

N° Ordre / Faculté / UMBB / 2016

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la chimie – FHC

Département : transport et équipements des hydrocarbures



Filière : gène mécanique

Option : mécanique des unités pétrochimiques

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master

Thème :

Etude de performances d'une pompe centrifuge bicellulaire

Réalisé par :

AMRANE ABD EL HAKIM

promoteur :

Mr : SAHNOUNE KHALED

Deviant par:

➤ BENBRIK ABD ERRAHMAN	MC/A	UMBB	PRESIDENT
➤ KHELIFI TOUHAMED SALAH	MC/B	UMBB	EXAMINATEUR
➤ GUEBLI ABDEL HAMID	MC/B	UMBB	EXAMINATEUR
➤ SAHNOUNE KHALED	MA/A	UMBB	EXAMINATEUR

Année université : 2015/2016

SOMMAIRE

I. Introduction	01
-----------------------	----

Chapitre I : Généralité sur les pompes et problème de cavitation

II. généralités sur les pompes	02
III. les types de pompe	03
1) Des pompes volumétriques	03
2) Les turbopompes	04
IV. Les pompes centrifuges	04
1) Définition	04
2) Classification des pompes centrifuges	05
3) Principe de fonctionnement	06
4) Description d'une pompe centrifuge simple	06
V. Les caractéristiques des pompes centrifuges	06
1) débit de la pompe	06
2) les pertes au niveau de la pompe	07
3) la charge d'une pompe	07
4) puissance de la pompe	08
5) rendement de la pompe	09
VI. autre caractéristique	09
1) Triangle de vitesse	09
2) Vaporisation	10
3) Tension de vapeur	12
4) Equitation de Bernoulli	12
VII. Phénomène de cavitation	13
1) Introduction	13
2) Définition	14
3) endroits attaqués par la cavitation	14
4) caractéristiques de la cavitation	14

5) les indices de la cavitation	16
VIII. courbes caractéristiques	17
IX. Avantages et inconvénients des pompes centrifuges	18

Chapitre II : Présentation de la nouvelle station de pompage SP1 Bis DRG Bejaia

I. Introduction	20
II. Description générale et réseaux de transport	20
A. Présentation de l'entreprise	20
1) L'Oléoduc Haoud Elhamra – Bejaia	20
2) L 'Oléoduc Béni Mansour – Alger	21
3) Le Gazoduc Hassi R'mel – Bordj Ménael	21
4) Le Port pétrolier de Bejaia	21
B. Organigramme de l'entreprise	21
• La Sous-Direction Exploitation	22
III. présentation de la station SP1 Bis	22
A. Organigramme théorique de la station SP1 Bis	23
B. Présentation des équipements de la SP1Bis	23
IV. Description des installations	25
• Les installations Principales	26
V. principe de fonctionnement de station de pompage sp1 Bis	27
• Les caractéristiques de station	28
1) Caractéristique des fluides Principaux	28
2) Nature et volume des activités de SP1 Bis	29
3) Capacités techniques	30
VI. Rôle de service	30
Conclusion	31

Chapitre III : Pompe centrifuge type 10X18 BFD

I. Description générale de la pompe	32
II. installation	34
III. Les caractéristiques de la pompe	44
1) Caractéristique de la pompe	44
2) Etude le fonctionnement de la pompe	44
IV. Courbe caractéristique	45
V. L'entraînement de la pompe	46
1) Généralité	46
2) Orientation de la machine	46
3) Description du fonctionnement	46
4) Les caractéristiques Générales	46
5) schéma d'une turbine à bi-arbre	47

Chapitre IV : Partie Calcul de Verification

❖ Calcule hydraulique	48
I. Détermination des paramètres principaux	49
1) Calcul de La hauteur manométrique	49
2) Vitesse spécifique	49
3) Calcule diamètre de l'arrête d'entre ramené	49
4) Calcul du rendement global	50
5) La puissance et le débit	51
II. Détermination des paramètres du rotor à l'entrée de la roue	51
1) Calcul le diamètre de l'arbre et du moyeu	51
2) Les angles	53
II. Détermination des paramètres du rotor à sortie de la roue	54

❖ Partie Mécanique	57
I. Estimation du poids de l'arbre	57
1) poids de l'arbre	57
2) charge linéaire de l'arbre	58
3) les poids des impulseur	58
4) calcul de poids du piston d'équilibrage	58
5) calcul de poids de chemise palier	58
6) calcul du poids di grain fond	59
7) calcul du manchon accouplement	59
II. calcul résistance aux appuis R_A et R_B	59
III. Détermination des paramètres du rotor à sortie de la roue	60
IV. calcul des moment fléchissant	60
IV. vérification de résistance	63
1) calcul de la contrainte de flexion	63
2) calcul de moment de torsion	63
3) calcul de contrainte de torsion	64
4) calcul de la contrainte selon le critère de Von mises	64

Chapitre V : Maintenance de la Pompe centrifuge type 10X18 BFD

I. Introduction	65
II. Définition de la maintenance	65
III. objectif de la maintenance	65
IV. Différents types de maintenance	66
1) Maintenance corrective	66
2) Maintenance préventive	66
V. les opérations de maintenance	67
VI. Maintenance de la pompe centrifuge type « 10X18 BFD »	67

VII. la maintenance de la cavitation	68
1) réduction des effets de cavitation	68
2) amélioration du NPSH requis	68
3) réduction du bruit et des vibrations	69
4) limitation du risque d'érosion	69
5) condition d'installation et d'utilisation des pompes	69
VIII. modes de prévention de la cavitation	70
1) moyens constructifs	70
2) indication d'installation et fonctionnement	70
3) utilisation des matériaux résistant à la cavitation	70
Conclusion	73

I. Introduction :

Le développement considérable des besoins en industrie du monde moderne impose un développement des moyens de transport de nature en particulier le transport des fluides par canalisation et l'utilisation des pompes en examinant les causes fondamentales de la nécessité de ce développement, on peut dégager les raisons suivantes :

- L'augmentation de la consommation des hydrocarbures (gaz et pétrole).
- L'éloignement des centres de consommation d'énergie par rapport à la source.
- Le transport des hydrocarbures du sud vers le nord.

Est Pour améliorer et développé dans le domaine de transport des fluides par canalisation il y'a trouvé beaucoup des problèmes dans les machine de transport comme le phénomène de cavitation.

Tout le monde a déjà entendu parler de la cavitation et des dommages qu'elle occasionne aux pompes, mais peu de gens savent ce que c'est exactement. Ce phénomène de cavitation, reste aujourd'hui encore, un sujet de préoccupation majeure pour celui qui s'intéresse aux pompes, qu'il soit utilisateur, installateur ou bien entendu constructeur. L'évolution rapide de l'industrie des pompes et les récents progrès réalisés dans l'étude et la compréhension des nombreux mécanismes qui régissent le phénomène de cavitation, rendent nécessaire la mise à jour des connaissances sur le sujet. Dans plusieurs cas, le phénomène de cavitation produit quelques défauts dans les pompes. Pour les éviter, il faut surveiller en permanence ces équipements et tous les signes qui précèdent les défauts avant qu'il ne soit trop tard. Pour cela, il existe une grande variété de techniques d'analyse (L'analyse vibratoire, l'analyse des lubrifiants, La thermographie infrarouge, L'analyse acoustique....etc).

Pour cela, j'organise notre mémoire de la manière suivante:

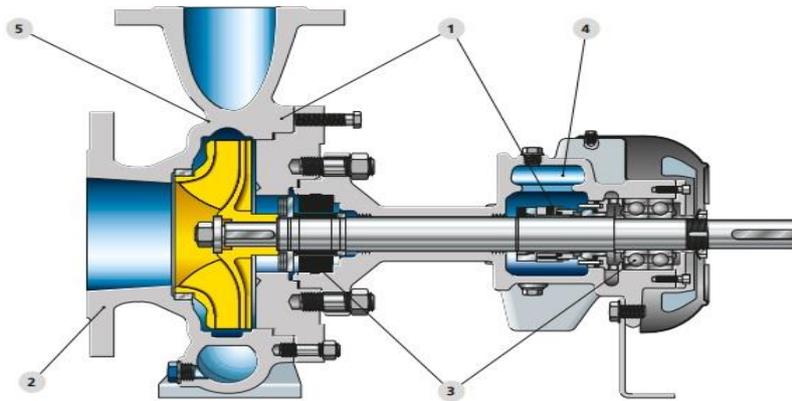
- Le premier chapitre est consacré à quelques généralités sur les pompes, principalement sur ceux de type centrifuges nous présentons de façon détaillée d'abord le phénomène de cavitation, puis ses effets sur les pompes.
- Dans le deuxième chapitre, est consacré à la présentation de la station.
- Dans le troisième chapitre, la description de la pompe et l'entraînement de cette pompe.
- Le quatrième chapitre est consacré à la partie calcule.
- Le cinquième et dernier chapitre est consacré à la maintenance de la pompe pour éviter le phénomène de cavitation.

I. Introduction :

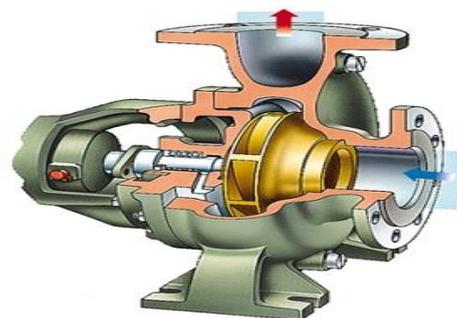
Les pompes occupent une place très importante dans l'industrie particulièrement dans le domaine des hydrocarbures où près de 30 % de l'équipement est constitué des pompes. Parmi ces dernières, les pompes centrifuges sont de très loin les plus utilisées.

Le transport du pétrole par oléoduc, la réinjection des liquides dans les gisements ainsi que tous les procédés de raffinage utilisent les pompes centrifuge.

Dans ce chapitre, on se propose de découvrir les pompes centrifuges dans tous leurs aspects, à savoir ; théorie, caractéristiques et tous les problèmes liés à leur exploitation.



Etudier la cavitation dans les pompes centrifuges qui sont les plus utilisées dans le transport des hydrocarbures et permettre de définir les différentes méthodes de maintenance et de prévention contre la cavitation pour un choix bien déterminé d'une pompe centrifuge à installer dans la station de pompage sans avoir le problème de cavitation



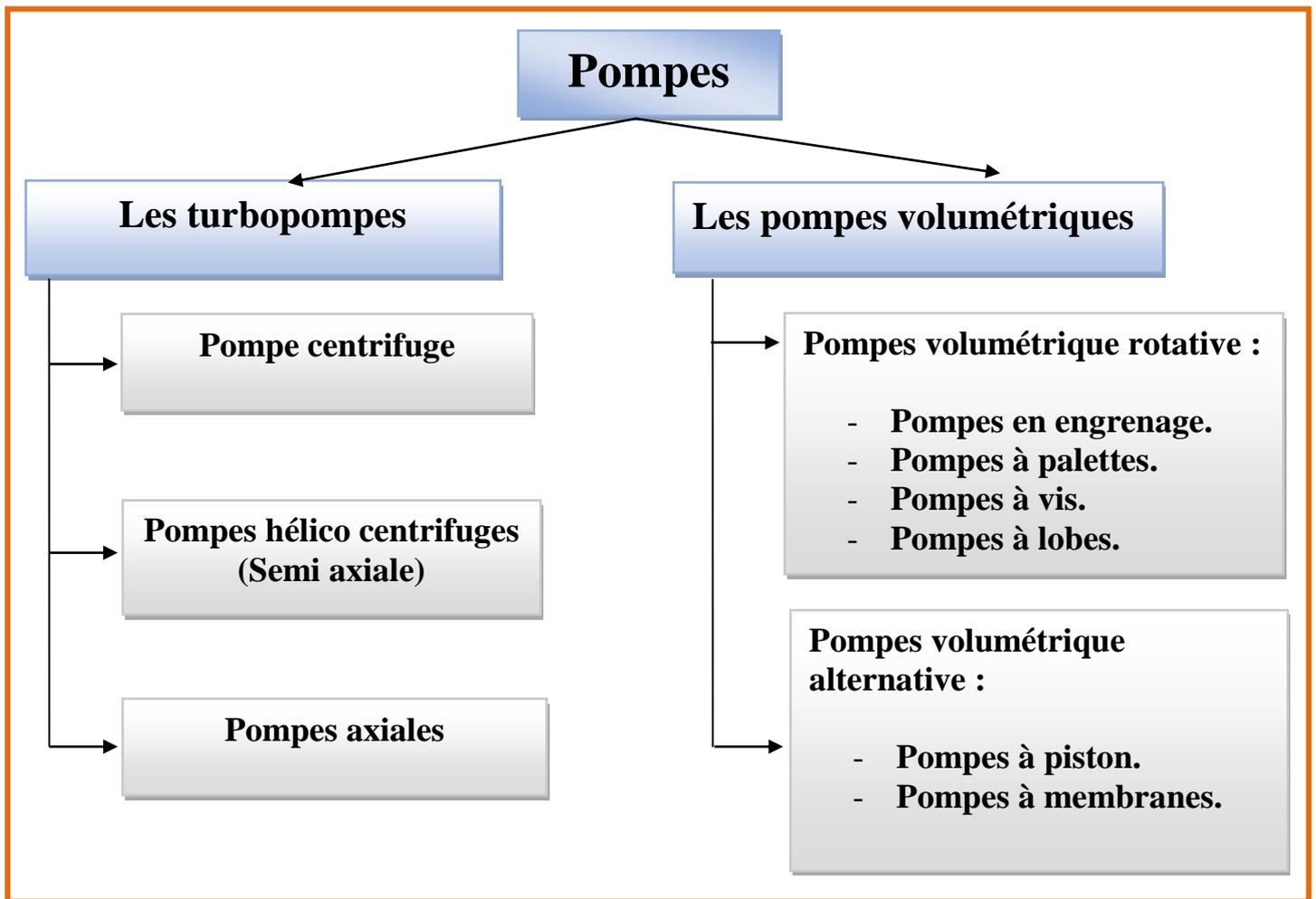
II. généralités sur les pompes :

Les pompes sont des machines réceptrices, qui transforment l'énergie mécanique fournie par le moteur d'entraînement en énergie de pression. Suivant les conditions d'utilisation. Elles sont très répandues dans l'industrie pétrolière et pétrochimique, et sont aussi largement utilisées dans les systèmes : automatique; hydraulique;

pneumatique et surtout dans les stations de pompages (expédition et injection des produits pétroliers), etc.....

Toutes les pompes sont divisées en deux classes principales selon le mode de fonctionnement :

- Les turbopompes.
- Les pompes volumétriques.



Organigramme I. 1 : Classification des pompes

III. les types de pompe :

1. Les pompes volumétriques :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant: Exécution d'un mouvement cyclique, pendant lequel un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant

d'être refoulé à la fin. Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement. On distingue généralement:

- Les pompes volumétriques rotatives.
- Les pompes volumétriques alternatives.

2. les turbopompes :

On appelle turbopompe toute machine à laquelle une ou plusieurs roues ou impulseur munies d'aubes ou d'ailettes tournants autour d'un axe échange d'énergie avec un fluide. Les aubes ménagent entre elle des canons par lesquelles le fluide s'écoule. La rotation de la roue permet aux aubes de transformer l'énergie mécanique en énergie cinétique et de pression communiquée aux particules du fluide au de la force centrifuge.

Dans les turbopompes, une roue munie d'aubes ou d'ailettes animée d'un mouvement de rotation fournit aux liquides de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en énergie de pression par réduction de vitesse sans un organe appelé le récupérateur.

Dans les turbopompes suivant le type du rotor et son mode d'action on distingue

1. Les pompes centrifuges (à écoulement radial)
2. Les pompes axiales ou hélices (à écoulement axial)
3. Les pompes hélico-centrifuges (à écoulement diagonal)

IV. Les pompes centrifuges :

1. Définition :

La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute.

A la sortie et à l'aide d'un divergent, un grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice.

Dans les turbopompes, suivant le type du rotor et mode d'action, en distingue :

1. Le distributeur.
2. Le rotor
3. Le récupérateur

- Le distributeur est un organe fixe ayant rôle la conduite du liquide depuis la section d'entré de la pompe jusqu'à l'entrée du rotor. Il se réduit à une seul tuyauterie pour les monocellulaires.

- Le rotor est l'organe principal de la pompe, il comporte des aubes ou ailettes qui grâce à leur interaction avec le liquide véhiculé transforme l'énergie mécanique en énergie de pression dans le récupérateur.

- Le récupérateur est un organe fixe qui collecte le liquide à la sortie du rotor et le canalise vers la section de la sortie de la pompe avec la vitesse désiré durant cette opération, et transformation partielle d'énergie cinétique en énergie de pression tient lieu.

Le récupérateur se compose en générale de deux organes :

- 1- Le diffuseur.
- 2- La volute.

Le diffuseur a pour rôle de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression et ainsi limiter la vitesse du liquide pour éviter les pertes de charges exagérées.

La volute est le collecteur du liquide venant du diffuseur. Elle assure la transformation d'énergie cinétique en pression et canalise vers la section de la pompe.

2. Classification des pompes centrifuges :

On classe les pompes centrifuges selon les critères suivant :

1. Disposition de l'axe horizontal, vertical et incliné.
2. Nombre de rotor : simple étage, double étage et multicellulaire.
3. Type de récupération : couronne à ailettes d'électrice, couronne sans ailettes, volute à vitesse variable et volute à vitesse constante.
4. Importance de la pression engendrée, base pression, moyenne et haut pression.
5. Forme de la roue : roue à simple aspiration ou à double aspiration.
6. Matériaux de constructions.
7. Moyens d'entraînement : entraînement par courroie, par engrenage ou par accouplement.
8. Force motrice utilisée : soit par turbine à vapeur, soit par moteur électrique, diesel ou essence.
9. Sortie du liquide : radial ou incliné.
10. Usage : usage générale, pompe à eau, pompe d'épuisement, pompe d'alimentation, pompe à liquide changer.
11. Désignation commerciales.
12. Le corps peut être à volute ou à diffuseurs.

3. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement des pompes centrifuges est basé sur la force centrifuge qui s'exerce toujours sur un corps en mouvement circulaire est-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 vers l'extérieur par la force centrifuge. Au niveau de l'impulseur la vitesse du fluide augmente, puis vitesse est convertie en pression au niveau du diffuseur.

4. Description d'une pompe centrifuge simple :

Les pompes centrifuges sont le type de pompe le plus répandu en raffinerie et usines pétrochimiques. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sureté, etc.....

V. Les caractéristiques des pompes centrifuges :

1) Débit de la pompe :

1. Débit théorique :

Le débit théorique caractérise par la pompe idéale, là ou n'existe pas des fuites de liquides véhiculé. Il est donné par la formule suivante :

$$Q = V \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot b$$

Ou :

V : la vitesse radiale à la sortie de la pompe.

r : le rayon extérieur de la même roue.

b : largeur de fonte de la roue de sortie.

2. Débit réel :

Le débit réel diffère du débit théorique à cause fluide. Ces pertes de débit sont :

- ❖ Pertes extérieur qui peuvent être éliminée par un système d'étanchéité.
- ❖ Pertes intérieures dues aux jeux fonctionnels entre la partie statique et la partie mobile, ces pertes doit être minimaux.

$$Q_r = Q_t - q_r$$

D'où :

Q_t : Débit théorique en circulation.

q_r : Débit de fuites.

2) Les pertes au niveau de la pompe :

Il existe plusieurs types de perte qui sont :

1. Pertes d'énergie massique :

Ces pertes sont de deux types :

- ❖ Pertes par frottement par la roue et dans le diffuseur.
- ❖ Pertes par choc à l'entrée de la roue et l'entrée du diffuseur.

2. Pertes par fuites :

Ces pertes sont généralement appelées pertes de masse. On distingue deux types de ces pertes :

- ❖ Fuite extérieure
- ❖ Fuite intérieure

3. Pertes de puissance mécanique :

Cette perte est au niveau des paliers de frottement de disque de la roue de liquide.

3) La charge d'une pompe :

1. Hauteur théorique :

C'est une hauteur assurée par une pompe idéale dans laquelle le nombre des aubes est fini. L'épaisseur des aubes est nulle de sorte que dans la roue ne se produit aucune perte d'énergie. L'énergie disposée à faire tourner le rotor est transmise intégralement au liquide.

$$H_t = \frac{1}{g} (U_2 \cdot V_{2U})$$

Avec la supposition d'une roue radiale de liquide.

Où :

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

V_{2U} : est la projection (V) suivant la direction de (U).

2. Hauteur réel :

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

$$H = K \cdot H_t \cdot \eta_h$$

Où :

K: coefficient qui tient compte du nombre d'aubes.

H_t : Rendement hydraulique de la pompe.

4) Puissance de la pompe :

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.

$$P = C \cdot \omega = \rho \cdot g (H_r + \Delta h)(Q_r + q_r) + \Delta h_{rmech} *$$

Où :

- Δh : les pertes aérodynamiques (décharge).

- q_r : les pertes de fluides.

- C : couple de torsion.

- ω : vitesse angulaire.

2. puissance utile :

C'est une puissance transmise au liquide.

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

3. Puissance indiquée :

C'est une puissance absorbée qui compte seulement des pertes hydrauliques.

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

$$P_{ab} = P_{in} + \Delta h_{rmech} *$$

5) Rendement de la pompe :

Les pompes centrifuges sont caractérisées par leurs rendements.

1. Rendement hydraulique :

$$\eta_h = \frac{H_r}{H_t}$$

2. Rendement volumétrique :

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_r + Q_t}$$

3. Rendement mécanique :

$$\eta_m = \frac{P_{in}}{P_{in} + \Delta h_{mec}}$$

4. Rendement global :

Le rendement global caractérise l'ensemble des points ayant lors de la transformation d'énergie électrique au moteur d'entraînement.

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

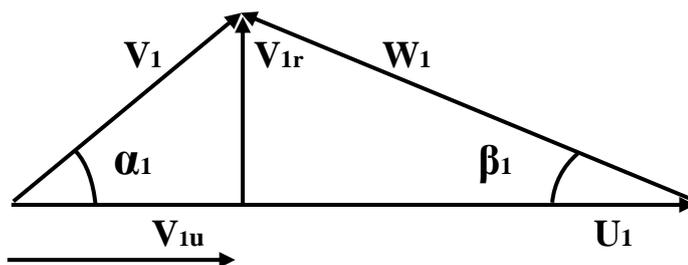
VI. Autre caractéristique :

1. Triangle de vitesse :

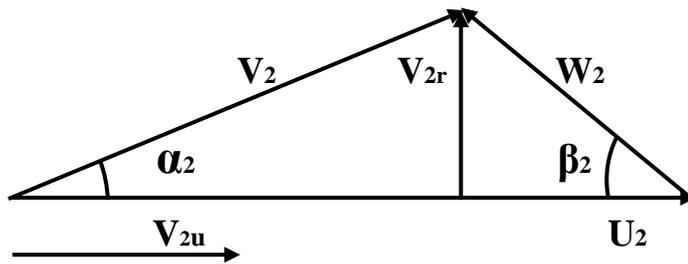
L'étude des diverses composantes des vitesses d'écoulement Dans une roue d'une pompe centrifuge est possible grâce à la représentation des vitesses par des vecteurs. La dénomination du triangle des vitesses vient du fait que la figure géométrique formée par les vectrices vitesses est un triangle.

On considère les vitesses de l'écoulement dans une roue qui tourne à vitesses angulaire constant ω (rad/s), nous distinguons l'écoulement absolu rapporté au corps immobile, l'écoulement relatifs par rapport à la roue tournante.

1) Triangle des vitesses à l'entrée de la roue :



2) Triangle des vitesses à l'entrée de la roue :



Ou :

- U : vitesses d'entraînement de la roue.
- W : vitesses relative de l'écoulement.
- V : vitesses de l'écoulement résultant.
- β : Angle relatif entre W et le triangle.
- α : Angle absolu entre V et le triangle.
- 1,2 : Indices désignant l'entrée et la sortie de la roue.

2. Vaporisation :

La vaporisation d'un liquide est le changement de phase qui le transforme en vapeur. Cette transformation est le plus souvent produite par apport de chaleur, Comme dans les générateurs de vapeur des centrales thermiques ou ordinairement dans une casserole. Elle peut également être provoquée par une mise en dépression, Cas par exemple des évaporateurs des usines de dessalement. Dans certains cas, La vaporisation résulte d'une combinaison de ces deux effets, apport de chaleur et mise en dépression.

Ces deux types de vaporisation sont illustrés dans un diagramme thermodynamique (P , V) donnant la pression en fonction du volume spécifique, la transformation AB est une vaporisation à pression constante résultant d'un apport de chaleur extérieur Q . (D , E) est une vaporisation résultant d'une mise en dépression de chaleur pour vaincre la chaleur latente de changement de phase.

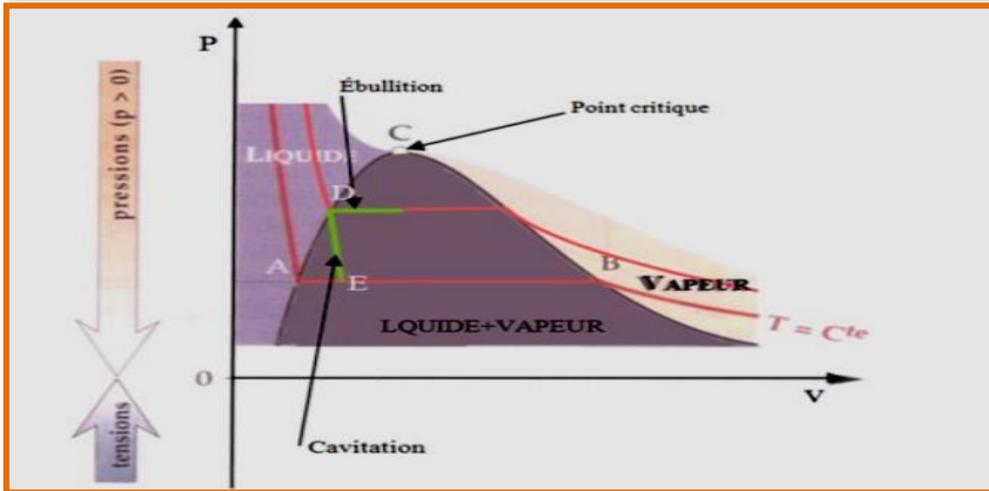


Figure I. 2 : Modes de vaporisation dans liquide

Dans le second cas (D, E), la transformation peut être globalement adiabatique, sans apport de chaleur extérieur. Il est alors nécessaire, pour produire la vapeur, de refroidir le liquide environnant la cavité de vapeur, ce qui se traduit schématiquement sur la figure (II.2) par le fait que l'on change d'isotherme en passant de D et E. La pression sous laquelle se produit la vaporisation dépend directement de la température. On donne sur la figure suivante, l'évolution de la tension de vapeur en fonction de la température.

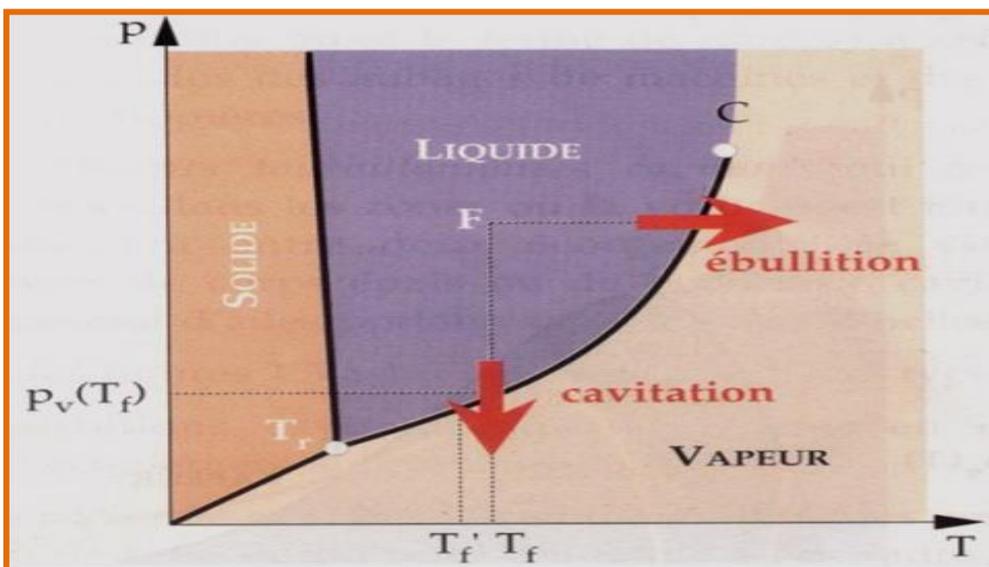


Figure I. 3 : évolution de l'état d'un corps en fonction de la température et de pression

3. Tension de vapeur :

Pour une température donnée tout liquide à une pression d'ébullition bien déterminée dite tension de vapeur T_v , donc pour tout liquide quand on atteint la pression de vapeur T_v , le liquide commence à se vaporiser (exemple au niveau de la mer l'eau bout à 100°C , au sommet d'une haute montagne, l'eau va bouillir avant d'attendre 100°C car la pression aura baissé par rapport à celle du niveau de la mer. Si on considère le cas de l'eau par exemple, on sait que l'eau à la pression atmosphérique boue à une température de 100°C . Toutefois, si la pression qui règne au-dessus du liquide est différente de la pression atmosphérique, la température d'ébullition sera modifiée. Ainsi, lorsque la pression augmente, la température d'ébullition augmente (et lorsque la pression diminue, la température d'ébullition diminue).

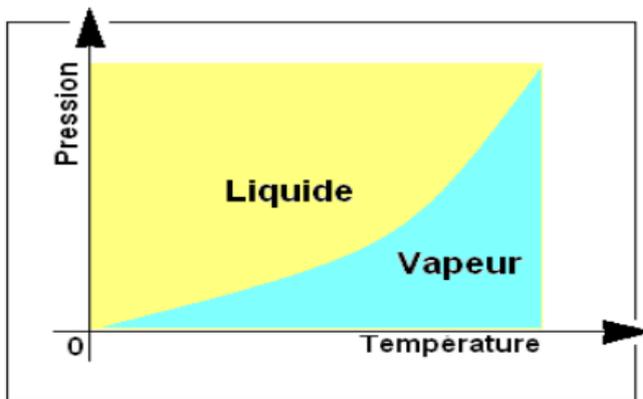


Figure I. 4 : Graphe liquide-vapeur

Pression (bar)	Température d'ébullition ($^\circ\text{C}$)
50	264
6	159
2	120
1	100
0,5	81

Tableau I. 5 : Température d'ébullition d'eau en fonction de la pression

4. équation de Bernoulli :

Considérons une pompe installée, en fonctionnement (figure I. 6) suivant :

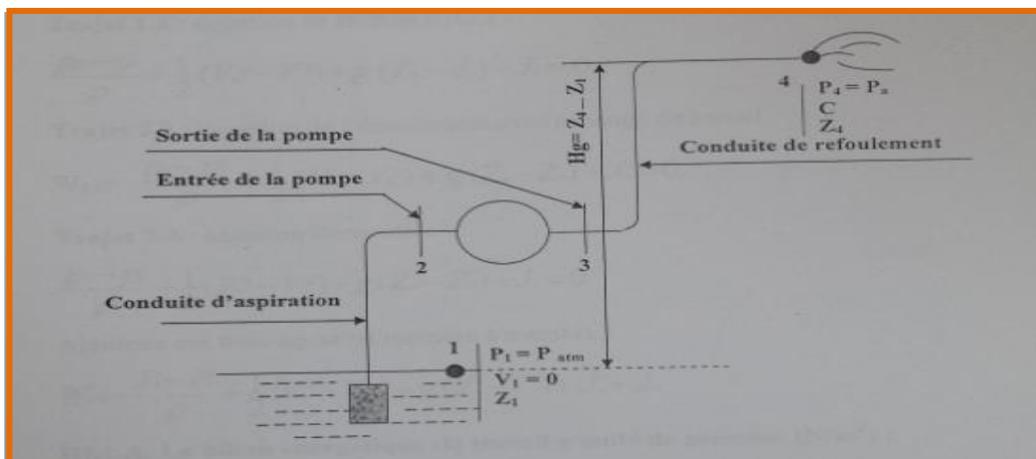


Figure I. 6 : Schéma d'installation d'une pompe

On tient compte des pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement.

Conduite d'aspiration : perte de charge J_a [j/kg] ou [Ja / kg]

Conduite refoulement : perte de charge J_r [j/kg] ou [Ja / kg]

La pompe est parfaite ; perte de charge est nulle dans le trajet

2-3 à l'intérieur même de la pompe.

Trajet 1.2 : équation de BERNOULI :

$$NPSH = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g \cdot (Z_2 - Z_1) + J_a = 0$$

VII. Phénomène de cavitation :

1. Introduction

Le phénomène de cavitation est un grand problème qui peut arriver durant le fonctionnement de notre pompe. Pour éviter ce problème, étudions-le.

La pompe centrifuge est faite pour pomper un liquide, on peut imaginer qu'elle fonctionne correctement que si aucune vapeur ne se forme. Donc, toutes les pompes centrifuges ne fonctionnent pas normalement qu'au cas la pression absolue à l'entrée de ces dernières n'est pas trop faible.

Dans le cas contraire, à l'entrée de liquide dans les carreaux formés par les aubes du rotor, la pression absolue atteint une valeur minimum, la cavitation fait son apparition.

Le fonctionnement normal de la pompe centrifuge est assuré par une pression absolue suffisante à l'entrée de la pompe. Au cas où la pression absolue du liquide à l'entrée atteint la tension du vapeur à la température ambiante, il se produit à cet endroit une évaporation et un dégagement intense de gaz, ceci est causé par une diminution locale de la pression portant le nom de cavitation.

Lorsque la pression diminue jusqu'à une valeur inférieure de la tension de vapeur à une température donnée, des petites bulles de vapeur de liquide véhiculé commencent à se former ainsi que le dégagement des gaz dissous dans le liquide, ces bulles de vapeur de gaz sont entraînés par le liquide jusqu'à la pression plus élevée ou elles sont écrasées.

La fermeture des bulles se fait d'une manière brusque et la pression augmente le choc provoqué, se succèdent très rapidement et arrachent les matériaux aux endroits les moins résistants, ceci provoque une vibration qui se communique dans toute la pompe, et engendre des bruits anormaux.

2. Définition :

La cavitation est la transformation de la phase liquide en phase vapeur, cette transformation dépend de la tension de vapeur qui dépend elle aussi de la densité du liquide, de la température et de vitesse des molécules (vitesse d'écoulement). La cavitation provoque alors la vaporisation ou l'évaporation du liquide pompé, des bulles de gaz se forment à l'entrée de l'impulseur et se condensent, quand la pression augmente, les chocs de pression qui en résultent exercent des forces importantes sur le matériau de l'impulseur, des particules de métal sont arrachées et en un temps très court, l'impulseur devient inutilisable.

3. endroits attaqués par la cavitation :

Les aubes de la roue, les ailettes directrices et les surfaces limitant le passage de liquide dans la pompe peuvent être endommagés par la corrosion, l'érosion et la cavitation. Au stade initial de la cavitation, l'écrasement des bulles de vapeurs se termine dans l'enceinte de la roue, au stade de cavitation complètement développé le majeur parti des bulles est écrasés dans la roue, et le reste est entraîné dans la directrice à ailette et la volute, alors ces éléments sont endommagés par l'impulsion des bulles.

Les détériorations causées par la cavitation affectent non seulement les aubes, mais également les flasques de la roue, au lieu de pression la plus basse se sur les extrados des aubes proximité de l'arrêt d'entrée.



Figure I. 7 : endroits attaqués par la cavitation

4. caractéristiques de la cavitation :

a. hauteur d'aspiration :

Pour éviter la cavitation, il faut que la pression à l'entrée de la pompe soit supérieure à la tension de vapeur d'une marge suffisante, qui s'appelle le **NPSH** (Net positive section Head) ou (Hauteur de charge nette à l'aspiration).

b. Notion de NPSH - Net Positive Suction Head :

NPSH est l'abréviation anglo-saxonne de «Net Positive Suction Head», ce qui se traduit en français par : «Charge Totale Nette à l'Aspiration».

Définition du NPSH : C'est la pression totale en [m] de colonne liquide pompée déterminée à la bride d'aspiration de la pompe, moins la P_v du liquide à la température de fonctionnement.

Mathématiquement :

$$NPSH = H_a - \frac{P_v}{\rho \cdot g} = \frac{P_a}{\rho \cdot g} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a - \frac{P_v}{\rho \cdot g}$$

Avec :- P_v : pression de vapeur du liquide. - H_a : hauteur

- P_a : pression d'aspiration de la pompe. - V_a : vitesse
- g : accélération due à la pesanteur - Z_a : altitude
- ρ : masse volumique.

1 – le 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 le note NPSH requis.

- C'est la valeur du **NPSH** déterminé par constructeur
- Il dépend de la construction interne de la pompe.
- C'est l'intervalle entre la pression d'entrée à la conduite d'aspiration et la pression de vapeur du liquide qui évite l'apparition de la cavitation.

2 – le NPSH disponible :

Suivant la configuration de montage et du produit véhiculé, il y a une pression P_a à l'aspiration de la pompe. En conséquence seule la quantité de pression supérieure à P_v sera utile (si cette pression arrive à la P_v , on aura du gaz à l'entrée de la pompe). NPSH disponible ou d'installation Il s'agit de la pression à l'aspiration régnant effectivement à l'entrée d'une pompe, Et que l'utilisateur doit définir pour choisir correctement sa pompe. Il est donc toujours défini.

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_a}{\rho \cdot g} + \frac{V_a^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} \quad (Z_a = 0 \text{ côte aspiration})$$

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 ait déterminé à l'aide de la courbe fournie par le constructeur).

NPSH disponible > NPSH requis → sans cavitation.
NPSH disponible ≤ NPSH requis → avec cavitation

Et pour cela il faut :

- Diminuer les pertes de charges.
- Augmenter la pression d'aspiration.
- th Limiter le débit et la vitesse de rotation pour limiter

Et

$$\frac{V_a^2}{2g}$$

$$h_{1.2}$$

- Diminuer la hauteur géométrique.
- Augmenter le diamètre de la conduite d'aspiration.

c. l'allure de la cavitation :

La cavitation s'observe dans la pompe en deux (2) phases :

- Le stade initial de la cavitation.
- Le stade de cavitation complètement développé.

Pendant ces deux stades de la cavitation on remarque les critères suivants :

- La réduction de la hauteur de la pompe.
- La réduction du rendement
- La chute du pouvoir manométrique
- L'apparition des bruits
- Les vibrations
- Les détériorations dans les parois de la pompe
- La panne complète de la pompe

Tous ces critères apparaissent à des différentes étapes du développement de la cavitation, L'apparition de la cavitation est uniquement fonction des conditions de travail dans la région d'aspiration de la pompe et peut entraîner la rupture de la continuité d'écoulement.

5. les indices de la cavitation :

1) bruit et vibration :

La formation de petites poches de vapeur et le grossissement est toujours suivi d'une implosion violente et un écrasement soudain de bulles de vapeur provoque un bruit.

Le bruit du s'accroît en entraînant une diminution du rendement.

L'implosion des bulles et leur rapidité à disparaître provoquent des vibrations dans les différentes parties de la pompe comme.

- Les roues
- Les aubes
- L'arbre de la pompe et autres organes mobiles

Sous l'effet de variation brusque de pression qui peut atteindre des valeurs importantes de des vibrations sont de l'ordre de 1000 HZ.

2) Erosion des aubes et rupture par fatigue :

Les divers matériaux utilisés pour la fabrication des aubes doivent avoir une bonne résistance car dans le cas contraire on remarque l'apparition de petites cavités dues à l'érosion des aubes (particules de métal arrachées)

Ainsi que pour éviter la fatigue des aubes on a développé une technique de passage à l'aide de feuilles en alliages soudés sur les endroits soumis à la cavitation (au bord d'attaque des aubes).

Les matériaux ci-dessous sont rangés dans un ordre croissant selon la résistance à la cavitation :

- Fonte
- Bronze ordinaire
- Bronze d'aluminium.
- Acier
- Acier à 13% de chrome
- Acier inoxydable

3) caractéristiques des endroits attaqués par la cavitation :

La cavitation se manifeste par :

- Une usure des parois dans la zone où les bulles de vapeur se ferment
- Un martelage intensif des parois dues à l'écrasement des bulles
- Des fissures dans le ciment inter granulaires qui constitue les surfaces de la pompe.
- Des ruptures dans la pompe et des surfaces endommagées

4) chutes de performances :

- Réduction de la hauteur d'élévation.
- Réduction du rendement.

VIII. Courbe caractéristique

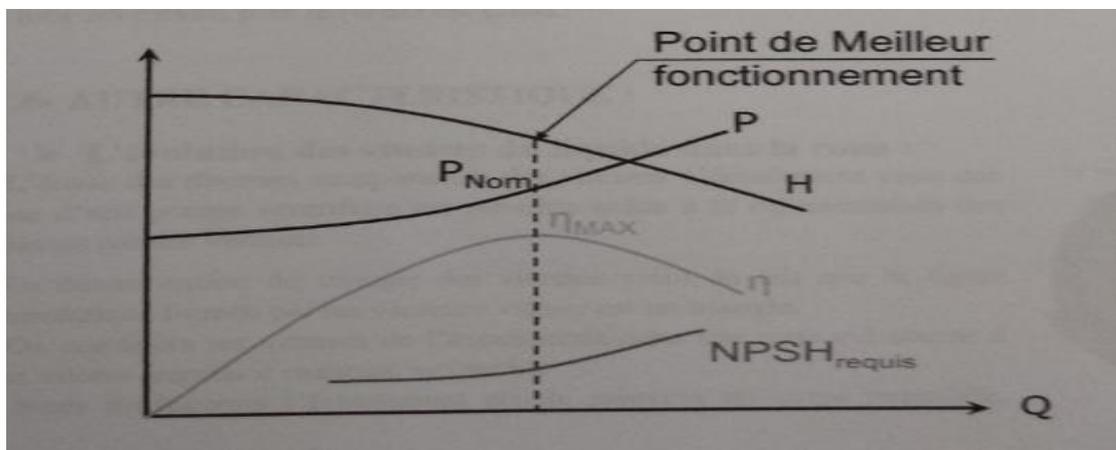


Figure I. 8 : Les courbes du paramètre de la pompe

1. La hauteur manométrique en fonction du débit :

La courbe $H=f(Q)$ représente la performance pour une vitesse de rotation constante. C'est une courbe parabolique, pour une certaine vitesse de rotation, la hauteur manométrique augmente très légèrement avec le débit, mais dès qu'elle dépasse une limite, elle commence à diminuer tandis que le débit continue d'augmenter.

2. La puissance absorbée en fonction du débit :

Comme on remarque sur la courbe $P=f(Q)$, la relation entre le débit et la puissance pour une certaine vitesse de rotation est une relation logiquement pour augmenter le débit d'une pompe centrifuge, on doit augmenter la puissance nécessaire qui se stabilise-t-on une valeur maximale, tandis que le débit continue à augmenter.

3. Le rendement en fonction du débit :

La relation est une courbe parabolique $\eta = f(Q)$ en vois que pour une certaine vitesse de relation et un certain débit, le rendement atteint sa valeur maximal, si le débit augmente ou bien diminue, le rendement va diminuer.

On peut dire que pour obtenir un rendement maximal, la pompe doit tourner avec une vitesse de rotation maximale, il y a seulement un seul débit possible.

4. Le NPSH requis en fonction du débit :

La courbe $NPSH_{requis} = f(Q)$ qui représente la relation entre le débit et le NPSH montre que le NPSH augmente lorsque le débit continue à augmenter, le NPSH est une valeur au dessus de laquelle la pompe fonctionne sans cavitation, c'est une valeur qui est donnée par le constructeur.

D'une façon générale, plus la vitesse de rotation ou plus la vitesse d'entrée du liquide dans la roue est élevée, plus le NPSH est grand.

IX. Avantages et inconvénients :**1. Avantages :**

- Ces machines sont de construction simple et demande peu d'entretien.
- Prix modérés et coût de maintenance faible.
- Matériaux de construction très variés (fluide corrosif possible)
- Pompes compactes et peu encombrantes.
- Bons rendements.

- Le débit est continu.
- En cas de dysfonctionnement du circuit de refoulement (colmatage), la pompe ne subit aucun dommage

2. Inconvénients :

- Elle n'est pas auto-amorçant.
- Elle ne fonctionne avec des fluides trop visqueux.
- Elle nécessite des dispositifs d'équilibrage.

I. Introduction :

La société sonatrach « Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures»

Ce manuscrit présente un résumé de notre stage dans cette société et exactement dans (Station de pompage ‘ ‘ SP1 bis’’) est située au PK 189.820 à 28 Km à l'ouest de Djamaa, dans la willaya d'El-Oued.

L'ancienne station de Djamaa a été mise en service en 1960. Son activité principale est la réception et le pompage des hydrocarbures liquides (pétrole brut et condensat) depuis le Terminal Départ Haoud El Hamra (HEH) jusqu'au Terminal Arrivée de Bejaia et une nouvelle station a été construite à proximité de l'ancienne station. L'effectif permanent du site est de 58 personnes, ce site s'étend sur une superficie de 267 800 m² dont 199 800 m² pour la station de pompage.

Ce chapitre a pour but la description de la ligne de transport de brut et condensat OB1, On parlera alors, dans la section 2 présentation de la station SP1 Bis et d'expliquer le principe de fonctionnement de la station de pompage et Caractéristique des fluides principaux et ses systèmes.

On détaillera ensuite dans la section 3 l'Organigramme théorique de la station, la Nature et le volume des activités et Les capacités techniques de sp1 bis on finira le chapitre par une conclusion dans la section 4.

II. Description générale et réseaux de transport

A. Présentation de l'entreprise :

La Direction Régional de Bejaia (DRGB) est chargée du transport, du stockage et de la livraison des hydrocarbures transportés à travers les canalisations gérées et exploitées par la DRGB sont :

- ❖ La gaze naturelle.
- ❖ Le pétrole brut.
- ❖ Le condensat.

La Direction Régionale de Bejaia est l'une des cinq (05) régions composant l'activité transport par canalisation de Sonatrach, ces régions sont :

- ❖ La région du transport Est - Skikda.
- ❖ La région du transport Ouest - Arzew.
- ❖ La région du transport de Haoud Elhamra.
- ❖ La région du transport d'In Amenas.
- ❖ La région du transport Centre - Bejaia.

Elle est située à 02 Km du Nord-ouest de la ville de Bejaia et s'étend sur une superficie globale de 516135 m² divisée en deux parties côté nord et côté sud. La DRG - Bejaia est chargée de l'exploitation de deux Oléoducs (OB1 et OG1), d'un gazoduc (GG1) et d'un port pétrolier et des stations de pompage.

1)- L'Oléoduc Haoud Elhamra – Bejaia :

- Désignation : OB1.
- Longueur : 667.955 Km.
- Diamètre : 24"/22"
- Mise en service : 1959.
- Mission : achemine le pétrole brut et le condensât de HEH vers la terminale arrivée de Bejaia et la raffinerie d'Alger.

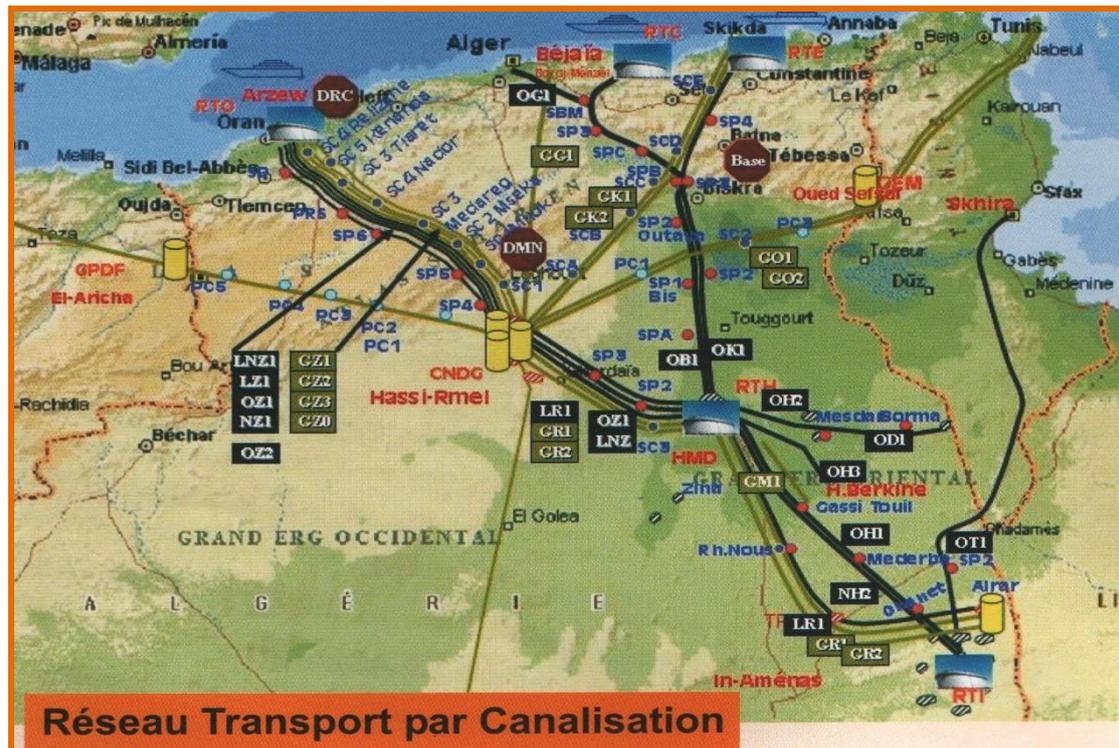


Figure II. 1 : Réseau de transport par canalisation

2)- L 'Oléoduc Béni Mansour – Alger :

- Désignation : OG1.
- Longueur : 130 Km.
- Diamètre : 16" (réalisation d'un nouveau pipe de 20" en 2005)
- Mise en service : 1970.
- Mission : alimente la raffinerie d'Alger située à Sidi Arcine.

3)- Le Gazoduc Hassi R'mel – Bordj Ménael :

- Désignation : GG1.
- Longueur : 437 Km.
- Diamètre : 42".
- Mise en service : 1981.
- Mission : approvisionne en gaz naturel toutes les villes et pôles industriels du centre du pays.

4)- Le Port pétrolier de Bejaia :

Il est composé de :

- Trois (03) postes de chargement permettent le chargement de navires jaugeant jusqu'à 80,000 tonnes.
- Une station de déballastage assure le traitement des eaux de ballast.

B. Organisation de l'entreprise :

La Direction Régionale de Bejaia est assistée par quatre (04) sous directions :

- ❖ La sous-direction Technique.
- ❖ La sous-direction Exploitation.
- ❖ La sous-direction Administration et Sociale.
- ❖ La sous-direction Finances et Juridique.

Lesquels sont à leurs tours assistées de départements.

• **La Sous-Direction Exploitation :**

Elle était l'un des départements de la Sous-Direction Technique devenue une sous-direction selon le nouvel organigramme, chargée de l'exploitation des ouvrages, le transport des hydrocarbures et la gestion des différentes stations de pompage.

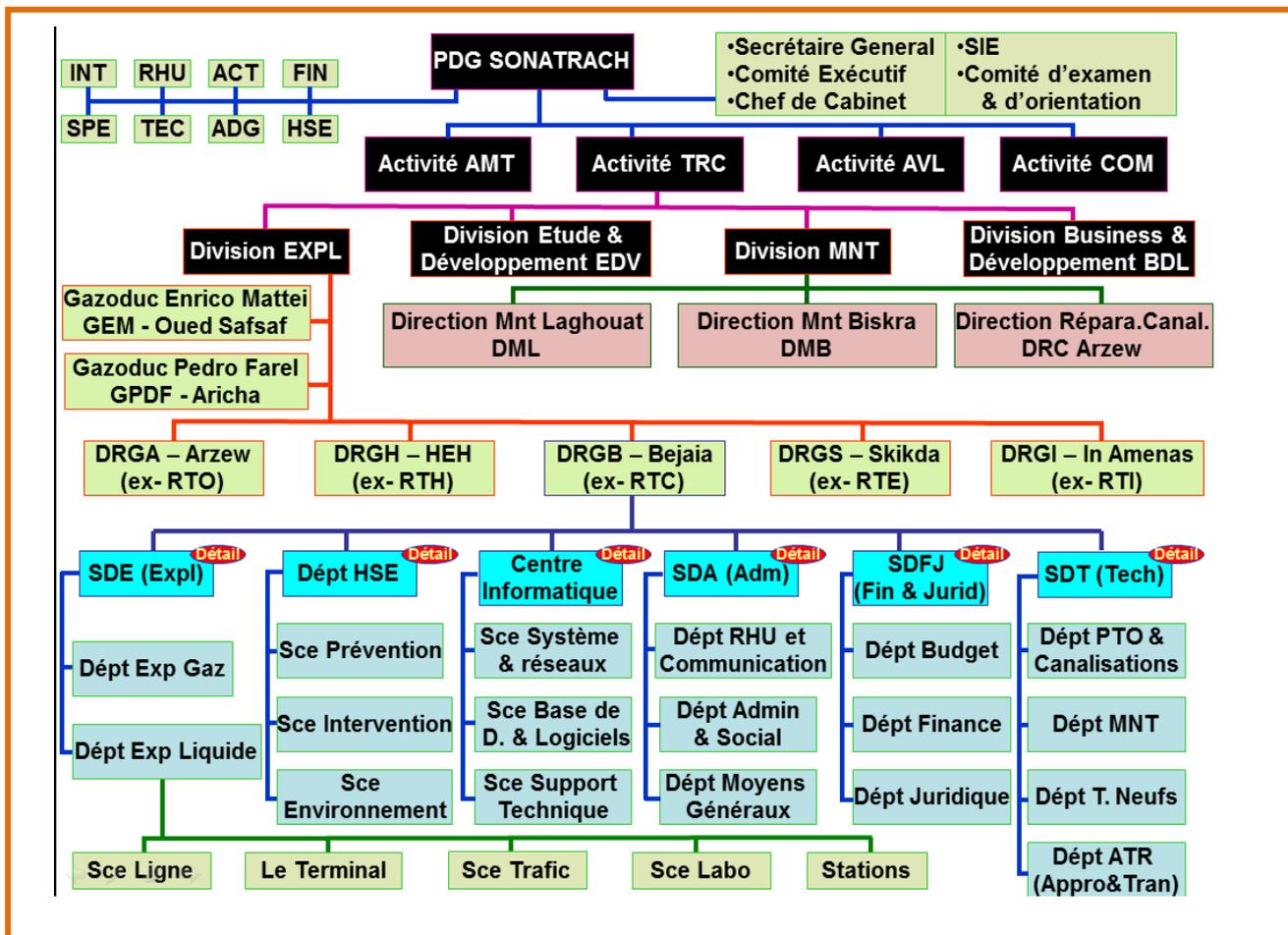


Figure II. 2 : Organigramme de l'entreprise

III. présentation de la station SP1 Bis :

La station de pompage SP1 bis de Djamaa (Wilaya d'El Oued) est gérée par l'activité Transport par Canalisation, Région de Transport Centre de Bejaia, de la société SONATRACH. L'ancienne station de Djamaa a été mise en service en 1960. Son activité principale est la réception et le pompage des hydrocarbures liquides (pétrole brut et condensat) transportés par l'oléoduc OB1 24'' depuis le Terminal Départ Haoud El Hamra (HEH) jusqu'au Terminal Arrivée de Bejaia. Dans le cadre de la réhabilitation de l'oléoduc OB1, une nouvelle station a été construite à proximité de l'ancienne station. L'effectif permanent du site est de 58 personnes, ce site s'étend sur une superficie de 267 800 m² dont 199 800 m² pour la station de pompage.

A. Organigramme théorique de la station SP1 Bis :

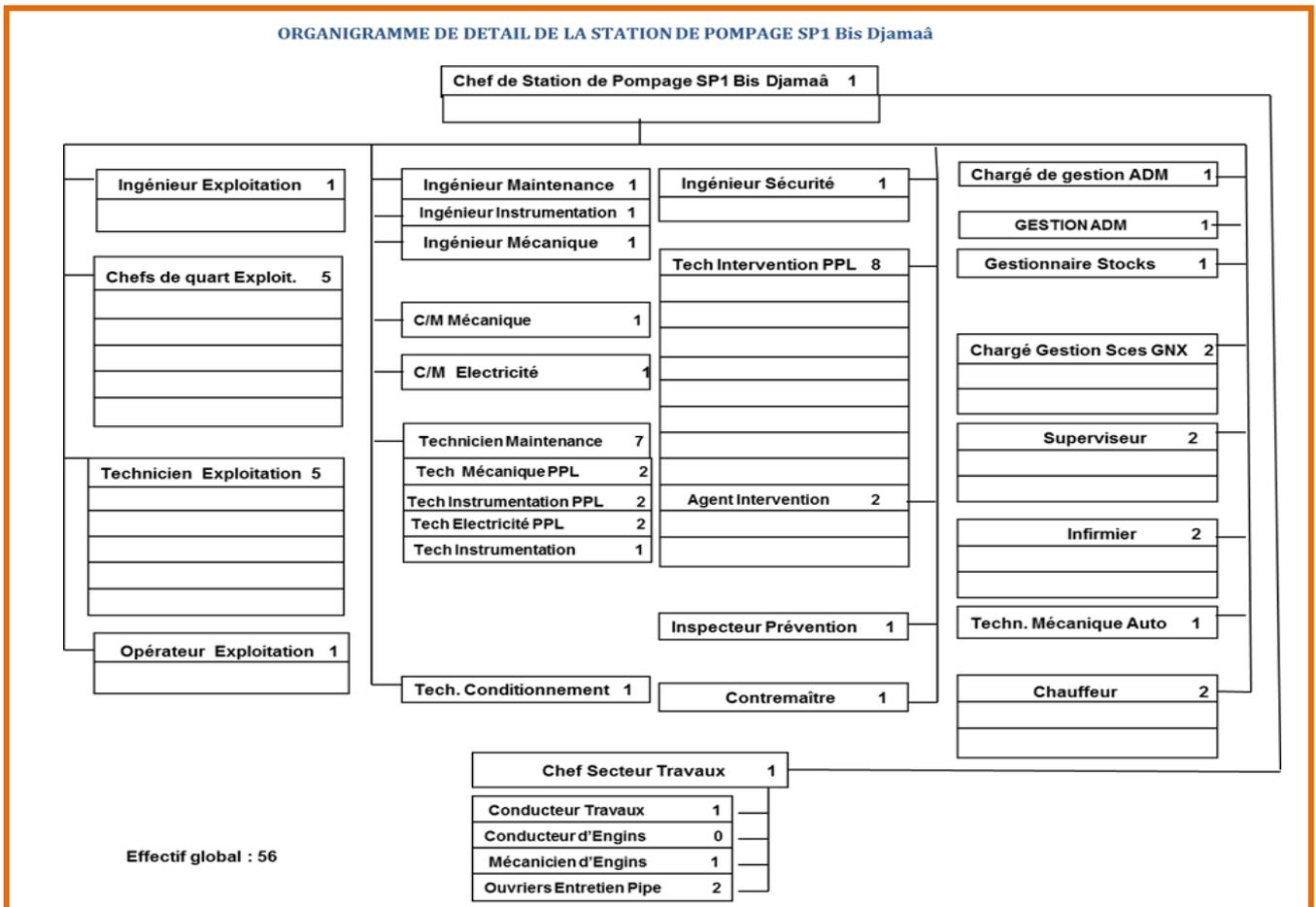


Figure II. 3 : Organigramme de station

B. Présentation des équipements de la SP1Bis :

Pour assurer que la station réalise le pompage de liquide transportée en toute mesure de sécurité il est nécessaire de disposer les équipements suivants :

A- Les Turbopompes :

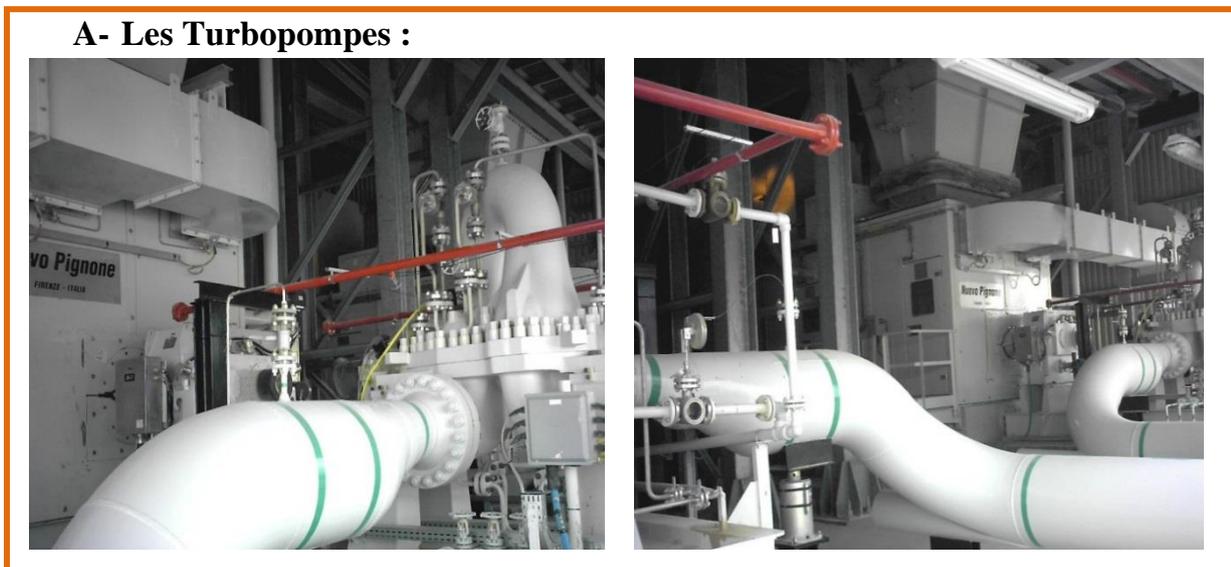




Figure II. 4 : les équipements de station

F- Le Système gasoil :

Un réservoir de gasoil (V40) et un réseau de distribution sont revus pour alimenter les réservoirs journaliers des équipements suivants à partir d'une pompe de transfert (P41) :

- une station-service composée d'une pompe P40 et un réservoir de stockage intégré V 41 de capacité 2 m³.
- un groupe électrogène de secours (GE01) équipé d'un réservoir journalier e capacité 800 litres.
- Une motopompe d'incendie (P 20B) équipée d'un réservoir journalier (V20) de capacité 500 litres
- Supprime.

G- Le Système d'air comprimé :

Un réseau d'air comprimé est alimenté par un système d'air comprimé composé de : deux compresseurs d'airs d'air (un à moteur électrique C 30A et un de secours

fonctionnant à moteur diesel C30B) suivi d'un ensemble de séchage et de filtration (SC31).

Ce réseau est destiné à alimenter les instruments (vannes motorisées à l'air) et à alimenter les turbomachines en air service (décolmatage des filtres). Un ballon tampon V31 est prévu pour permettre de fournir le débit instantané nécessaire pour l'air service.

H- Le Réseau d'incendie :

Le système d'eau incendie fournit un débit de 198m³/h. Ceci à partir d'une pompe entraînée par un moteur électrique (P20A) ou d'une pompe entraînée par un moteur diesel (P20B).

Chaque pompe est capable d'assurer 150% du débit nominal. La pression de refoulement au « débit rated » (point de garantie) de 198 m³/h est de 9 bar eff.

Le réseau est maintenu à la pression de 9 bars eff par deux pompes jockey électrique (P21A/B) de débit unitaire de 20m³/h dont une pompe en service et l'autre en secours.

IV. Description des installations :

La capacité actuelle de l'oléoduc OB1 24" reliant Haoud el Hamra à Bejaia, avec les installations existantes est estimée à 1750 m³/h.

Les installations existantes se composent de 4 stations de pompage principales SP1, SP1 bis (ancienne), SP2 et SP3, et de 4 stations intermédiaires (SPA, SPB, SPC et SPD). Afin de relever la capacité de transport de l'oléoduc à 2200 m³/h, une nouvelle station de pompage SP1 bis est construite en remplacement de l'ancienne et à proximité de celle-ci.

Les installations principales fournies dans le cadre du projet sont les suivantes :

- 1 - Deux gares de racleurs en entrée et sortie de la station et les raccordements sur l'oléoduc existant
- 2 - Deux groupes turbopompes d'expédition de pétrole brut et de condensats protégés par une batterie de filtres d'aspiration. Les turbines d'entraînement sont alimentées en gaz uniquement et sont démarrées par du gaz combustible
- 3 - Alimentation en énergie électrique de 2 stations SP1 bis/OB1 et SP2/OK1 (située à environ 1,5 km de SP1 bis/OB1) à partir d'une nouvelle centrale électrique située au niveau de l'enceinte de SP1 bis. Cette centrale inclut deux turboalternateurs alimentés en gaz et un groupe électrogène d'ultime secours GE01.
- 4 - Une nouvelle ligne de gaz combustible de 122 km en 16'' reliant les gazoducs GEM G02 et G03 au terminal d'arrivée de la ligne situé sur le site SP1 bis/OB1
- 5 - Un module de traitement de gaz combustible pour l'alimentation des turboalternateurs, des turbines d'entraînement des pompes et de la base vie de la nouvelle station SP1 bis
- 6 - Un système de gaz de démarrage pour les turboalternateurs et les turbopompes
- 7 - Un module de traitement de gaz combustible pour l'alimentation des turbines d'entraînement des pompes et de la base vie de la station existante SP2/OK1
- 8 - Un système de production, séchage et filtration d'air comprimé et un réseau de distribution
- 9 - Un système de récupération des liquides hydrocarbures de drainage des équipements incluant le réseau de collecte, un ballon de purge et une pompe de

V. principe de fonctionnement de station de pompage sp1 Bis :

Le pétrole brut ou les condensats en provenance de la station de pompage SP1 ou SPA, parviennent en limite de batterie par l'oléoduc existant OB1 de 24''. En limite de batterie à l'entrée de la nouvelle station SP1 bis, une nouvelle ligne de 24'', équipée d'une gare de racleur d'arrivée (GRA1), amène le liquide dans la station. En fonctionnement normal le liquide arrive directement dans la station sans passer par GRA 1.

Le liquide passe ensuite à travers des filtres pour hydrocarbures (F01A/B/C). Trois filtres sont installés, chacun dimensionné pour une capacité de 1100 m³/h et permettant de retenir les particules de taille supérieure ou égale à 500 microns. En fonctionnement normal, deux filtres sont en service, et le troisième en secours.

Le liquide arrive ensuite à l'aspiration d'une des deux pompes centrifuges horizontales (P01 et P02) en parallèle. Chacune de ces pompes est entraînée par une turbine à gaz. En fonctionnement normal, une pompe est en service et l'autre en secours.

Caractéristique		Unité	Valeur
Débit minimal		m ³ /h	1700
Débit nominal		m ³ /h	2200
Pression d'entrée (limite de batterie de l'installation)		Bar eff	7 (1)
Température d'entrée (limite de batterie de l'installation)		°C	5 / 45
Pression sortie (limite de batterie de l'installation)		Bar eff	82

Tableau II. 6 : caractéristique des pompes du pétrole brut et condensats

La Station de Pompage SP1 Bis est équipée d'une ligne bipasse de 16" autour des gares de racleurs GRA1 et GRD1 qui permet à l'oléoduc de 24" reliant les stations de pompage SP1 et SP2 de rester opérationnel lors d'un arrêt d'une unité de pompage (P01 ou P02) de la station de pompage SP1 Bis. Dans ce cas.

La pression au niveau de la station SP1 bis pourrait atteindre 47 bar eff (48 kg/cm² g) avec pour conséquence une réduction de débit entre les stations SP1 et SP2.

La pression en refoulement de chaque pompe est contrôlée par un régulateur de pression agissant directement sur le régulateur de vitesse de la turbine à gaz. Cette régulation a été adoptée afin de contrôler la pression en refoulement en-dessous de la limite de la classe de tuyauteries (A6A à 93 bars eff) au débit de 2200 m³/h. Le point de consigne du régulateur de pression de refoulement est réglé par l'opérateur en fonction du débit à expédier de SP1 bis. Une boucle de régulation de débit minimum composée d'un appareil de mesure (plaque à orifice), un régulateur de débit et une vanne de recyclage entre le refoulement et l'aspiration de chaque pompe est installée.

A la sortie de la station, le liquide est expédié en limite de batterie afin de rejoindre l'oléoduc existant de 24'' vers la station SPB ou SP2 à travers une nouvelle ligne de 24'' équipée d'une gare de racleur de départ (GRD1). En fonctionnement normal le liquide part directement de la station sans passer par GRD1. Un bac de détente atmosphérique (B01) d'un volume nominal de 1000 m³ est prévu pour recueillir les effluents des vannes d'écrtage de l'installation en service

hydrocarbures ainsi que les liquides de purge transférés par la pompe de reprise (P03) du ballon de purge (V01).

Deux pompes de transfert (P04A/B) en parallèle (une en service et l'autre en secours) sont prévues afin de reprendre les liquides contenus dans le bac de détente et les envoyer vers l'entrée de la station, en aval de la vanne de sécurité (SDV-102).

L'opération de ces pompes est interdite lors du passage de condensats dans l'oléoduc OB1 ou en cas de pression trop élevée à l'entrée de la station SP1 bis. Cette interdiction est réalisée par une mesure de densité basse DAL-100 (signalée sur le DCS) ou par la sécurité de pression haute PAHH-100 (signalée sur le DCS) situé en entrée station commandant un arrêt des pompes P04A/B et la fermeture de la vanne XV -103

- **Les caractéristiques de station**

- I. **Caractéristiques des fluides principaux :**

- 1) **Pétrole brut :**

Caractéristiques	Unité	Valeur
Densité à 15°C		0,7958
°API		46,2
Viscosité cinématique à 20°C	CSt	3
Poids moléculaire	g/mole	183
Tension de vapeur Reid	kg/cm ²	0,49
Teneur en eau par extraction	vol %	Nulle
Teneur en eau et sédiments, BSW	vol %	Nulle
Teneur en chlorures (NaCl)	mg/l	12
Teneur en soufre total	% poids	0,11
Point d'écoulement	°C	-30
Point d'éclair, vase fermé	°C	< 20
Facteur de caractérisation, KUOP		12,15

- 2) **Condensat :**

Caractéristiques	Unité	Valeur
Densité à 15°C		0,7236
°API		64,1
Viscosité cinématique à 20°C	CSt	0,95
Poids moléculaire	g/mole	128
Facteur de caractérisation, KUOP		12,5
Tension de vapeur Reid	kg/cm ²	0,61
Teneur en eau	vol. %	0
Salinité (NaCl)	mg/l	0
Teneur en soufre	Ppm	20
Point de congélation	°C	< -50
Point d'éclair	°C	< -8
Indice de cétane		38
Indice réfractaire à 20°C		1,4143

3) Propriétés physiques :

Fluide	Brut		Condensats	
	Eté	Hiver	Eté	Hiver
Cas				
Température (°C)	45	5	45	5
Masse volumique (kg/m³)	777	801	700	730
Viscosité (cSt)	3,1	7,2	0,64	1
Viscosité (cP)	2,49	5,96	0,44	0,72

4) Gaz Naturel :

La composition du gaz naturel est la suivante

Composant	% mole
Gaz carbonique	0,15
Azote	5,94
Méthane	83,25
Ethane	7,5
Propane	1,92
i-Butane	0,40
n-Butane	0,42
i-Pentane	0,11
n-Pentane	0,13
C6+	0,18
Total	100
Teneur en soufre	30 mg/Nm ³
H₂S	Négligeable
Poids Moléculaire	19,01 (calculé)
PCI, kcal/kg	10712 (calculé)

Composition estimée des C6+

Composé	% mole
nC6	0.10097
nC7	0.05890
nC8	0.01851
nC9	0.00151
nC10	0.00008
nC11	0.00001
nC13	0.00002

2.. Nature et volume des activités de SP1 Bis :

L'activité principale de la station SP1bis est le pompage du pétrole brut et du condensat venant de la station SP1 à HEH vers la station SP2 à Biskra.

La station est organisée autour de 5 ensembles d'installations :

- 1 - une zone de bureaux administratifs et locaux sociaux,
- 2 - une base de vie,
- 3 - une ancienne station de pompage,
- 4 - une nouvelle station de pompage,
- 5 - une zone clôturée renfermant deux bourbiers.

La capacité de pompage de la nouvelle installation en 2012 est de **11 MTA**.

3.. Capacités techniques :

L'activité TRC dans son ensemble a une longue expérience dans le pompage du pétrole et des condensats depuis plus de 40 ans. Le pétrole sert à l'alimentation de la raffinerie d'Alger et du Terminal de Bejaia.

Pour la maîtrise de ses installations, la station SP1bis, bénéficie d'un retour d'expérience de 40 ans d'exploitation et de maintenance de ces installations de Djamaa, de l'expérience acquise sur les autres sites et de la compétence des équipes techniques, qu'elle peut diligenter à tout moment en cas de nécessité. Elle s'appuie également sur les compétences et les outils de son équipe de sécurité.

VI. Rôle des Services :

✓ Service Exploitation :

Il veille à l'exploitation des équipements de la station (équipements principaux et équipements de procès), au fonctionnement de tous les équipements dans les meilleures conditions d'exploitation et de sécurité, et cela suivant un planning prévisionnel d'exploitation des machines.

Aussi, par une surveillance accrue des installations, aide le service maintenance à déceler toute anomalie sur les équipements, que ce soit ceux en exploitation ou à l'arrêt, par des rondes et des prospections inopinées.

✓ Service HSE :

Le service prend en charge les trois aspects qui représentent les abréviations HSE, à savoir : santé, sécurité, et environnement.

Il prend en charge tous ce qui touchent aux aspects susdites, santé des travailleurs que ce soit ceux de l'entreprise et des sous-traitants et même des riverains avoisinent lots que c'est nécessaires, il s'occupe de la sécurité de tous les travailleurs de l'entreprise et sous-traitances, ainsi que celle des installations et sans oublier le volet protection de l'environnement, lors de l'exploitation des équipements ou de leur entretien et réparation par la prévention.

✓ Service Maintenance :

La maintenance au niveau de la station a pour rôle d'entretenir les équipements et les installations afin de maintenir les équipements dans être de

bon fonctionnement et ce par l'entretien préventifs et les révisions partielles et générales (à échéance), ainsi que la remise en état de fonctionnement des machines après les pannes partielles générales).

Aussi, pour d'exprimer les besoins en matière de pièces de rechange pour tous les équipements de la station.

✓ **Service mécanique :**

Ce service prend en charge tous les travaux de nature mécanique tel que accouplement, alignement, changement des parties défectueuses, réparation, Il est composé de trois ateliers : Atelier mécanique : réparation des pannes de nature mécanique ; Atelier usinage : équipé des machines-outils ;

✓ **Service Intendance :**

Il a pour rôle de superviser les prestataires (sous-traitants) du CATRING (restauration et hébergement) des effectifs de l'entreprise

✓ **Service Infirmerie :**

S'occupe de la santé des travailleurs, dans le cadre de la prévention et intervient en cas d'accident mineur et veille à l'évacuation des blessés ou des malades aux habitant des villes avoisinantes

✓ **Service Sûreté Interne (DPS) :**

Comme son nom l'indique, il veille à la sûreté des agents de l'entreprise et celle des installations.

Conclusion

Je présenté dans ce chapitre une vue générale de la station sp1 bis, cette station à un rôle très important pour le transport du pétrole brut et le condensât de HEH vers la terminale arrivée de Bejaia.

I. Description générale de la pompe

Les pompes du type BF sont horizontales, à corps de pompe en deux pièces, à aspiration unique, unités centrifuges à plusieurs étages (2 étage), Elles sont conçues pour traiter des volumes moyens à hautes culasses, là où la continuité de service jointe avec la haute efficacité, sont d'importance extrême. Ces pompes sont particulièrement applicables aux canalisations, à l'alimentation des chaudières, aux raffineries et aux stations de service des mines.

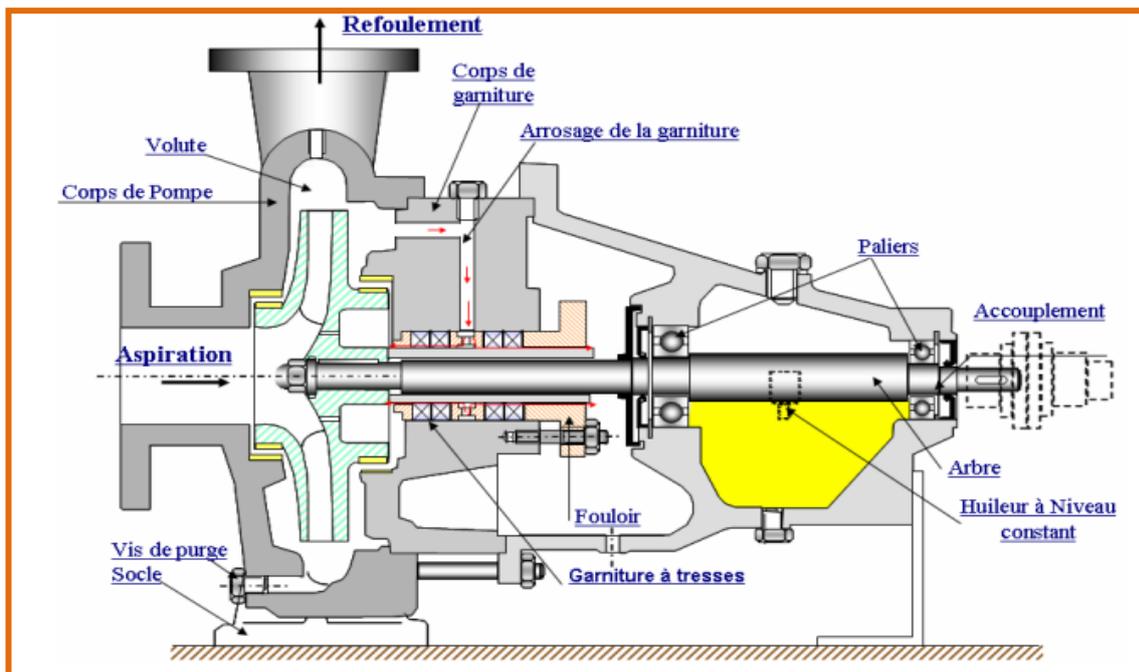


Figure III. 1 : Schéma d'une pompe centrifuge

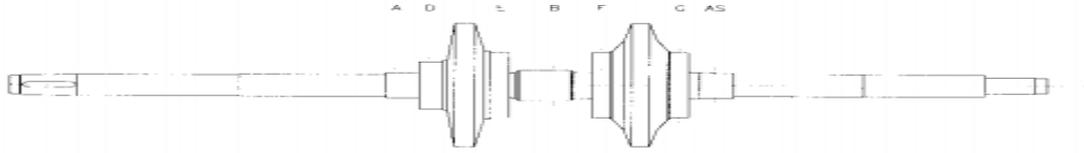
1. Corps de la pompe :

Le corps de la pompe est conçu avec des sections épaisses qui supportent de hautes pressions de travail et d'épreuve et hydrostatique. Les brides du corps de la pompe, à la division horizontale, sont exceptionnellement lourdes et le verrouillage est arrangé de manière à prévenir les dérivations entre les étages.

Les tuyères d'aspiration et de refoulement se trouvent dans la partie plus basse mi-corps de la pompe, afin de permettre le désassemblage de la pompe sans troubler la tuyauterie. Les pieds de montage du corps de la pompe sont situés près de la ligne centrale horizontale de l'unité, afin que l'alignement soit maintenu, lors du fonctionnement de la pompe à des températures élevées.

2. Arbre :

L'arbre est fait du meilleur acier traité et fondu aux dimensions requises.
L'arbre s'entend tout droit de manière standard.



3. Les Roues :

Les roues personnifient les développements les plus récents dans l'hydraulique, et sont opposées, afin de fournir un équilibre axial sur toute la gamme entière de fonctionnement. La roue du premier étage peut être fournie en vue d'assurer les requêtes basses de NPSH et de réduire la possibilité de cavitation.

Chaque roue est adaptée à l'arbre et est assemblée avec un ajustage serré par retrait. Les clés sont échelonnées à 180° sur l'arbre sont tenues en place par les forces hydrauliques produites dans de la pompe.

4. Anneaux d'usure des roues :

Les anneaux d'usure des roues sont montés sur la roue avec un mince ajustage serré par retrait et sont épinglées dans leurs positions

5. Anneaux d'usure du corps de la pompe, coussinets étranglement et obstruction :

Les anneaux du corps de la pompe et les coussinets étranglements ont des languettes et sont placées, rangées avec les rainures dans le corps de la pompe. Une épingle horizontale (insérée dans la bague du corps de la pompe et placée en correspondance avec la division du corps de la pompe) empêche la rotation des anneaux du corps de la pompe, l'obturation de la douille et les étranglements du coussinet.

6. Chemise de l'arbre :

Les chemises de l'arbre sont filetées contre la rotation et sont verrouillées contre la rotation opposée avec une vis de réglage, localisée à la partie externe de la chemise, et enfilés dans l'arbre.

7. Manchons d'étanchéités :

Un manchon d'étanchéité est fourni entre les deux parties du corps de la pompe, supérieures et inférieures.

8. Presse-garniture :

Le presse-garniture est fondu intégralement avec le corps de la pompe, sa dimension d'alésage est adaptée pour monter l'étanchéité mécanique, d'après les exigences API 610 requises.

9. Paliers :

Les pompes sont équipées avec le palier porteur de glissement et le palier de butée à roulement, A un cout supplémentaire, le palier de butée Kinksbury(à alimentation de lubrification forcée) est disponible.

10. Plaque d'appui :

La plaque d'appui est faite en acier forgé et peut être étendue sous la pompe et le moteur, Sauf spécification contraire, les plaques d'appui sont fournies avec un passage pour l'écoulement.

II. Installation :

1) préparation de l'emplacement :

Chaque pompe Nouvo Pignone est inspectée entièrement soit pendant le processus industriel soit comme un produit final, pour assurer les opérations, dégagées de tous problèmes. Avant d'expédier la pompe, le corps de la pompe et les logements des paliers sont drainés, et les parties critiques sont recouvertes avec une couche protectrice. Les protections sont placées sur les brides de l'aspiration et sur les brides de refoulement, pour empêcher l'entrée de matières étrangères. La pompe est ensuite soigneusement emballée dans une caisse et préparée pour l'expédition.

2) maniemment :

Les opérations de soulèvement et de maniemment seront effectuées par du personnel spécialisée, apporter le soin extrême dans le maniemment de l'unité, en plaçant des élingues soigneusement, afin que le stress ne s'impose pas sur la pompe ou sur la base. Tout le matériel devrait être vérifié entièrement lorsqu'il est délivré. Les manques ou les dégâts devraient être rapportés immédiatement à l'agent local de la compagnie de transport.

3) emmagasinage :

Si l'unité ne doit pas être mise immédiatement en service, celle-ci devra être emmagasinée dans un emplacement sec et devrait être protégée intérieurement et extérieurement de la saleté. N'enlevez pas les couvertures de la bride d'aspiration et de refoulement jusqu'à ce que l'unité ne soit tuyautée, les parties sujettes à attaques par l'humidité, telles que les paliers, l'arbre, les étanchéités mécaniques et d'autres parties finies, devraient périodiquement être inspectées et la couche protectrice renouvelée,

comme il est demandé, la pompe exigera une protection supplémentaire si elle devra être emmagasinée pendant une période plus longue, Séchez entièrement l'intérieur de la pompe, remplissez la partie finale du liquide avec de l'huile ou avec tout autre liquide protecteur convenable, remplissez le logement du palier, autant que possible, avec de l'huile de lubrification, tournez de temps en temps l'arbre afin d'empêcher la formation de corrosions sur les surfaces finies et garder l'élément tournant autonome.

Pour la conservation de la pompe ou son inactivité, pour une période qui ne dépasse les trois années.

4) fondation

La fondation doit être assez rigide pour pouvoir soutenir la pompe, l'équipement auxiliaire, le moteur et la plaque d'appui, et pour empêcher les vibrations et le manque d'alignement pendant l'opération, les bases standard de la pompe sont conçues pour être jointoyées dans une fondation en béton, la base ne devient pas un système rigide jusqu'à son jointement de l'unité, pour permettre un grand temps nécessaire à la conservation, positionner les boulons de la plaque d'appui de la dimension exigée, conformément aux dessins vectorisés certifiés, fournis pour l'unité.

Un gabarit sera d'aide dans la localisation des boulons de la fondation, pendant les opérations de coulage de la fondation, dans l'illustration 1 on montre deux méthodes de mettre les boulons de la fondation, l'un et l'autre positionnement pourvoient à varier l'emplacement des boulons de la fondation qui, ainsi, ont toute leur liberté de mouvement dans les chemises.

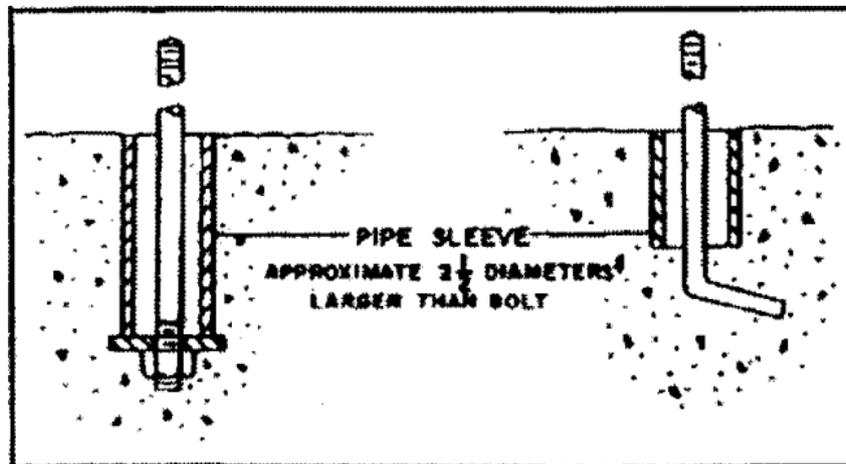


Illustration III. 2 : Chemise de la tuyauterie les diamètres approximativement de 2 ½ plus larges que boulons

Remplissez de déchets dans la portion couverte entre la fondation, les boulons et les chemises de la tuyauterie, afin d'empêcher que le béton ne remplisse la cavité et qu'il ne détruise ainsi la fonction de la chemise de la tuyauterie, rendez rugueuse la surface de la fondation et le coulis au ciment, les trous du coulis devraient être finis avec une

légère forme convexe pour empêcher que des flaques de liquide ne se forment dans la zone du coulis.

5) Nivellement de la plaque d'appui

Enlevez la couche protectrice des coussinets du support, n'utilisez pas de matière abrasive pour enlever cette couche puisqu'elle peut être enlevée facilement avec un dissolvant, les blocs et les rondelles d'épaisseur seront requis pour installer la plaque d'appui sur la fondation, mettez les blocs à chaque boulon de la fondation, comme il est montré dans les illustrations 2 et 3.

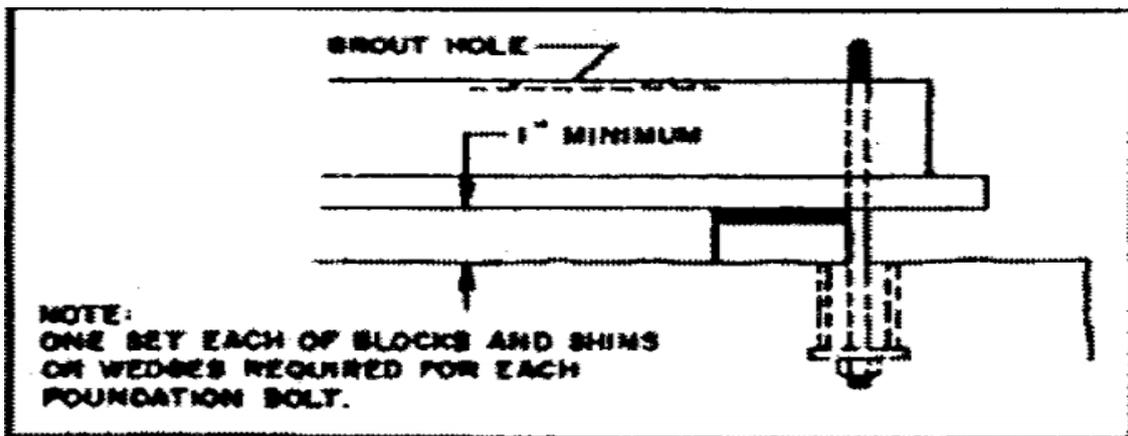


Illustration III. 3 : trou de l'anneau de renforcement un assortiment pour chaque bloc rondelles d'épaisseur ou cales, requis pour chaque boulon de fondation

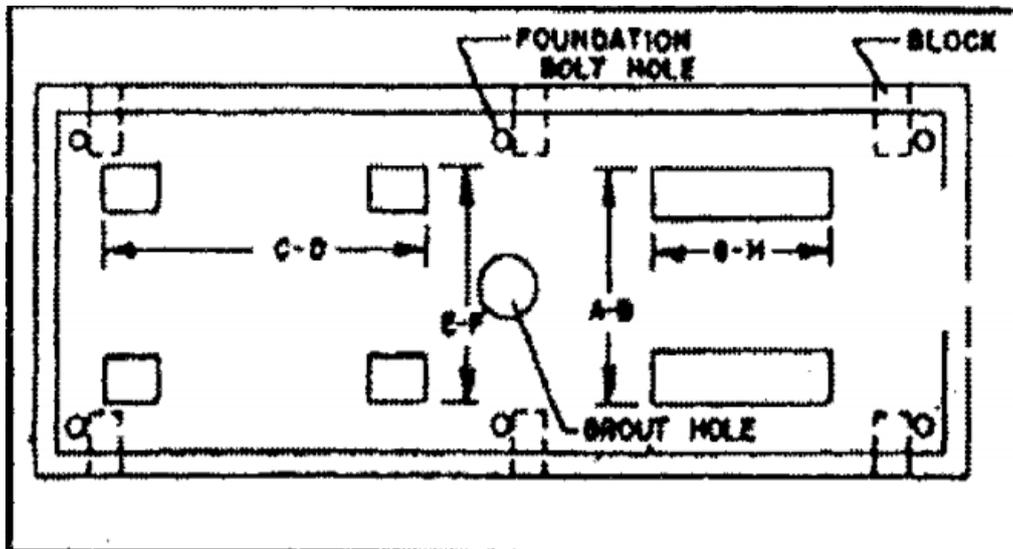


Illustration III. 4 : trou pour le boulon de fondation trou pour le coulis

Le bloc devrait fournir une distance minimum d'un pouce du sommet de la fondation au fond de la plaque d'appui, afin d'établir l'espace du coulis, abaisser la plaque d'appui sur les blocs et niveler dans les directions **A-B, C-D, E-F et G-H** comme il est montré dans la illustration 3, avec une nivelle sur les coussinets usinés, cela peut être effectué en utilisant les vis de nivellement de la chemise, fournies sur les plaques d'appui, entre chaque opération de nivellement ajouter ou enlever les rondelles d'épaisseur ou ajuster les cales, aussi que nécessaire, serrer légèrement les boulons reliés directement avec chaque opération de nivellement comme il est exécuté, une fois la base mise à niveau, ré-contrôler le nivellement dans toutes les directions et faire les ajustements définitif, les boulons de la fondation ne doivent pas être serrés, la plaque d'appui est à nouveau prête pour le coulis au ciment.

6) Stabilisation par ciment de la plaque d'appui

Construisez une forme en bois autour de la plaque pour retenir le coulis, sélectionnez un bon niveau commercial de matériau pour le coulis et mélangez à la consistance recommandée, versez et travaillez le coulis jusqu'à moment où l'espace entre le sommet de la fondation et le pont de la plaque d'appui ne sera rempli solidement, les trous sont forés dans la plaque d'appui pour aider la fuite de l'air, accordez plutôt grand au coulis pour durcir, n'enlevez pas les blocs et les rondelles d'épaisseur (ou les cales) après avoir ciment, après que le coulis ait durci, serrez les écrous sur les boulons de la fondation.

7) Alignement :

Bien que l'unité ait été alignée soigneusement à l'usine avant l'expédition, la distorsion a lieu pendant la cargaison et afin d'éviter des difficultés opérationnelles sérieuses

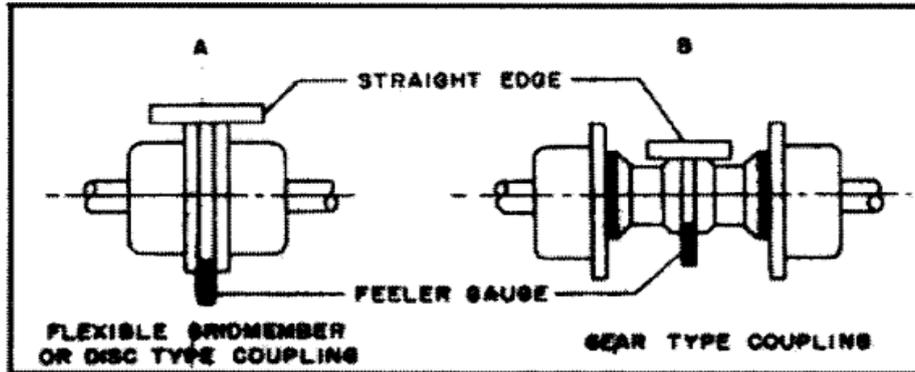
Enlevez la protection de l'accouplement et de l'arbre et nettoyer minutieusement.

Si la pompe n'est fournie avec une extension de l'arbre en fuseau, un mécanisme de démontage des roues mécanisme chauffant doit être utilisé pour monter ou enlever l'accouplement.

Placez la pompe sur les coussinets et positionnez-la dans les du boulon et les épingles du goujon. Certaines pompes sont transportées sans préparation pour faciliter l'alignement sur champ Assurez la pompe en la verrouillant aux coussinets, si le moteur a des paliers à coussinet-douille, le flotteur de l'extrémité du moteur doit être déterminé et doit être limité suivant le diagramme détaillé de l'instruction fourni pour l'unité.

Vérifiez la position du moteur sur les coussinets de la plaque d'appui afin la distance entre les parties finales de l'arbre du moteur de la pompe s'accorde avec illustration 4 , spécifié dans le dessin vectorisé certifié, L'expansion de la température de la pompe (quand la pompe set en service actif) est reconnue comme étant une considération dans l'alignement mais il est difficile d'établir des règles d'ensemble concernant cette

expansion à cause d'un nombre de facteurs variables impliqués. Par conséquent, le premier alignement peut être considéré comme étant uniquement préliminaire.



Pour l'alignement de l'arbre de la pompe et de l'arbre du moteur, si un indicateur du cadran et l'assemblage du support sont recommandés, la procédure standard pour l'alignement est la suivante :

a. Attachez le support au moteur demi-accouplement (illustration 5).

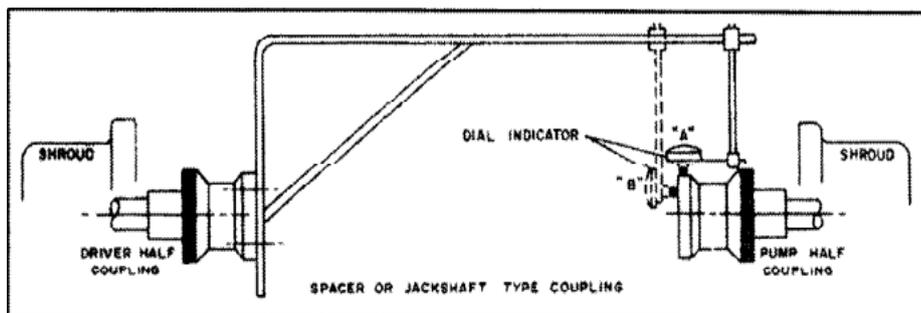


Illustration III. 6 : Anneau de renforcement indicateur du renforcement demi-manchon actionneur demi-manchon pompe accouplement type entretoise ou arbre vérin

- b. Vérifiez l'alignement radial en mettant l'indicateur cadran sur « A » afin que l'indicateur soit en contact avec le bord ou le moyeu de l'accouplement, faites tourner un accouplement à moitié à la main, afin que l'indicateur se déplace autour de l'autre demi-accouplement, l'excentricité totale de l'indicateur ne devrait pas dépasser 0.005 mm.
- c. Contrôlez l'alignement axial en mettant l'indicateur du cadran sur « B » afin que l'indicateur soit en contact avec la face du moyeu de l'accouplement, faites tourner un accouplement à moitié à la main, afin que l'indicateur se déplace autour de l'autre demi-accouplement, l'excentricité totale de l'indicateur ne devrait pas dépasser 0.03 mm, un micromètre intérieur peut aussi être utilisé pour vérifier l'alignement axial, les biais axiaux totaux ne devraient pas dépasser 0.03 mm
- d. Répétez les passages b et c un support de l'indicateur du cadran sur la pompe demi-accouplement comme un double contrôle.
- e. Si le bas de la pompe n'a pas été chevillé, faites-le maintenant.

Quand le moteur est correctement réglé, tracez l'emplacement des trous des boulons du moteur, enlevez la foreuse du moteur et percez les coussinets pour la dimension adéquate, remplacez le moteur et boulonnez solidement, ré-contrôlez l'alignement de l'accouplement et effectuez les derniers ajustements, comme exigé.

Le moteur peut être maintenant chevillé ou après le fonctionnement initial de la pompe à des conditions opérationnelles, si les ajustements sont requis après le fonctionnement initial, le moteur doit être chevillé à nouveau avec des redowelled avec des goujons plus grands.

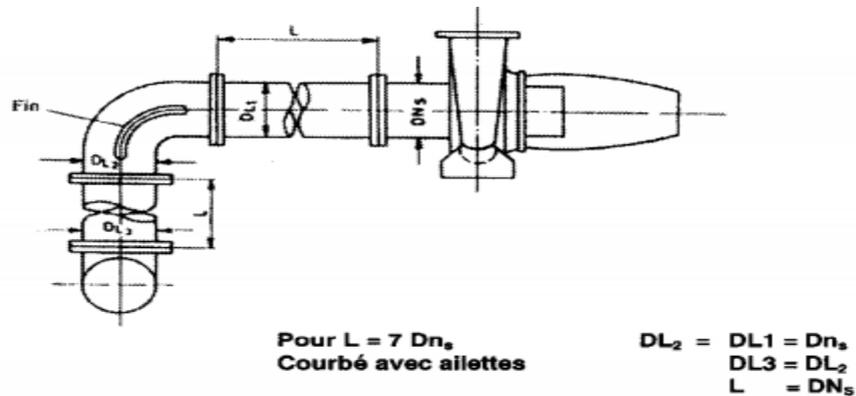
Ne connectez pas le moteur et les demi-accouplements de la pompe pour le moment.

8) connexion de la tuyauterie de l'aspiration et de refoulement

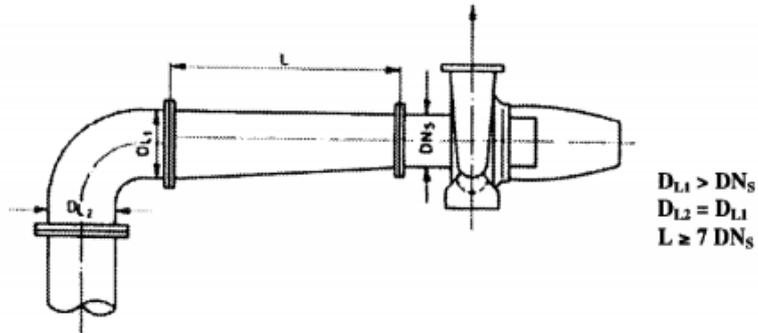
Lavibration, les fuites de l'étanchéité et les défaillances de l'arbre ou les corps des pompes fêlés, peuvent résulter des connexions de la tuyauterie incorrectes ; par conséquent, la pompe et les brides frontales de la tuyauterie doivent être parallèles et doivent s'accoupler sans devoir recourir à des forces ou à des déplacements pour les aligner.

L'illustration 6 représente l'installation de la tuyauterie d'aspiration recommandée et l'installation incorrecte.

a) Pompe d'admission :

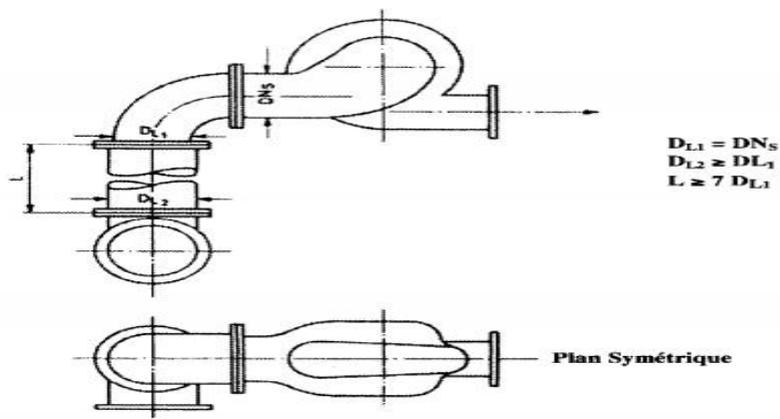


DNS = Diamètre nominal de la bride de la pompe

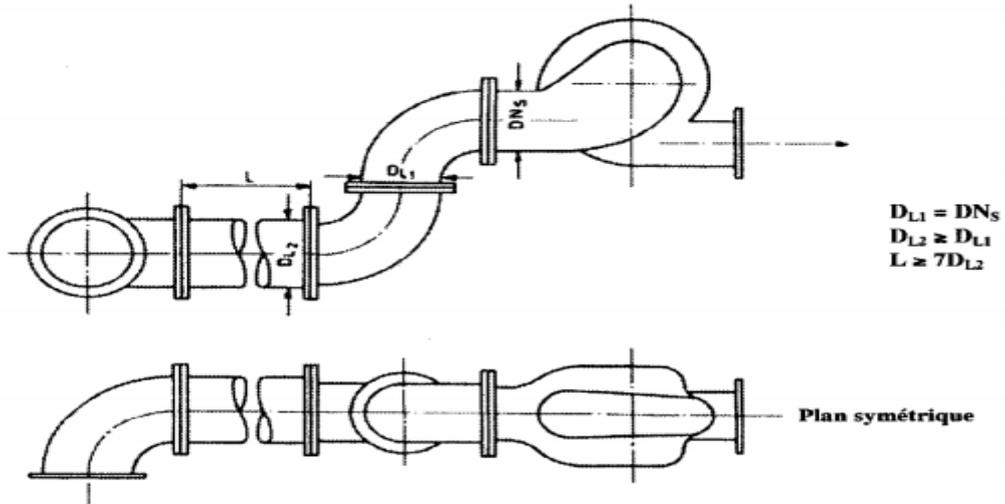


Utilisez des adaptateurs de section excentriques pour éviter des accumulations de l'air.
 (Côté supérieur du tuyau horizontal)

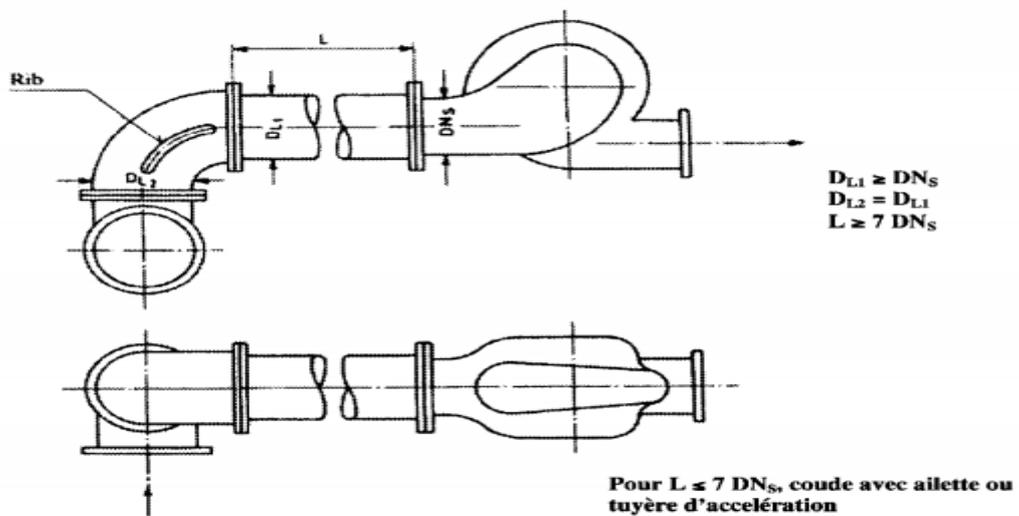
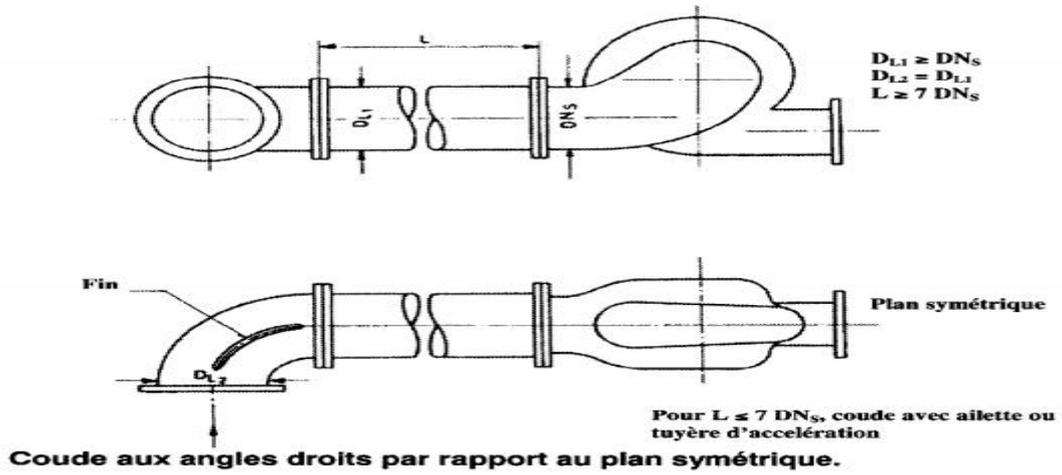
b) Pompe entrée latéral :



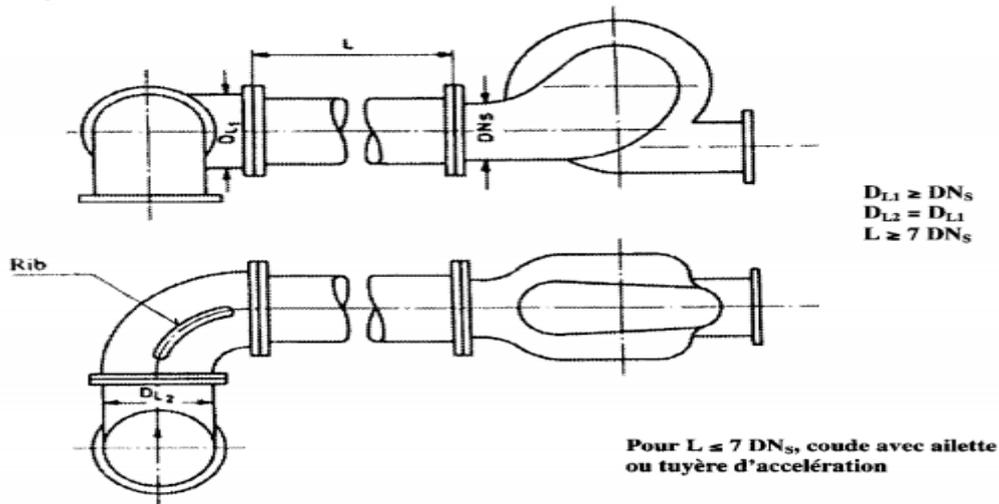
Coude en plan symétrique



Double coude en plan symétrique :



Double coude en plan différents :



Double coude en plans différents

Les réducteurs concentriques ne devraient pas être utilisés sur une ligne d'aspiration horizontale. L'utilisation de ce type de réducteur créera une poche d'air ou de gaz, qui peuvent causer des problèmes dans l'unité. L'utilisation d'un réducteur excentrique est recommandée. une soupape d'arrêt et une soupape de contrôle devraient être installées dans la ligne de la décharge, la soupape d'arrêt est utilisée pour amorcer et arrêter l'unité, la soupape de contrôle est utilisée pour prévenir le courant inverse à travers la pompe, dans le cas d'une panne de courant, toute la tuyauterie doit être supportée indépendamment de la pompe et libre des tendances qui imposent des tensions sur la pompe .

Les unités qui pompent de fluide chaud doivent avoir des joints d'expansion ou des boucles dans la tuyauterie pour prévenir les tensions sur les tuyères de la pompe, dues à l'expansion. Si un joint d'expansion est installé dans la tuyauterie, entre la pompe et le point le plus proche d'ancrage dans la tuyauterie , il faudra noter qu'une force égale à la surface du joint d'expansion qui temporise la pression dans le tuyau , sera transmise à la pompe convenable certain manchons d'accouplement du type à glissement ont ce même type d'effetcette force peut dépasser la charge admissible de la bride si un joint d'expansion ou un manchon d'accouplement à glissement doivent être utilisés, il est recommandé que , soit un ancrage soit installé entre le joint ou le manchon et la pompe, soit que le joint soit retenu ou autrement conçu, pour prévenir que cette force ne soit transmise à la pompe ne soudez pas les canalisation pendant qu'elle sont boulonnées à la pompe. Inspectez la tuyauterie et la pompe d'aspiration et les cavités de la décharge, pour la présence de corps étrangers, et nettoyez-les entièrement avant que les connexions de la tuyauterie ne soient faites. Un filtre clarifié provisoire (au moins à 50 mailles) devrait être installé aussi proche que possible de la bride d'aspiration, pour tamiser le liquide de la pompe. Le tamis devrait être utilisé jusqu' (à ce que la ligne ne sera complètement purgée (au moins 72 heures de fonctionnement continu). Il est recommandé que les jauges de pression soient

installées, comme décrit dans l'illustration 7, pour l'observation de la baisse de la pression à travers le tamis. Une baisse de la pression en aval, indique que le tamis est obstrué et que l'unité devra être arrêtée immédiatement, et que le tamis devra être nettoyé. La quantité réelle de baisses de pression admissibles dépend du NPSH disponible. Une méthode alternative pour détecter les chutes de pression est celle d'installer un lecteur jauge de pression différentielle à travers le tamis. Après 72 heures de fonctionnement, le filtre provisoire sera remplacé par le filtre définitif de dimension à 20 mailles

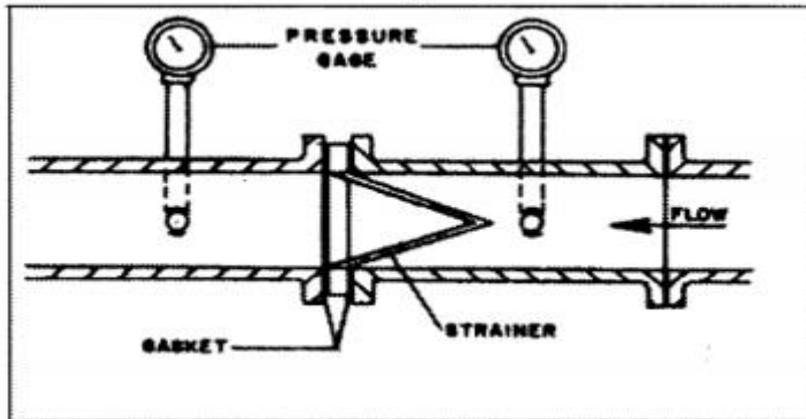


Illustration III. 7 : indicateur de pression flux filtre garniture

9) Tuyauterie auxiliaire :

La tuyauterie auxiliaire peut inclure le câble étouffé, l'huile d'étanchéité, l'étanchéité mécanique et la tuyauterie de refroidissement à la boîte du remplissage, les paliers et les piédestaux, pour les tuyauteries installées à la fabrique, un dessin est inclus avec les autres dessins envoyés avec l'unité.

10) Contrôle final de l'alignement :

Après que toutes les connexions de la tuyauterie aient été complétées, l'alignement devrait être vérifié pour s'assurer que la tuyauterie n'a pas modifié l'alignement de la pompe et du moteur.

11) Connexion de la pompe et de l'actionneur :

Serrez l'anneau de renforcement accouplement actionneur, vérifiez la rotation de l'actionneur contre la flèche de la rotation sur la pompe, en

démarrant l'actionneur pour un instant, connectez les deux moitiés de l'accouplement, en utilisant, là où il est requis, un disque, un élément grille, une entretoise ou un vérin, faites référence aux directives du fabricant de l'accouplement pour ce qui concerne la lubrification exigée.

12) Etanchéité mécaniques :

A moins que ce ne soit autrement spécifié, les étanchéités mécaniques sont montées dans pompe à la fabrique, et aucun ajustement à l'étanchéité n'est nécessaire autre que pour vérifier l'herméticité des ensemble de vis de réglage, avant de mettre l'unité en service.

Prudence : avant de commencer, l'entretoise entre le guide et le collier doit être enlevé des étanchéités mécaniques montées sur les chemises indépendantes, voir les données de l'étanchéité mécanique pour les chemises indépendantes, voir les données de l'étanchéité mécanique pour les instructions spécifiques.

Pour toutes informations concernant le soin et l'entretien de l'étanchéité mécanique, voir le manuel d'instruction de l'étanchéité mécanique (voir à la « section auxiliaire » de ce même manuel)

III. Les caractéristiques de la pompe :

1) Caractéristique de la pompe :

- Débit de la pompe 1700 à 2200 m³/h.
- Pression de refoulement max : 84.4 bars
- Pression d'aspiration 5.9 bars
- Pression différentielle 78.5 bars
- NPSH disponible : 65 m.
- Puissance 5833 kW.
- Hauteur 1310 m.
- Vitesse de rotation 3970 tr/min.
- Rendement 82 %.
- Température -5 à 52 °c.

2) Etude le fonctionnement de la pompe :

Cas d'études		1	2	3	4
		BRUT			
		45 °C		5 °C	
Débit	(m ³ /h)	2200	1700	2200	1700
Température	(°C)	45	45	5	5
M/V @ T	(kg/m ³)	802	802	828	828
Viscosité @ T	(Cst)	3,1	3,1	7,2	7,2
Tv @ T	Bar A	0,85	0,85	0,32	0,32
P. Aspi.	Bar A	6,0	6,0	5,9	5,9
P. Refoult	Bar A	84,3	84,3	84,4	84,4
NPSH dispo.	(m)	65	65	69	69
HMT	(m)	995	995	966	966
Pw (hydraulique)	MW	4,79	3,70	4,80	3,71

Tableau III. 8 : d'étude fonctionnement de la pompe

IV. Courbe caractéristique :

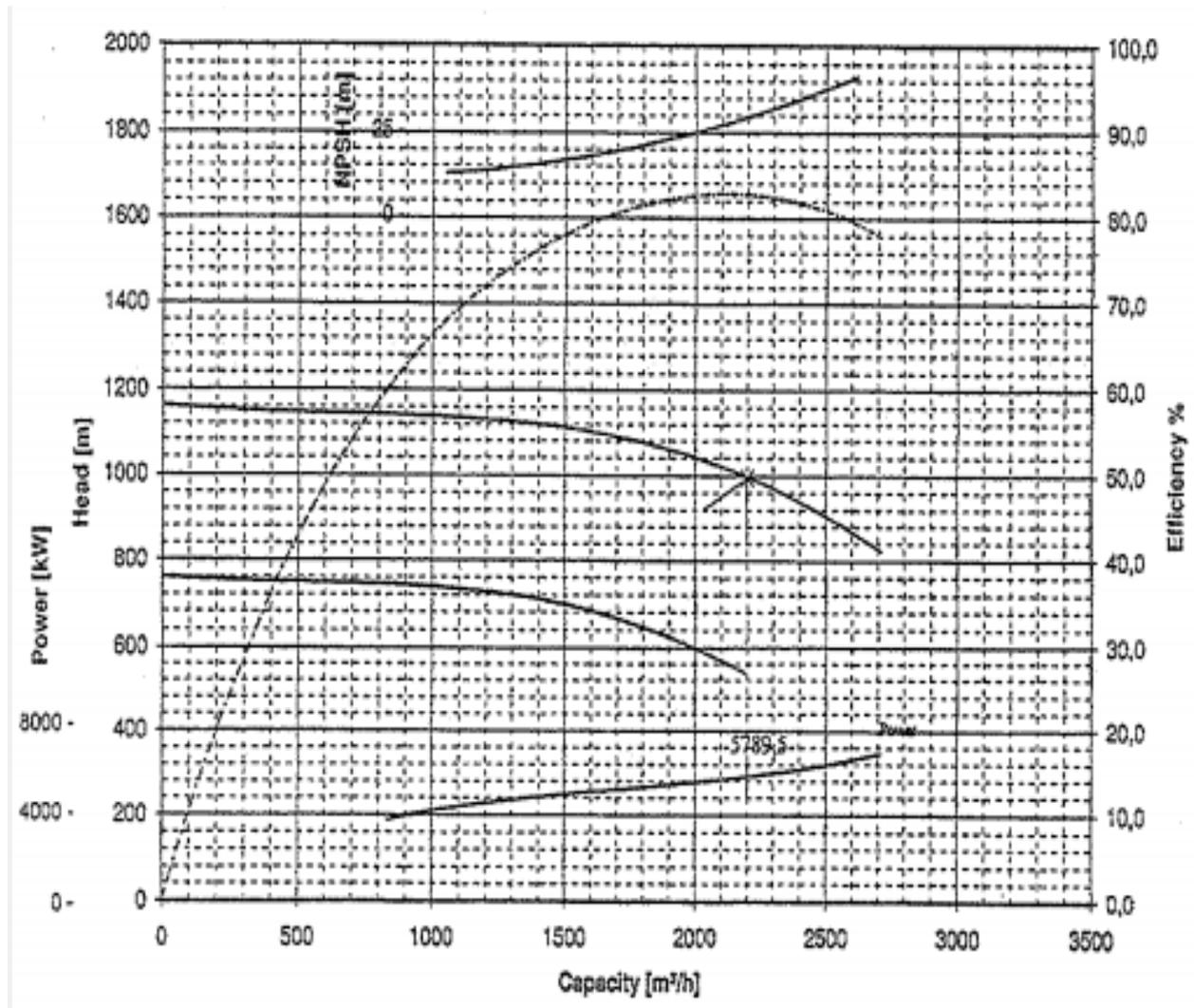


Figure III. 9 : les courbes de fonctionnement de la pompe

Cas le débit de la pompe est : 2200 m³/h

H = 995 m

Rendement 82.5 %

Température de la pompe : 45 °C.

Pression d'aspiration : 6 bars.

Pression de refoulement : 84 bars.

NPSH disponible : 65 m.

V. L'entraînement de la pompe :

Cette pompe est entraînée par turbine à gaz « turbopompe »

1. Généralité :

Ce manuel s'adresse principalement aux opérateurs et au personnel préposé à l'entretien des turbines à gaz, pour l'installation en question. Cette-ci se compose d'une turbine GE10/2 à deux arbres, de type industriel, répondant aux critères des machines "à haut rendement" de deuxième génération.

2. Orientation de la machine :

En règle générale, tous les éléments de la machine sont identifiés par rapport à la direction d'écoulement des gaz qui, du diffuseur d'admission, "parcourent" axialement toute la turbine, jusqu'à la bride du diffuseur d'échappement.

1. schéma d'une turbine

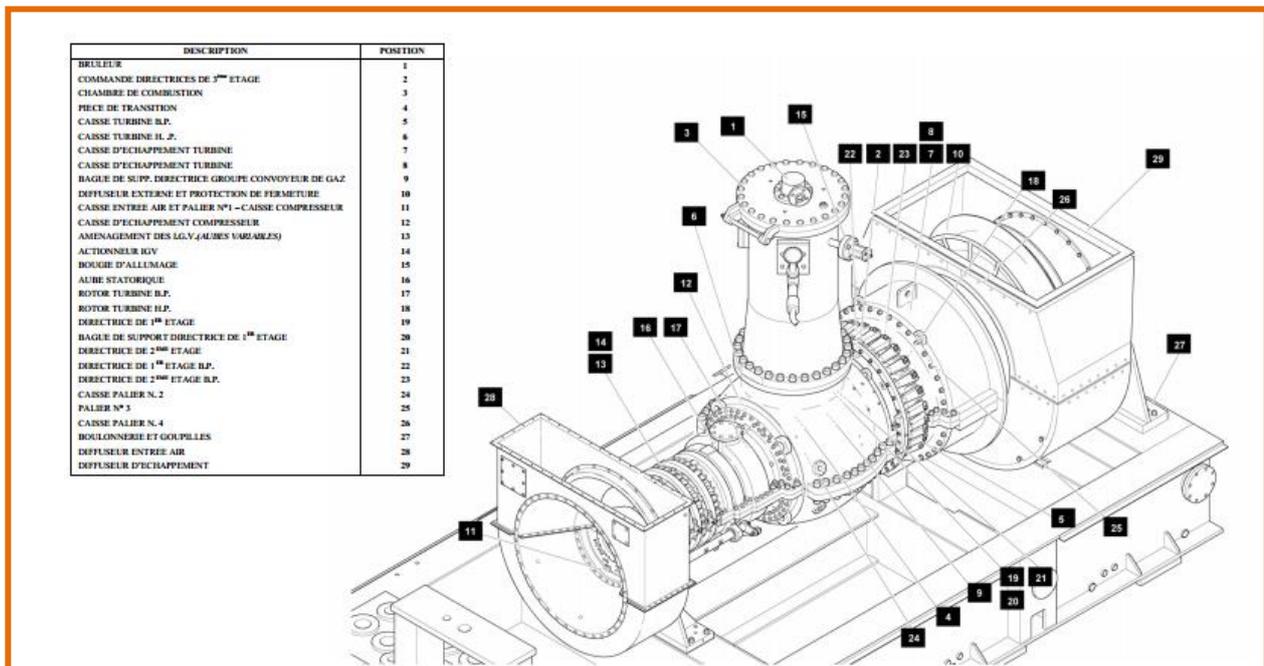


Figure III. 10 : turbine à bi-arbre

3. Description du fonctionnement :

La turbine à gaz est une machine endothermique, c'est-à-dire qu'elle produit elle-même le fluide qui fournit la puissance utilisée pour entraîner la machine utilisatrice. L'air aspiré passe au travers des 11 étages rétorques du compresseur axial où il est comprimé et dirigé vers la chambre de combustion. C'est ici qu'en se mélangeant au combustible dans les proportions voulues, l'air se transforme en fluide moteur qui se détend au travers des quatre étages de la turbine, transformant ainsi son énergie thermique en travail mécanique. Après s'être détendus, les gaz sont dirigés dans la

caisse d'échappement et, en fonction du type d'installation, il est possible ou impossible de récupérer leur énergie thermique résiduelle au moyen des chaudières de récupération de la chaleur (production de vapeur) ou des cycles de régénération. La compression de l'air s'effectue dans les deux premiers étages de la turbine et dans le compresseur axial qui ensemble constituent, pour les machines bi-arbre, le module rétorque de Haute Pression, qui est séparé mécaniquement du module rétorque de Basse Pression ou "arbre de puissance".

4. Les caractéristiques Générales :

- ModelGE10/2
- Puissance fournie a régime normal (ISO cond.)11.982 Kw
- compresseur axial – nombre d'étage11
- Vitesse de rotation11220 tr/min
- section turbine–nombre d'étages4
- Vitesse de rotation8295 tr/min
- Température admission d'airMIN. -5 °C
- MAX. 45 °C – CombustibleGAZ
- Système de lancementTurbine de lancement
- système de commande MKVI
- Rotation d'arbre : Dans le sens contraire des aiguilles, d'une montre
En regardant la turbine de l'aspiration vers l'échappement.

5. schéma d'une turbine à bi-arbre:

2. cycle simple

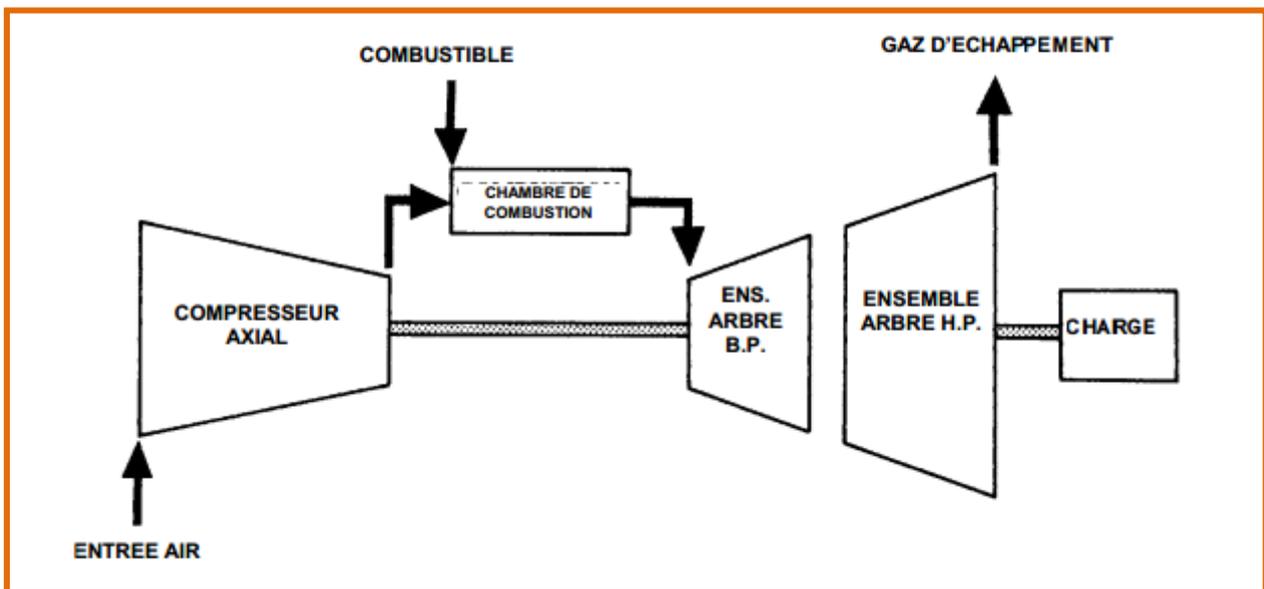


Figure III. 11 : cycle simple de fonctionnement de turbine

❖ **Calcul hydraulique :**

On effectue le calcul hydraulique de vérification dans le but de vérifier les dimensions des différentes parties de l'impulseur une méthode approximative pour comparer avec les dimensions réelles de celui-ci ainsi que à l'entrée et Sortie de l'impulseur.

Données de départ :

		La valeur	Unité
Débit refoulé	Q	0.47–1700	m³/s - m³/h
Pression d'aspiration	P_{asp}	13	Bars
Pression de refoulement	P_{Ref}	60	Bars
Vitesse de rotation	N	5958	Tr/min
Masse volumétrique de brut	ρ	810	Kg/m³
Rendement total réel	η	80%	
Nombre d'étages	Z	2	
Température de liquide	T	39	°C
Accélération de pesanteur	G	9.81	m/s

Tableau IV. 1 : les caractéristiques de la pompe

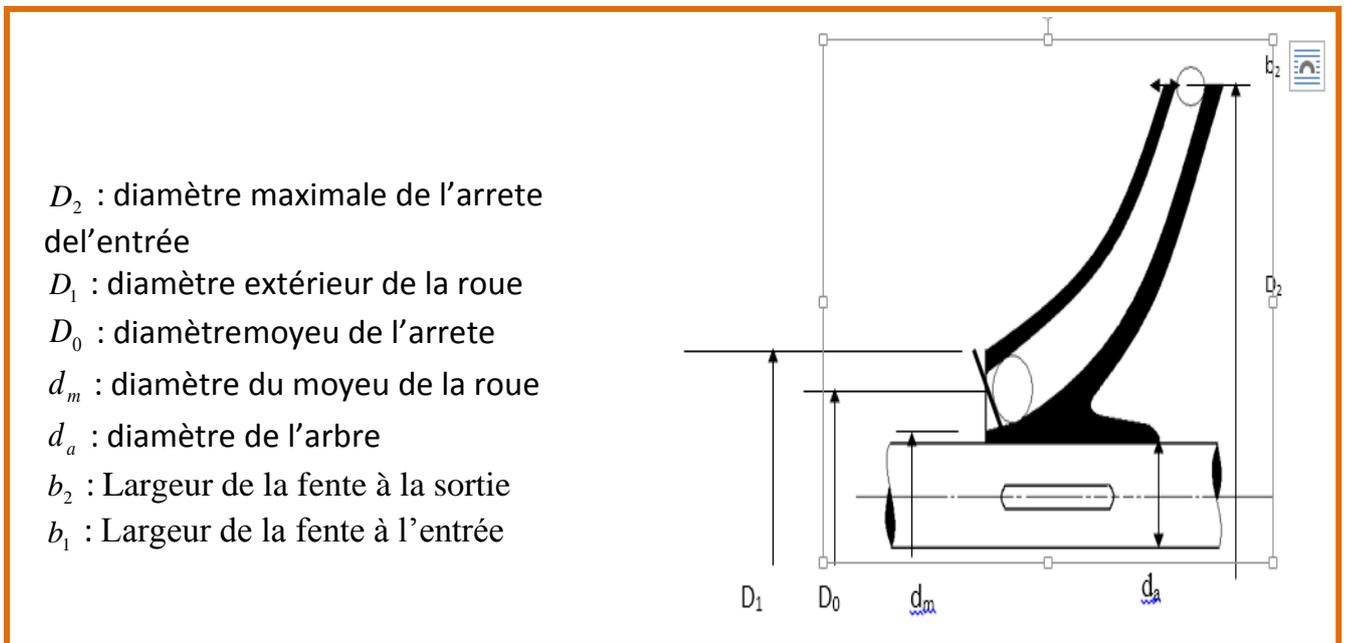


Figure IV. 2 : roue d'une pompe centrifuge

I. Détermination des paramètres principaux :

1. Calcul de La hauteur manométrique :

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} = \frac{60 - 13}{810 \cdot 9.81} = 591.48m$$

2. Vitesse spécifique :

C'est la vitesse à laquelle tourne une pompe géométriquement semblable calculée pour refouler un débit de 470 l/s à une hauteur de 1 mètre, la vitesse spécifique est déterminée par la formule suivante :

$$n_s = 3.65 \cdot N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{Z}\right)^{\frac{3}{4}}}$$

$$n_s = 3.65 \cdot 5958 \cdot \frac{\sqrt{0.47}}{\left(\frac{591.48}{2}\right)^{\frac{3}{4}}} = 209.05 \text{ tr / min}$$

$$n_s = 209.05 \text{ tr / min}$$

Selon la vitesse sphérique de la pompe on classe notre pompe dans la catégorie des pompes centrifuge à rapide vitesse de rotation.

$n_s = (150 \text{ à } 300) \text{ tr/min}$ Rapide vitesse de rotation.

3. Calcule diamètre de l'arrête d'entre ramené « D_{r1} » :

Le diamètre ramené est un diamètre de surface égale à la section d'entrée

$$D_{r1}^2 = D_0^2 - dm^2$$

D_0 : Diamètre maximal de l'arrêt d'entrée.

dm : Diamètre moyen de la roue

Pour calcule le diamètre ramené, on utilise la formule suivant :

$$D_{r1} = k \cdot \sqrt{\frac{Q}{N}}$$

$$D_{r1} = 4.5 \cdot \sqrt{\frac{0.47}{5958}} = 39.96 \approx 40 \text{ mm}$$

$$D_{r1} \approx 40 \text{ mm} \approx 0.04 \text{ m}$$

K : coefficient de calcule $k = 4 - 4.5$ on prend $k = 4.5$

4. Calcul du rendement global :

Ce rendement est donné par la formule suivante :

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

Ou :

η_g : rendement global.

η_h : rendement hydraulique.

η_v : rendement volumétrique.

η_m : rendement mécanique.

1) Rendement hydraulique :

Le rendement hydraulique exprime la diminution de la hauteur d'élevation provoquée par les pertes **hp** par frottement du fluide pendant son passage dans la pompe, η_h est déterminé par la formule de LOMAKINE et SOUKHANOV

$$\eta_h = 1 - \frac{0.42}{(\log(D_{r1}) - 0.172)^2}$$

$$\eta_h = 0.80 = 80 \%$$

2) Rendement volumétrique :

Le rendement volumétrique exprime les pertes par fuites qui diminuent le débit Q il est déterminé par formule :

$$\eta_v = \frac{1}{1 + 0.68(n_s)^{-2/3}}$$

$$\eta_v = 0.98 = 98 \%$$

3) Rendement mécanique :

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_s^2}}$$

$$\eta_m = 0.98 = 98 \%$$

Les pertes mécaniques sont constituées par le frottement des paliers et par le frottement dans la boîte de garniture.

Donc le rendement global qui caractérise l'efficacité de fonctionnement de la pompe et l'utilisation de la puissance sera égale à :

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

$$\eta_g = 0.80 \cdot 0.98 \cdot 0.98 = 0.77$$

η_g Trouvé est égale presque la même valeur rendement réel $\eta_g = 80 \%$

5. La puissance et le débit :

1) La puissance consommée par la pompe :

$$P_p = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_g} = \frac{810 \cdot 9.81 \cdot 0.47 \cdot 591.48}{0.77} = 2868.8 \text{ kW}$$

$$P_p = 2868.8 \text{ kW}$$

2) Puissance du moteur : on déterminé cette puissance par la formule

$$P_m = k_r \cdot P_p = 1.1 \cdot 2868.8 = 3155.68 \text{ kW}$$

$$P_m = 3155.68 \text{ kW}$$

Ou k_r : coefficient de réserve

Pour $P_p > 300 \text{ kW}$ on prend $k_r = 1.1$

3) Débit en circulation dans la pompe :

$$Q_c = \frac{Q}{\eta_v} = \frac{0.47}{0.98} = 0.48 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_c = 0.48 \text{ m}^3 / \text{s}$$

II. Détermination des paramètres du rotor à l'entrée de la roue:

1. Calcul des diamètres de l'arbre et du moyeu :

1) Diamètre de l'arbre :

On détermine le diamètre de l'arbre approximativement en se basant sur le calcul de résistance, de la manière suivante :

$$d_a = \sqrt[3]{\frac{M_t}{0.2(\tau)}}$$

$$\tau = \frac{R_e}{n}$$

Avec :

M_t : Moment de torsion en N.m

n : Coefficient de sécurité $n = 4$

R_e : La limite d'élasticité N/m^2

Et comme l'arbre est en acier inoxydable martensitique

On a :

$$R_e = 550 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\tau = \frac{550 \cdot 10^6}{4} = 137.5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Le moment de torsion est déterminé par la formule suivante :

$$M_t = \frac{P_m}{W} = \frac{30 \cdot P_m}{\pi \cdot N} = \frac{30 \cdot 3155.68 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 5958} = 5060.39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d_a = \sqrt[3]{\frac{5060.39}{0.2(137.5 \cdot 10^6)}} = 0.05687 \text{ m} \approx 57 \text{ mm}$$

$$d_m = (1.2 \div 1.25) \cdot d_a = 1.25 \cdot 57 = 71 \text{ mm}$$

3) Diamètre maximal de l'arrête d'entrée D_1 :

Le diamètre maximal de l'arrête est déterminé par :

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot v_0} + d_m^2}$$

Ou :

v_0 : vitesse absolue de l'entrée, choisie par la formule suivante :

$$v_0 = (0.06 \text{ à } 0.08) \sqrt[3]{Q_c \cdot N^2}$$

Pour : 0.06 on trouve $v_0' = 15.44 \text{ m/s}$

Pour : 0.08 on trouve $v_0'' = 20.59 \text{ m/s}$

Donc :

$$1- \quad D_1' = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot v_0'} + d_m^2}$$

$$D_1' = 221.29 \text{ mm}$$

$$2- \quad D_1'' = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot v_0''} + d_m^2}$$

$$D_1'' = 186.38 \text{ mm}$$

Prenons la valeur moyenne de ce diamètre, donc nous aurons :

$$D_1 = \frac{D_1' + D_1''}{2} = \frac{221.29 + 186.38}{2} = 203.83 \text{ mm}$$

$$D_1 = 203.83 \text{ mm}$$

- Alors la vitesse absolue à l'entrée de la roue sera :

$$V_0 = \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot (D_1^2 - d_m^2)}$$

On trouve :

$$V_0 = 16.75 \text{ m/s}$$

4) Diamètre moyen de l'arrête d'entrée D_0 :

Représente le diamètre du point moyen sur l'extrémité d'entrée de l'aube en général :

$$\text{On prend } D_0 = (0.7 \div 0.9) D_1$$

$$D_0 = 0.8 \cdot 203.83 = 163.064 \text{ mm}$$

5) Largeur de la fente à l'entrée b_1 :

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

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

$$V'_{1U} = (\text{pour } \alpha = 90^\circ) \Rightarrow V'_{1U} = V_0 = 16.75 \text{ m/s}$$

$$b_1 = \frac{0.48}{3.14 \cdot 163.064 \cdot 16.75} = 56 \text{ mm}$$

2. Les angles :

1) L'angle d'aube β_1 à l'entrée :

A cause de l'épaisseur des aubages, la section du courant du liquide à l'entrée des aubages diminue, donc la vitesse du liquide augmente. C'est un coefficient de rétrécissement du courant K_1 qui tient compte de cette augmentation, donc la composante méridienne à l'entrée des aubages est :

$$V_{1m} = k_1 \cdot V_0 \text{ Avec : } k_1 = (1.10 \div 1.15)$$

$$V_{1m} = 1.15 \cdot 16.75 = 19.26 \text{ m/s}$$

2) L'angle de l'entrée du courant sans choc sur les aubages β_{1-0}

Selon le triangle de vitesse on a :

$$\operatorname{tg}(\beta_{1-0}) = \frac{V_{1m}}{U_1}$$

Où U_1 est la vitesse circonférentielle

$$U_1 = \frac{\pi \cdot N \cdot D_0}{30 \cdot 2} = \frac{3.14 \cdot 5958 \cdot 0.163}{30 \cdot 2} = 50.82 \text{ m/s}$$

$$\operatorname{tg}(\beta_{1-0}) = \frac{V_{1m}}{U_1} = \frac{19.26}{50.82} = 0.38$$

$$\beta_{1-0} = 20.76^\circ$$

3) L'angle de l'aube à l'entrée :

$$\beta_1 = \beta_{1-0} + \delta$$

Où δ : l'angle d'attaque, pour le calcul on prend $\delta = (3^\circ \div 8^\circ)$

L'angle de fonctionnement des pompes a montré que rendement hydraulique est maximal dans le cas où : l'angle $\beta_1 = (20 \div 25)^\circ$ alors pour cas prenons $\beta_1 = 25^\circ$

Alors l'angle d'attaque est : $\delta = (25 - 22.19)^\circ$ donc : $\delta = 2.81^\circ$

III. Détermination des paramètres du rotor a la sortie de la roue :

1. Charge théorique en tenant compte du nombre d'aube :

$$H_{th} = \frac{H}{\eta_h \cdot Z} = \frac{591.48}{0.80 \cdot 2} = 369.67 \text{ m}$$

$$H_{th} = 369.67 \text{ m}$$

On peut déterminer la vitesse en première approximation par la formule suivante :

$$U_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 591.48} = 107.73 \text{ m/s}$$

2. Diamètre de la roue à la sortie :

$$D_2 = \frac{2 \cdot U_2}{\omega} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 107.73}{2 \cdot 3.14 \cdot 5958} = 0.34549 \text{ m} = 345.49 \text{ mm}$$

3. L'angle d'aube à la sortie de la roue :

$$\operatorname{Sin} \beta_2 = \operatorname{Sin} \beta_1 \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \left(\frac{K_1}{13} \right) \left(\frac{V_{2m}'}{V_{1m}'} \right) = \operatorname{Sin}(25) \cdot 1.1 \cdot \frac{1.15}{1.1} \cdot \frac{13.4}{16.75} = 0.39$$

$$\beta_2 = 22.88^\circ$$

Pour la composante méridienne de la sortie

$$V_{2m}' = 0.8 \cdot V_{1m}' = 0.8 \cdot 16.75 = 13.4 \text{ m/s}$$

$$\frac{W_1}{W_2} = 1.1 \quad K_1 = 1.15 \quad K_2 = 1.1$$

4. Nombre d'aubes

$$Z = 6.5 \cdot \frac{D_1 + D_2}{D_2 - D_1} \sin\left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}\right) = 6.5 \cdot \frac{203.83 + 345.49}{345.49 - 203.83} \sin\left(\frac{25 + 22.88}{2}\right) = 10.22 \text{ m}$$

$$Z = 10.22 \Rightarrow Z_{\text{réel}} = 10$$

5. Largeur de la fente à la sortie b_2 :

$$b_2 = \frac{Q_c}{\pi \cdot D_2 \cdot V'_{2m}} = \frac{0.48}{3.14 \cdot 0.34549 \cdot 13.4} = 0.033 \text{ m} = 33 \text{ mm}$$

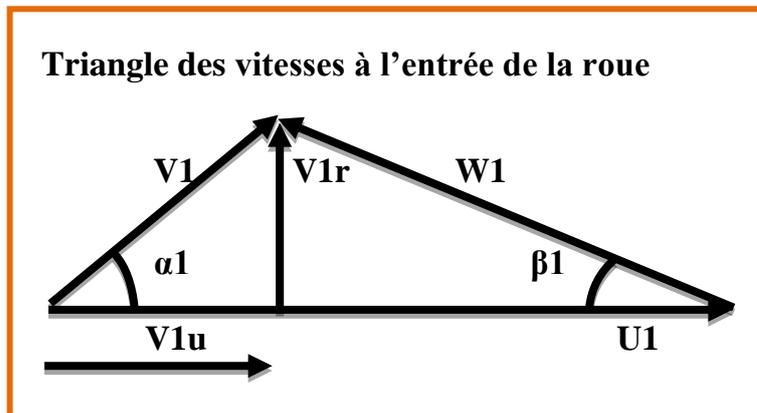


Figure IV. 3 : triangle des vitesses à l'entrée de la roue

Paramètre	Valeur calculé	Valeur réel
$D_1(mm)$	203.83	205
$D_2(mm)$	345.49	347.5
$b_1(mm)$	56	57
$b_2(mm)$	33	35
$D_0(mm)$	163.06	165
$d_m(mm)$	71	73
$d_a(mm)$	57	59
$\beta_2(^{\circ})$	22.88	23
$\delta(^{\circ})$	2.81	3
$\beta_{1-0} (^{\circ})$	20.76	/
Z	10.22	10

Tableau IV. 4 : vérification des valeurs calculant

Conclusion :

D'après les calculs exactement calcul hydraulique j'ai observé les valeurs calculé sont proche des valeurs du constructeur (pompe d'étude) ce qui nous permet à dire que notre pompe fonctionné convenablement.

❖ Calcul mécanique :

Dans le but de vérifier la résistance de l'arbre de la pompe 10X18 soumis aux forces de flexion et de torsion durant son fonctionnement, on fait appel au calcul mécanique qui consiste à définir les valeurs de ces forces et leurs points d'application, ensuite on déterminera la valeur de diamètre de l'arbre dans la section dangereuse puis on la compare à la valeur réelle de cette section, si la valeur calculée est inférieure à la valeur réelle, donc notre arbre assurera un fonctionnement sans risque.

I. Estimation du poids de l'arbre :

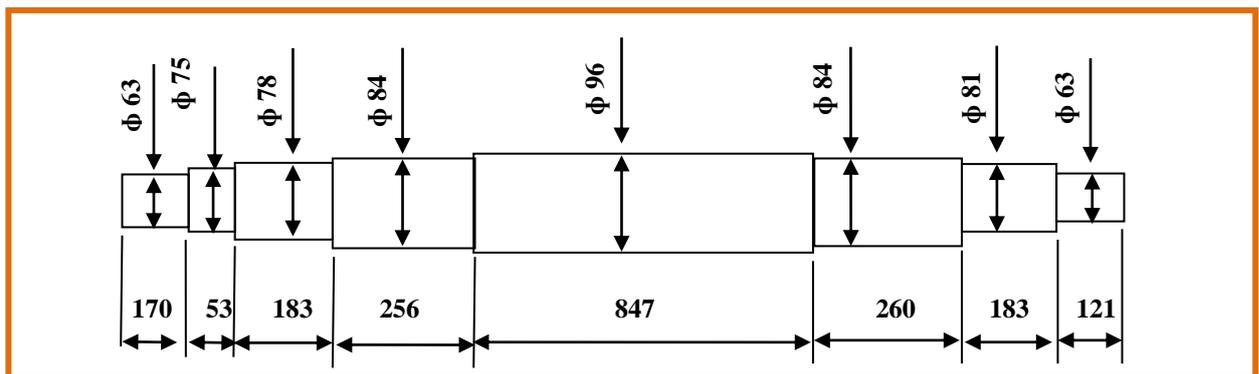


Tableau IV. 5 : les valeurs des poids de l'arbre

Les caractéristiques mécaniques de ce matériau sont :

Matière de l'arbre : l'acier inoxydable X20Cr13

- Limite d'élasticité $\sigma_e = 600 \text{ M}_{pa}$
- limite de rupture $\sigma_r = 750 \text{ M}_{pa}$
- La masse volumétrique de l'acier $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

1. Poids de l'arbre :

Le poids de chaque section est donné par la formule :

$$P_i = v_i \cdot \rho \cdot g$$

Avec

$$v_i = \frac{\pi \cdot d_i^2 \cdot l_i}{4}$$

- v_i : volume de la i^{eme} section
- ρ : densité de l'acier pour notre cas $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- L_i : longueur de la section « i »

$$P_i = \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot d_i^2 \cdot l_i}{4}$$

Elément	Diamètre m	Langueur M	Volume 10^{-4} m^3	Poids N
1	0.063	0.17	5.3	40.53
2	0.075	0.053	2.34	17.90
3	0.078	0.183	8.74	66.88
4	0.084	0.256	14.18	108.5
5	0.096	0.847	61.28	468.9
6	0.084	0.26	14.40	110.18
7	0.081	0.183	9.43	72.16
8	0.063	0.121	3.77	28.85

Tableau IV. 6 : les valeurs des poids de l'arbre

2. Charge linéaire de l'arbre :

Le poids total de l'arbre est égal à la somme des poids des tronçons.

$$P_a = \sum P_i = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 = 913.9 \text{ N}$$

$$q_a = \frac{P_a}{L_a} = \frac{913.9}{2.073} = 440.86 \text{ N/m}$$

3. Les poids des impulseurs :

Le poids d'une roue est donnée par :

$$P_r = m \cdot g$$

m : Masse de la roue avec $m = 15.5 \text{ kg}$

g : l'accélération de l'apesanteur

$$P_r = 15.5 \cdot 9.81 = 151.06 \text{ N}$$

4. Calcul de poids du piston d'équilibrage :

$$P_{P-e} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{eq}^2 - D_{arb}^2) \cdot L_{P-e} \cdot \rho \cdot g$$

$$P_{P-e} = \frac{3.14}{4} \cdot (0.135^2 - 0.096^2) \cdot 0.095 \cdot 7700 \cdot 9.81 = 50.75 \text{ N}$$

5. Calcul de poids de chemise palier :

$$P_{ch-p} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ch-p}^2 - D_{arb}^2) \cdot L_{ch-p} \cdot \rho \cdot g$$

$$P_{ch-p} = \frac{3.14}{4} \cdot (0.135^2 - 0.096^2) \cdot 0.085 \cdot 7700 \cdot 9.81 = 45.41 \text{ N}$$

6. Calcul du poids di grain fond :

$$P_{gr-f} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{gr-fo}^2 - D_{arb}^2) \cdot L_{gr-fo} \cdot \rho \cdot g$$

$$P_{gr-f} = \frac{3.14}{4} \cdot (0.135^2 - 0.096^2) \cdot 0.043 \cdot 7700 \cdot 9.81 = 23 \text{ N}$$

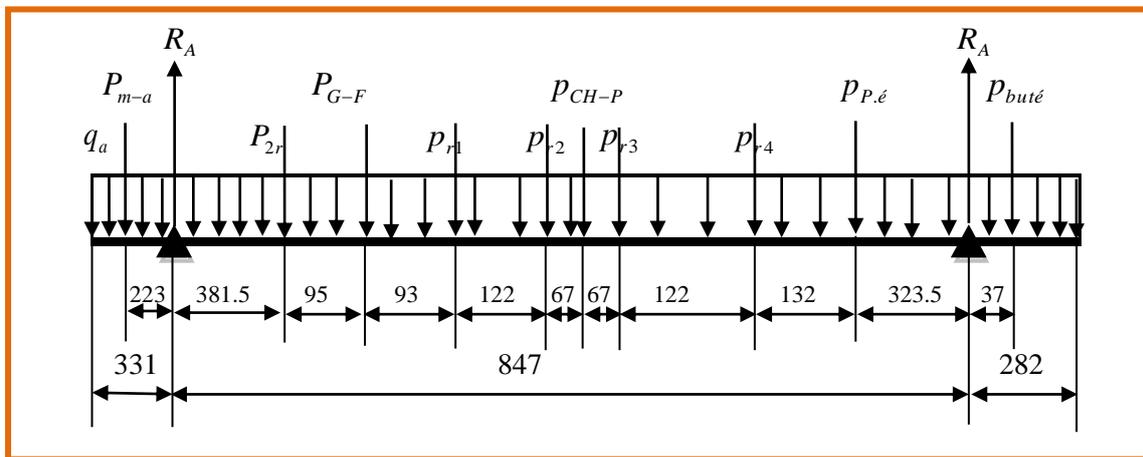
7. Calcul du poids manchon accouplement :

$$P_{m-a} = m \cdot g$$

$$m = 20 \text{ kg}$$

$$P_{m-a} = 20 \cdot 9.81 = 196.2 \text{ N}$$

II. Calcul la résistance aux appuis RA et RB :



La répartition des charges dans l'arbre

J'ai calculé les réactions des efforts **RA** et **RB** par la somme des forces appliquées sur l'arbre à l'équilibre.

$$\sum M/A = 0 \Rightarrow P_{ma}(1.626) + \frac{q \cdot (1.734)^2}{2} - \frac{q \cdot (0.282)^2}{2} - R_A(1.403) + P_{p.é}(0.3235) + P_r(0.8335 + 0.7115 + 0.5775 + 0.4555) + P_{2r}(1.0215) + P_{g-f}(0.9265) + P_{ch-p}(0.6445) + P_{buté}(0.037) = 0$$

$$R_A(1.403) = 196.2 \times 1.626 + \frac{440.86 \cdot (1.734)^2}{2} - \frac{440.86 \cdot (0.282)^2}{2} + 50.75 \times 0.3235 + 181.48 \times 2.58 + 244.2 \times 1.0215 + 45.41 \times 0.8045 + 23 \times 0.9265 + 12.45 \times 0.037 = 1756.42 \text{ N}$$

$$R_A = \frac{1756.42}{1.403} = 1252 \text{ N}$$

$$\sum M/B = 0 \Rightarrow -P_{ma}(0.223) - \frac{q \cdot (0.331)^2}{2} + \frac{q \cdot (1.685)^2}{2} - R_B(1.403) + P_{p.é}(1.0795) + P_r(0.5695 + 0.6915 + 0.8255 + 0.9475) + P_{2r}(0.3815) + P_{g-f}(0.4765) + P_{ch-p}(0.7585) + P_{buté}(0.1440) = 0$$

$$R_B(1.403) = -196.2 \times 0.223 - \frac{440.86 \cdot (0.331)^2}{2} + \frac{440.86 \cdot (1.685)^2}{2} + 50.75 \times 1.0795 + 181.48 \times 3.034 + 244.2 \times 0.3815 + 45.41 \times 0.4765 + 23 \times 0.7585 + 12.45 \times 0.1440 = 1385.05 \text{ N}$$

$$R_B = \frac{1385.05}{1.403} = 987.20 \text{ N}$$

III. Vérification les valeurs des réactions :

A l'équilibre la résultante des forces appliquée sur l'arbre égale la somme des forces de réaction :

$$\sum F = 0$$

Donc :

$$R_A + R_B = 4 \cdot P_r + P_{2r} + P_{g-f} + P_{p-é} + P_{ch-p} + P_{buté}$$

On a d'une part :

$$R_A = 1252 \text{ N}$$

Et

$$R_B = 987.20 \text{ N}$$

Alors :

$$R_A + R_B = 2239.2 \text{ N}$$

Et d'autre part :

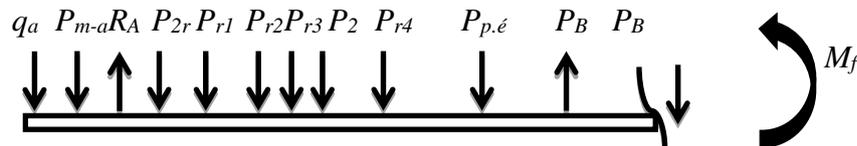
$$\sum P_i = 4 \times 181.48 + 244.2 + 45.11 + 50.75 + 23 + 12.45 + 1137.34$$

$$\sum P_i = 2238.86 \text{ N}$$

D'après ce calcul de vérification, on constate que les valeurs des réactions calculées précédemment sont précises avec une petite erreur négligeable.

IV. Calcul des moments fléchissant :

Pour calculer les moments fléchissant on utilise la méthode des tronçons comme il est indiqué par la figure suivante :



❖ Section (1) : $0 \leq x \leq 0.108$

$$M_{f-1} = -q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 0 \rightarrow M_{f-1} = 0$$

$$x = 0.108 \rightarrow M_{f-1} = -2.57 \text{ N.m}$$

❖ Section (2) : $0.108 \leq x \leq 0.331$

$$M_{f-2} = -P_{m-a}(x - 0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 0.108 \rightarrow M_{f-2} = -2.57 \text{ N.m}$$

$$x = 0.331 \rightarrow M_{f-2} = -46.32 \text{ N.m}$$

❖ Section (3) : $0.331 \leq x \leq 0.7125$

$$M_{f-3} = R_A(x - 0.331) - P_{m-a}(x - 0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 0.331 \rightarrow M_{f-3} = -46.32 \text{ N.m}$$

$$x = 0.7125 \rightarrow M_{f-3} = 431.32 \text{ N.m}$$

❖ Section (4) : $0.7125 \leq x \leq 0.8075$

$$M_{f-4} = -P_{2r}(x - 0.7125) + R_A(x - 0.331) - P_{m-a}(x - 0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 0.7125 \rightarrow M_{f-4} = 431.32 \text{ N.m}$$

$$x = 0.8075 \rightarrow M_{f-4} = 408.12 \text{ N.m}$$

❖ Section (5) : $0.8075 \leq x \leq 0.90$

$$M_{f-5} = -P_{G-F}(x - 0.8075) - P_{2r}(x - 0.7125) + R_A(x - 0.331) - P_{m-a}(x - 0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 0.8075 \rightarrow M_{f-5} = 408.12 \text{ N.m}$$

$$x = 0.90 \rightarrow M_{f-5} = 405.98 \text{ N.m}$$

❖ Section (6) :

$$0.90 \leq x \leq 1.022$$

$$M_{f-6} = -P_r(x - 0.90) - P_{G-F}(x - 0.8075) - P_{2r}(x - 0.7125) + R_A(x - 0.331) - P_{m-a}(x - 0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 0.90 \rightarrow M_{f-6} = 405.98 \text{ N.m}$$

$$x = 1.022 \rightarrow M_{f-6} = 383.84 \text{ N.m}$$

❖ Section (7) :

$$1.022 \leq x \leq 1.089$$

$$M_{f-7} = -P_{r2}(x - 1.022) - P_{r1}(x - 0.90) - P_{G-F}(x - 0.8075) - P_{2r}(x - 0.7125) + R_A(x - 0.331) - P_{m-a}(x - 0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.022 \rightarrow M_{f-7} = 383.84 \text{ N.m}$$

$$x = 1.089 \rightarrow M_{f-7} = 371.68 \text{ N.m}$$

❖ Section (8) : $1.089 \leq x \leq 1.156$

$$M_{f-8} = -P_{CH-P}(x-1.089) - P_{r2}(x-1.022) - P_{r1}(x-0.90) - P_{G-F}(x-0.8075) - P_{2r}(x-0.7125) \\ + R_A(x-0.331) - P_{m-a}(x-0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.089 \rightarrow M_{f-8} = 371.68 \text{ N.m}$$

$$x = 1.156 \rightarrow M_{f-8} = 368.64 \text{ N.m}$$

❖ Section (9) : $1.156 \leq x \leq 1.278$

$$M_{f-9} = -P_{r3}(x-1.156) - P_{CH-P}(x-1.089) - P_{r2}(x-1.022) - P_{r1}(x-0.90) - P_{G-F}(x-0.8075) \\ - P_{2r}(x-0.7125) + R_A(x-0.331) - P_{m-a}(x-0.108) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.156 \rightarrow M_{f-9} = 368.64 \text{ N.m}$$

$$x = 1.278 \rightarrow M_{f-9} = 346.50 \text{ N.m}$$

❖ Section (10) : $1.278 \leq x \leq 1.41$

$$M_{f-10} = -P_{r4}(x-1.278) - P_{r3}(x-1.156) - P_{CH-P}(x-1.089) - P_{r2}(x-1.022) - P_{r1}(x-1.090) \\ - P_{G-F}(x-0.8075) - P_{2r}(x-0.7125) + R_A(x-0.331) - P_{m-a}(x-0.0975) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.278 \rightarrow M_{f-10} = 346.50 \text{ N.m}$$

$$x = 1.41 \rightarrow M_{f-10} = 322.54 \text{ N.m}$$

❖ Section (11) : $1.41 \leq x \leq 1.7335$

$$M_{f-11} = -P_{p-e}(x-1.41) - P_{r4}(x-1.278) - P_{r3}(x-1.156) - P_{CH-P}(x-1.089) - P_{r2}(x-1.022) \\ - P_{r1}(x-0.90) - P_{G-F}(x-0.8075) - P_{2r}(x-0.7125) + R_A(x-0.331) - P_{m-a}(x-0.0975) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.41 \rightarrow M_{f-11} = 322.54 \text{ N.m}$$

$$x = 1.7335 \rightarrow M_{f-11} = -33.47 \text{ N.m}$$

❖ Section (12) : $1.7335 \leq x \leq 1.7705$

$$M_{f-12} = R_B(x-1.7335) - P_{p-e}(x-1.1.41) - P_{r4}(x-1.278) - P_{r3}(x-1.156) - P_{CH-P}(x-1.089) \\ - P_{r2}(x-1.022) - P_{r1}(x-0.90) - P_{G-F}(x-0.8075) - P_{2r}(x-0.7125) + R_A(x-0.331) \\ - P_{m-a}(x-0.0975) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.7335 \rightarrow M_{f-12} = -33.47 \text{ N.m}$$

$$x = 1.7705 \rightarrow M_{f-12} = 3.05 \text{ N.m}$$

❖ Section (13) : $1.7705 \leq x \leq 2.0155$

$$M_{f-13} = -P_{Buté}(x-1.7705) + R_B(x-1.7335) - P_{p-e}(x-1.41) - P_{r4}(x-1.278) - P_{r3}(x-1.156) \\ - P_{CH-P}(x-1.089) - P_{r2}(x-1.022) - P_{r1}(x-0.90) - P_{G-F}(x-0.8075) - P_{2r}(x-0.7125) \\ + R_A(x-0.331) - P_{m-a}(x-0.0975) - q \frac{(x^2)}{2}$$

$$x = 1.7705 \rightarrow M_{f-13} = 3.05 \text{ N.m}$$

$$x = 2.0155 \rightarrow M_{f-13} = 0 \text{ N.m}$$

Les sections	Langueur (m)	Force appliqué (N)	M _f (N.m)
1	0	0	0
2	0.108	196.2	-2.57
3	0.331		-46.32
4	0.7125	244.2	431.32
5	0.8075	23	408.12
6	0.90	181.48	405.98
7	1.022	181.48	383.84
8	0.089	45.41	371.68
9	1.156	181.48	308.64
10	1.278	181.48	346.50
11	1.41	50.75	322.54
12	1.7335		-33.47
13	1.7705	12.45	3.05
14	2.0155		0

Tableau IV. 7 : les valeurs des moments fléchissant et les forces appliqués

V. Vérification de résistance :

1. Calcul de la contrainte de flexion :

$$\sigma_{f.Max} = \frac{M_{f.Max}}{w}$$

Avec :

$$w = \frac{\pi \cdot D^3}{32} = \frac{3.14 \times (0.96)^3}{32} = 8.68 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Alors :

$$\sigma_{f.Max} = \frac{406}{8.68 \times 10^{-5}} = 4.67 \text{ Mpa}$$

2. Calcul de moment de torsion :

$$M_t = \frac{P_{eff}}{w}$$

Avec la puissance effective est : P_{eff} : 1500 kw

La vitesse angulaire de l'arbre

$$w = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \times (4859)}{60} = 508.57 \frac{rd}{s}$$

Alors

$$M_t = \frac{1500000}{w508.57} = 2949.41 \text{ N.m}$$

3. Calcul de contrainte de torsion :

On a

$$\tau = \frac{M_t}{W_p}$$

En prenant le diamètre le plus petit de l'arbre $D = 0.063 \text{ m}$

Alors

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{16} = \frac{3.14 \times (0.063)^3}{16} = 4.9 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\tau = \frac{2949.41}{4.9 \times 10^{-5}} = 60.1 \text{ Mpa}$$

4. Calcul de la contrainte équivalente selon le critère de Von mises :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Alors :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{4.67^2 + 3(60.1)^2} = 104.2 \text{ Mpa}$$

Sachant que l'arbre est en acier 42XCrM04 d'où :

$$\sigma_{eq} < [\sigma]$$

Avec

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e}{n_e}, \frac{\sigma_t}{n_t} \right\} = \min \left\{ \frac{250}{15}, \frac{500}{3} \right\} = 166.7 \text{ Mpa}$$

Conclusion :

D'après ce calcul, je constate que la résistance de l'arbre à la flexion est vérifiée

I. Introduction :

Après un certain temps d'exploitation tout équipements tend à se détériore sous l'action de plusieurs phénomènes internes et externes tel que :

- L'usure corrosive et érosive.
- Déformation et dégradation due excès de température et de pression.
- Détérioration ou défaillance dues à la négligence des consignes techniques d'exploitation.

Tous ces phénomènes peuvent endommager l'équipement et même de cause des dangers pour les personnels ainsi que des pertes de matériels qui vont entraîner des pertes de productions considérables.

Pour assurer le maintien des équipements industriels et de diminuer de leur taux de défaillance, il faut mettre en œuvre un système de maintenance adéquat, et agir rapidement lorsqu'elle survient afin d'augmenter la possibilité du matériel (production continue).

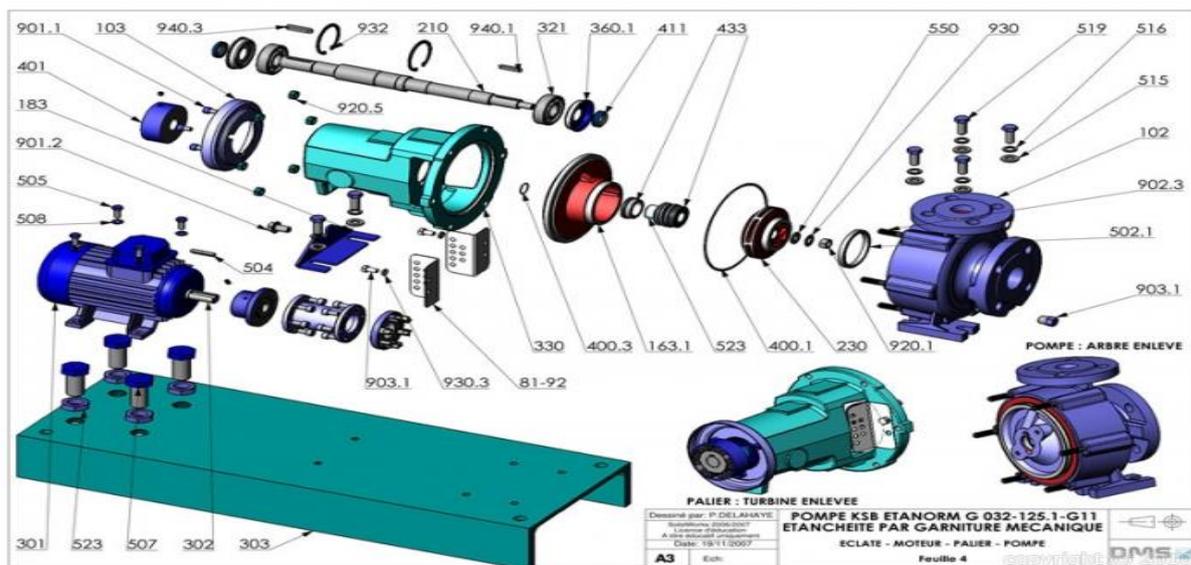
Dans ce chapitre, je rappellerai certains concepts de maintenance, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place un système de maintenance.

II. Définition de la maintenance :

La maintenance est définie comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un dispositif, un équipement ou un système dans des états spécifiques ou en mesure d'assurer un service bien déterminé.

C'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, etc....)

Qui permettent de conserver le potentiel du matériel, pour assurer la continuité et la qualité de la production et garanti la finalité des équipements en moindre coût.



III. Objectif de la maintenance :

La fonction maintenance jouée un rôle de plus en plus centrale dans l'entreprise, elle contribue à augmenter la productivité et diminue les coûts engendrés par les arrêts de production causés par les pannes, assurer un bon état des équipements et

des installations elles tendent à occuper une place prépondérante dans l'entreprise grâce à ses objectifs qui sont :

- Assurer de la production prévue.
- Respecter les délais prévus.
- Maintenir la qualité du produit fabriqué.
- Rechercher le coût optimum.
- Améliorer la sécurité du travail.

IV. Différents types de maintenance :

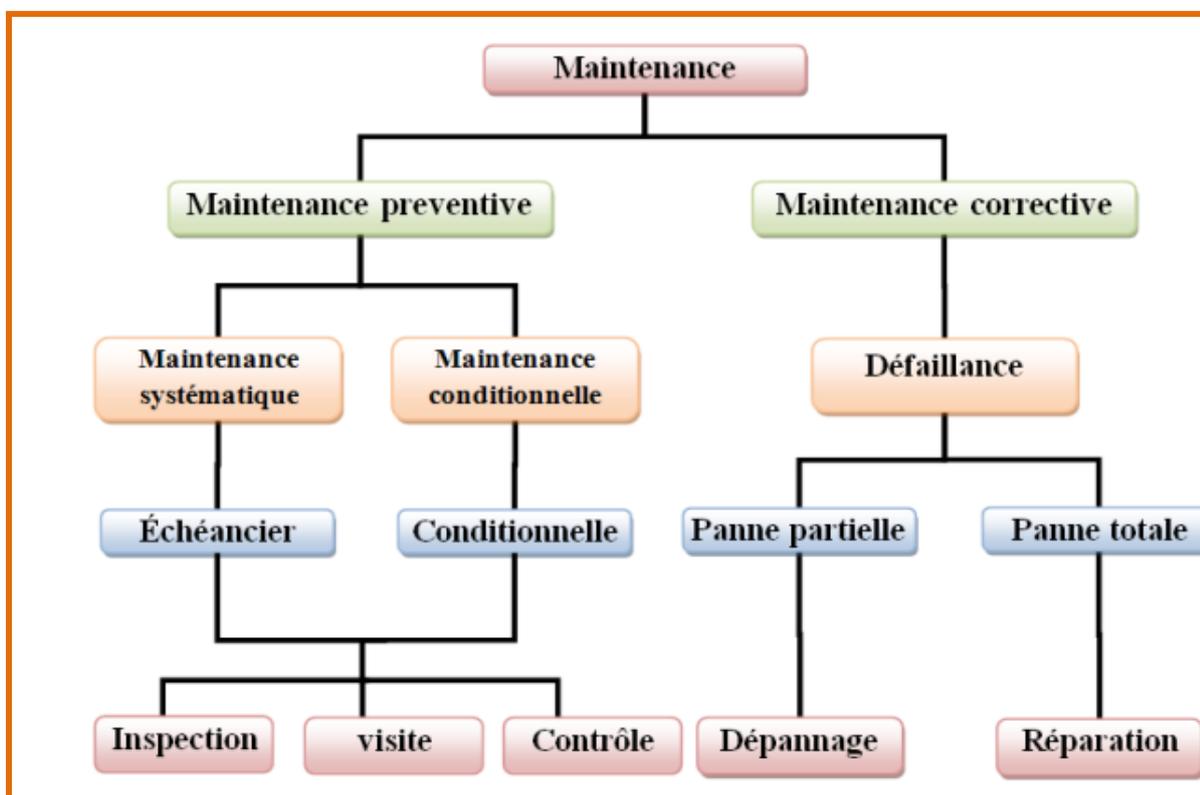
On distingue 2 formes de maintenance classée en fonction d'événement prévu et de l'état matériel.

1) Maintenance corrective

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement. Note: la maintenance corrective comprend en partie l'analyse et son diagnostic, - La remise en état avec ou sans modification. - Le contrôle du bon fonctionnement.

2) Maintenance préventive

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon: - Un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage, - Et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou de service.



Organigramme V. 1 : Type de maintenance

V. les opérations de maintenance :

1) Dépannage :

C'est l'action sur un équipement en vue de la remettre en état de fonctionnement. Le dépannage est une opération de maintenance corrective et n'a pas de condition d'application particulière. La connaissance du comportement du matériel et du mode de dégradation est indispensable.

Le dépannage s'applique en générale sur équipement qui travail en continu.

2) Réparation :

C'est une intervention limite de la maintenance corrective après panne et défaillance. L'application de la représentation peut être décidée immédiatement à la suite d'un incident ou défaillance soit après un dépannage pour la maintenance corrective, soit après une visite pour une maintenance préventive.

3) Inspection :

Ce sont des activités de surveillance constante a relève périodiquement des anomalies simple d'exécution et ne nécessitent pas d'outillages spécifique ou l'arrêt des équipements.

4) Visite :

Ce sont des opérations de surveillance de la maintenance préventive systématique.

5) Contrôle :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport a des données près établies suivis d'un jugement le contrôle peu comporte une activité d'information; inclure une décision acceptation, rejet.

6) Révision :

C'est l'ensemble des actions examens de contrôle et des interventions effectuées en vue d'assure l'équipement contrôle toutes défaillance majeures, pendant un temps ou pour membre d'unité d'usage donnée .on distingue les révisions partielles et les révisions générales.

Il est toutefois nécessaire d'effectuer une série d'inspection cyclique et de contrôle en mesure de garantir la continuité de fonctionnement des machines pour ses propres machines.

VI. Maintenance de la pompe centrifuge type « 10X18 BFD »

1) Pompe :

Votre pompe doit être maintenu correctement pour pouvoir rendre sa pleine performance, un programme de l'entretien consciencieux assurera la haute performance de la pompe et minimisera les arrêts de la pompe.

2) Programme de maintenance recommande :

Pour le programme de maintenance recommandé, voir aux pages suivant.

3) Etanchéité mécanique :

L'étanchéité mécanique est un produit de précision, par conséquent, traitez-le avec soin, dans sa manutention ne griffez par la surface de la bague en carbone ni ne la laissez tomber, et prenez le soin particulier de ne pas griffer la surface laminée qui entre en contact avec la bague en carbone, faites référence aux dessins de l'assemblage de l'étanchéité pour le correct positionnement des étanchéités mécaniques, ne remettez pas l'étanchéité en service jusqu'à ce que tous les éléments non-métalliques aient été remplacés, et que les surface des étanchéités aient été remplacées, et qu'elle aient été rubanées ou remplacées, avant de compléter l'installation de l'étanchéité, essuyez parfaitement les surfaces rubanées de l'étanchéité, parfaitement nettoyées.

4) Pièces de rechange :

Faites référence à la dernière page du chapitre pour les classifications du minimum de pièces de rechange recommandées, lors de votre commande des pièces de rechange, faites toujours référence à la dimension de la pompe et au type, et au numéro de série comme il est écrit sur la plaque de fabrication de la pompe .ordonnez les pièces par le numéro et la description, montrés dans le dessin section elle fourni avec l'unité, et par numéro de la réserve.

5) Localisation des erreurs :

Le diagramme de la localisation des erreurs a été préparé pour votre donner assistance dans la tracement des possibles causes des problèmes les plus communs, expérimentés dans le fonctionnement des pompes centrifuges .les interrogations qui impliquent des problèmes ,qui ne font pas partie de ce tableau, devraient être dirigés au bureau des ventes le plus proche ou à un représentant.

VII. la maintenance de la cavitation :

1) réduction des effets de cavitation :

Pour limiter les effets de la cavitation et améliorer les plages d'utilisation des pompes, on peut agir de plusieurs façons :

- Diminuer le NPSH requis des pompes en agissant au niveau de la roue et des organes d'alimentation
- Limiter les conséquences de la cavitation (bruit, érosion, vibration) pour une conception mécanique et un choix de matériau adéquats.
- Dans certains cas, utiliser un inducteur ou hélice de quayage installé à l'amont de la roue, principalement dans les pompes centrifuges.

2) amélioration du NPSH requis :

C'est possible, en jouant sur les principaux paramètres géométriques des aubes à l'entrée de la roue (diamètre D , l'angle d'entrée de la roue β , on peut, nombre des

aubes Z, la forme et l'épaisseur des aubes) on conçoit des pompes dont les performances en cavitation peuvent varier dans une très large gamme

3) réduction du bruit et des vibrations :

Lors de la cavitation de pompe, il est possible de réduire les effets de cavitation en agissant sur la conception mécanique pour minimiser les risques de vibration et réduire le bruit généré par la cavitation.

- Dimensionnement de l'arbre des organes mécaniques
- Choix de matériau (épaisseur, nature)
- Capotage antibruit
- Scellement du groupe
- Liaison avec les tuyauteries de raccordement

4) limitation du risque d'érosion :

C'est principalement par un choix judicieux du matériau constitutif de la roue que l'on peut prétendre réduire les risques d'érosion par cavitation.

Les aciers inoxydables présentent une excellente tenue à l'érosion de cavitation, de très nombreux travaux vis-à-vis de leur résistance à la cavitation, la qualité de la réalisation (absence de discontinuité, respect des géométries, définition des aubes, rugosité, etc....) est aussi à prendre en considération lorsque l'on veut se prémunir contre d'éventuels risques d'érosion.

5) condition d'installation et d'utilisation des pompes :

Comme indiqué précédemment, même une pompe bien étudiée pour résister à la cavitation pourra subir très rapidement des dommages importants si elle est mal installée, ou si elle est utilisée dans des plages de fonctionnement inadaptées ou non prises en compte au moment du projet.

Les conditions d'installation doivent être telles que :

Le $(NPSH_{disp}) > (NPSH_{requis})$ choisi pour assurer la fiabilité dans toute plage d'utilisation de la pompe. Il faut aussi assurer un écoulement satisfaisant à l'entrée de la pompe. Les critères que doit réunir un bon écoulement à l'entrée d'une pompe pour réduire les risques dus à la cavitation sont au minimum les suivants :

- Déviation maximale de l'angle moyen de l'écoulement par rapport à la direction de $\pm 5^\circ$.

Distorsion maximale du profil de vitesse de $\pm 10\%$ par rapport à la vitesse moyenne débitante (Q/v_s) et cela dans toute la section débitante située à l'entrée de la pompe.

VIII. modes de prévention de la cavitation :

a. moyens constructifs :

- L'application d'une pompe avec roue à deux ouïes, de façon à réduire le débit de chacune des deux parties de la roue.
- Le recours à la projection de liquide dans le même sens que la rotation de la roue, ce qui diminue le charge de cavitation et augmente l'aptitude d'aspiration.
- L'emploi de roues avec ouïes de largeur accrue et courbure progressive du flasque avant.
- L'application d'une roue sur pression avant l'ouïe de la roue de la pompe centrifuge.

b. indication d'installation et fonctionnement :

- Installer la pompe de manière à ce que la hauteur géométrique d'aspiration soit à l'aspiration convenable dans les pompes à liquide surchauffé.
- Assure les conditions normales de fonctionnement correspondant au rendement maximum de la pompe.

c. utilisation des matériaux résistant à la cavitation :

On choisissant les matériaux selon les critères suivants :

- Composition chimique
- Dureté
- Mode de fabrication (moulage, laminage, forgeage)
- Traitement thermique
- Traitement mécanique
- Finition des surfaces

Localisation des erreurs			
Incident	Causes possibles	Incident	Causes possibles
Liquide Pas délivré	Pompe pas amorcée, des poches d'air ou de vapeur dans la ligne de l'aspiration. Les pompe qui ne sont pas à la visse nominale, rotation incorrecte, roue ou passages obstrués.	Vibration de la pompe	NPSH disponible pas suffisant, air ou des gaz dans le liquide, défaut d'alignement –roulements usés. Élément tournant endommagé. fondation pas rigide, pompe en fonctionnement au –dessous de la capacité minimale recommandée. Roue obstruée.
Echec dans la délivrance De la Capacité et de la Pression nominales	NPSH disponible pas suffisant, pompe n'allant pas jusqu'à la vitesse nominale. Rotation incorrecte. Roue ou passages partialement obstrués, usure des bagues d'usure ou roue endommagée. Air ou des gaz présents dans le liquide. viscosité ou densité spécifiques pas comme spécifié, Des poches d'air ou de vapeur dans la ligne de l'aspiration. Fuites d'air dans le presse-étoupe, culasse totale plus grande que la culasse pour laquelle la pompe a été projetée. Injection de vapeur d'huile à basse pression dans bague lanterne de la pompe chaude.	Surchauffe De l'étanchéité mécanique	Etanchéité mécanique hors position. Réfrigérant air non fonctionnant. Dans la ligne de balayage
Pompe déconnectée	Fuites d'air dans la ligne de l'aspiration. Fuites d'air dans le presse-étoupe. De l'ai ou des gaz présents dans le liquide.	Surchauffe des roulements ou usure rapide	Niveau de l'huile incorrect. Défaut d'alignement ou charges dans les tuyauteries. Eau de refoulement insuffisante. Roulement trop serrés ou pré chargés. Bagues de graissage non fonctionnant es. Pression de l'aspiration Sensiblement différente de celle spécifiée. Lubrification incorrecte, vibration. De la saleté ou de l'eau. Présentes dans les roulements.

<p>Moteurs surcharges de la pompe</p>	<p>Vitesse trop élevée. Densité ou viscosité spécifiques trop élevée. Défaut d'alignement. Culasse totale plus basse de la culasse nominale. Voltage bas ou tout autre défaut Électrique. Incident avec le moteur, la turbine, l'engrenage ou tout autre équipement de la même nature.</p>		<p>Avertissement : N'enlevez pas les joints d'étanchéité installés entre le ou les logement/s des paliers. La pompe est projetée et réglée à l'usine pour fonctionner avec un flottant d'extrémité de « 0.003 à 0.008 », celui-ci devrait être maintenu.</p>
---------------------------------------	--	--	---

Tableau V. 2 : pannes et remèdes

Conclusion :

Les pompes centrifuges sont d'une grande importance dans le domaine industriel, cette pompe qui est très utilisée dans les stations de pompage grâce à ces caractéristiques. leurs technologies, leurs conceptions, et leurs développements,

On a également vu toutes les techniques qui permettent de faciliter la construction de cette dernière.

Cette pompe rencontre un problème très courant et dangereux vu qu'il mène à la panne générale ou détériore son état, c'est le phénomène de cavitation. Et j'ai proposé des solutions qui permettent d'éviter ce problème.

Enfin j'ai terminé avec une étude de calcul hydraulique et calcul mécanique qui permet de vérifier les données essentielles de notre équipement par rapport aux préconisations du constructeur

Donc espère de ce travail je fais un aspect pratique, à je connaissance théoriques déjà acquises, dans le domaine des pompes centrifuges, et qu'il sera utile pour les promotions future