matériau sont :

- Limite d'élasticité  $\sigma_e=600$  Mpa
- Limite à la rupture  $\sigma_r=750$  Mpa
- La masse volumique  $\rho=7850$  kg/m<sup>3</sup>
- La vitesse de rotation  $n= 1450$ tr/min
- La puissance absorbée  $N=17,3$ kw
- Le coefficient de sécurité au niveau de l'arbre  $k=4$

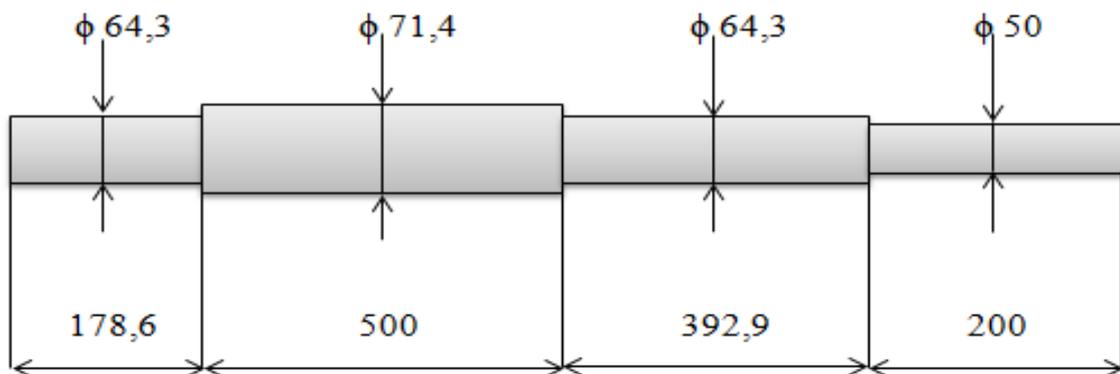


Figure-IV-2-Schématization de l'arbre de la pompe

### IV-1-Vérification à la torsion :

On suppose que l'extrémité de l'arbre soumise uniquement au moment de torsion.

Le diamètre de l'arbre doit vérifier la condition suivantes :

$$\tau_t = M_t / W_p \leq [\tau]_t$$

$M_t$  : le moment de torsion.

$W_p$  : le moment polaire ; pour les sections pleines  $W_p = 0.25D^3$

$[\tau]_t$  : la contrainte de torsion pratique  $[\tau]_t = R_e / K$  tel que :  $R_e$  : la limite élastique.

$K$  : coefficient de sécurité.

$$[\tau]_t = 150.10^6 \text{ N/m}^2$$

( $R_e$  et  $k$  est en fonction des matériaux d'arbre.)

$$\text{Donc : } D \geq \sqrt[3]{M_t / (0.25[\tau]_t)}$$

$$M_t = P / \omega \quad \omega = 2\pi n / 60$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 1450 / 60 = 151,77 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 151,77 \text{ rad/s}$$

$$M_t = 17300 / 151,77 = 113,99 \text{ N.m}$$

$$M_t = 113,99 \text{ N.m}$$

$$D \geq \sqrt[3]{M_t / (0.25[\tau]_t)} = \sqrt[3]{113,99 / (0,25 \times 150.10^6)}$$

$$D \geq 0,01449 \text{ m} \text{ donc } D \geq 14,49 \text{ mm}$$

$$D \geq 14,49 \text{ mm}$$

Les constructeurs sont venir à augmenter la valeur du diamètre calculé de 25% à cause des forces supplémentaires engendrées par un mauvais montage des accouplements, mauvais alignement ou d'un chauffage.

$$D_v = 1,25D$$

$$D_v = 1,25 \times 14,49 = 18,11 \text{ mm}$$

$$D_v = 18,11 \text{ mm}$$

Le diamètre calculé est inférieur a le diamètre réel donc la résistance de l'arbre sous l'effort de la contrainte de torsion est vérifiée.

### IV-2-Vérification à la flexion :

Le schéma représente les efforts agissants sur l'arbre.

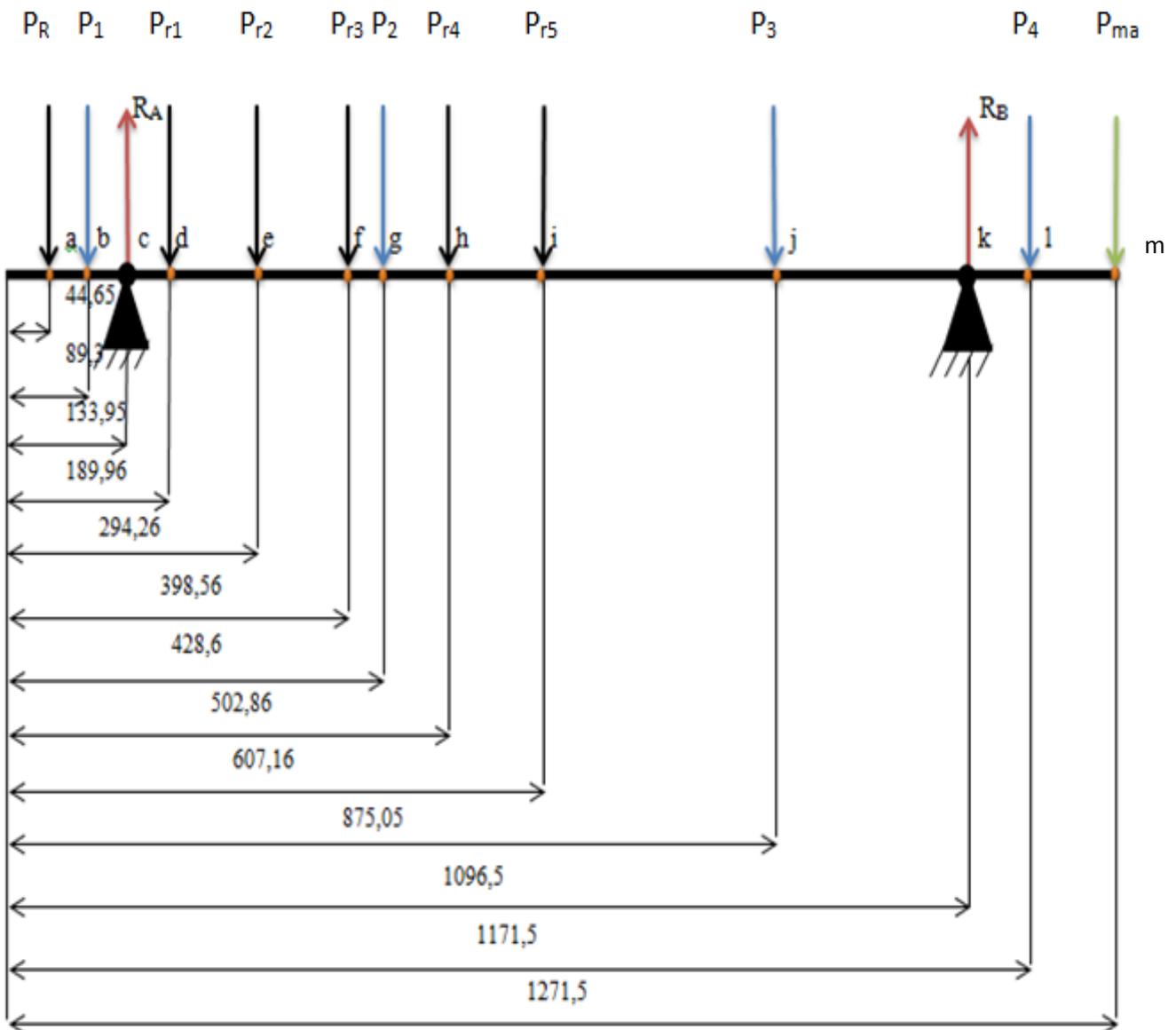


Figure-IV-3-Les effort agissant sur l'arbre

$R_A$  et  $R_B$  : Les réactions des paliers.

$P_{\text{arbre}}$  : Poids total des différentes sections de l'arbre.

$P_{\text{ma}}$  : Poids du manchon d'accouplement.

$P_R$  : Poids de la roue centrifuge.

$P_{r1}$  : Poids de la première roue ouverte à ailettes.

$P_{r2}$  : Poids de la deuxième roue ouverte à ailettes.

$P_{r3}$  : Poids de la troisième roue ouverte à ailettes.

$P_{r4}$  : Poids de la quatrième roue ouverte à ailettes.

$P_{r5}$  : poids de la cinquième roue ouverte à ailettes.

### IV-2-1-Calcul des poids :

#### a) Poids de la roue centrifuge :

$$P_R = \rho \cdot g \cdot v_r / 3 \quad \text{avec} \quad v_r = \pi (d_{\text{ex}}^2 - d_a^2) b / 4$$

$g$  : la pesanteur ;  $\rho$  : la masse volumique ;  $v_r$  : volume de la roue

$d_{\text{ex}}$  : le diamètre extérieur de la roue.

$d_a$  : le diamètre de l'arbre.

$b$  : largeur de la fonte d'entrée de la roue.

$$V_r = 3,14 \times (0,21^2 - 0,0643^2) \times 0,028 / 4 = 8,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P_R = 8400 \times 9,81 \times 8,78 \cdot 10^{-4} / 3 = 24,11 \text{ N}$$

<b><math>P_R = 24,11 \text{ N}</math></b>
---

#### b) Poids des roues ouvertes à ailettes :

On a :  $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m$

Donc :  $P_{r1} = P_{r2} = P_{r3} = P_{r4} = P_{r5} = P = mg$

On a la masse de la roue ouverte à ailettes est :  $m=7,56$  kg

Donc :  $P=7,56 \times 9,81=74,2$ N

$$P=74,2\text{N}$$

### c) Poids du manchon d'accouplement :

La masse du manchon d'accouplement est :  $M=20$ kg

$$P_{ma}=g(M/2)$$

$$P_{ma}=9,81 \times (20/2)=98.1\text{N}$$

$$P_{ma}=98.1\text{N}$$

### d) Poids des différentes sections de l'arbre :

$$\text{On a : } P=gm=g\rho v=g\rho L\pi d^2/4$$

$g$  : la pesanteur

$d$  : le diamètre de la section

$m$  : la masse de la section

$\rho$  : la masse volumique

$v$  : le volume de la section

$L$  : la longueur de la section

#### 1<sup>er</sup> Section :

$$P_1=g\rho L_1\pi d_1^2/4=9,81 \times 7850 \times 0,1786 \times 3,14 \times (0,0643^2)/4=44,64\text{N}$$

$$P_1=44,64\text{N}$$

#### 2<sup>ème</sup> Section :

$$P_2=g\rho L_2\pi d_2^2/4=9,81 \times 7850 \times 0,5 \times 3,14 \times (0,0714^2)/4=154,09\text{N}$$

$$P_2=154,09\text{N}$$

#### 3<sup>ème</sup> Section :

$$P_3=g\rho L_3\pi d_3^2/4=9,81 \times 7850 \times 0,3929 \times 3,14 \times (0,0643^2)/4=98,2\text{N}$$

$$P_3=98,2\text{N}$$

#### 4<sup>ème</sup> Section :

$$P_4=g\rho L_4\pi d_4^2/4=9,81 \times 7850 \times 0,200 \times 3,14 \times (0,05^2)/4=30,23\text{N}$$

$$P_4=30,23\text{N}$$

### IV-2-2-Calcul des réactions $R_A$ et $R_B$ :

On applique la somme des moments aux points A et B

$$\Sigma \vec{M}_{/A} = \vec{0}$$

$$\Sigma \vec{M}_{/B} = \vec{0}$$

$$\Sigma \vec{M}_{/A} = \vec{0} \quad \longleftrightarrow$$

$$-P_R(ac) - P_1(bc) + P_{r1}(cd) + P_{r2}(ce) + P_{r3}(cf) + P_2(cg) + P_{r4}(ch) + P_{r5}(ci) + P_3(cj) -$$

$$R_B(ck) + P_4(cl) + P_{ma}(cm) = 0$$

$$-P_R(133,95-44,65) - P_1(133,95-89,3) + P_{r1}(189,96-133,95) + P_{r2}(294,26-133,95) + P_{r3}(398,56-$$

$$133,95) + P_2(428,6-133,95) + P_{r4}(502,86-133,95) + P_{r5}(607,16-133,95) + P_3(875,05-133,95) -$$

$$R_B(1096,5-133,95) + P_4(1171,5-133,95) + P_{ma}(1271,5-133,95) = 0$$

$$962,55R_B = 355161,54 \quad \longrightarrow \quad \boxed{R_B = 368,98N}$$

$$\Sigma \vec{M}_{/B} = \vec{0} \quad \longleftrightarrow$$

$$-P_R(ak) - P_1(bk) - R_A(ck) - P_{r1}(dk) - P_{r2}(ek) - P_{r3}(fk) - P_2(gk) - P_{r4}(hk) - P_{r5}(ik) - P_3(jk) + P_4(Kl) + P_{ma}(km) = 0$$

$$-P_R(1096,5-44,65) - P_1(1096,5-89,3) - R_A(1096,5-133,95) - P_{r1}(1096,5-189,96) - P_{r2}(1096,5-$$

$$294,26) - P_{r3}(1096,5-398,56) - P_2(1096,5-428,6) - P_{r4}(1096,5-502,86) - P_{r5}(1096,5-607,16) -$$

$$P_3(1096,5-875,05) + P_4(1171,5-1096,5) + P_{ma}(1271,5-1096,5) = 0$$

$$\longrightarrow \quad \boxed{R_A = 451,39N}$$

#### IV-2-3-Vérification les calculs des réactions $R_A$ et $R_B$ :

$$\Sigma \vec{F}_{/y} = \vec{0}$$

Les résultantes des forces appliquées sur l'arbre sont nulles à l'équilibre

$$R_A + R_B = P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_{r4} + P_{r5} + P_R + P_{ma} + P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

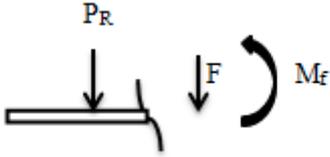
$$R_A + R_B = 368,98 + 451,39 = 820,37N$$

$$P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_{r4} + P_{r5} + P_R + P_{ma} + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = (74,2 \times 5) + 24,11 + 98,1 + 44,64 +$$

$$154,09 + 98,2 + 30,32 = 820,37N$$

### IV-2-4-Calcul les efforts tranchants et les moments fléchissant :

#### 1<sup>er</sup> Tronçon : $44,65 \leq x \leq 89,3$



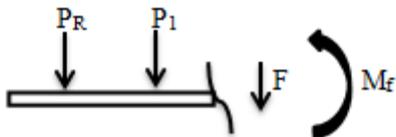
Effort tranchant :  $F = P_R = 24,11 \text{ N}$

Moment fléchissant :  $M_f = -P_R(x - 44,65)$

$X = 44,65 \implies M_f = 0$

$X = 89,3 \implies M_f = -1076,5 \text{ N}\cdot\text{mm} = -1,0765 \text{ N}\cdot\text{m}$

#### 2<sup>ème</sup> Tronçon : $89,3 \leq x \leq 133,95$



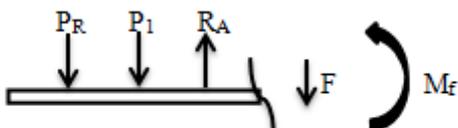
Effort tranchant :  $F = P_R + P_1 = 68,75 \text{ N}$

Moment fléchissant :  $M_f = -P_R(x - 44,64) - P_1(x - 89,3)$

$X = 89,3 \implies M_f = -1076,5 \text{ N}\cdot\text{mm} = -1,0765 \text{ N}\cdot\text{m}$

$X = 133,95 \implies M_f = -4146,44 \text{ N}\cdot\text{mm} = -4,14644 \text{ N}\cdot\text{m}$

#### 3<sup>ème</sup> Tronçon : $133,95 \leq x \leq 189,96$



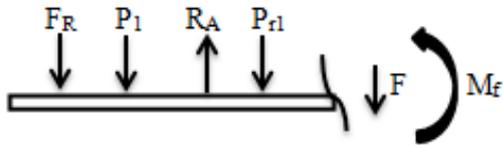
$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A = -382,64\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95)$$

$$X = 133,95 \quad \Longrightarrow \quad M_f = -4146,44\text{N}\cdot\text{mm} = -4,14644\text{N}\cdot\text{m}$$

$$X = 189,96 \quad \Longrightarrow \quad M_f = 17285,23\text{N}\cdot\text{mm} = 17,28523\text{N}\cdot\text{m}$$

#### 4<sup>ème</sup> Tronçon : $189,96 \leq x \leq 294,26$



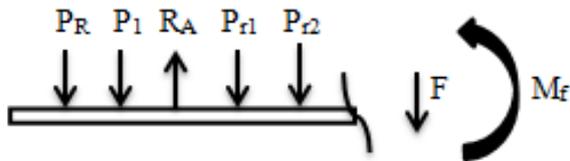
$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} = -308,44\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96)$$

$$X = 189,96 \quad \Longrightarrow \quad M_f = 17285,23\text{N}\cdot\text{mm} = 17,28523\text{N}\cdot\text{m}$$

$$X = 294,26 \quad \Longrightarrow \quad M_f = 49455,52\text{N}\cdot\text{mm} = 49,45552\text{N}\cdot\text{m}$$

#### 5<sup>ème</sup> Tronçon : $294,26 \leq x \leq 398,56$

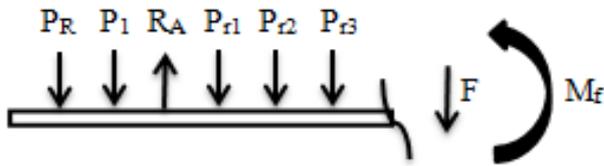


$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} = -234,24\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26)$$

$$X = 294,26 \quad \Longrightarrow \quad M_f = 49455,52\text{N}\cdot\text{mm} = 49,45552\text{N}\cdot\text{m}$$

$$X = 398,56 \quad \Longrightarrow \quad M_f = 73886,75\text{N}\cdot\text{mm} = 73,88675\text{N}\cdot\text{m}$$

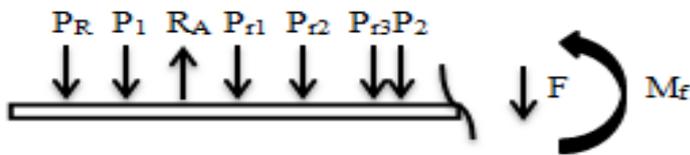
**6<sup>ème</sup> Tronçon : 398,56 ≤ x < 428,6**

$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} = -160,04\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56)$$

$$X=398,56 \implies M_f = 73886,75\text{N}\cdot\text{mm} = 73,88675\text{N}\cdot\text{m}$$

$$X=428,6 \implies M_f = 78694,35\text{N}\cdot\text{mm} = 78,69435\text{N}\cdot\text{m}$$

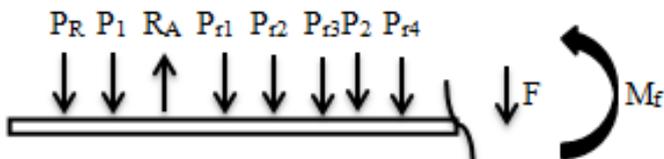
**7<sup>ème</sup> Tronçon : 428,6 ≤ x < 502,86**

$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_2 = -5,95\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56) - P_2(x-428,6)$$

$$X=428,6 \implies M_f = 78694,35\text{N}\cdot\text{mm} = 78,69435\text{N}\cdot\text{m}$$

$$X=502,86 \implies M_f = 79136,2\text{N}\cdot\text{mm} = 79,1362\text{N}\cdot\text{m}$$

**8<sup>ème</sup> Tronçon : 502,86 ≤ x < 607,16**

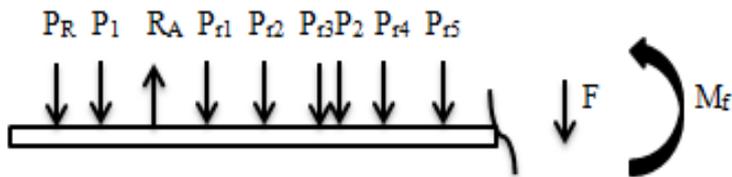
$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_2 + P_{r4} = 68,25 \text{ N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56) - P_2(x-428,6) - P_{r4}(x-502,86)$$

$$X = 502,86 \implies M_f = 79136,2 \text{ N}\cdot\text{mm} = 79,1362 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$X = 607,16 \implies M_f = 72017,72 \text{ N}\cdot\text{mm} = 72,01772 \text{ N}\cdot\text{m}$$

### 9<sup>ème</sup> Tronçon : 607,16 ≤ x ≤ 875,05



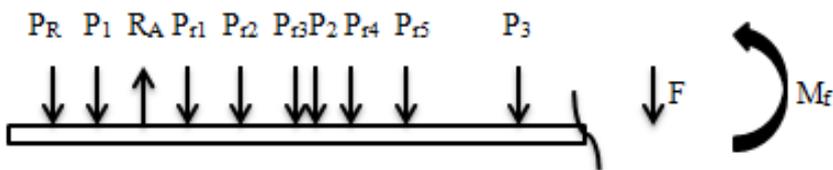
$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_2 + P_{r4} + P_{r5} = 142,45 \text{ N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56) - P_2(x-428,6) - P_{r4}(x-502,86) - P_{r5}(x-607,16)$$

$$x = 607,16 \implies M_f = 72017,72 \text{ N}\cdot\text{mm} = 72,01772 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$x = 875,05 \implies M_f = 33856,79 \text{ N}\cdot\text{mm} = 33,85679 \text{ N}\cdot\text{m}$$

### 10<sup>ème</sup> Tronçon : 875,05 ≤ x ≤ 1096,5

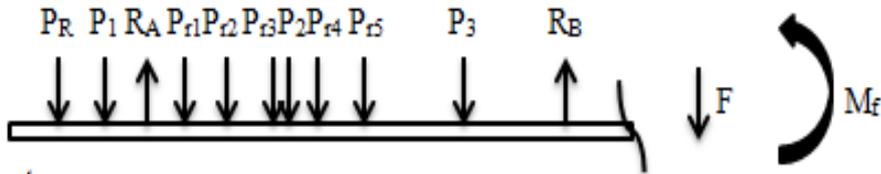


$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_2 + P_{r4} + P_{r5} + P_3 = 240,65 \text{ N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56) - P_2(x-428,6) - P_{r4}(x-502,86) - P_{r5}(x-607,16) - P_3(x-875,05)$$

$$X = 875,05 \implies M_f = 33856,79 \text{ N}\cdot\text{mm} = 33,85679 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$X = 1096,5 \implies M_f = -19435,15 \text{ N}\cdot\text{mm} = -19,43515 \text{ N}\cdot\text{m}$$

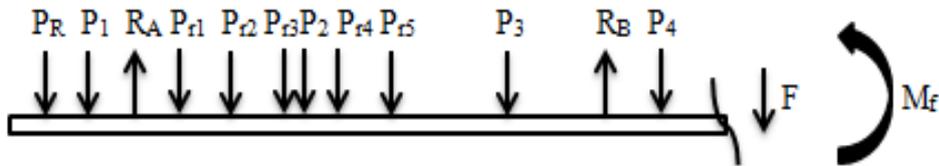
**11<sup>ème</sup> Tronçon : 1096,5 ≤ x < 1171,5**

$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_{r4} + P_{r5} + P_3 - R_B = -128,33\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56) - P_{r4}(x-428,6) - P_{r5}(x-502,86) - P_{r5}(x-607,16) - P_3(x-875,05) + R_B(x-1096,5)$$

$$X=1096,5 \quad \Longrightarrow \quad M_f = -19435,15\text{N.mm} = -19,43515\text{N.m}$$

$$X=1171,5 \quad \Longrightarrow \quad M_f = -9810,4\text{N.mm} = -9,8104\text{N.m}$$

**12<sup>ème</sup> Tronçon : 1171,5 ≤ x < 1271,5**

$$\text{Effort tranchant : } F = P_R + P_1 - R_A + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_{r4} + P_{r5} + P_3 - R_B + P_4 = -98,1\text{N}$$

$$\text{Moment fléchissant : } M_f = -P_R(x-44,64) - P_1(x-89,3) + R_A(x-133,95) - P_{r1}(x-189,96) - P_{r2}(x-294,26) - P_{r3}(x-398,56) - P_{r4}(x-428,6) - P_{r5}(x-502,86) - P_{r5}(x-607,16) - P_3(x-875,05) + R_B(x-1096,5) - P_4(x-1171,5)$$

$$X=1171,5 \quad \Longrightarrow \quad M_f = -9810,4\text{N.mm} = -9,8104\text{N.m}$$

$$X=1271,5 \quad \Longrightarrow \quad M_f = -0,3991\text{N.mm} = -0,3991 \cdot 10^{-3}\text{N.m}$$

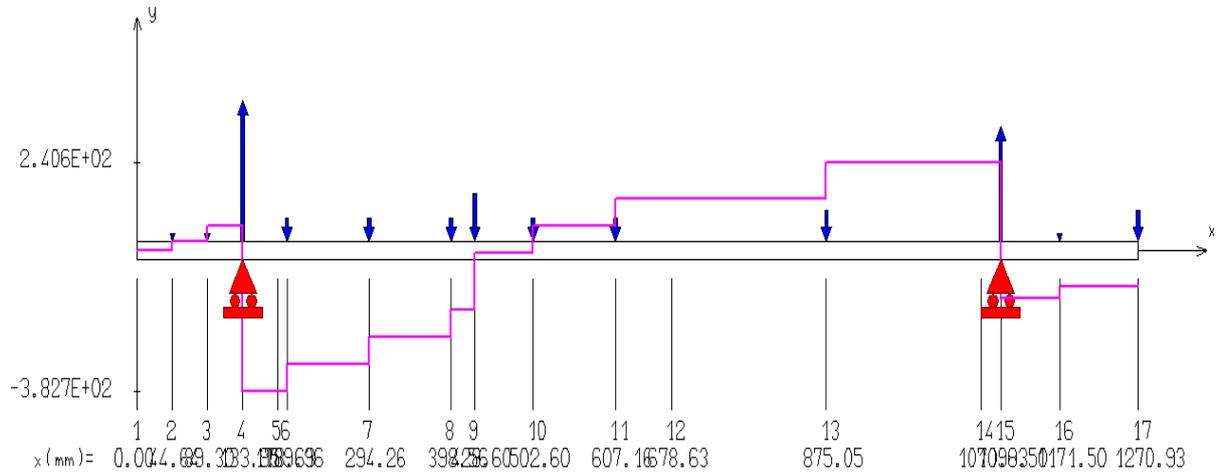
<b>X(m)*10<sup>-3</sup></b>	<b>0</b>	<b>44,64</b>	<b>89,3</b>	<b>133,96</b>	<b>189,96</b>
<b>M<sub>f</sub>(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-1,0765N.m</b>	<b>-4,14644N.m</b>	<b>17,28523N.m</b>
	<b>294,26</b>	<b>398,56</b>	<b>428,6</b>	<b>502,86</b>	<b>607,16</b>
	<b>49,45552N.m</b>	<b>73,88675N.m</b>	<b>78,69435N.m</b>	<b>79,1362N.m</b>	<b>72,01772N.m</b>
	<b>875,05</b>	<b>1096,5</b>	<b>1171,5</b>	<b>1271,5</b>	
	<b>33,85679N.m</b>	<b>-19,4352N.m</b>	<b>-9,8104N.m</b>	<b>-0,4.10<sup>-3</sup>N.m</b>	

**Tableau-IV-2-Résumé les valeurs des moments fléchissant des tronçons**

**IV-3-Vérification les résultats à l'aide de logiciel (RDM6) :**

**L'effort tranchant :**

EFFORT TRANCHANT [ N ]

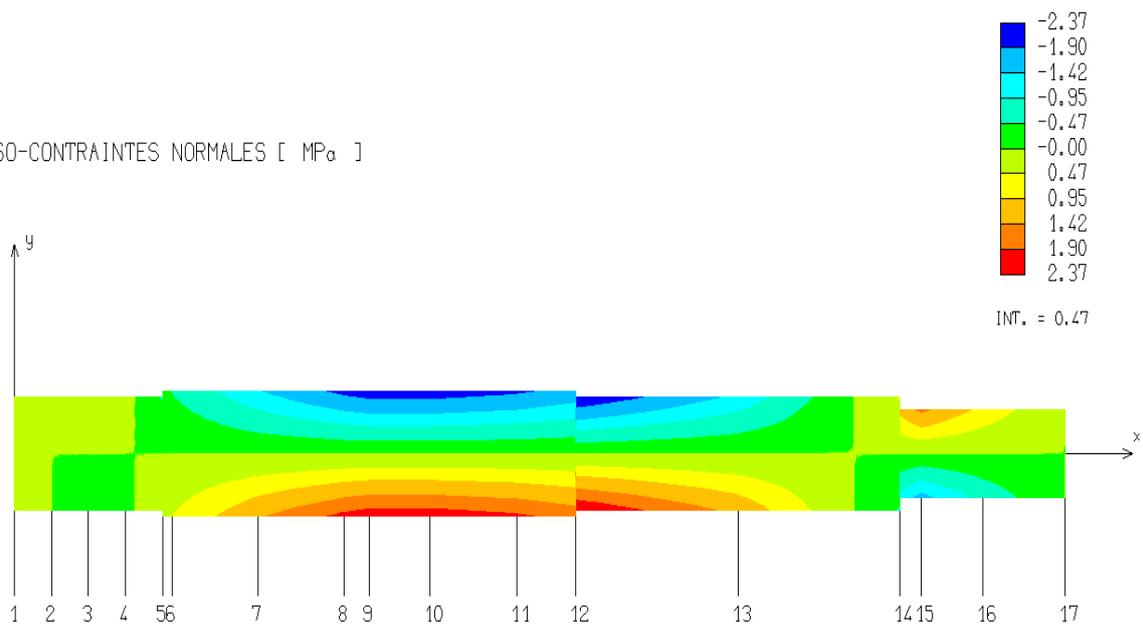


D'après le graphe ci-dessus on observe :

- la valeur maximale de l'effort tranchant en valeur absolue est 382,7N correspondant au tronçon3 ( $133,95 \leq x \leq 189,96$ ).

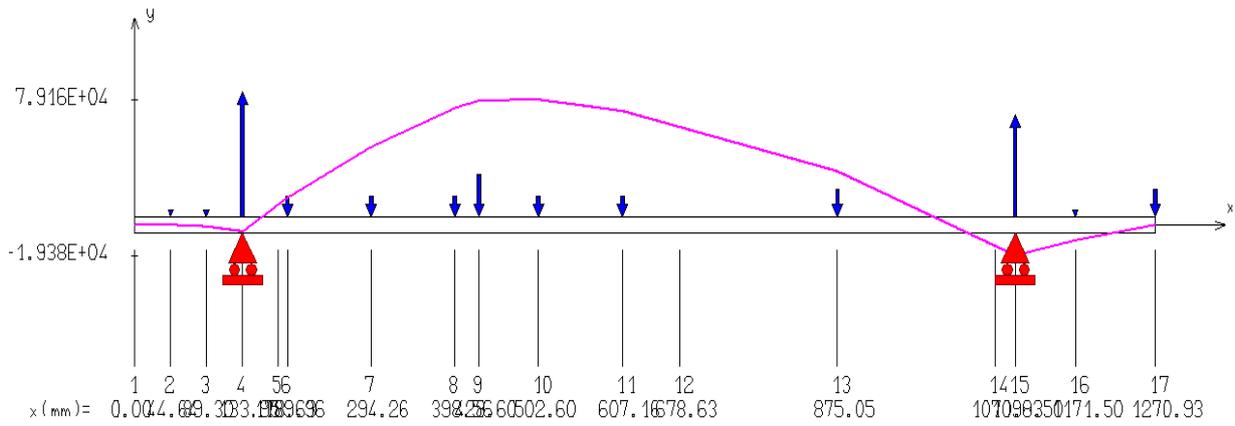
**Iso-contraintes normales :**

ISO-CONTRAINTES NORMALES [ MPa ]



**Le moment fléchissant :**

MOMENT FLECHISSANT [ N.mm ]

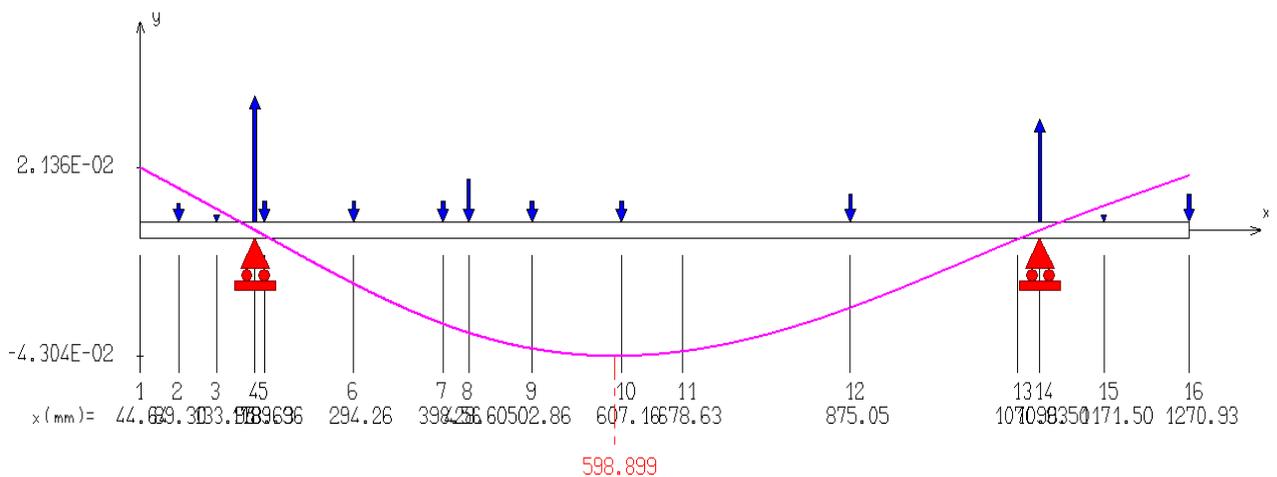


D'après le graphe ci-dessus (graphe de moment fléchissant) en observe :

- la valeur maximale de moment fléchissant en valeur absolue est 79160N.mm.

**La flèche :**

FLECHE [ mm ]

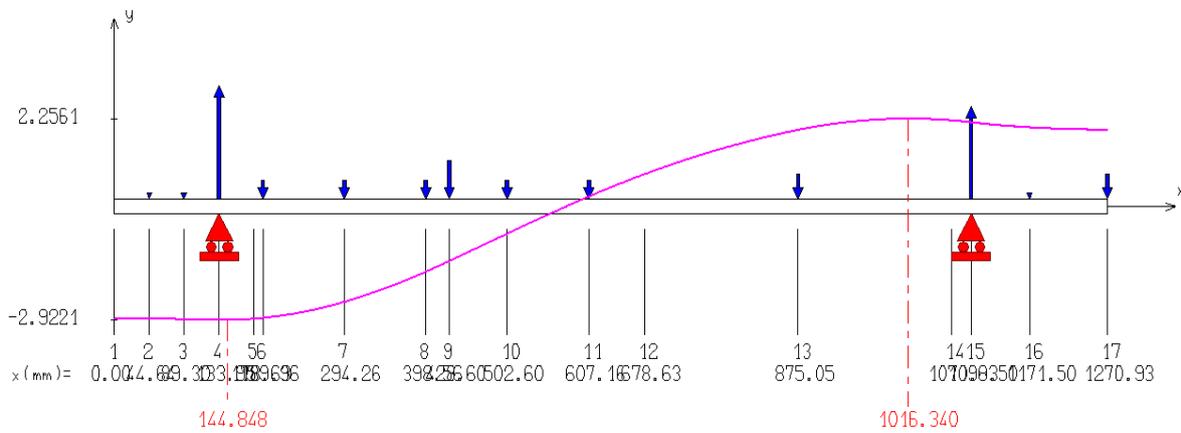


D'après le graphe ci-dessus on observe :

- la valeur maximale de la flèche est égale 0,04304mm qui se trouve entre les noeuds 10 et 11 (x=598,899mm)

**La pente :**

PENTE [ degré ]

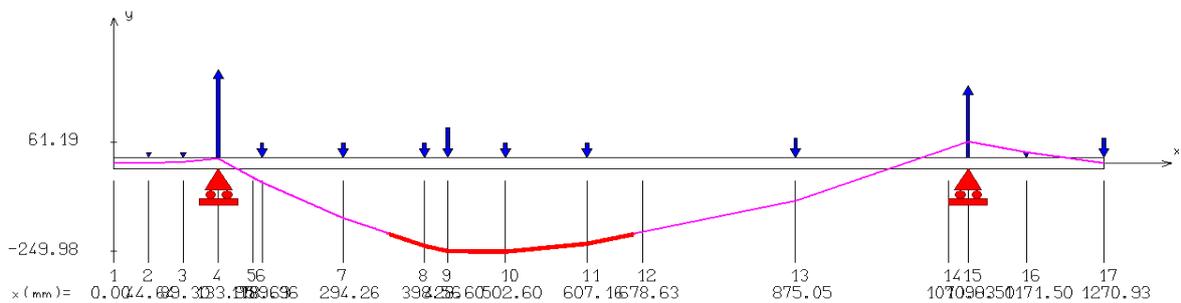


D'après le graphe ci-dessus on observe :

-la valeur maximale de la pente en valeur absolue est 2,9221degrés, cette valeur se trouve entre les noeuds 4 et 5 (x=144,848mm).

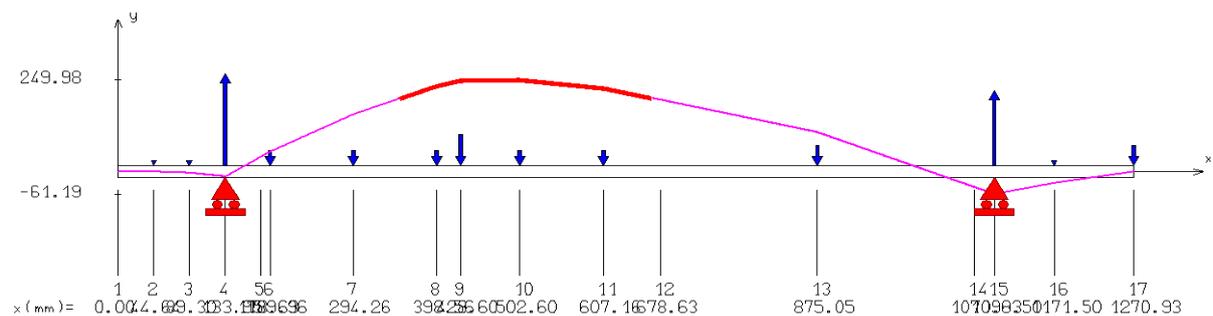
**La contrainte normale : Fibre supérieure**

CONTRAINTE NORMALE : FIBRE SUPERIEURE [ MPa ]



**La contrainte normale : Fibre inférieure**

CONTRAINTE NORMALE : FIBRE INFERIEURE [ MPa ]



Les graphes ci-dessus montrent les contraintes normales des fibres supérieure et inférieure de l'arbre, d'après ces graphes on remarque que :

- les deux graphes sont symétriques par rapport à l'axe d'abscisse.
- la valeur maximale absolue se trouve entre les nœuds 9 et 10 est égale 249,49Mpa.
- la valeur minimale absolue se trouve entre au niveau de nœud 15 (palier à roulement) est égale 61,19Mpa.

#### IV-4-Calcul du moment résultant total :

$$M_{eq} = \sqrt{M_{f,max}^2 + M_T^2}$$

$M_T$  : Moment de torsion

$M_{f,max}$  : Moment fléchissant maximal

$M_{eq}$  : Moment équivalent

On a :  $M_{f,max} = 79,1362 \text{ N.m}$

$$M_T = 113,99 \text{ N.m}$$

$$\boxed{M_{eq} = 138,77 \text{ N.m}}$$

La condition de résistance à la torsion-flexion est :

$$(M_{eq}/W_x) \leq [\sigma]_f$$

$W_x$  : module de résistance à la flexion

$$W_x = (\pi \times d^3) / 32 = 0,1 \times d^3$$

$[\sigma]_f$  : contrainte admissible à la flexion  $[\sigma]_f = R_e / K = 50.10^6 \text{ N/m}^2$

Donc :  $(M_{eq}/W_x) \leq [\sigma]_f \quad \Longrightarrow$

$$d \geq \sqrt[3]{M_{eq} / (0,1 \times [\sigma]_f)} = \sqrt[3]{138,77 / (0,1 \times 50 \times 10^6)} = 0,021 \text{ m}$$

$$\boxed{d \geq 21 \text{ mm}}$$

Donc le diamètre minimum est 21mm

En majorant ce diamètre de 25% pour tenir compte des éventuels défauts de montage et mauvais alignement on aura :

$$D=0,25d+d=1,25\times d$$

$$D=1,25\times 21=26,25\text{mm}$$

<b>D=26,25mm</b>
------------------

**Conclusion :**

D'après ce calcul, nous constatons que le diamètre réel de la section est suffisamment supérieur à celui du calcul, donc la résistance de l'arbre à la flexion-torsion est vérifiée.

---

## Simulation d'écoulement de fluide par le logiciel CFX "ansys"

### V-1-Présentation du logiciel CFX :

CFX est un logiciel général de simulation numérique d'écoulements en mécanique des fluides et transfert thermique. Ce logiciel permet de mettre en œuvre une simulation numérique complète de la modélisation, de la création géométrique, et la visualisation des résultats, en passant par la création du maillage et le calcul.

Le logiciel *CFX* est divisé en 4 modules : *ICEM*, *CFX-pre*, *CFX-solve* et *CFX-post*. Chaque module a une utilisation bien spécifique.

#### V-1-1-ANSYS ICEM :

Le module ICEM permet d'établir la géométrie du système étudié. Il est utilisé comme un logiciel de CAO traditionnel : la géométrie est construite à partir de points, de courbes, de surfaces et de volume C'est également ce module qui permet de générer un maillage s'appuyant sur la géométrie. L'utilisateur fixe alors les paramètres de maille qu'il souhaite obtenir sur les courbes, les surfaces et dans les volumes. Le module permet de générer des mailles tétraédriques, hexaédriques et prismatiques. Une fois le maillage effectué, ICEM crée un fichier portant l'extension «.msh », qui regroupe les informations relatives au maillage, exploitable par CFX-pre.

#### V-1-2-CFX-pre :

Le module CFX-pre permet quant à lui de définir les conditions aux limites et initiales du système, ainsi que les équations à résoudre, le type de résolution (régime permanent ou transitoire), les paramètres du solveur, parmi lesquels: le pas de temps, le nombre d'itérations, le critère de convergence ainsi que la nature des fluides (ou solides) en présence.

#### V-1-3-CFX-solve :

Le module CFX-solve est le module qui effectue les calculs. Il est basé sur l'intégration des équations de Navier Stokes dans chaque maille et dispose de modèles additionnels pour prendre en compte la turbulence, le rayonnement thermique.

### V-1-4-CFX-post :

Le module CFX-post est un outil graphique permettant le traitement et la visualisation des résultats. Il permet d'appliquer des textures sur la géométrie, de visualiser des contours, des iso-surfaces, des lignes de courant, des champs de vitesses. Il permet également l'exportation des résultats sous forme numérique, comme par exemple la valeur des différentes variables sur chaque nœud, sous forme photographique et même sous forme d'animation.

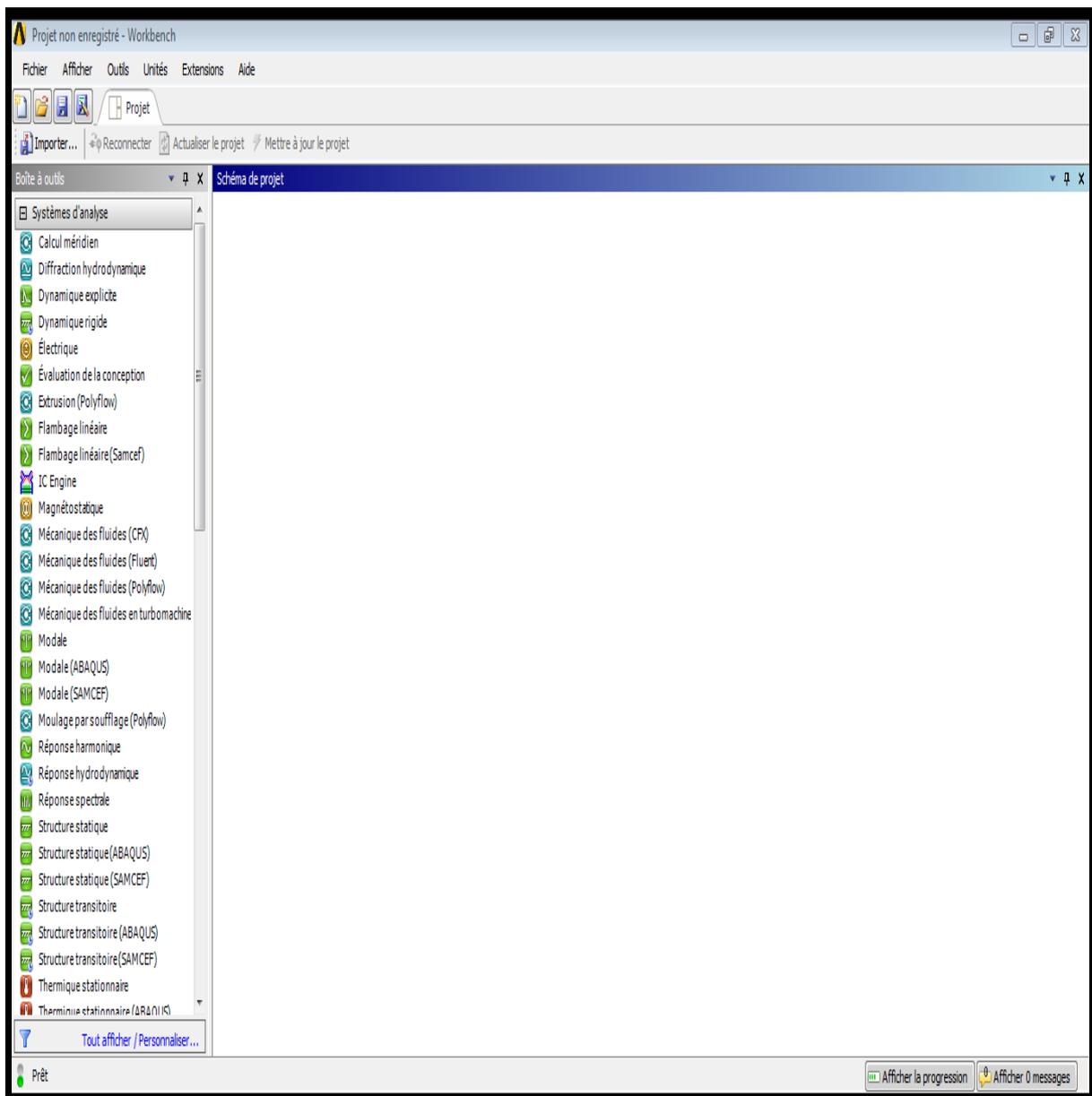


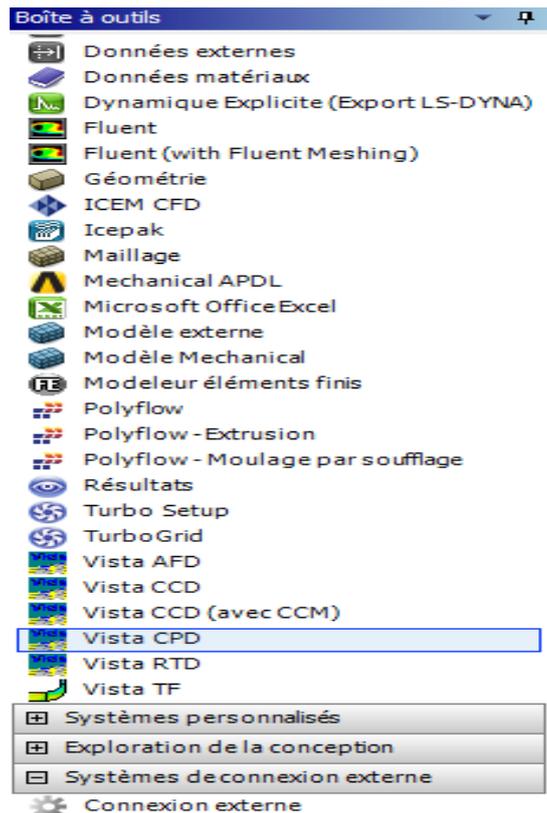
Figure-V-1-L'interface de logiciel ansys (*workbench*)

## V-2-Simulation d'écoulement de fluide :

Pour étudier l'écoulement de liquide dans l'impulseur par 'ANSYS' on va suivre les étapes suivantes :

### 1<sup>ère</sup> étape : introduction des données de la pompe

1-Ouvrir la fenêtre *Vista CPD* du menu système d'analyse d'après la boîte à outils ;

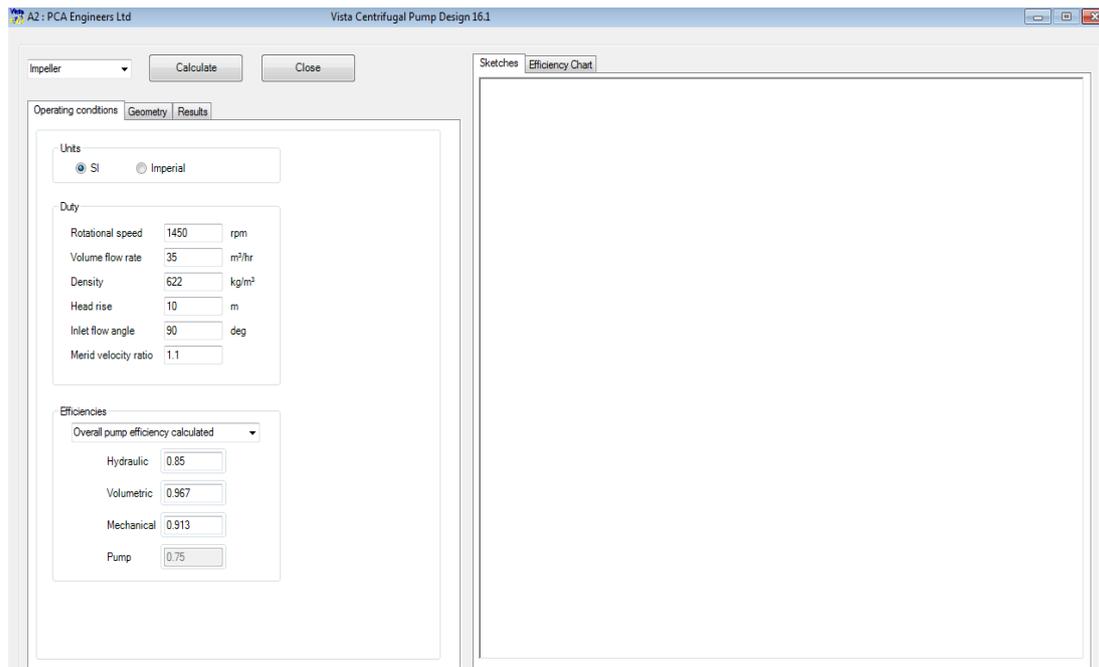


2-Click sur instruction *conception de pale* pour entrer les données de l'impulseur ;

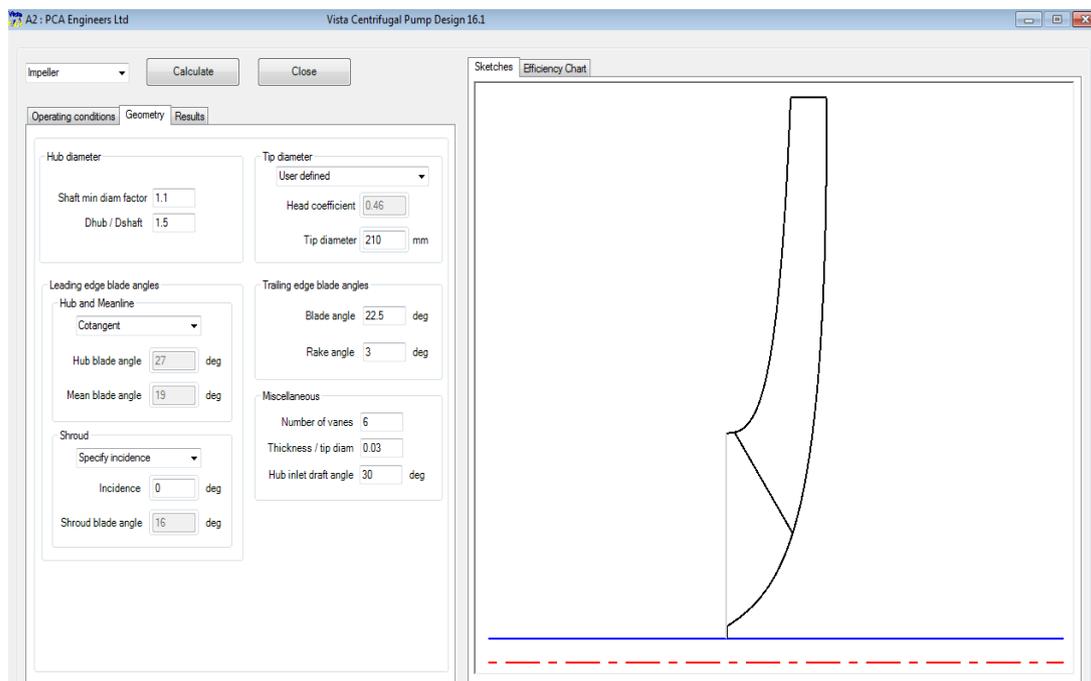


**a-**entré premièrement les conditions opératives comme le débit volumique et la densité de fluide, la hauteur de l'impulseur, vitesse de rotation ;

**b-**ensuite on rentre les paramètres géométriques de l'impulseur dans la fenêtre géométrie comme le diamètre de la roue et l'angle de déviation, le nombre des aubes.....



**Figure-V-2-Les informations des données du service de la pompe dans *Vista CPD* software**



**Figure-V-3-Les paramètres géométriques de l'impulseur dans *Vista CPD***

c- click sur l'instruction "*calculate*" pour afficher les résultats des différents calculs, ces calculs est primaires et non précisés ;

La figure ci-dessous montre le résumé des résultats hydraulique

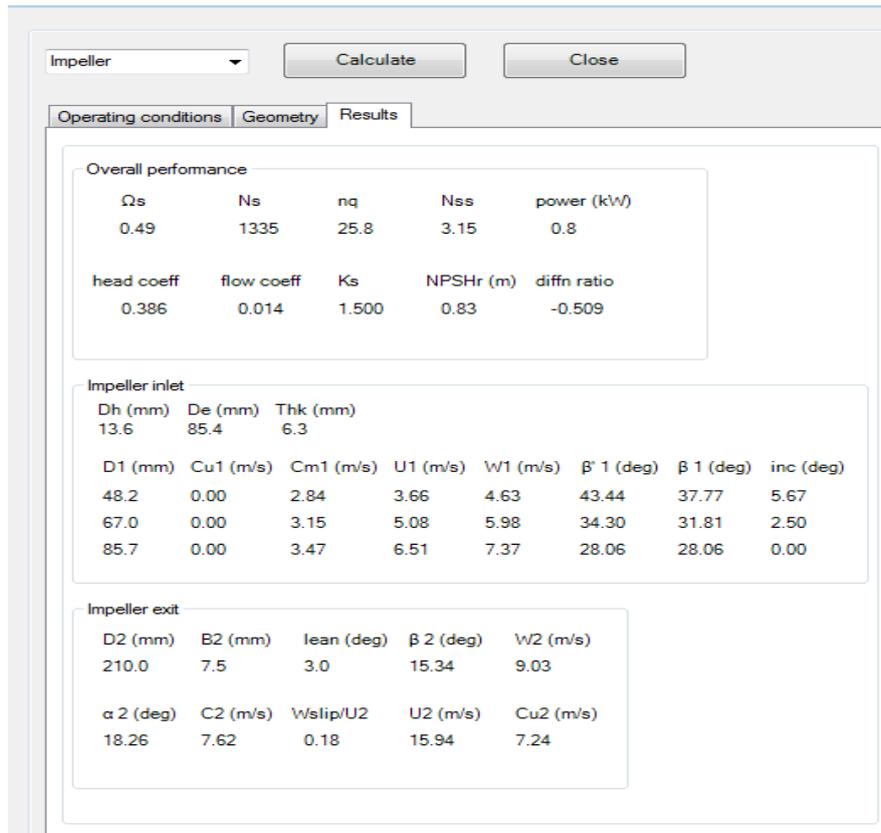


Figure-V-4-Interface graphique montre les résultats extraits par Vista CPD

Pour continuer la simulation il faut mettre à jour les données de chaque étape, le plan de projet ci-dessous résume les étapes de la simulation ;

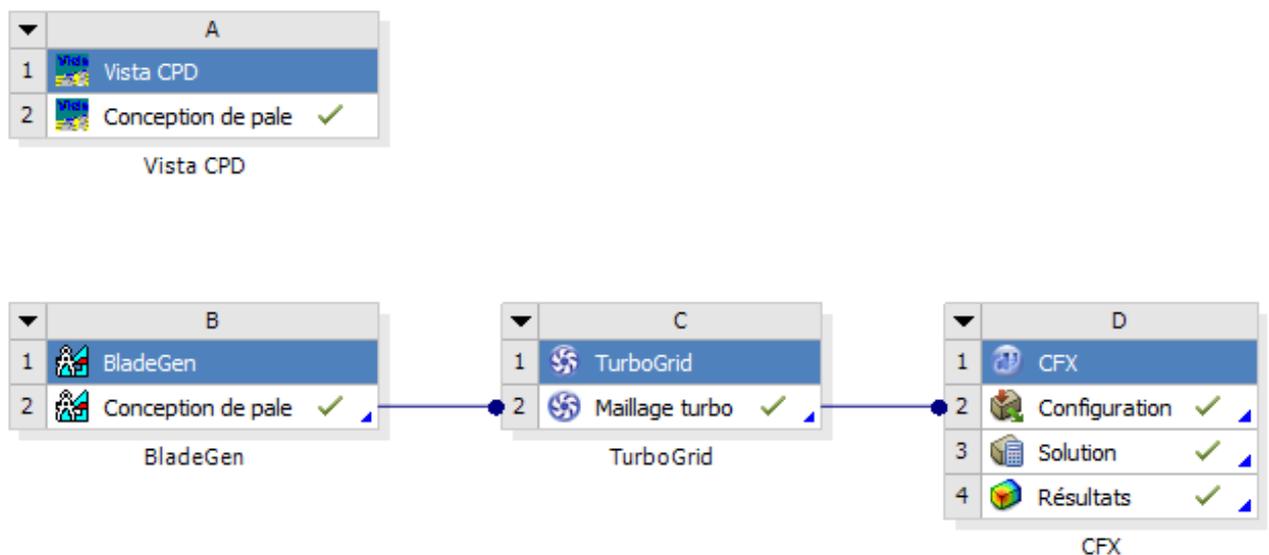


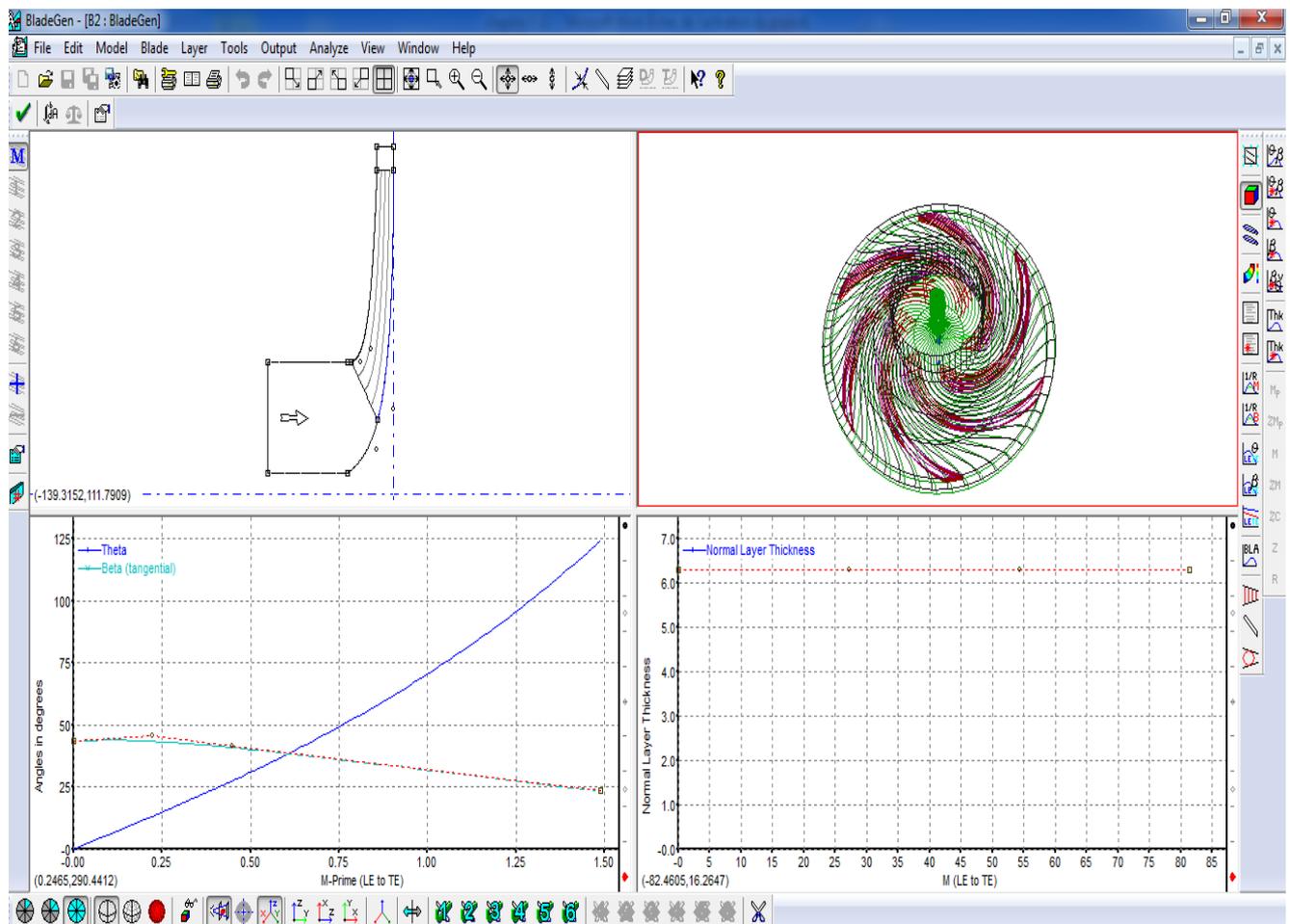
Figure-V-5-Interface graphique montre le plan de projet

## 2<sup>ème</sup> étape : introduction les propriétés de modèle

D'après la fenêtre Vista CPD ouvrir une nouvelle fenêtre *bladeGen* puis identifie les propriétés de modèle (type de machine, sens de rotation, nombre des aubes...)

Cette fenêtre contient des graphes de variation des angles *Theta*, *Beta* en fonction de position point *M* entre les aubes de l'entre à la sortie ;

Avant passe à l'étape suivante faire la mettre à jour de cette étape ;

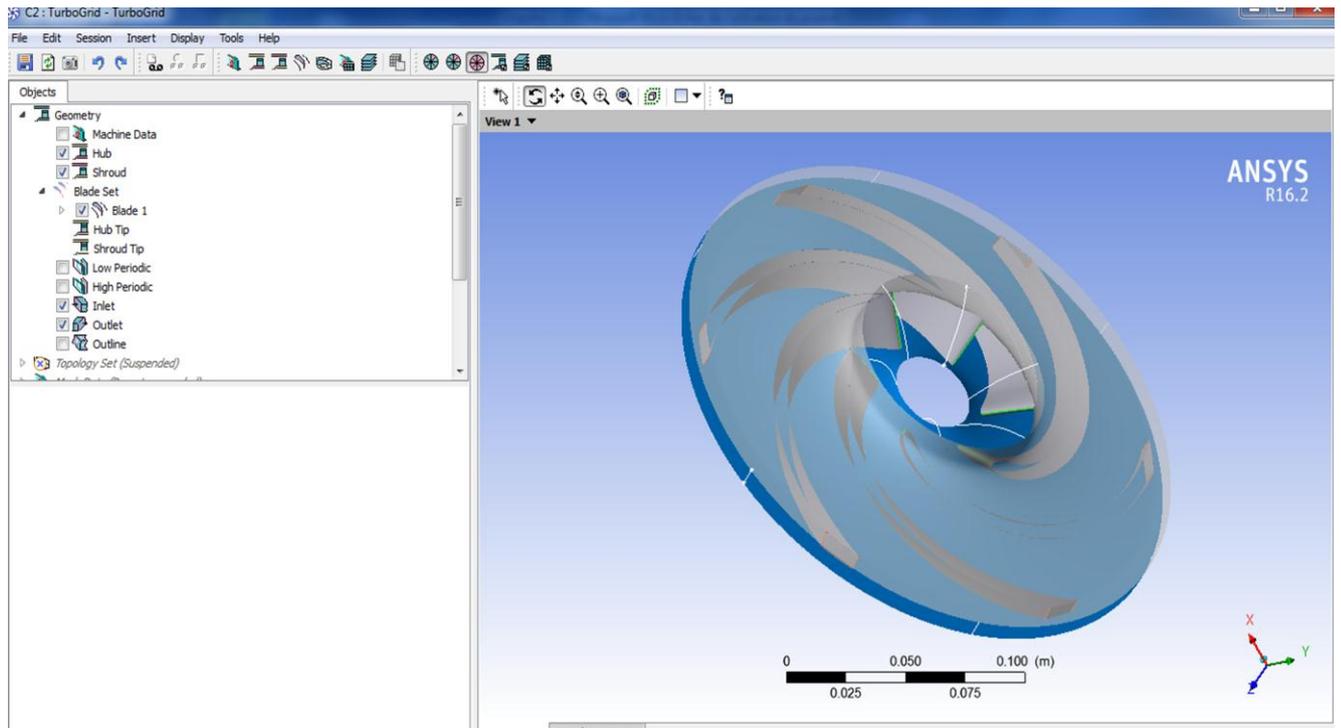


## 3<sup>ème</sup> étape : maillage et conception de la roue

-ouvrir une nouvelle fenêtre *turboGrid* d'après la fenêtre précédente *bladeGen*,

-déterminer la géométrie de la roue (la profile de la roue : l'entrée, sortie, aubes, contre disque....) ;

-faire la mettre à jour.



#### 4<sup>ème</sup> étape :

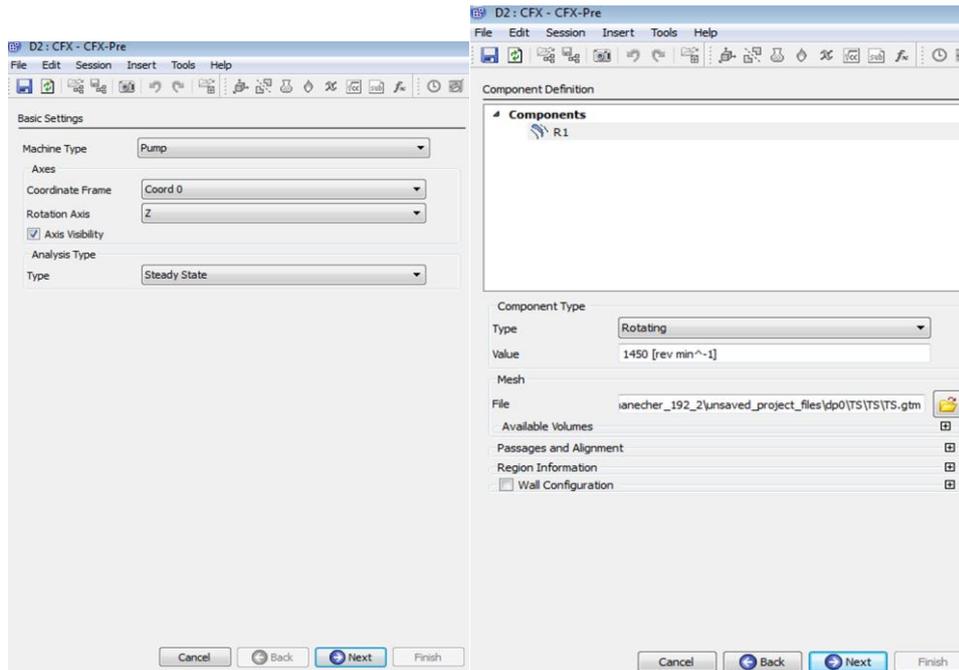
-Ferme la fenêtre précédente et ouvrir une nouvelle fenêtre *CFX* d'après la fenêtre de *turboGrid*, cette fenêtre contient de trois modules :

- a) module de **CFX-Pre** (configuration) ;
- b) module de **CFX-Solver** (solution) ;
- c) module de **CFX-Poste** (résultats) ;

#### **a)- la configuration :**

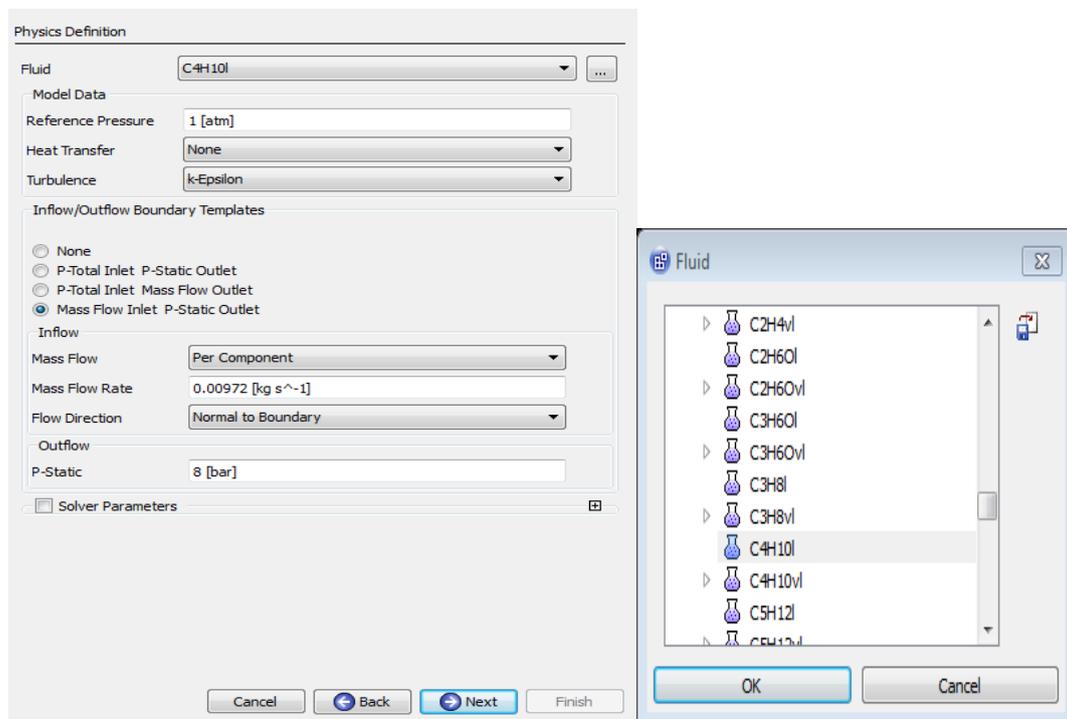
-ouvrir ce dernier puis click sur le menu *Tools* puis choisir *TurboMode* ;

Le logiciel affiche les Interfaces graphiques suivantes respectivement :



Dans la première fenêtre on choisit le type de machine et les coordonnées, axe de rotation, type d'analyse ;

-On clique sur *Next* pour afficher la deuxième fenêtre dans ce dernier on sélectionne le composant " $R_1$ " et l'état de mouvement rotatif et leur vitesse de rotation puis click sur *Next* ;

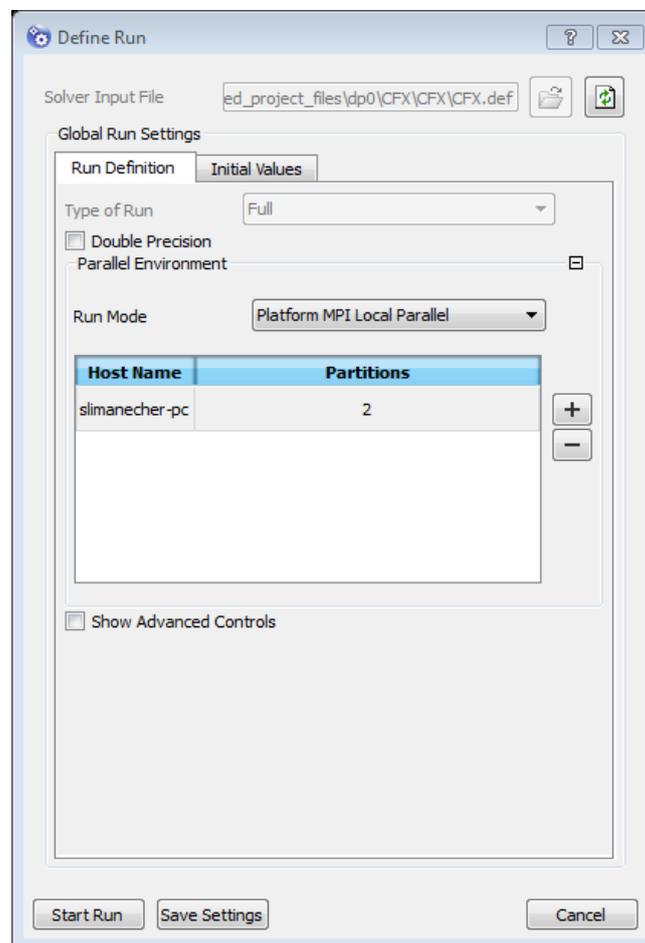


-On choisit le fluide circule à l'intérieur de l'impulseur  $C_4H_{10}$  et la pression de référence entrée le débit volumique et la pression de refoulement de l'impulseur.

**b)- la solution :**

-ouvrir la fenêtre de la solution et choisir le *platform MPI parallèle* comme un mode d'exécution puis click sur *Start Run*.

Le module *CFX-Solver* effectués les calculs, ce calcul se poursuit jusqu'à ce que, soit le nombre maximal d'itérations est atteint, soit la solution satisfait au critère de convergence.

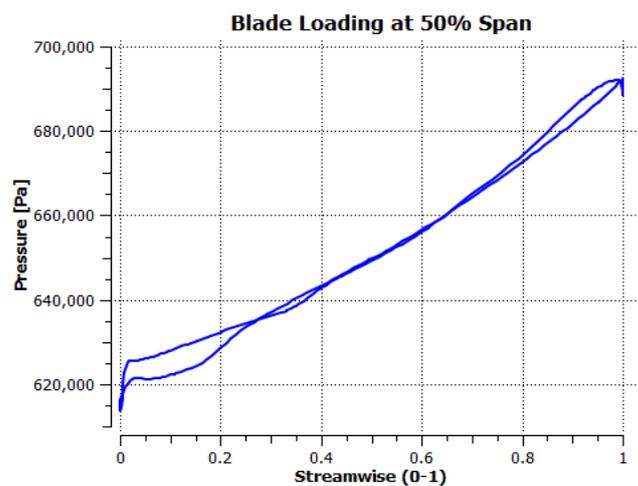




Quantity	Inlet	LE Cut	TE Cut	Outlet	TE/LE	TE-LE	Units
Density	601.0800	601.0800	601.0800	601.0800	1.0000	0.0000	[kg m <sup>-3</sup> ]
Pstatic	720956.0000	720975.0000	793869.0000	800621.0000	1.1011	72893.7000	[Pa]
Ptotal	725802.0000	412195.0000	894143.0000	849499.0000	2.1692	481948.0000	[Pa]
Ptotal (rot)	714937.0000	780792.0000	713779.0000	718693.0000	0.9142	-67013.3000	[Pa]
U	4.4193	5.2122	15.9216	17.0829	3.0547	10.7095	[m s <sup>-1</sup> ]
Cm	0.5930	1.1181	0.5728	0.7169	0.5122	-0.5454	[m s <sup>-1</sup> ]
Cu	3.6187	3.4233	13.2474	12.5110	3.8698	9.8242	[m s <sup>-1</sup> ]
C	3.7099	3.9496	13.2676	12.5373	3.3592	9.3179	[m s <sup>-1</sup> ]
Distortion Parameter	1.4154	2.6522	1.0025	1.0041	0.3780	-1.6497	
Flow Angle: Alpha	75.9060	66.0012	90.1017	90.0783	1.3652	24.1005	[degree]
Wu	-0.8005	-1.7890	-2.6742	-4.5719	1.4948	-0.8852	[m s <sup>-1</sup> ]
W	1.1970	2.9830	2.7782	4.6410	0.9313	-0.2049	[m s <sup>-1</sup> ]
Flow Angle: Beta	98.9198	35.2472	135.1020	174.8380	3.8330	99.8544	[degree]

Rotation Speed	151.8440	[radian s <sup>-1</sup> ]
Reference Diameter	0.2097	[m]
Volume Flow Rate	0.0001	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
Head (LE-TE)	81.7612	[m]
Head (IN-OUT)	20.9848	[m]
Flow Coefficient	0.0001	
Head Coefficient (IN-OUT)	0.2029	

**Tableau-V-1-Donner par CFX résumé les paramètres hydrauliques**



**Figure-V-7-Graphe montre la variation de pression entre deux aubes (50% c-à-d médian)**

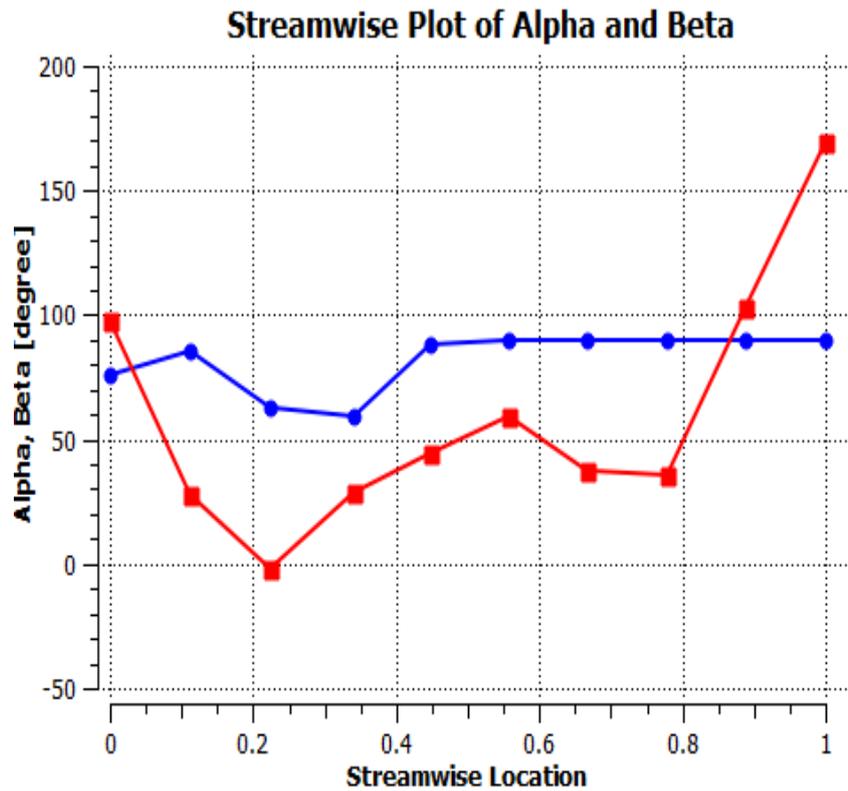


Figure-V-8-Montre variation des angles alpha et beta en fonction de location de fluide

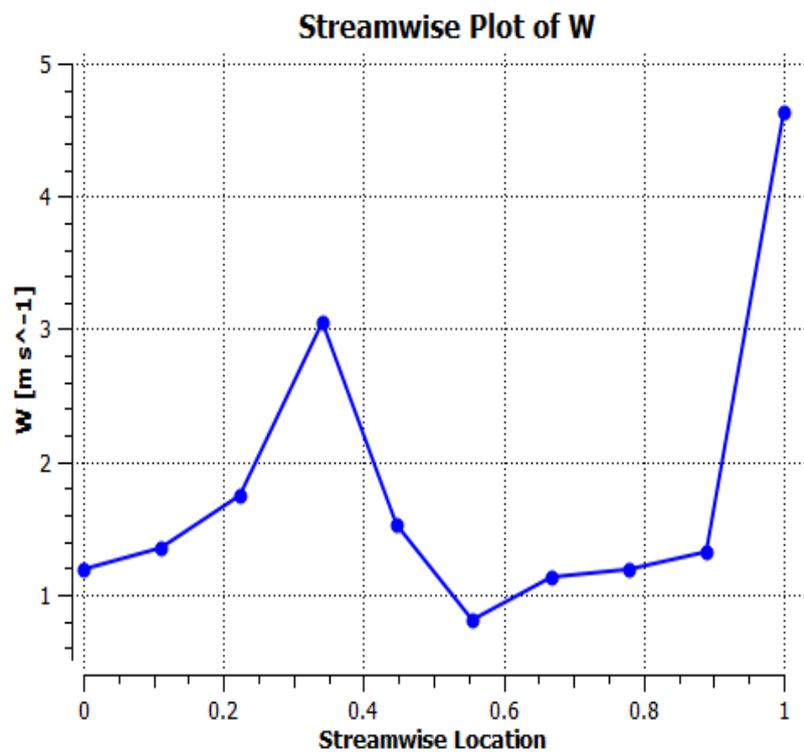


Figure-V-9-Montre la variation de la vitesse angulaire en fonction de location de fluide

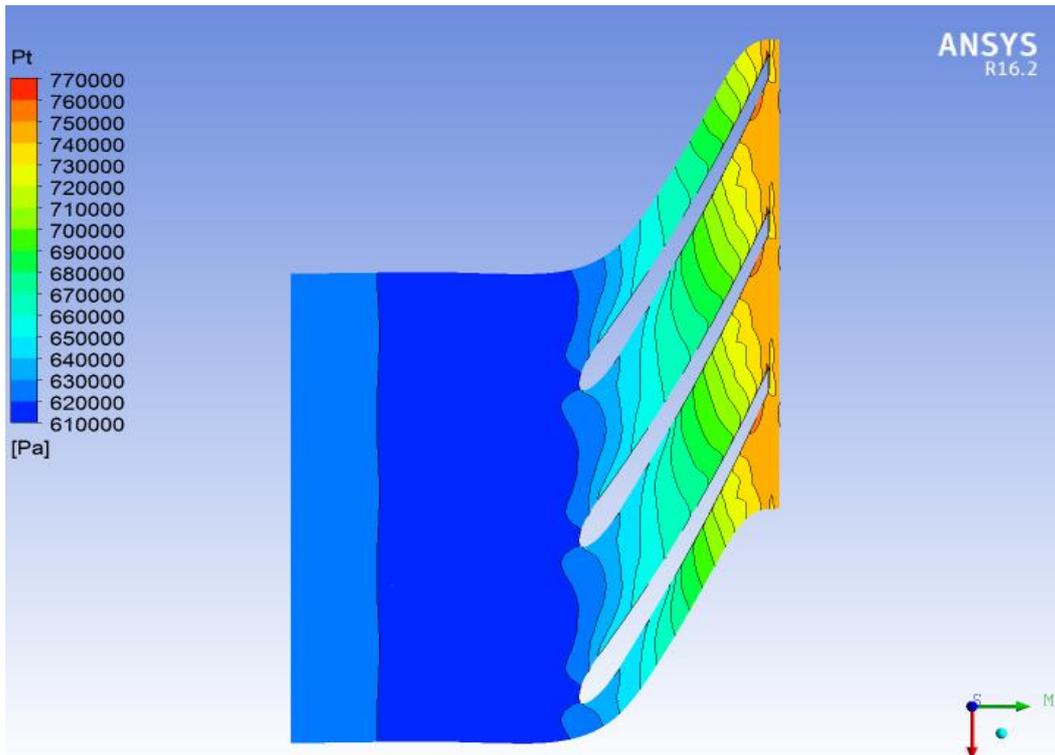


Figure-V-10-Montre la variation de pression dans l'impulseur à 50% (entre 2 aubes)

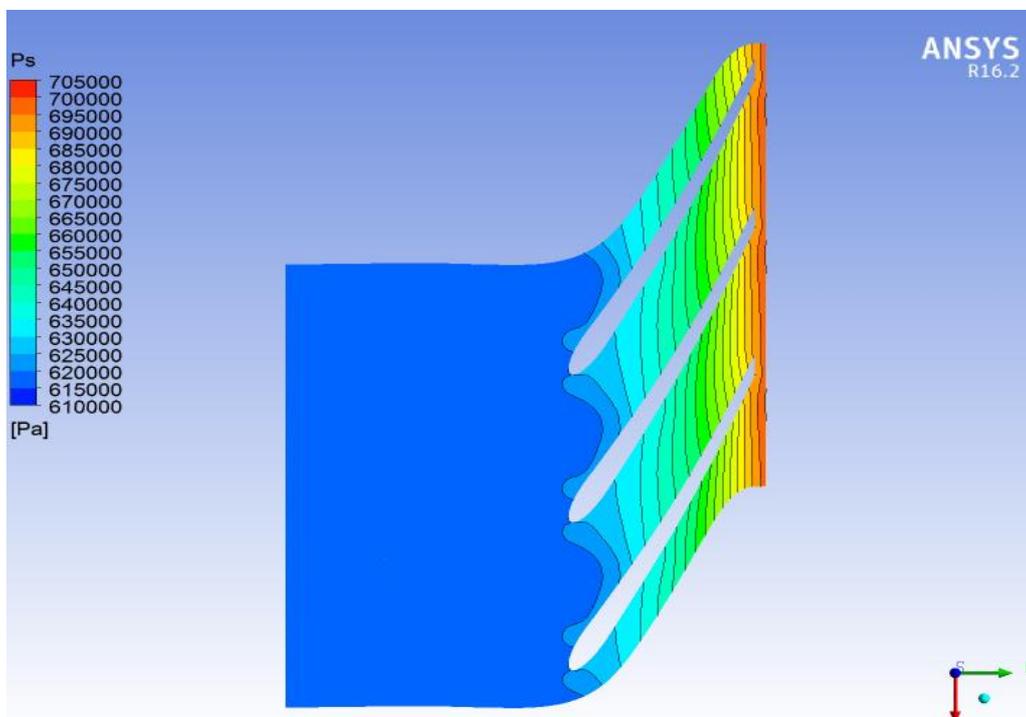
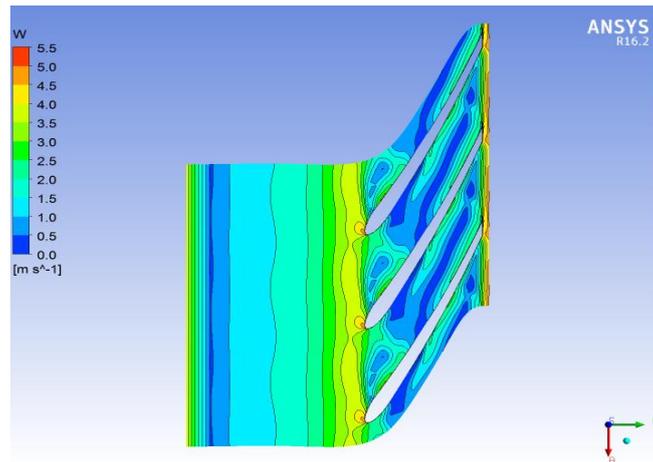
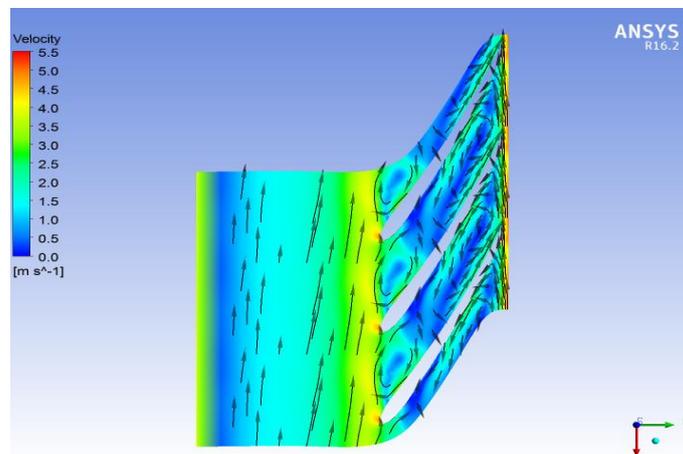


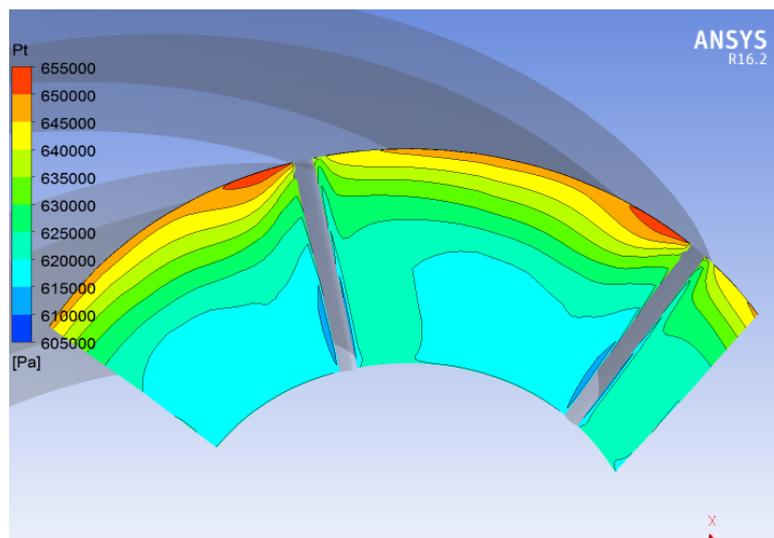
Figure-V-11-Montre la variation de pression dans l'impulseur à 50% (entre 2 aubes)



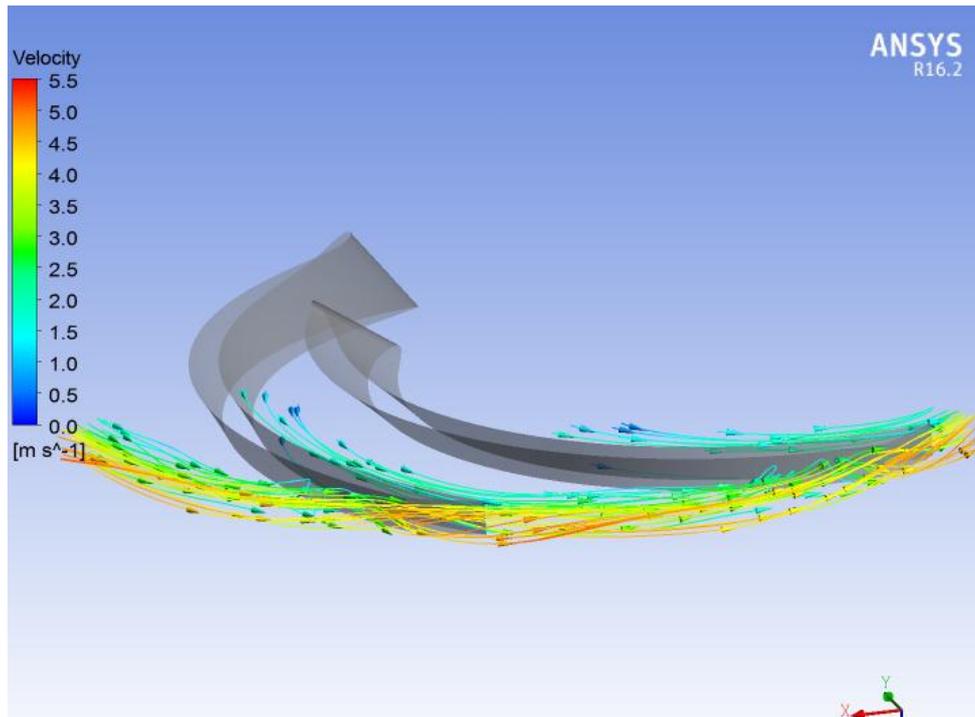
**Figure-V-12-Montre la variation de la vitesse angulaire dans l'impulseur à 50%**



**Figure-V-13-Montre la variation de la vitesse entre les 2 disques de l'impulseur à 50%**



**Figure-V-14-Montre la variation de pression dans l'impulseur à la circonférence de l'impulseur**



**Figure-V-15-Montre la variation de la vitesse du fluide dans l'aube**

### **V-3-Interprétation des résultats :**

Pour les graphes de la pression : la variation de pression augmente d'une manière progressivement de l'entrée de l'impulseur qui dont une valeur minimale jusqu'au une valeur maximale à la sortie. Mais pour les vitesses absolue et angulaire, la valeur maximal est concentre seulement à l'entrée et à la sortie de l'aube.

L'écoulement de fluide au niveau de l'aube est aussi maximal dans la face convexe de l'aube et l'inverse pour la face concave qui est minimal.

Les résultats qui déjà calculé dans la partie hydraulique elles présenté dans le rapport de CFX sous tableau qui se trouve au-dessus, les différentes valeurs calculées presque les même de CFX avec une erreur relative petite.

**V-1-Définition :**

La maintenance étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un dispositif, un équipement ou un système dans des états spécifiés. La maintenance consiste à des opérations de dépannage, graissage ou amélioration qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la production.

On qualifie la maintenance de la bonne, quand on assure cette opération en coût global optimum.

**V-2-Objectifs de la maintenance :**

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

**V-2-1-Objectifs Financiers :**

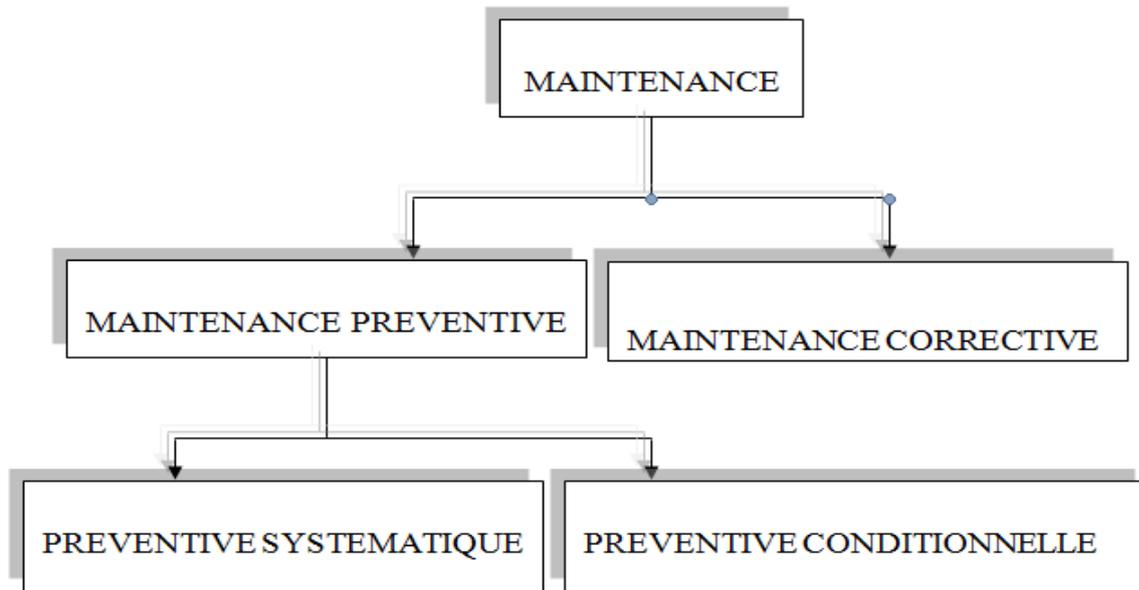
- réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

**V-2-2-Objectifs opérationnels :**

- maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possible.
- assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- augmenter la durée de vie des équipements.
- entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.
- augmenter le rendement des équipements.

**V-3-Type de maintenance :**

Pendant l'exploitation de la pompe centrifuge, certains organes sont sujets à diverses usures et détériorations, ce qui nécessite un contrôle régulier, avec l'application des différents types de maintenance.



**Figure-V-1-Types des maintenances**

### **V-3-1-Maintenance Préventive (Maintenance effectuée avant la défaillance) :**

La maintenance est préventive lorsque l'intervention sur l'équipement se fait avant l'apparition de défaillance. Elle vise à augmenter la probabilité de bon fonctionnement d'un système. Elle comprend la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle.

#### **a)-Maintenance préventive systématique :**

Cette maintenance consiste à changer des éléments jugés trop usagés ainsi qu'à effectuer des opérations obligatoires à temps voulus comme le changement de l'huile de lubrification, des joints, ... ex suivant un planning établi.

#### **b)-Maintenance préventive conditionnelle :**

Elle consiste à surveiller et à analyser de façon continue l'état de fonctionnement d'un équipement et son comportement avec le temps.

Elle concerne généralement les équipements vitaux dont l'arrêt imprévu peut provoquer des pertes de production considérables. Parmi ces opérations, citons les relevés des températures, les mesures des vibrations, et les relevés des pressions, l'analyse des huiles et des produits véhiculés, les mesures des épaisseurs. Ce dernier type de maintenance présente un aspect prédictif.

---

**V-3-2-Maintenance corrective (maintenance effectuée après défaillance) :**

La maintenance corrective parfois appelée curative (application non normalisée) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaire à son utilisation.

Elle n'est appliquée qu'après l'apparition de la panne ou de la défaillance. Elle permet donc la remise en état de marche de l'appareil dans les meilleures conditions en effectuant la réparation nécessaire.

**V-4-maintenance de la pompe P4155 :**

La maintenance effectuée sur la pompe P4155 au niveau de l'unité c'est la maintenance préventive et corrective.

**V-4-1-Démarrage de la pompe :**

Pour la mise en route, procéder comme suit :

1. Ouvrir complètement la vanne à l'aspiration.
2. Ouvrir la vanne de réglage côté refoulement.
3. Mettre en marche le moteur.
4. Contrôler l'évolution de la pression sur le manomètre côté refoulement.

Si la pression n'augmente pas progressivement avec la vitesse de rotation, arrêter le moteur et effectuer un nouveau.

5. Lorsque le moteur a atteint sa vitesse, régler le point de fonctionnement à l'aide de la vanne de réglage au refoulement.

**V-4-2-arrêt de la pompe :**

Pour l'arrêt du groupe, procéder comme suit :

1. Couper l'alimentation électrique du moteur.
2. Fermer la vanne de réglage côté refoulement.
3. Fermer la vanne côté aspiration.

En cas de risque de gel, vidanger la pompe.

### V-4-3-Démontage :

#### V-4-3-1-Préparations avant démontage :

Procéder comme suit :

- S'assurer que l'alimentation électrique est bien coupée et ne peut être rétablie accidentellement pendant l'intervention.
- Débrancher le moteur dans le bornier.
- Fermer les vannes d'isolement, côté aspiration et côté refoulement et vidanger soigneusement cette partie de l'installation.
- Si nécessaire, déconnecter et démonter les appareils de mesure et de contrôle.
- Débrider la pompe, la démonter du socle.
- Vidanger puis rincer de nouveau la pompe si nécessaire.

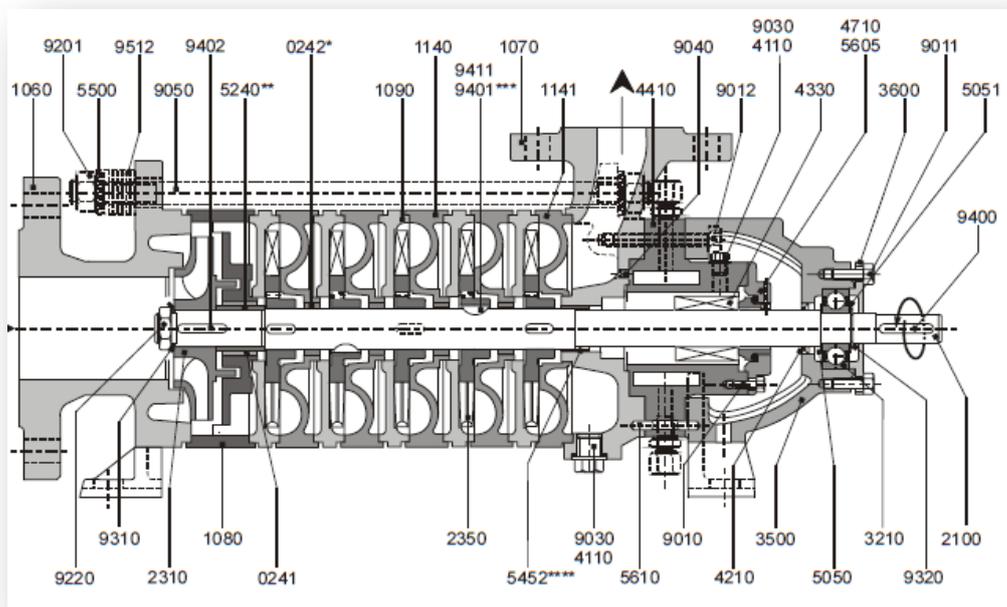


Figure-V-2-Schéma détaillé de la pompe 4155

---

**V-4-3-2-Démontage :**

Pour simplifier le remontage, tracer un repère sur toute la longueur du corps de pompe et numéroté les différentes pièces.

- Le démontage commence par le côté aspiration.
- Enlever les écrous 9201, les rondelles 5500, les rondelles élastiques 9512 (seulement pour exécution avec boîtier de refroidissement), les tirants d'assemblage 9050 et extraire la flasque aspiration 1060.
- Rabattre la rondelle frein 9310 et desserrer l'écrou 9220 en maintenant l'arbre avec une clé à sangle ou en le serrant dans un étau muni de mors doux.
- Démontez successivement la roue 2310, la clavette 9402, le corps centrifuge 1080 et la chemise d'arbre 5240 (seulement calibre 4100 à 6100) puis l'étage de rétention 1081 (pour les pompes en possédant).
- Démontez ensuite, le corps aspiration 1090, la roue à ailettes 2350, la clavette 9411(9401) et le corps de refoulement 1140. Répéter ces opérations autant de fois qu'il y a d'étages (le dernier corps refoulement porte le repère 1141).
- Démontez les vis 9011 et le chapeau 3600 puis extraire le Circlips 9320 ainsi que l'entretoise 5051.
- Désolidariser la patte-arcade 3500 du flasque de refoulement 1070 et du boîtier d'étanchéité 4410 en retirant les vis 9012.
- Extraire à l'aide d'un arrache-moyeu la patte arcade 3500 avec le roulement 3210 et l'entretoise 5050.
- Enlever le porte grain 4710, après avoir démonté les vis 9010. Extraire le boîtier de garniture 4410.
- Mesurer et noter la position de la garniture mécanique sur l'arbre (en prévision du remontage), puis la démonter.

**V-4-4-Montage :****V-4-4-1-Consignes avant montage :**

- S'assurer que toutes les pièces ont été vérifiées et sont parfaitement propres (plans de joint, faces des corps).
- Enduire de pâte au bisulfure de molybdène les faces de frottement, sauf les faces en carbone.
- L'étanchéité des plans de joints des corps de la partie hydraulique est réalisée par Cordon de Téflon mou le respect de l'orientation des corps est impératif pour assurer un bon fonctionnement de la

---

pompe (utiliser le schéma de montage des corps en annexe). Les repères tracés avant démontage simplifient cette opération.

- Pour les pompes le nécessitant, encoller de suite les plans de joint des corps 1140, 1141, 1080, 1090 pour permettre à la colle de durcir légèrement avant assemblage.

#### **V-4-4-2-Montage de la pompe :**

- Mettre en place la bague à lèvres 4210 dans la patte arcade 3500, l'entretoise 5050 et le roulement à billes 3210. Fixer le chapeau 3600.
- Monter le grain fixe et son joint torique dans le porte grain 4710.
- En prenant toute précaution pour ne pas endommager le joint de la garniture, positionner et fixer la garniture mécanique sur l'arbre 2100 en respectant la cote relevée au démontage.
- Positionner sur l'arbre 2100 équipé de sa garniture, le porte grain 4710, puis passer l'ensemble dans la patte arcade 3500, l'entretoise 5050 et le roulement 3210.
- Enlever le chapeau 3600, positionner l'entretoise 5051 et le Circlips 9320.
- Fixer le chapeau 3600 avec les vis 9011.
- Assembler le boîtier d'étanchéité 4410 et le flasque 1070 sur l'ensemble arbre et patte arcade montée précédemment puis fixer avec les vis 9012.

Positionner l'ensemble verticalement sur l'établi (bout d'arbre d'entraînement vers le bas) en le calant ou en immobilisant le bout d'arbre dans un orifice de l'établi.

- Monter le corps de refoulement 1141 (1140 pour les étages suivants), la clavette 9411(9401), la roue à ailettes 2350 et le corps aspiration 1090 (pour les pompes ou l'étanchéité entre corps est réalisée par cordon de Téflon mou, procéder à la mise en place du cordon au fur et à mesure de l'assemblage, pour l'immobiliser enduire légèrement de graisse les plans de joint avant de le positionner, croiser les deux extrémités du cordon sur 10 mm et écraser délicatement l'intersection en utilisant le plat d'un marteau. L'écrasement complet du cordon se fera au moment du serrage final de la pompe répéter ces opérations autant de fois qu'il y a d'étage en respectant l'orientation des corps suivant le plan de repérage joint en annexe.
- Remonter l'étage de rétention 1081 (pour les pompes en possédant) remonter ensuite la chemise 5240 (seulement pour les calibres 4100 à 6100), le corps centrifuge 1080 (ne pas oublier le positionnement du cordon d'étanchéité de Téflon mou pour les pompes le nécessitant), la clavette 9402 et la roue 2310.
- Mettre en place la rondelle frein 9310, serrer l'écrou de roue 9220 et rabattre la rondelle frein.
- Monter la flasque aspiration 1060 et les tirants d'assemblage 9050 avec les rondelles élastiques 9512 (exécution avec boîtier de refroidissement) et les rondelles 5500. Serrer légèrement les écrous 9201.

---

Graisser les embouts de tirants, les rondelles et écrous pour une meilleure transmission du couple de serrage.

- Poser la pompe sur un marbre, dégauchir les pattes de fixation et serrer progressivement les écrous 9201 deux à deux en diagonale.
- mettre en place la clavette 9400 et le demi-manchon d'accouplement sans à-coups, éventuellement le chauffer.

#### **V-4-4-3-Contrôle après le montage :**

- Vérifier la libre rotation de la pompe à la main.
- Contrôler et éventuellement rectifier le couple de serrage des tirants d'assemblage. Laisser la pompe plusieurs heures sans intervention (séchage de la pâte à joint).
- Faire une épreuve hydrostatique sous une pression maximale égale à 1,3 fois la pression nominale (voir fiche technique pour définition de la pression nominale). Choisir un liquide d'épreuve compatible avec le produit pompé.
- Après l'épreuve, vérifier le couple de serrage des tirants, rectifier si nécessaire.

#### **V-4-5-Remplacement de la garniture mécanique :**

Le remplacement de la garniture mécanique peut se faire sans démonter la pompe entièrement.

- Démonter les vis 9011, le chapeau 3600, le Circlips 9320, l'entretoise 5051 puis les vis 9012.
- Extraire la patte arcade 3500 avec son roulement 3210 et l'entretoise 5050 puis démonter les vis 9010 et le porte grain 4710.
- Relever et noter la position de la garniture mécanique puis la démonter.
- Remonter le grain fixe avec son joint dans le porte grain 4710.
- Prendre toute précaution pour ne pas endommager le joint de la garniture mécanique au passage des épaulements d'arbre. Positionner et fixer la garniture mécanique en respectant la cote relevée au démontage.
- Mettre en place le boîtier 4410 et fixer avec les vis 9010 sans les bloquer le porte grain 4710.
- Monter la patte arcade 3500 avec l'entretoise 5050 et le roulement 3210 en veillant à la position du pion de centrage 5610 puis fixer avec les vis 9012.
- Mettre en place l'entretoise 5051, le Circlips 9320, le chapeau 3600 et les vis 9011.
- Dégauchir la pompe sur un marbre, rectifier si nécessaire, vérifier le serrage de la boulonnerie et terminer le serrage des vis 9010.

Incidents	Causes	Remèdes
<b>Performances trop faibles</b>	-Contre pression trop importante.	Vérifier, ajuster le point de fonctionnement. Nettoyer les tuyauteries.
	Pompe et tuyauteries insuffisamment remplies ou mal dégazées.	Dégazer, remplir la pompe et la tuyauterie d'aspiration.
	Hauteur d'aspiration trop importante ou hauteur de charge trop faible.	Contrôler le niveau de liquide dans le réservoir, ouvrir la vanne côté aspiration. Nettoyer le filtre à l'aspiration
	Jeux internes trop importants.	Changer les corps usés.
	Mauvais sens de rotation.	Inverser deux phases sur le moteur.
	Corps étranger dans la pompe.	Ouvrir et nettoyer la pompe.
	- Prise d'air entre les corps ou aux brides sur la tuyauterie d'aspiration.	Refaire les étanchéités de corps. Changer les joints de bride.
<b>Fonctionnement instable ou bruyant</b>	Corps, étanchéité d'arbre, clapet de pied, ou tuyauterie d'aspiration non étanche.	Contrôler les joints de corps. Contrôler l'étanchéité d'arbre.
	- Hauteur d'aspiration trop forte ou hauteur de charge trop faible.	Contrôler le niveau de liquide dans le réservoir, ouvrir la vanne côté aspiration. Nettoyer le filtre à l'aspiration.
	Contraintes sur la pompe ou sur le groupe électropompes.	Vérifier l'installation, la mise en ligne et l'accostage des tuyauteries.
	- Corps étranger dans la pompe.	Ouvrir et nettoyer la pompe.
<b>Fuites de la pompe</b>	Fuite entre les corps par défaut de serrage.	Vérifier le couple de serrage des tirants d'assemblage, si la fuite persiste refaire l'étanchéité entre les corps.
	Fuite de la garniture mécanique.	Contrôler les faces de friction, les joints changés si nécessaire.

<b>Elévation de température dans la pompe</b>	Pompe et tuyauteries insuffisamment remplies.	Dégazer, remplir la pompe et la tuyauterie d'aspiration.
	- Hauteur d'aspiration trop forte ou hauteur de charge trop faible.	Contrôler le niveau de liquide dans le réservoir, ouvrir la vanne côté aspiration. Nettoyer le filtre à l'aspiration.
	- le débit minimum admissible n'est pas respecté.	Vérifier le débit minimum, ouvrir la vanne de refoulement.
<b>Le contacteur moteur disjoncte</b>	Contraintes sur la pompe.	Vérifier l'installation, la mise en ligne et l'accostage des tuyauteries.
	- Le point de fonctionnement prévu n'est pas respecté.	Vérifier et ajuster le point de fonctionnement.
	Intensité absorbée par le moteur supérieur à la valeur de consigne du relais thermique.	Contrôler le contacteur moteur et le raccordement.
	- Corps étranger dans la pompe.	Contrôler la libre rotation de la pompe, démonter et nettoyer la pompe.

**Tableau-V-1-Les hypothèses de panne et leur remède**

### V-5-Sécurité de la pompe :

Pour que la pompe offre un fonctionnement fiable sur, il faut qu'elle soit dotée d'un système de sécurité adéquat qui la protège en cas de perte partielle des caractéristiques en provoquant le déclenchement de la pompe en cas d'anomalie.

Dans le cas de notre pompe celle-ci est équipée de :

- Un système de contrôle de pression à l'aspiration et au refoulement qui protège la pompe contre les chutes de pression.
- Un système de contrôle des températures, du palier avant et du palier arrière qui donne l'alarme si la température atteint une certaine valeur et déclenche la pompe si la température atteint une valeur non tolérée.
- Du détecteur de flamme placée devant la pompe, ils donnent l'alarme s'il y aura du feu.
- Un système d'extinction du feu.

---

Le rôle de la sécurité s'accomplit d'une manière très intéressée, en évitant la présence des accidents et l'endommagement de la pompe, donc de tous les appareils et équipements qui dépendent de cette manière.

La sécurité renferme tout un programme des inspections et des réparations, représentant ainsi toute une série de règles de sécurité et des mesures bien données, la sécurité de la pompe doit être établie suivant deux périodes de fonctionnement de la pompe.

### **V-5-1-Sécurité de la pompe avant la mise en marche :**

Avant la mise en route de la pompe, s'assurer que personne ne peut être mis en danger par ce démarrage. Vérifier obligatoirement les points suivants :

- Les tuyauteries sont toutes raccordées et les joints étanches.
- La pompe et les tuyauteries sont correctement remplies et dégazées.
- La vanne de réglage côté refoulement est ouverte.
- La vanne côté aspiration est complètement ouverte.
- La mise en ligne a bien été vérifiée et est correcte.
- Le protège-accouplement est en place.
- Le moteur est prêt à fonctionner.
- A ce moment, vérifier le sens de rotation du moteur (antihoraire lorsque l'on fait face au bout d'arbre d'entraînement de la pompe).

### **V-5-2-sécurité pendant la période de fonctionnement :**

Pendant la mise en marche de la pompe, il faut :

- Ouvrir complètement la vanne à l'aspiration.
- Ouvrir la vanne de réglage côté refoulement.
- Mettre en marche le moteur.
- Contrôler le niveau de liquide dans le réservoir à l'aspiration.
- Contrôler la température du palier de la pompe (température maximum 80°C ou 50°C au-dessus de la température ambiante).
- Contrôler la température du liquide de refroidissement de l'étanchéité d'arbre.
- Contrôler l'évolution de la pression sur le manomètre côté refoulement.
- Si la pression n'augmente pas progressivement avec la vitesse de rotation, arrêter le moteur et effectuer un nouveau dégazage de la pompe.

- 
- Lorsque le moteur a atteint sa vitesse, régler le point de fonctionnement à l'aide de la vanne de réglage au refoulement.
  - l'étanchéité d'arbre est assurée par garniture mécanique tournante, une légère fuite est possible lors de la première mise en route, si les conditions le permettent, laisser tourner pendant 30 minutes afin que les éléments prennent leur position. Si la fuite persiste, démonter.

### **V-6-Sécurité au niveau de l'atelier :**

Afin de préserver la vie et la santé du personnel de l'atelier, pour créer un climat de confiance et de sécurité, les services de prévention suggèrent les recommandations suivantes :

- Ne jamais commencer les travaux sur la pompe juste à l'arrêt.
- Isoler complètement la machine.
- Ne pas tolérer la présence de personnes non autorisées sur la machine pendant l'entretien.
- Lors de la vidange, procéder avec soin, car l'huile chaude peut provoquer des brûlures.
- Ne tentez pas de faire des réglages pendant la marche de l'équipement dynamique.
- Pendant les opérations d'entretien ou de réparation, il est nécessaire de porter une tenue réglementaire : vêtement de sécurité, lunettes de sécurité, masque respiratoire, etc.....
- L'utilisation d'outillages conforme a et adéquat (réparation d'une pompe).

# CONCLUSION

Le stage que nous avons effectué à l'unité de GPL, nous a été de grande utilité sur le plan de la mise en application de nos connaissances théoriques acquises tout le long de notre formation à l'université de Boumerdes.

En effet, cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques en les appliquant dans l'industrie ; aussi de mieux comprendre le mode de fonctionnement des pompes centrifuges.

Dans ce travail, plusieurs points ont été traités :

- Une étude de la pompe centrifuge, son principe de fonctionnement ainsi que tous ces organes principaux ;
- Le calcul hydraulique permet de connaître les paramètres de service de la pompe (débit, pression, puissance.....) ;
- Le calcul mécanique permet de vérifier la résistance d'arbre et d'après le calcul de vérification nous avons confirmé que les conditions de résistance à la flexion et la torsion sont vérifiées ;
- Une étude de la simulation de l'écoulement interne dans l'impulseur avec le CFX ;
- À la cour de l'étude de maintenance et sécurité effectuée, nous avons constaté que pour assurer une grande durée de vie à la pompe il faut suivre la maintenance préventive qui consiste à suivre les opérations d'entretien périodiques (journalières, hebdomadaire...).

Finalement, on souhaite que ce mémoire puisse servir comme outil et référence de travail pour les étudiants à venir, et qu'il soit amélioré et complété pour l'intérêt commun.

# **Bibliographie**

FLOWSERVE -Pompes à canal latéral-

Cours MENECEUR.NOUREDDINE (CHAPITRE II : Circuit de transport de liquide)

<http://genie.industriel.iaa.free.fr>

ENSPM Formation Industrie-IFP Training

STERLING SIHI-Pompes à canal latéral-

Pompes centrifuges *par* Jean-François LAPRAY

Cours TOTAL-Les pompes-

Cours RDM-Mr.BETTAYEB-

Cours les pompes centrifuges-Mr.Hachemi-

Technique de l'ingénieur : article relatif aux pompe centrifuge

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)