

N°...../DTEH/2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

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

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbures

Option : Génie mécanique : Transport et distribution des hydrocarbures

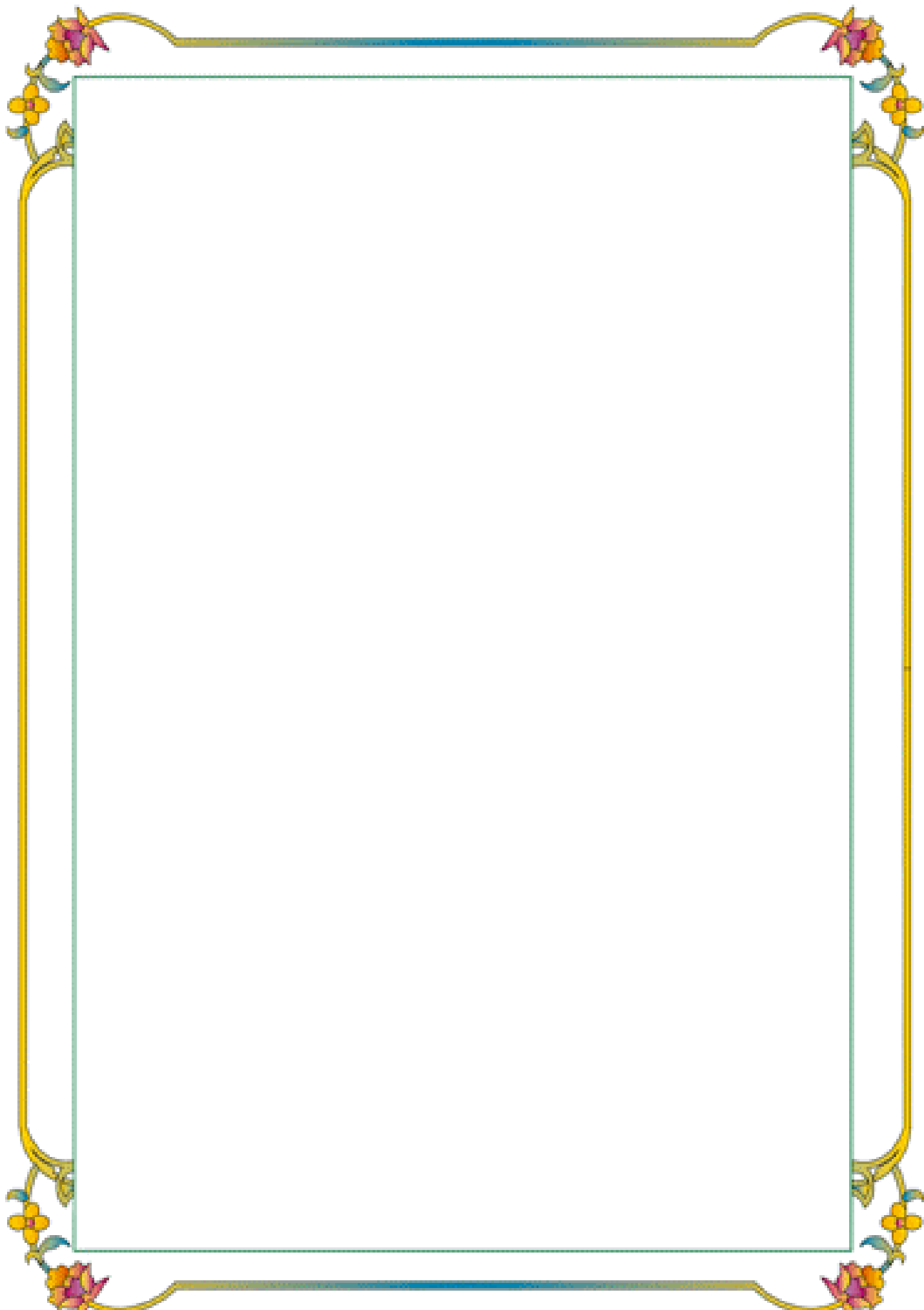
Présenté par : Chikhaoui mohamed abdellah

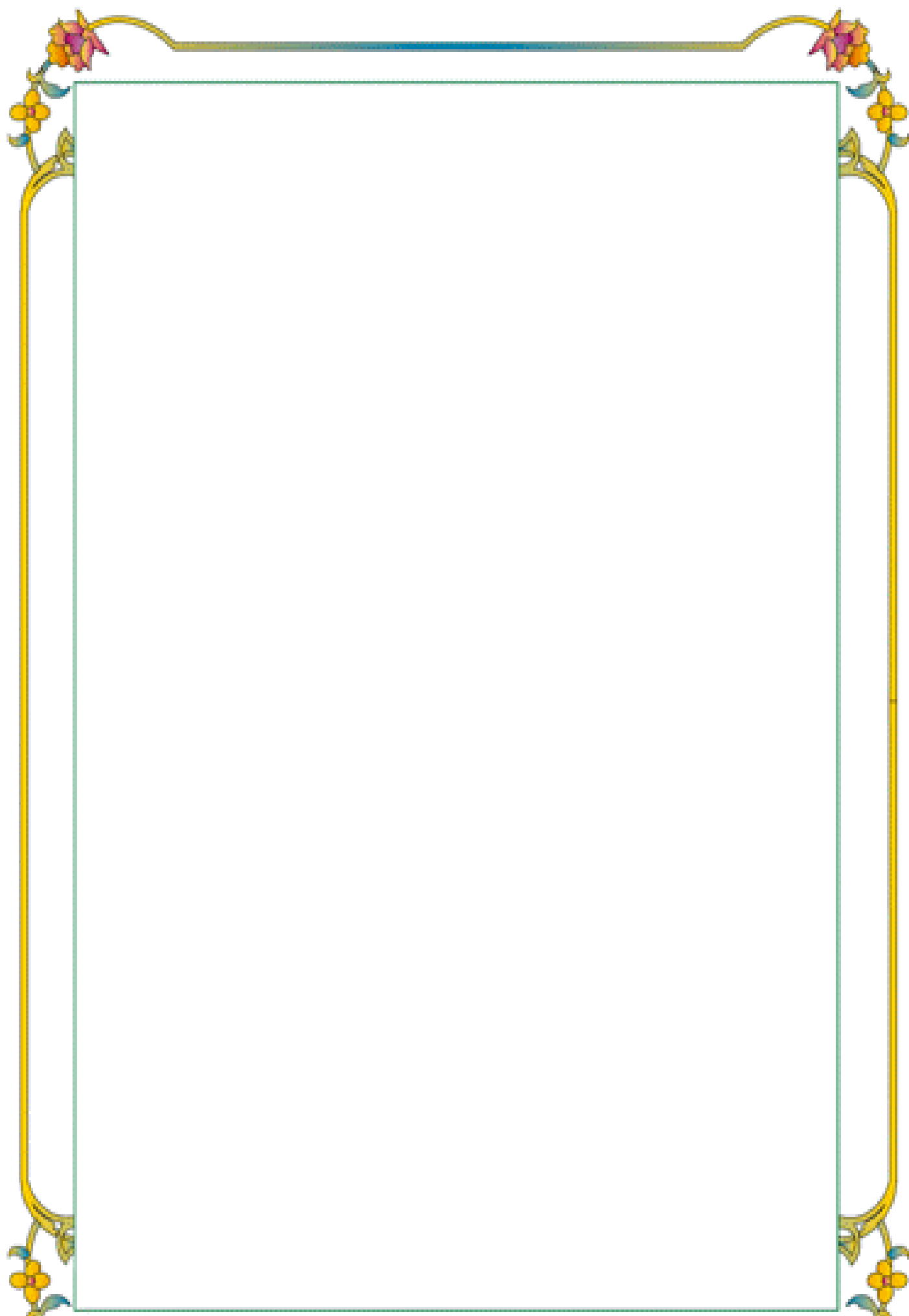
THEME

**Optimisation et Etude du régime de fonctionnement de la station
de SBM en vue d'une extension de la raffinerie d'Alger de 40%**

Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
Encadreur: MEZIANE akila	MAA	UMB Boumerdes

Boumerdès:2022 /2023





SOMMAIRE

I.1-INTRODUCTION	1
I.2-PRESENTATION DE SONATRACH	1
I.3-PRESENTATION DE L'ACTIVITE TRANSPORT PAR CANALISATION (TRC)	2
I.4-PRESENTATION DE RTC	2
I.5-PRESENTATION DE SBM	3
I.6- I.6-Presentation de la raffinerie d'Alger	3

Problématique	4
----------------------------	----------

Chapitre 01 : Partie théoriques

I.1-PIPELINE	5
I.1.1-Diamètre et épaisseur du pipe.....	5
I.1.2-Pression maximale admissible de service (PMS)	6
I.2-CARACTERISTIQUES DU PRODUIT TRANSPORTE	8
I.2.1-La densité.....	8
I.2.2-La viscosité	8
I.2.3-la tension de vapeur	9
I.3-FORMULE DU CALCUL HYDRAULIQUE	9
I.3.1-Régime d'écoulement d'un fluide	10
I.3.2-Nombre de Reynolds	10
I.3.3-Perte de charge due au frottement (hf)	12
I.3.4-Perte de charge locale (singulière).....	13

I.3.5- Charge de refoulement total (H _{ref})	13
I.3.6-Pente hydraulique	14
I.3.7-Point de contrôle	14
I.4-COURBE CARACTERISTIQUE DU RESEAU	15
I.5-CHOIX D'UNE POMPE	16
I.6-LA POMPE CENTRIFUGE	17
I.6.1-Vitesse spécifique	17
I.6.2-Evolution de la pression dans la roue	18
I.6.3-La pompe centrifuge multi étagée	19
I.6.4-Courbe caractéristique de la pompe.....	20
I.6.5-point de fonctionnement	21
I.6.6-Cavitation des pompes.....	22
I.7- LE NPSH	22
I.8-COUPLAGES DES POMPES	23
I.8.1-Couplage en série.....	23
I.8.2-Couplage en parallèle	24
I.9-NOMBRE DE POMPE	25
I.10-PUISSANCE ABSORBEE PAR LA POMPE	26
I.11-RENDEMENT DE LA POMPE	26
I.11.1-Rendement volumétrique de la pompe	26
I.11.2-Rendement hydraulique de la pompe	27
I.11.3-Rendement mécanique de la pompe	27
I.12-PUISSANCE DU MOTEUR	28

I.13-LE COUPLEUR HYDRODYNAMIQUE	28
I.14-ADAPTATION DES POMPES SUR LE RESEAU	29
I.14.1-régulation par variation de la vitesse de rotation de la pompe	29
I.14.2-Régulation par Rognage de roue de la pompe	30
I.14.3-Régulation par Affûtage des aubes de roue de la pompe	31
I.14.4-Régulation par construction d'une looping	31

Chapitre 02 : Description des équipements de la station SBM

III.1-LES POMPES PRINCIPALES.....	33
III.2-LE MOTEUR.....	36
III.3-LE COUPLEUR HYDRODYNAMIQUE.....	37
III.4-LES POMPES BOOSTERS	37
III.5- LES BACS DE STOCKAGE	38
III.6-RESEAU ELECTRIQUE DE SBM.....	39
III.7-LA LIGNE D'OBM.....	39

Chapitre 03 : Etude hydraulique du nouveau régime de SBM

INTRODUCTION.....	41
IV.1-DETERMINATION DU DEBIT HORAIRE DE LA STATION SBM.....	41
IV.1.1-calcul du stock utile (Su) de la raffinerie.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.2-Calcul du débit (Qh) qui assure le remplissage des bacs de la raffinerie	42
IV.1.3-Calcul du débit de SBM.....	42
IV.2-Détermination de la pression de refoulement de la station SBM	43
IV.2.1-calcul hydraulique du régime de fonctionnement.....	43

IV.3- NOUVEAU PROFILE HYDRAULIQUE LE LA LIGNE D'OBM	48
--	-----------

Chapitre 04 : Méthode d'application du nouveau régime

Introduction	49
--------------------	----

IV.1-APPLICATION DU NOUVEAU REGIME EN UTILISANT QUATRE POMPES PRINCIPALES.....	49
---	-----------

IV.1.1- Augmentation du débit par changement de vitesse de rotation de la pompe.....	50
--	----

IV.1.2-Augmentation de débit par agrandissement du diamètre de l'impulseur.....	51
---	----

V.2-APPLICATION DU NOUVEAU REGIME EN UTILISANT CINQUE POMPES PRINCIPALES.....	52
--	-----------

V.2.1-Calcul de la vitesse spécifique de la pompe.....	52
--	----

IV.2-2 Calcul du rendement de la pompe	53
--	----

IV.2-3 Calcul de la puissance de la pompe	55
---	----

IV.2-3 Calcul de la puissance du moteur	55
---	----

Partie Optimisation

V.1.Introduction sur les problèmes d'optimisation.....	56
--	----

V.1.1 Définitions	56
-------------------------	----

V.1.1.1 Problème d'optimisation	56
---------------------------------------	----

V.1.1.2 Les problèmes d'optimisation mono-objectifs	57
---	----

V.2.Les méthodes de résolution	68
--------------------------------------	----

V.2.1. Méthodes déterministes	68
-------------------------------------	----

V.2.2. Méthodes stochastiques	69
-------------------------------------	----

V.2.2.1.Méta heuristiques à base de solution unique	70
---	----

V.2.2.2.Méta heuristiques à base de population de solutions	70
---	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: Production de la raffinerie d'Alger.....	4
Tableau I-2: Les différents types de pipe	5
Tableau I-3: contraintes transversale maximale	7
Tableau I-4: Régimes d'écoulements.....	11
Tableau I-5 :classification des pompes selon la vitesse spécifique.....	18
Tableau II-1: Les caractéristiques de la pompe principale.....	33
Tableau II-2 : Les différents régimes de la station SBM	35
Tableau II-3: La puissance et le rendement de la pompe	36
Tableau II-4: La puissance sur l'arbre de moteur en fonction de débit.....	37
Tableau II-5:Paramètre de sortie de pompe booster.....	38
Tableau II-6: Caractéristique des pompes booster	38
Tableau III-1 : Caractéristiques des bacs qui entreposent le produit transporté par l'obm.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Schéma du piquage de SBM	3
Figure I-1: Le diamètre optimal du pipe	6
Figure I-2: Courbe de tension de vapeur d'un produit	9
Figure I-3: Types des régimes d'écoulement	12
Figure I-4: Pente hydraulique	14
Figure I-5: Point de contrôle d'un tracé	15
Figure I-6 : Courbe caractéristique du réseau	16
Figure I-7: Evolution de la pression et de la vitesse dans la pompe	19
Figure I-8: Pompe centrifuge multi étagé	20
Figure I-9: Courbe caractéristique de la pompe	21
Figure I-10: Point de fonctionnement optimal de la pompe	21
Figure I-11: Cavitation des pompes	22
Figure I-12: Le NPSH requis et disponible d'une pompe	23
Figure I-13: Couplage des pompes en série	24
Figure I-14: Couplage en parallèle	25
Figure I-15: Vue générale du coupleur hydrodynamique	29
Figure I-16: courbe iso vitesse d'une pompe centrifuge	30
Figure I-17: Rognage de roue de la pompe	31
Figure I-18: Affûtage des aubes de la roue de la pompe	31
Figure I-19: Schéma d'un looping	32
Figure II-1: Courbe caractéristique de la pompe de SBM	34
Figure II-2: Courbes caractéristiques des différents régimes de SBM	35
Figure II-3: Puissance et rendement de la pompe	36
Figure II-4: Puissance du moteur	37
Figure II-5: Caractéristiques de la pompe booster	38
Figure II-6: Profile hydraulique de la ligne D'OBM	40
Figure II-7: Courbe du réseau D'OBM	40
Figure III-1: Organigramme du calcul hydraulique	44
Figure III-2: Le nouveau profile hydraulique de la ligne D'OBM	49
Figure IV-1: Régime 660 m ³ /h avec trois pompes	49
Figure IV-2: Régime 660 m ³ /h avec quatre pompes en marche	52

NOMENCLATURE

TRC : Transport par canalisation.

GNL : Gaz naturel liquéfié.

GPL : Gaz pétrolier liquéfié.

MTA : Million de tonne par an.

HEH : Région de transport de HaoudElhamra.

RTI : Région de transport de AinAminas.

RTO : Région de transport Ouest.

RTE : Région de transport Est.

RTC : Région de transport centre.

OB1 : Oléoduc 24’’/22’’Haoud elhamra- Bejaia.

SP1BIS : Station de pompage de Djamaa.

SP2 : Station de pompage de Beskra.

SP3 : Station de pompage de M’sila.

GG1 : Gazoduc 42’’ HssiR’mel- Bordj Ménaiel.

SC3 : Station de compression de Medjbara.

OBM : Oléoduc 20’’ Béni Mansour-Alger.

SBM : Station de pompage de Béni Mansour.

SPD : Station satellite D

D_{int} : Diamètre intérieurde la conduite.

D_{ext} : Diamètre extérieur de la conduite.

e : Epaisseur de la conduite.

PMS : Pression maximale admissible de la canalisation.

Ps : pression de service.

E : Limite d’élasticité minimale.

R : Charge unitaire de rupture minimale pour le matériau.

Nomenclature

D : Densité de produit.

ρ_{pr} : Masse volumique de produit.

ρ_{eau} : Masse volumique de l'eau.

ν : Viscosité cinématique.

μ : Viscosité dynamique.

TVR : Tension de vapeur.

Re : Nombre de Reynolds.

Q : Débit volumique.

λ : Coefficient de perte de charge.

ε : Rugosité relative.

e : Rugosité absolue du pipe.

Re₁, Re₂ : Nombres de Reynolds critique.

h_f : Perte de charge due au frottement.

L : Longueur du tronçon.

h_{loc} : Perte de charge locale.

ξ : Coefficient de perte de charge.

V : vitesse de fluide.

g : Accélération de la pesanteur.

H_{ref} : Charge de refoulement totale en.

H_{fin} : Hauteur finale à l'arrivée en.

ΔZ : Différence des hauteurs.

i : Pente hydraulique.

Ns : Vitesse spécifique de la pompe.

n : Vitesse de rotation de la pompe.

HMT : Hauteur manométrique de la pompe.

Z : Nombre d'étage de la pompe.

NPSH : Charge Totale Nette d'Aspiration.

Nomenclature

N_p : Nombre de pompe en service.

H_{st} : Hauteur engendrée par la station.

H_p : Hauteur fournie par la pompe.

Q_p : Débit passant par la pompe.

Q_{st} : Débit de la ligne.

P_h : Puissance transmise au fluide par la pompe.

P_a : Puissance mécanique du moteur.

η_g : Rendement globale de la pompe.

η_v : Rendement volumétrique de la pompe.

η_h : Rendement hydraulique de la pompe.

η_m : Rendement mécanique de la pompe.

D_{r1} : Diamètre de l'arrête de l'entrée de ramenée.

Q_n : Débit nominal.

n_n : Vitesse de rotation nominale.

D_r, D_t : Diamètre réduit et total de la roue.

Q_r, Q_t : Débit réduit et totale de la pompe.

H_r, H_t : Hauteur réduit et total de la pompe.

R : Rayon du bac avec.

H : Hauteur du remplissage.

N : Nombre de réservoir de la raffinerie.

V_{tot} : Volume total de stockage de la raffinerie.

H_{mort} : Hauteur mort du bac.

V_{mort} : Volume mort de la raffinerie.

S_u : Stock utile de la raffinerie.

Q_h : Débit qui assure le remplissage des bacs de la raffinerie.

Introduction

INTRODUCTION GENERALE

I.1-Introduction :

Le transport par canalisation est une activité importante, de la chaîne pétrolière de point de vue opérationnel. Aujourd'hui le transport par canalisation est le moyen le plus utilisé en transport des hydrocarbures car c'est le moyen le plus sûr et le plus économique. Actuellement des moyens de modernisation et de gestion des réseaux ont été mis en place afin d'assurer l'acheminement des hydrocarbures dans des conditions économiques, sécuritaires et environnementales exigées par les normes internationales. Des stations intermédiaires sont installées sur les réseaux de transport et équipées par des moyens technologiques pour assurer l'arrivée du produit transporté dans les conditions recommandées aux terminaux arrivés, en Algérie c'est la sonatrach qui est en charge de la gestion et la valorisation des ressources nationales d'hydrocarbures.

I.2-Présentation de sonatrach :

Sonatrach est la compagnie nationale Algérienne d'exploration, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle est créée en 1963 et a pour mission de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays.

Avec une capacité de production de 195 millions de TEP, Sonatrach est devenue un acteur majeur dans le domaine du pétrole et du gaz. Elle est classée la première compagnie d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée, la douzième parmi les compagnies pétrolières mondiales, la quatrième exportateur mondial de GNL, troisième exportateur mondial de GPL et la cinquième exportateur mondial de Gaz Naturel. Elle contribue à près de 90 % des exportations Algériennes et à plus de 40% de produit intérieur brut, elle exerce ses activités dans quatre principaux domaines l'exploration, le transport par canalisation, le raffinage et pétrochimie et la Commercialisation.

A l'échelle internationale sonatrach est présente dans plusieurs projets avec différents partenaires en Afrique, en Amérique Latine et en Europe.

I.3-Présentation de l'activité transport par canalisation (TRC) :

L'activité de transport par canalisation TRC est une division de Sonatrach qui s'occupe de l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, condensât, gaz naturel, GNL et GPL) à partir des zones de production vers les zones de stockages, les complexes de GNL et GPL, les raffineries et les ports pétroliers. Sonatrach à travers cette activité comporte 20 oléoducs d'une longueur de 9 946 Km, avec une capacité de transport de 145 MTA, le réseau comporte aussi 14 gazoducs d'une longueur totale de 9977 Km, avec une capacité de transport de 142 milliards de m³/an, l'activité dispose également 88 stations de pompage et de compression, dont 39 stations de pompage sont destinées au pétrole brut.

Actuellement l'activité de transport comporte cinq régions :

- Région de transport de Haoud Elhamra (HEH).
- Région de transport d'Ain Aminas (RTI).
- Région de transport Ouest (RTO).
- Région de transport Est (RTE).
- Région de transport centre (RTC).

I.4-Présentation de RTC :

La région de transport centre RTC est l'une des cinq régions de transport des hydrocarbures par canalisation, du stockage et de la livraison des hydrocarbures liquide et gazeux, elle est rattachée directement à la division exploitation de TRC.

La région RTC s'occupe de la gestion des lignes suivantes :

L'oléoduc OB1 24" / 22" : c'est le premier pipe-line installé en Algérie d'une longueur de 688 Km et d'un diamètre de 24 pouces (du terminal départ HEH jusqu'au col de Sélatna) et 22 pouces (du col de Sélatna jusqu'au terminal marin de Bejaia). Il a été mis en service en 1959 avec une capacité de transport de 14 MTA. L'ouvrage est constitué d'un terminal de départ à Haoud Elhamra, d'un terminal arrivé marin à Bejaia et de trois stations de pompage SP1 BIS, SP2 et SP3.

Le gazoduc GG1 42" : c'est un gazoduc destiné pour alimenter le marché national en gaz naturel, il relie le centre de dispatching de Hassi R'Mel par le terminal arrivé de Bordj Ménaiel d'une longueur de 437 Km et un diamètre de 42 pouces. Il comporte une station de compression SC3 situé à Medjbara et 31 piquages à travers les quelles toutes les villes et les pôles industriels

du centre du pays sont approvisionnés en gaz naturel depuis 1981, sa capacité est de 13.3Gm³/an.

L'oléoduc OBM 20'' : c'est un oléoduc qui assure le besoin de la raffinerie d'Alger en pétrole brut, il relie la station de Béni Mansour par le terminal arrivé Sidi Rsine avec une longueur totale de 144 Km, un diamètre de 20'' et une capacité de transport de 4.1 MTA.

I.5-Présentation de SBM :

La station SBM a été réalisée en 1971, elle a pour mission l'alimentation de la raffinerie d'Alger en pétrole brut, qu'elle soutire de l'oléoduc OB1 22'' à travers un picage réalisé au niveau de la station satellite D (SPD) au PK 573, dans la localité de Béni Mansour.

Equipée de quatre groupes électropompes, elle assure plus de 2.5 MTA à travers un oléoduc de 20'' de diamètre et de 144 Km de longueur appelé D'OBM.

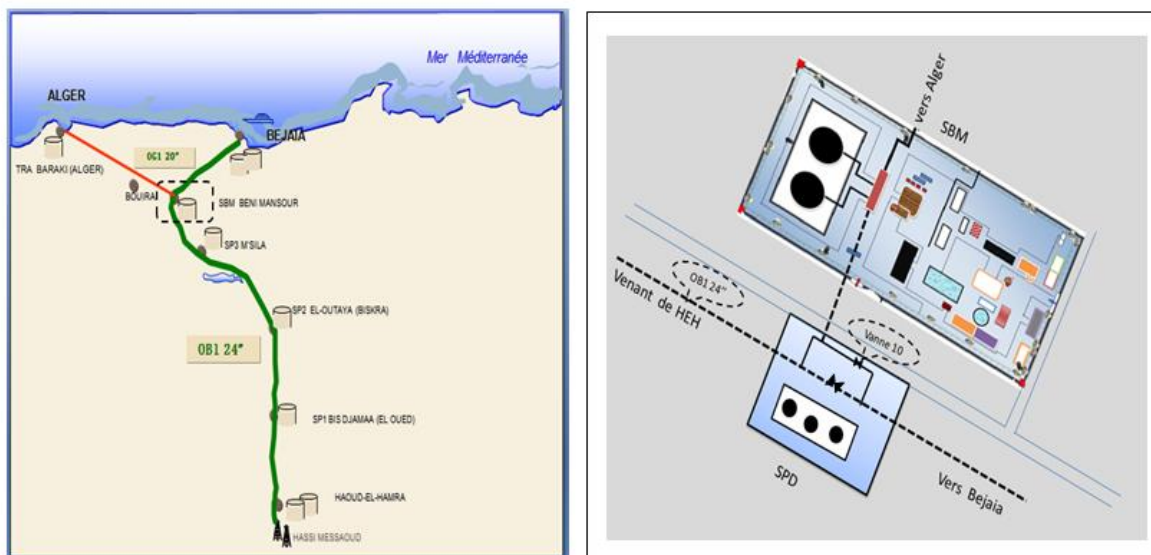


Figure 1 Schéma du piquage de SBM

I.6-Presentation de la raffinerie d'Alger :

La Raffinerie d'Alger est située à Sidi-Arcine, près de Baraki, à 20 Km à l'est d'Alger, elle s'étend sur une superficie totale de 182 hectares .Cet emplacement a été choisi après étude de l'alimentation des systèmes de refroidissement.

Cette raffinerie a pour objectif de traiter le pétrole brut de HASSI-MESSOUAD seul ou mélange avec du condensat provenant des champs de HASSI- R'MEL, afin d'obtenir des coupes pétrolières. La capacité de traitement de la raffinerie d'Alger a augmenté après

réhabilitation de 2.7 à 3.5 millions tonnes par an de pétrole brut de Hassi-Messaoud, soit une allure de 10000 tonnes par jour, pour 350 jours de marche.

Le tableau suivant représente les quantités des produits exprimés en tonne par an :

Produit	Production (tonnes/an)
Propane	69333
Butane	209667
Naphta	76000
Kérosene	620666
Gasoil	1261667
Fuel oil	60000
Isomérat	364333
Reformat	603333
Essence normal	600000
Essence super	757000
Essence RFCC	376000

Tableau I.1 : Production en tonne par an.

Problématique

Supposant que la raffinerie d'Alger est sur le point de subir une extension pour augmenter sa capacité de production de 40%, sachant que il y a deux bacs de stockage sont pas on XP (A301 et A303) dans ce cas, les capacités de Stockage de la Raffinerie seront dépasser et la station SBM ne pourra pas suivre le régime imposé par la raffinerie.

Devant ce scenario, nous allons à travers cette étude proposer des solutions à mettre en œuvre au niveau de la station pour rehausser les capacités de cette dernière pour pouvoir satisfaire la demande croissante de la raffinerie.

Chapitre I

Partie théoriques

Chapitre I

PARTIE THEORIQUES

I.1-Pipeline

Les pipelines sont les moyens de transports des liquides et du gaz les plus sûres et fiables, ils sont utilisés pour le transport de beaucoup de produits tels que l'eau potable, le gaz naturel et le pétrole. Ils permettent l'acheminement des produits sur des très grandes distances en franchissant des montagnes, mers et déserts. Ils sont caractérisés par leur grand diamètre et une grande épaisseur et résistance de leur matériau de construction.

Le tableau suivant représente quelques types de canalisation métallique utilisés dans le domaine du transport des hydrocarbures.

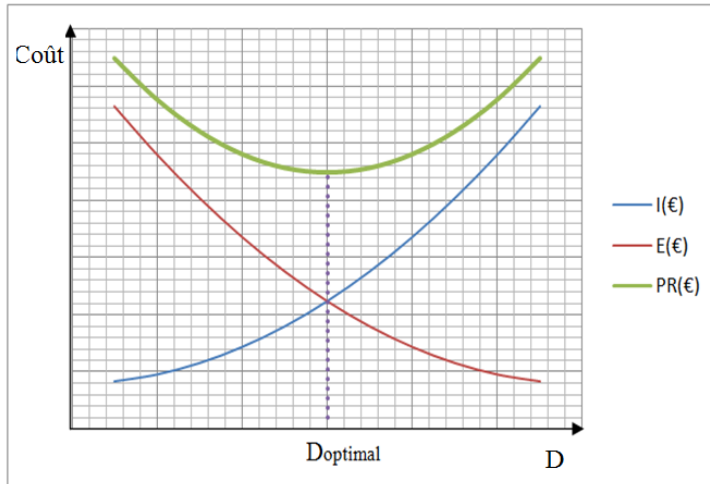
Spécification API	Grade	Limite élastique (kgf/cm ²)	Résistance à la rupture (kgf/cm ²)
5LX	X42	2900	4200
5LX	X46	3200	4500
5LX	X52	3700	4700
5LX	X56	3900	5200
5LX	X60	4100	5500
5LX	X65	4600	5600
5LX	X70	4900	6000

Tableau I-2: Tableau des différents types de pipe

I.1.1-Diamètre et épaisseur du pipe

Le diamètre et l'épaisseur d'une canalisation sont déterminés en fonction du débit, du produit transporté (viscosité, densité), et la puissance de pompage nécessaire tout en respectant le

budget de l'investissement qui doit être déterminé dans une étude technico-économique. Le schéma ci-dessous montre comment choisir le diamètre optimal d'une pipe.



I : Frais d'investissement.

E : Frais d'exploitation.

PR : Prix de revient.

Figure I-1: Le diamètre optimal de pipe

Le diamètre intérieur d'une conduite est déterminé par la formule suivante :

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ext}} - 2e \quad (\text{I.1})$$

D_{int} : Diamètre intérieur de la conduite.

D_{ext} : Diamètre extérieur de la conduite.

e : Epaisseur de la conduite.

I.1.2-Pression maximale admissible de service (PMS)

La pression maximale admissible de service (PMS) d'une canalisation peut être définie comme une pression maximale dans les conditions d'exploitation normale que le pipe peut supporter sans provoquer aucune déformation de métal de la canalisation.

Selon la norme Algérienne, la pression maximale admissible de service est définie avec la formule de Barlou suivante :

$$PMS = \frac{2 \cdot T \cdot e}{D} (\text{I.2})$$

PMS: Pression maximale admissible de la canalisation exprimée en MPa.

e : Epaisseur minimale de la canalisation exprimée en mm.

D : Diamètre extérieur nominal exprimé en mm.

T : Contrainte transversale maximale supportée par le métal, La valeur de T sera égale à la valeur la plus petite en accord au tableau suivant:

	T/E0.2	T/R	
Emplacement	Conduite enterrée ou à l'air libre	Conduite enterrée	Conduite à l'air libre
Zone I	0,67	0,47	0,44
Zone II	0,75	0,59	0,44

Tableau I-3 : Tableau des contraintes transversales maximales supportées par le métal

E : Limite d'élasticité minimale.

R : Charge unitaire de rupture minimale pour le matériau considéré.

Pour l'API 5L X60 (nuance utilisé pour le transport des hydrocarbures par Sonatrach) les valeurs de E et R sont les suivants :

E=413.79 MPa.

R=517.24 MPa.

Selon le règlement Algérien, les zones I et II sont définies comme suit :

Zone I : Comprend les emplacements se trouvant dans les agglomérations urbaines, ou bien près des locaux isolés à usage des habitations occupant du personnel à poste fixe ou fréquent par le publique.

Zone II : Comprend les emplacements situés dans les zones rurales, les pâturages, les terrains d'agriculture, les forêts et les approches d'agglomérations.

Le règlement, Algérien de sécurité fixe la pression maximale admissible de service (PMS) comme étant la pression normale d'exploitation majorée d'une tolérance de 10% au-dessus de cette pression de service en cas de surpression dynamique accidentels.

$$PMS = 1.1 * P_s \text{ (I.2a)}$$

PMS : pression maximale admissible de service.

P_s : pression de service.

I.2-Caractéristiques du produit transporté

Vu le grand nombre des constituants d'un produit chimique, il est très difficile d'établir une loi qui gère son comportement, alors il est indispensable d'étudier les propriétés physico-chimiques de ce produit tel que la densité, la viscosité, la tension de vapeur...etc.

I.2.1-La densité

La densité d'un liquide est définie comme le rapport de la masse volumique du produit sur celle de l'eau à 15°C et une atmosphère, la densité du pétrole brute varie entre 0,7 et 0,9.

$$d = \frac{\rho_{pr}}{\rho_{eau}} \quad \text{(I. 3)}$$

d : Densité de produit.

ρ_{pr} : Masse volumique de produit en kg/m³.

ρ_{eau} : Masse volumique de l'eau à 15°C (1000 kg/m³).

I.2.2-La viscosité

La viscosité d'un fluide est due aux forces de frottement qui s'opposent au glissement des couches de fluide les unes sur les autres. Les phénomènes dus à la viscosité de fluide ne se produisent que lorsque ce fluide est en mouvement.

On distingue deux types de viscosités :

 La viscosité dynamique ou absolue (μ) en kg/m s.

✚ La viscosité cinématique (ν) en m^2/s , la relation entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique est donnée par la formule ci-dessous :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{I. 4})$$

ν : Viscosité cinématique en m^2/s .

μ : Viscosité dynamique en $\text{kg}/\text{m s}$.

ρ : Masse volumique du produit en kg/m^3 .

I.2.3-la tension de vapeur

Pour une température donnée tout liquide à une pression d'ébullition bien déterminée dite tension de vapeur TVR. Pour tout liquide quand on atteint la pression de vapeur TVR, le liquide commence à se vaporiser. La figure ci-dessous représente le graphe de tension de vapeur d'un liquide :

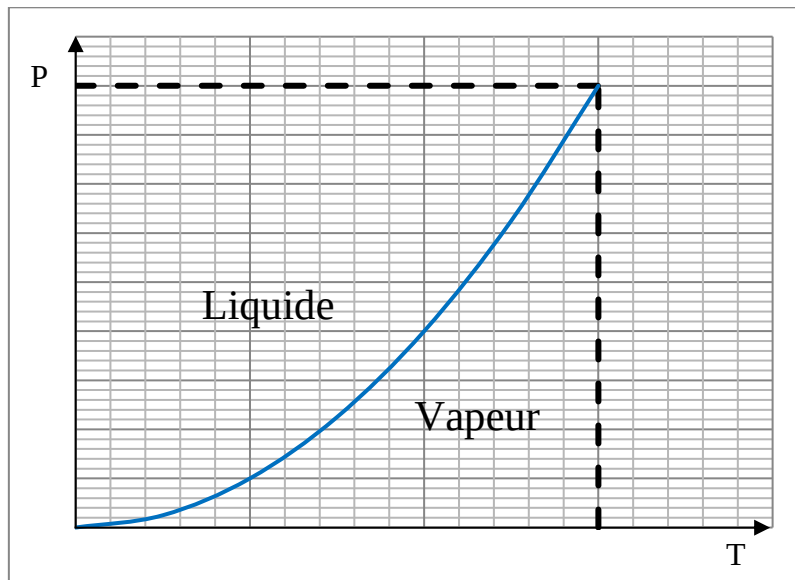


Figure I-2: Courbe de tension de vapeur d'un produit

I.3-Formule du calcul hydraulique

Dans cette partie on va donner les formules principales pour étudier l'écoulement dans les conduites ainsi que l'évaluation des paramètres qui leurs caractérisent.

I.3.1-Régime d'écoulement d'un fluide

Le régime d'écoulement d'un fluide est défini comme étant la façon de déplacement des particules d'un fluide dans une conduite, si le mouvement des particules se fait dans un seul sens d'une manière régulière et ordonnée le régime est appelé laminaire, si le mouvement se fait aléatoirement dans tout les sens le régime est turbulent.

I.3.2-Nombre de Reynolds

Il représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses, il caractérise le régime d'écoulement d'un fluide et selon sa valeur on distingue le type d'écoulement, on le définit de la manière suivante :

$$Re = \frac{4.Q}{\pi.D.v} \quad (I.5)$$

Re : Nombre de Reynolds.

Q : Débit volumique en (m³/s).

D : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

v : Viscosité cinématique du produit en (m²/s).

On distingue quatre régimes d'écoulement :

✚ régime laminaire : $0 \leq Re \leq 2320$

Avec :

$$\lambda = 64 / Re \quad (I.5a)$$

λ : Coefficient de perte de charge.

✚ Régime turbulent lisse : $2320 \leq Re \leq Re_1$

Avec :

$$Re_1 = 25/\varepsilon \quad \text{et} \quad Re_2 = 1000 / \varepsilon \quad (I.5b)$$

$$\varepsilon = 2 * e / D$$

$$\lambda = 0.3164 * Re^{-0.25} \text{ (I. 5c)}$$

ε : Rugosité relative.

e : Rugosité absolue du pipe en (mm).

D : Diamètre intérieure de la conduite en (mm).

Re_1 et Re_2 : Nombres de Reynolds critique.

✚ Régime turbulent mixte : $Re_1 \leq Re \leq Re_2$

Avec :

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{e}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \text{ (I. 5d)}$$

✚ Régime turbulent quadratique : $Re \geq Re_2$

Avec :

$$\lambda = 0.1 \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)^{0.25} \text{ (I. 5e)}$$

		0	2320	Re_{cr1}	Re_{cr2}
Régime	Laminaire	Turbulent			
		Tube lisse	Frottement mixte	Quadratique (tube rugueux)	
Formule	Formule de Stocks	Formule de Blasis	Formule d'Altchouille	Formule d'Altchouille	
Lambda	$\lambda = \frac{64}{Re}$	$\lambda = 0.3164 * Re^{-0.25}$	$\lambda = 0.11 \left(\frac{\varepsilon}{2} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$	$\lambda = 0.11 \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)^{0.25}$	

Tableau I-4 : Régimes d'écoulements

Le graphe ci-dessous représente les différents régimes d'un écoulement en fonction de débit du fluide véhiculé :

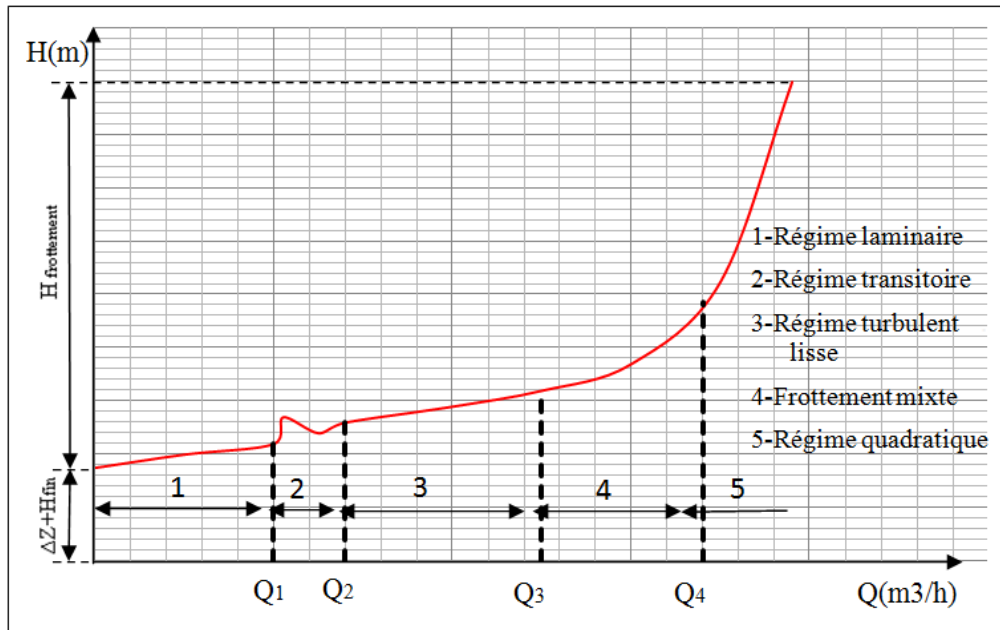


Figure I-3: Types des régimes d'écoulement

I.3.3-Perte de charge due au frottement (h_f)

C'est la perte de pression due au frottement du liquide avec les parois intérieures de la canalisation durant un écoulement. La formule du calcul des pertes de charge est comme suit :

$$h_f = \frac{\lambda L v^2}{2 g D} \quad \text{et} \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (\text{I. 6})$$

Donc:

$$h_f = \frac{8 \lambda L Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad (\text{I. 6a})$$

λ : Coefficient de perte de charge.

L : Longueur du tronçon en (m).

Q : Débit de la ligne en (m^3/s).

D : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

I.3.4-Perte de charge locale (singulière)

C'est la perte de pression locale au niveau des différents équipements telle que les vannes, les clapets, les rétrécissements de la conduite, on la détermine par la formule suivante :

$$h_{loc} = \sum \xi \frac{V^2}{2g} \quad (I. 7)$$

h_{loc} : Perte de charge locale en (m).

ξ : Coefficient de perte de charge.

V : vitesse de fluide en (m/s).

g: Accélération de la pesanteur (9,81 m/s²).

Les pertes de charge locales pour les grandes longueurs de conduite peuvent être estimées comme suit :

$$h_{loc} = (0.01 \text{ a } 0.02) h_f \quad (I. 7a)$$

h_f : Perte de charge due au frottement.

I.3.5- Charge de refoulement total (H_{ref})

La charge de refoulement totale est la charge que la station doit fournir pour acheminer un fluide du point de départ au point d'arrivée dans les conditions recommandées .Elle est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$H_{ref} = h_f + h_{loc} + \Delta Z + H_{fin} \quad (I. 8)$$

H_{ref} :Charge de refoulement totale en (m).

H_{fin} : Hauteur finale à l'arrivée en (m).

ΔZ : Différence des hauteurs en (m).

h_f : Pertes de charges dues aux frottements en (m).

h_{loc} : Pertes de charge locales en (m).

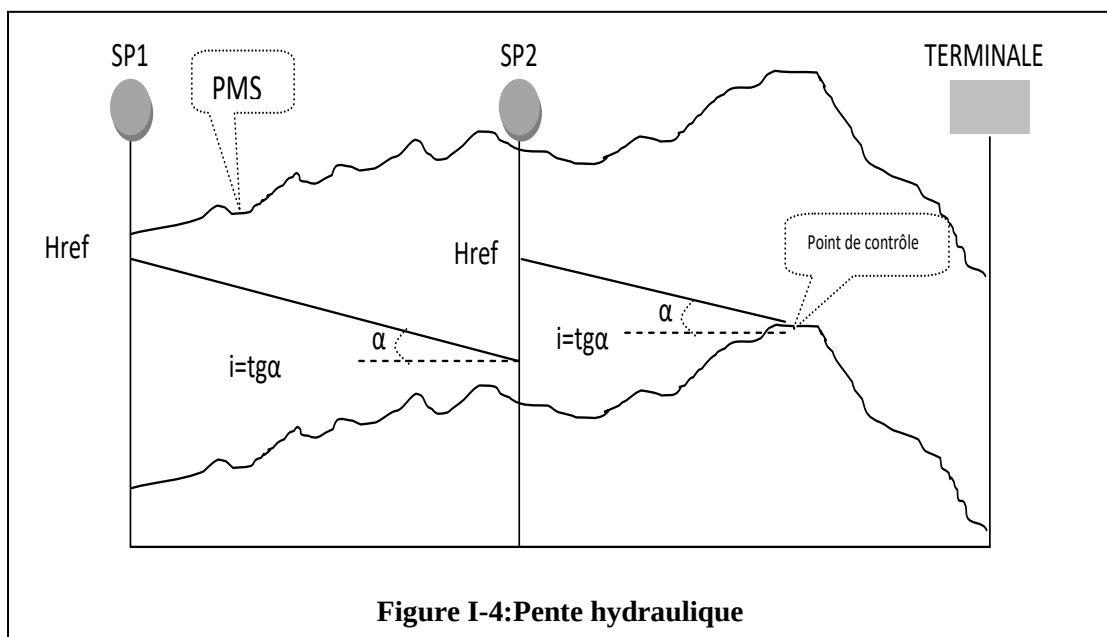
I.3.6-Pente hydraulique

Elle représente la perte de charge par unité de longueur, pour une conduite de diamètre D , la pente hydraulique est donnée par la formule suivante :

$$i = \operatorname{tg}(\alpha) = \frac{h_f}{L} = \frac{8 \lambda Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad (\text{I. 9})$$

i : Pente hydraulique.

α : Angle d'inclinaison de la pente par rapporte à l'horizontal en ($^\circ$).



I.3.7-Point de contrôle

Le point de contrôle est un point sur le tracé de la conduite où delà le produit s'écoule par gravitation. Sur le même profile il peut y avoir plusieurs points de contrôle. Pendant l'étude

hydraulique il faut faire des calculs en tenant compte uniquement le point de contrôle. Le schéma suivant représente un tracé avec un point de contrôle.

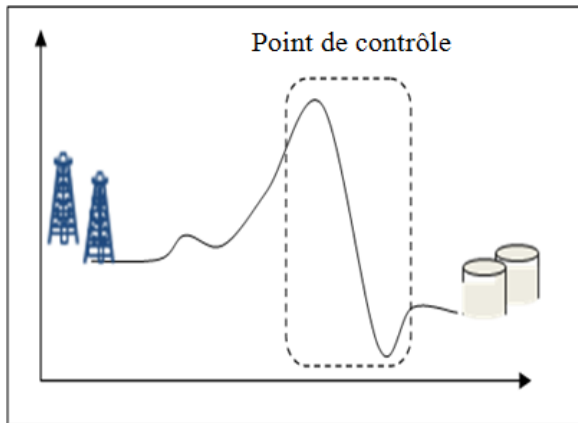
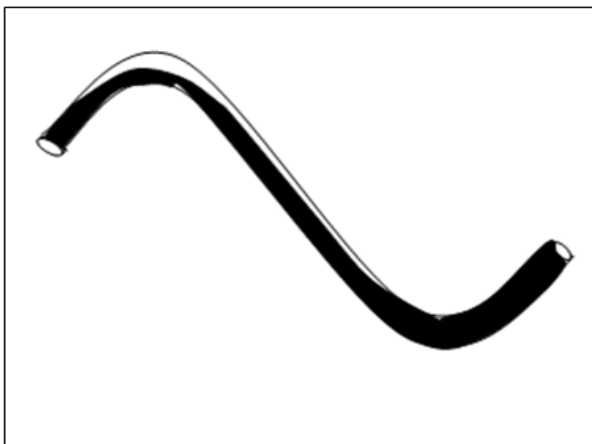


Figure I-5: Point de contrôle d'un tracé



I.4-Courbe caractéristique du réseau

La courbe caractéristique du réseau est la représentation graphique de la hauteur manométrique totale nécessaire à l'installation en fonction du débit, elle se compose d'une composante statique et d'une autre dynamique. La composante statique représente la charge fournie pour vaincre l'élévation de la charge finale, par contre la composante dynamique est la charge fournie pour le réseau pour vaincre la perte de charge au niveau de la conduite qui augmente d'une manière proportionnelle avec le débit. La courbe du réseau est représentée dans la figure ci-dessous :

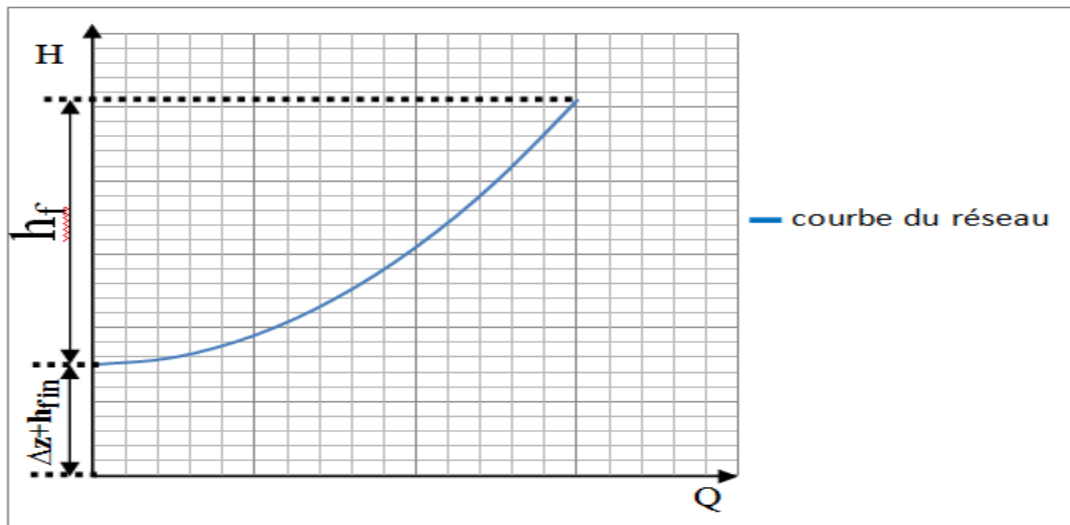


Figure I-6 : Courbe caractéristique du réseau

I.5-Choix d'une pompe

Le choix d'une pompe dépend tout d'abord de l'usage que l'on veut en faire, même si toutes les pompes servent à déplacer des liquides. Certains critères sont indispensables pour un meilleur choix de la pompe, c'est pourquoi l'utilisateur doit avoir une connaissance générale du fonctionnement des pompes. Choisir une bonne pompe peut s'avérer très facile surtout lorsque tous les principaux critères du choix sont réunis, néanmoins, il est important de s'assurer de la nature du liquide à pomper. Une fois la nature du liquide est connue, on peut étudier les différents critères, il s'agit notamment du type de pompe, du débit, de la hauteur manométrique totale et de le NPSH de la pompe.

- ✚ type de pompe : afin d'éviter le gaspillage d'énergie qui est dû à l'utilisation des pompes, le concepteur doit adopter un type de pompe adéquat à la nature du pompage recommandé.
- ✚ Débit : C'est le premier élément à prendre en compte pour choisir une pompe, donc il faut s'assurer que la pompe peut développer un volume horaire suffisant pour satisfaire le besoin du client. Après une évaluation de la consommation du client, l'utilisateur de la pompe peut facilement choisir à partir du débit de la pompe convenable à utiliser.
- ✚ Hauteur manométrique de la pompe : Elle est également un facteur très important à prendre en considération pour le choix de la pompe, c'est la valeur obtenue après l'addition des trois principaux éléments, la dénivelé, les pertes de charges et la pression finale,

✚ Le NPSH : C'est un facteur très important pour le choix de la pompe, il exprime la capacité d'aspiration de la pompe. On l'utilise pour calculer la pression d'aspiration nécessaire à une pompe pour éviter la cavitation.

I.6-La pompe centrifuge

La pompe centrifuge est le type de pompe le plus utilisé en transport des hydrocarbures par canalisation, elle est utilisée pour fournir l'énergie de pression au fluide, elle est constituée d'une roue à aubes tournant autour de son axe et un collecteur en forme de spirale (volute).

I.6.1-Vitesse spécifique

La vitesse spécifique est le nombre de tours par minute auquel devrait tourner la roue d'une pompe centrifuge, elle déterminée par la formule suivante :

$$N_s = 3.65 * n * \left(\frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{Z}\right)^{\frac{3}{4}}} \right) \quad (I.10)$$

N_s : Vitesse spécifique de la pompe en (tr/min).

n : Vitesse de rotation de la pompe en (tr/min).

Q : Débit de la pompe en (m³/s).

H : Hauteur manométrique de la pompe en (m).

Z : Nombre d'étage de la pompe.

La vitesse spécifique est utilisée pour caractériser la forme et le type du rotor. À cet effet, on peut classer les pompes selon la valeur de la vitesse spécifique comme le montre le tableau suivant :

Vitesse spécifique	Type de pompe
--------------------	---------------

<80 tr /min	Pompes centrifuges à vitesses faibles
80 à 150 tr / min	Pompes centrifuges à vitesses moyennes
150 à 300 tr /min	Pompes centrifuges à vitesses rapides
300 à 600 tr / min	Pompes hélico-centrifuges
600 à 1200 tr / min	Pompes axiales

Tableau I-5 : Classification des pompes selon la vitesse spécifique

I.6.2-Evolution de la pression dans la roue

Le fluide pompé entre dans la pompe par la tubulure d'aspiration avec une pression et une vitesse constantes et arrive à l'ouïe de la roue. Il est guidé dans la roue par les flasques entre lesquelles sont disposées les aubes. Dans cette partie l'énergie mécanique de la roue se convertit en énergie cinétique, une partie de cette énergie cinétique se transforme en énergie de pression, à la sortie, il est entraîné dans la Volute de section, une partie de l'énergie de vitesse en pression, qui le dirige vers le refoulement. Le schéma ci-dessous représente la variation de la vitesse et de la pression du liquide dans la traversée d'une pompe centrifuge.

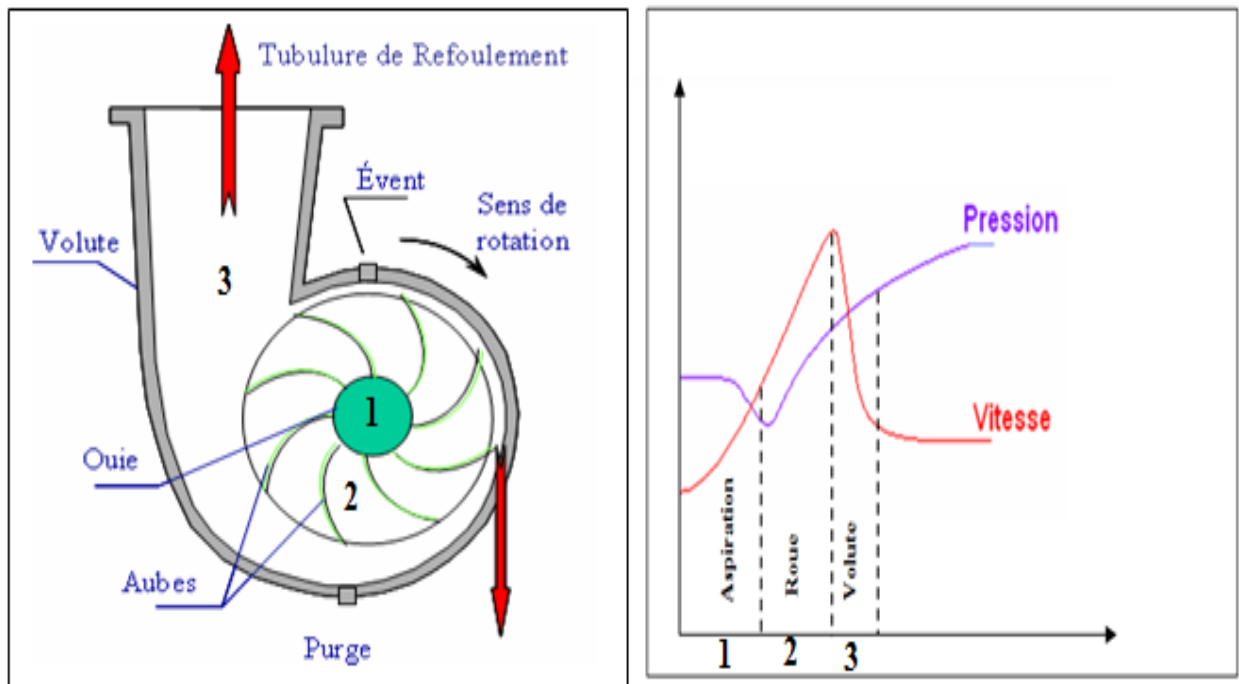


Figure I-7: Evolution de la pression et de la vitesse dans la pompe

I.6.3-La pompe centrifuge multi étagée

La pompe centrifuge multi étagée est une pompe dont l'impulseur est constitué de plusieurs roues placées en série. Chaque étage correspond à une pompe centrifuge élémentaire, ce qui permet de développer une grande pression de refoulement avec une vitesse de rotation réduite. On peut ainsi assembler une vingtaine d'étages, et dépasser une pression de refoulement de 400 bars, pour un débit de 1000 m³/h.

La figure suivante montre une vue de face d'une pompe centrifuge multi étagé :

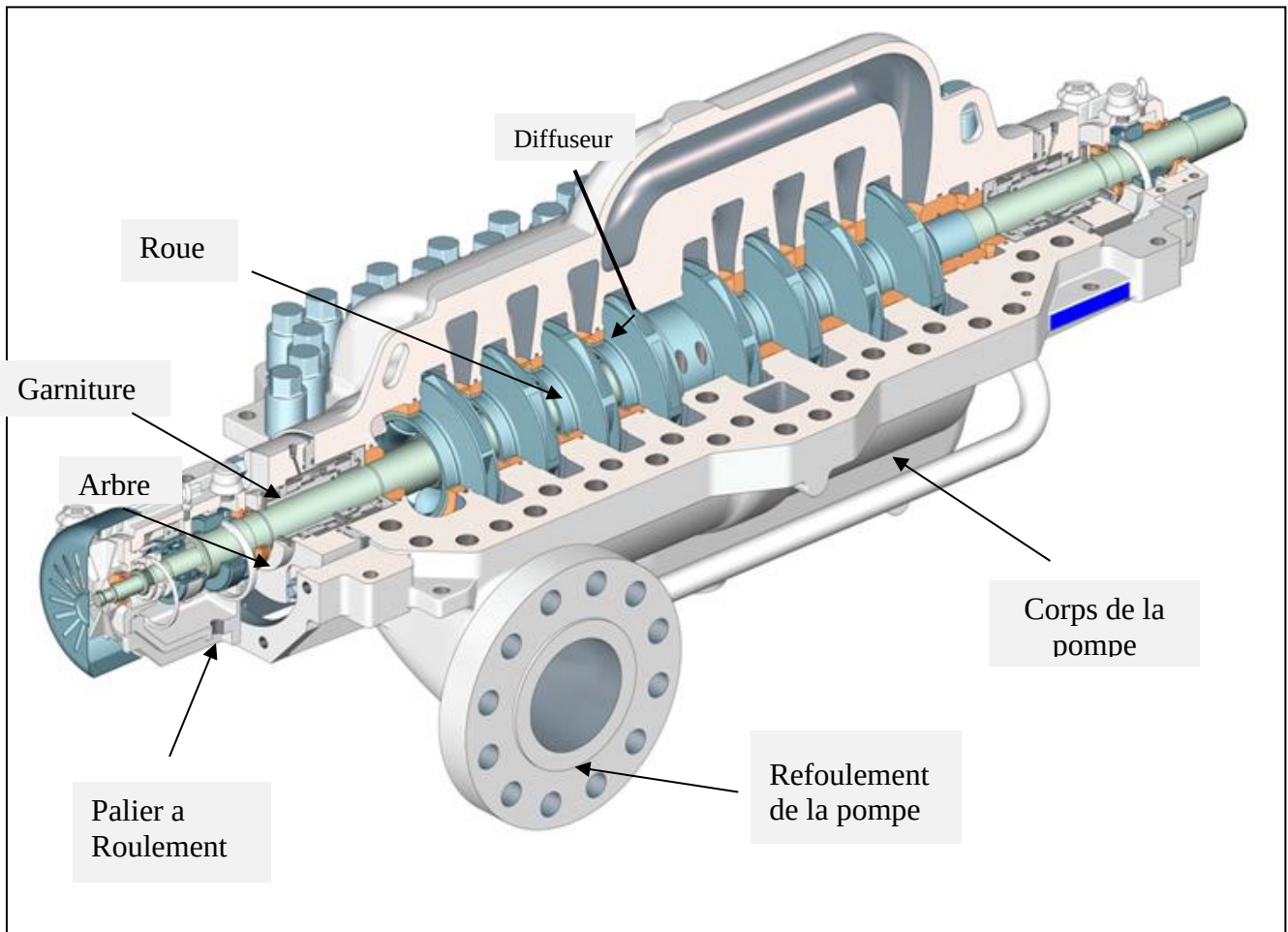


Figure I-8: Pompe centrifuge multi étagé

I.6.4-Courbe caractéristique de la pompe

Cette courbe est établie sur un banc d'essai pour un prototype de pompe puis fournie à l'exploitant pour une adaptation au réseau, la courbe est établie selon la loi suivante:

$$HMT = a - b Q^2 \quad (I. 11)$$

Avec :

HMT : Hauteur manométrique totale de la pompe en (m).

a, b : Constantes qui caractérisent la pompe.

Q : Débit développé par la pompe en (m³/h).

La courbe caractéristique de la pompe est représentée dans la figure ci-dessous :

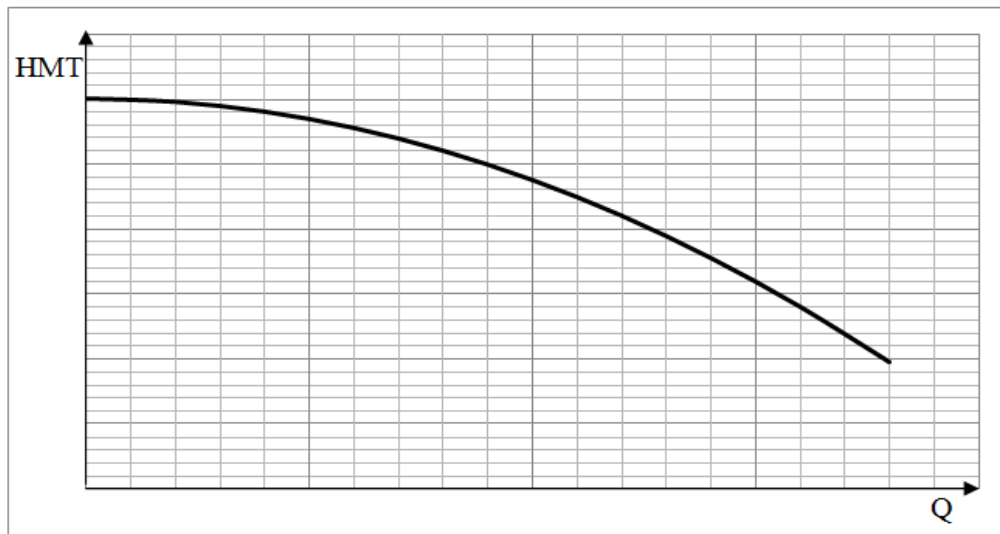


Figure I-9: Courbe caractéristique de la pompe

I.6.5-point de fonctionnement

Il correspond au point d'intersection entre la courbe caractéristique de la pompe et celle du réseau, c'est un point d'équilibre où l'énergie reçue par le fluide à travers la roue est consommée par le réseau avec un minimum de pertes (rendement maximal).

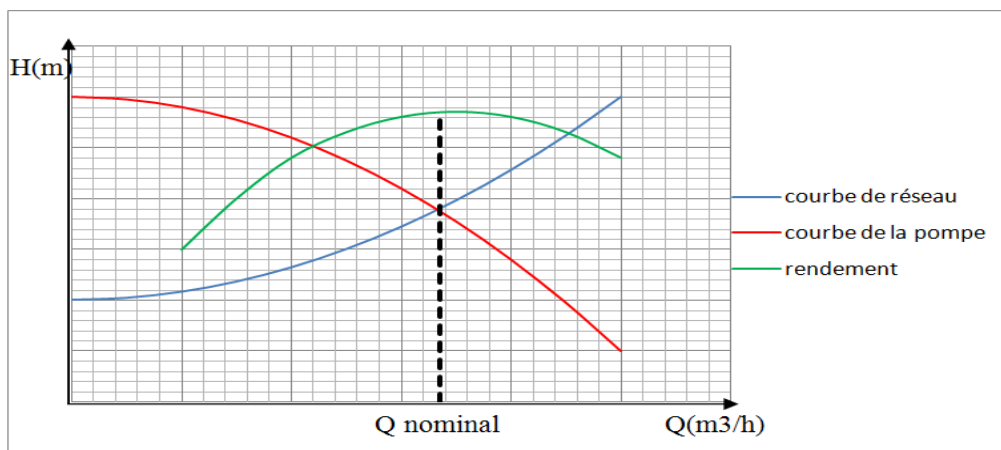


Figure I-10: Point de fonctionnement optimal de la pompe

I.6.6-Cavitation des pompes

Quand un liquide s'écoule dans un tuyau d'aspiration et qu'il entre dans l'œil de l'impulseur, et que sa pression diminue au-dessous de sa tension de vapeur à la température du liquide, celui-ci va se vaporiser. Continuant son mouvement dans l'impulseur, le liquide arrive à une zone de vitesse ce qui amène une réduction de pression, si cette pression descend en plus les cavités de vapeur disparaissent, c'est cette disparition de poches de vapeur qui cause le bruit.

Les implosions répétées des poches de cavitation, qui se produisent près des parois métalliques, altèrent progressivement la structure cristalline dans le cas des alliages métalliques et peuvent détruire très rapidement les aubes de la roue comme le montre le schéma suivant :



Figure I-11: Cavitation des pompes

I.7- Le NPSH

Le NPSH est l'abréviation anglo-saxonne de Net Positive Suction Head, ce qui se traduit en français par Charge Totale Nette d'Aspiration, c'est le critère qui sert à définir la pression nécessaire à l'aspiration pour obtenir un bon fonctionnement de la pompe, c'est à dire pour maintenir en tout point du fluide une pression supérieure à la pression de vapeur saturante. Dans l'étude des systèmes avec pompe, on définit deux types du NPSH, le NPSH requis et le NPSH disponible.

- ✚ NPSH requis : Pour chaque pompe, il y a un NPSH minimal au-dessous duquel la cavitation apparaît, c'est ce qu'on appelle le NPSH requis. Cette caractéristique est donnée par le constructeur de la machine sous forme d'une courbe en fonction du débit.
- ✚ NPSH disponible : Pour un débit donné la pression excédentaire par rapport à la tension de vapeur est appelée NPSH disponible, donc il représente la marge entre les conditions de pompage et les conditions d'ébullition de liquide, il doit être toujours supérieur à le NPSH requis comme le montre le schéma suivant :

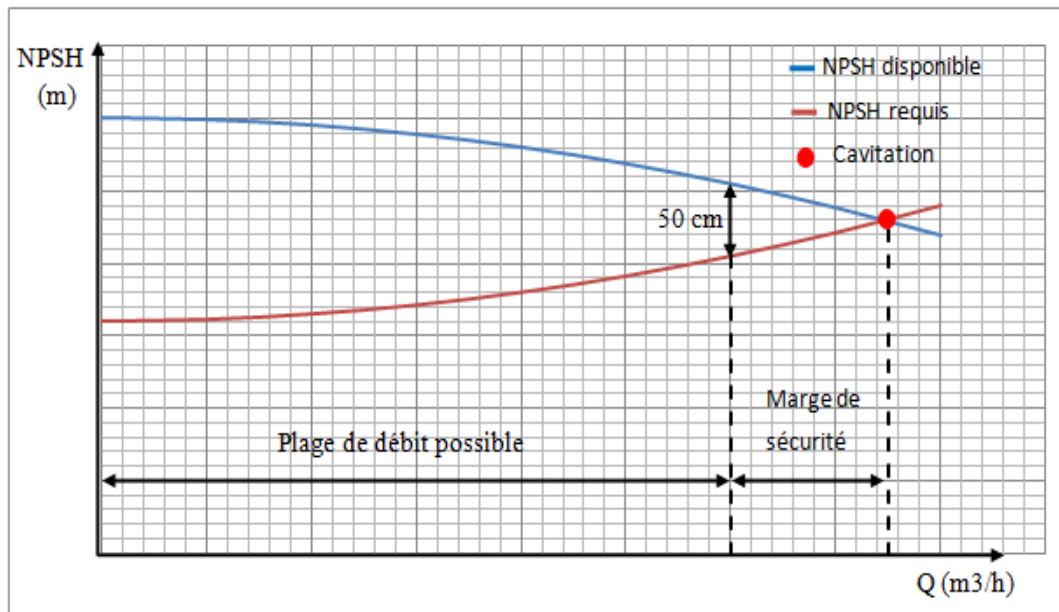


Figure I-12: Le NPSH requis et disponible d'une pompe

I.8-Couplage des pompes

On distingue deux types de couplage, un couplage en série et un autre en parallèle.

I.8.1-Couplage en série

Dans ce type de couplage les pompes sont montées les unes derrière les autres de sorte que les hauteurs manométriques des pompes en fonctionnement à un même débit s'ajoutent. Il faut noter que la pression de sortie de la première pompe est aussi la pression d'entrée de la pompe suivante, le schéma suivant montre un montage en série des pompes centrifuge :

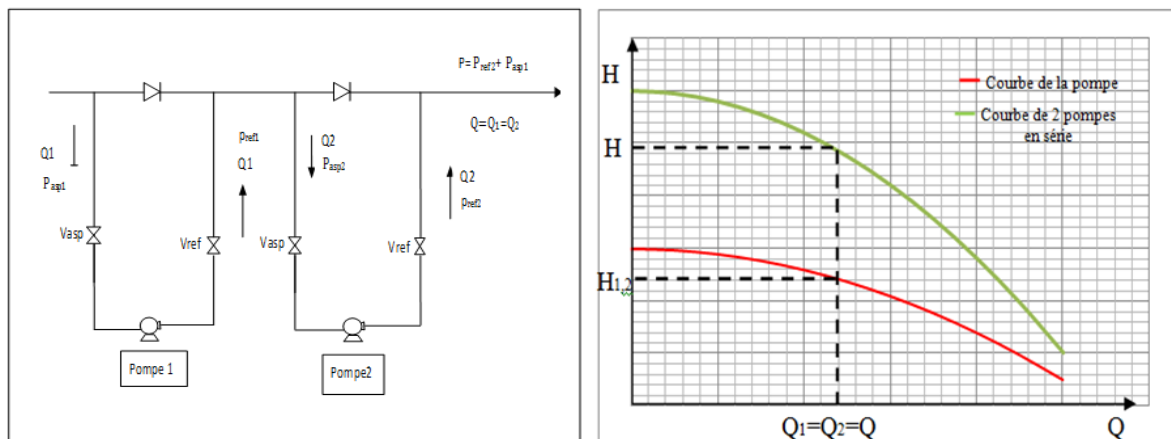


Figure I-13: Couplage des pompes en série

I.8.2-Couplage en parallèle

Lorsque le débit nécessaire ne peut être atteint au point de fonctionnement avec une seule pompe, il est possible de coupler deux ou plusieurs pompes en parallèle, chacune refoule le fluide à travers un clapet anti-retour dans la conduite de refoulement commune, dans ce type de couplage les pompes sont couplées d'une façon à avoir la même pression d'aspiration et la même pression de refoulement. Il faut noter qu'après l'arrêt d'une des deux pompes centrifuges identiques le débit de la pompe qui continue à fonctionner ne devient pas égal à la moitié du débit de deux pompes en parallèles, mais il reste supérieur à la moitié. Dans un processus inverse, la mise en parallèle de la deuxième pompe centrifuge de même taille ne double pas le débit de la pompe en fonctionnement, mais le débit reste légèrement inférieur au double d'une seule pompe ($Q_{\text{parallèle}} < 2 * Q_{\text{unitaire}}$).

La caractéristique équivalente à deux pompes identiques en parallèle est établie de la façon suivante :

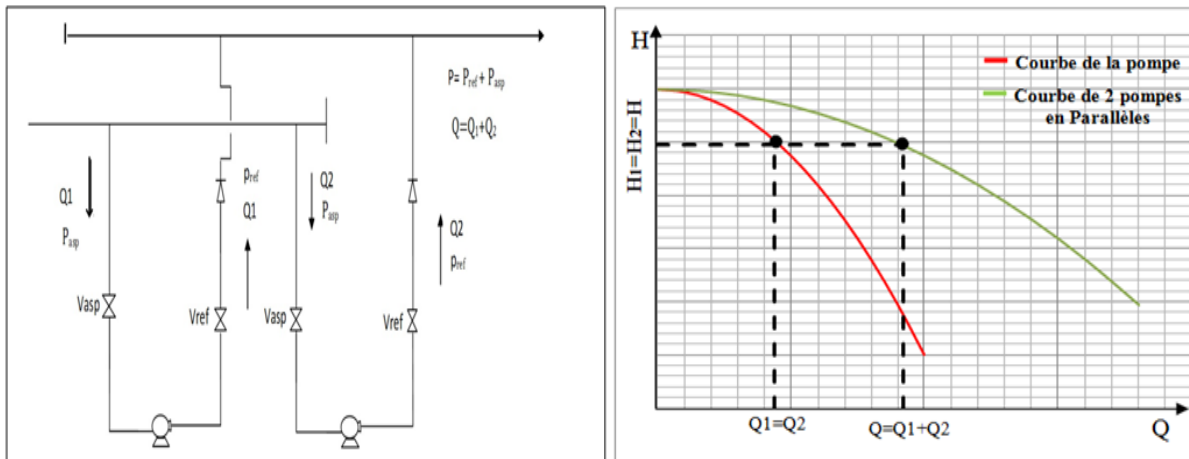


Figure I-14: Couplage en parallèle

I.9-Nombre de pompe

Chaque station de pompage est équipée d'un nombre de pompe qui sont couplées soit en série, soit en parallèle.

Dans le cas d'assemblage en série, le nombre de pompes est déterminé par la relation suivante :

$$N_p = \frac{H_{st}}{H_p} \quad (I. 12)$$

Dans le cas d'assemblage en parallèle le nombre de pompe est déterminé par la relation suivante :

$$N_p = \frac{Q_{st}}{Q_p} \quad (I. 13)$$

N_p : Nombre de pompe en service.

H_{st} : Hauteur engendrée par la station.

H_p : Hauteur fournie par la pompe.

Q_p : Débit passant par la pompe.

Q_{st} : Débit de la ligne.

I.10-Puissance absorbée par la pompe

C'est la puissance hydraulique communiquée au liquide lors de son passage à travers la pompe, cette puissance est donnée par la formule suivante :

$$P_h = Q \rho g H \text{ (I. 14)}$$

Avec :

P_h : Puissance transmise au fluide par la pompe en (Watt).

Q : Débit en (m^3/s).

ρ : Masse volumique de liquide pompé en (kg/m^3).

g : Accélération de la pesanteur en (m/s^2).

H : Hauteur manométrique de la pompe en (m).

I.11-Rendement de la pompe

Il représente le rapport entre la puissance hydraulique reçue par le liquide pompé et la puissance mécanique fournie à la pompe par le moteur, ce pendant il varie en fonction du débit. Il est représenté par une courbe fournie par le constructeur et on peut le calculer par la formule suivante :

$$\eta_g = \eta_v * \eta_h * \eta_m \quad \text{(I. 15)}$$

η_g : Rendement globale de la pompe.

η_v : Rendement volumétrique de la pompe.

η_h : Rendement hydraulique de la pompe.

η_m : Rendement mécanique de la pompe.

I.11.1-Rendement volumétrique de la pompe

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

$$\eta_v = \frac{1}{\left[1 + 0.68 * (Ns)^{\frac{-2}{3}}\right]} \quad (I. 15a)$$

η_v : Rendement volumétrique de la pompe.

Ns: Vitesse spécifique de la pompe en (tr/min).

I.11.2-Rendement hydraulique de la pompe

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

Le rendement hydraulique des pompes centrifuges à vitesse spécifique faible ou moyenne peut être calculé à l'aide de la formule empirique suivante :

$$\eta_h = 1 - \left[\frac{0.42}{(\log(D_{r1} - 0.172))} \right]^2 \quad (I. 15b)$$

η_h : Rendement hydraulique de la pompe.

D_{r1} : Diamètre de l'arrête de l'entrée de raménée avec:

$$D_{r1} = K_0 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (I. 15c)$$

Q : Débit de la pompe en (m³/s).

n: Vitesse de rotation de la pompe en (tr/min).

K_0 : Coefficient de calcul dépend de la construction et la destination de la pompe avec K_0 varie entre 3.6 et 5, mais on prend souvent pour la plupart des pompes $K_0=3,9$.

I.11.3-Rendement mécanique de la pompe

Il caractérise les pertes de puissance dues aux frottements mécaniques dans les garnitures mécaniques dans les paliers, dans la butée et le frottement qui se produit entre les surfaces externes du rotor et liquide, il est déterminé par la formule suivante :

$$\eta_m = \frac{0.96}{\left[1 + \left(\frac{820}{N_s^2}\right)\right]} \quad (\text{I. 15d})$$

η_m : Rendement mécanique de la pompe.

N_s : Vitesse spécifique de la pompe.

On peut déterminer le rendement globale de la pompe graphiquement après avoir la vitesse de rotation « n » de la pompe qui correspond au débit « Q » et à la hauteur « H », après on détermine le rendement qui correspond au point de fonctionnement.

$$Q = \frac{n}{n_n} Q_n$$

Q : Débit de fonctionnement.

Q_n : Débit nominal.

n : Vitesse de rotation correspond au régime de fonctionnement.

n_n : Vitesse de rotation nominale.

I.12-puissance du moteur

C'est la puissance fournie à la pompe par le moteur, on la détermine par la formule suivante :

$$P_a = \frac{P_h}{\eta_g} \quad (\text{I. 16})$$

P_a : Puissance mécanique du moteur.

P_h : Puissance hydraulique fournie par la pompe.

η_g : Rendement globale de la pompe.

I.13-Le coupleur hydrodynamique

Le coupleur hydrodynamique est un moyen employé afin de transmettre la puissance d'arbre du moteur vers la pompe. Cette transmission se faite à l'aide d'une huile qui circule entre la

roue du moteur est celle de la pompe. L'huile 'écoule dans la chambre de travail du coupleur formant un anneau d'huile tournant dans la chambre.

La vitesse de la pompe peut être réglée à l'aide de l'écope par l'ajustement de l'épaisseur de l'anneau d'huile dans la chambre du travail, lors de la transmission de puissance cette vitesse est inférieure à celle de moteur, cette différence de vitesse s'appelle glissement. Les pertes en puissance formées par la différence de vitesse échauffent l'huile de travail, afin de dissiper cette chaleur l'huile doit être refroidie.

Le coupleur hydrodynamique présente les avantages suivants :

- ✚ Il absorbe les vibrations au niveau de l'arbre du moteur.
- ✚ Il permet de varier la vitesse de la pompe selon le régime souhaité.
- ✚ Il permet d'éviter le démarrage brusque de la pompe.

Le schéma suivant montre une vue générale du coupleur :

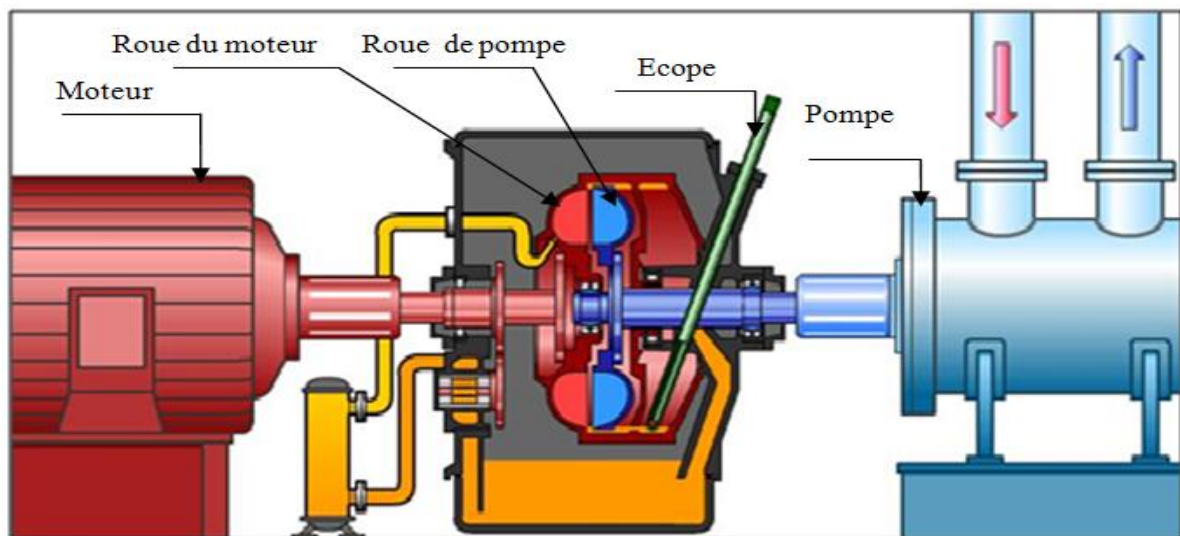


Figure I-15: Vue générale du coupleur hydrodynamique

I.14-Adaptation des pompes sur le réseau

I.14.1-Régulation par variation de la vitesse de rotation de la pompe

Selon la loi de similitude la variation de la vitesse de la pompe est exprimée comme suit :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \text{ et } \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{H_{p1}}{H_{p2}}} \quad (\text{I. 17})$$

n_1, n_2 : Vitesses de rotation avant et après la réduction.

Q_1, Q_2 : Débit avant et après la réduction.

H_{p1}, H_{p2} : Charge de la pompe avant et après la réduction.

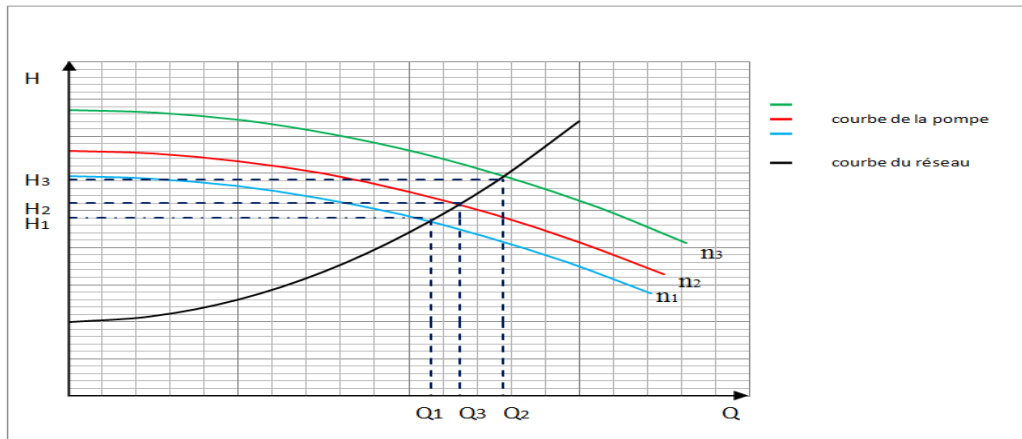


Figure I-16: courbe iso vitesse d'une pompe centrifuge

I.14.2-Régulation par Rognage de roue de la pompe

Il consiste à modifier le diamètre de la roue de pompe pour modifier la hauteur et le débit de cette dernière. La relation entre le diamètre, la hauteur et le débit est donné par la formule empirique suivante :

$$\left(\frac{D_t}{D_r}\right)^2 = \frac{Q_t}{Q_r} = \frac{H_t}{H_r} \quad (\text{I. 18})$$

D_r, D_t : Diamètre réduit et total de la roue.

Q_r, Q_t : Débit réduit et totale de la pompe.

H_r, H_t : Hauteur réduit et total de la pompe.

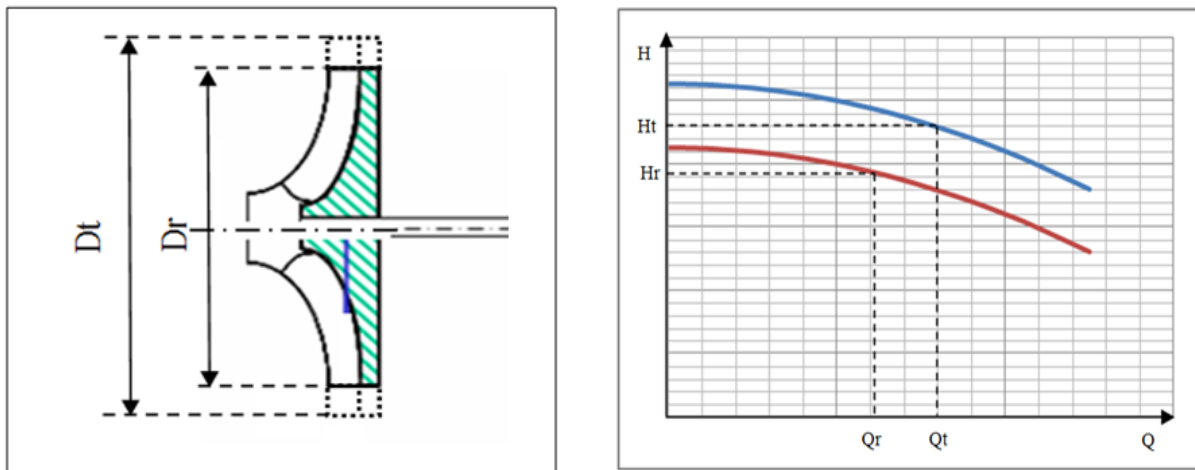


Figure I-17: Rognage de roue de la pompe

I.14.3-Régulation par Affûtage des aubes de roue de la pompe

Il consiste à affûter l'aube au niveau du bord de fuite pour modifier l'angle de sortie $\beta_{2\infty}$. L'affûtage de la face concave augmente l'angle de sortie des aubes ceci permet d'obtenir une augmentation de 15-25% de la hauteur comptée au point optimal de la pompe.

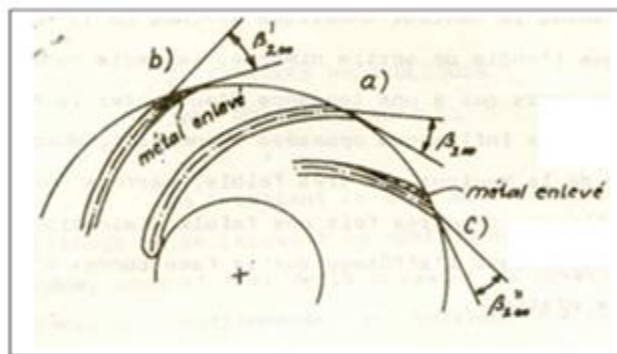


Figure I-18: Affûtage des aubes de la roue de la pompe

I.14.4-Régulation par construction d'une looping

La looping est une conduite disposée parallèlement à la conduite principale. Son rôle est de diminuer les pertes de charge, par conséquent l'augmentation de débit transporté, comme la montre la figure ci-dessous.

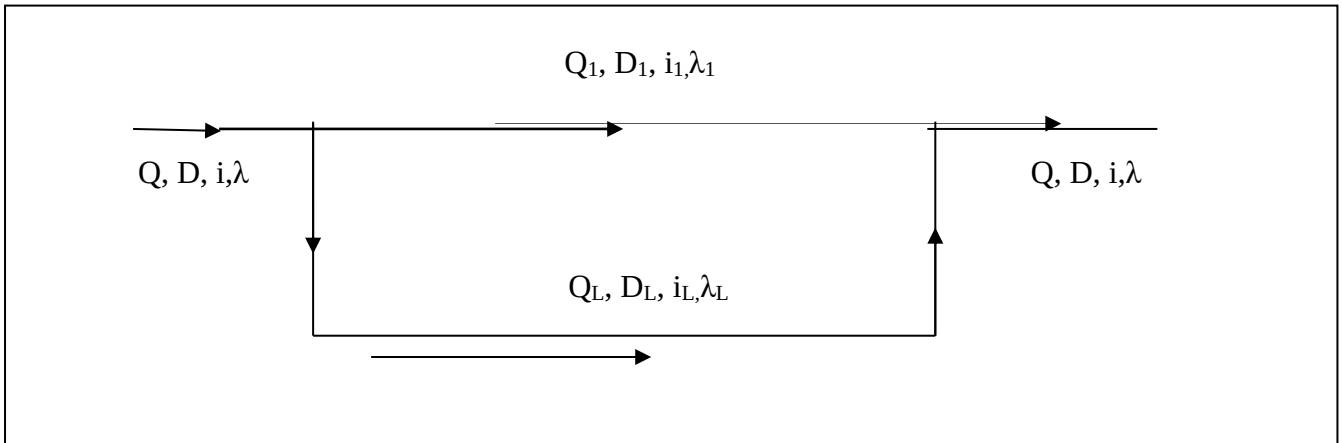


Figure 1:Schéma d'une looping

Q, D, i, λ :Débit en(m^3/s),diamètre en (m),pente hydraulique en(m/m) et coefficient de perte de charge du pipe.

Q_1, D_1, i_1, λ_1 :Débit en(m^3/s),diamètre en (m),pente hydraulique en(m/m) et coefficient de perte de charge de la conduite principale.

Q_L, D_L, i_L, λ_L :Débit en(m^3/s),diamètre en (m),pente hydraulique en(m/m) et coefficient de perte de charge du looping.

Dans le calcul de looping, on utilise les formules suivantes :

$$i_L = \frac{8\lambda_1 Q_1^2}{\pi^2 g D_1^5} e^{h_f} = \frac{8\lambda Q^2}{g \pi^2 D^5} (L - X_L + \omega \cdot X_L) \quad (I. 19)$$

$$\text{Avec: } \omega = \frac{1}{[1 + (\frac{D_L}{D_{pr}})^{\frac{5-m}{2-m}}]^{2-m}}$$

h_f : Perte de charge due au frottement.

i_L :Pente hydraulique du looping.

L : Longueur du tronçon en(m).

X_L : Longueur de looping en (m).

D : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

λ : Coefficient de perte de charge.

Q : Débit de la ligne en (m^3/s).

Si $D_L = D_1$ donc : $\omega = 2^{m-2}$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de (m) et (ω):

Régime	M	Ω
Laminaire	1	0.5
Tubes lisse	0.25	0.297
Mixte	0.123	0.272
Quadratique	0	0.25

Tableau I-4 : les valeurs de (m) et (ω):

Chapitre II

Description des équipements de la station SBM

CHAPITRE II

DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DE LA STATION SBM

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser aux moyens matériels (groupe électropompe, énergie électrique, capacité de stockage,...) qui sont mis à la disposition de la station de Béné Mansour ainsi que leurs caractéristiques (le débit et la pression).

II.1-Les pompes principales

La station SBM est équipée de quatre pompes principales montées en parallèles, de type centrifuge multi étages destinées à l'industrie des hydrocarbures. Le corps de la pompe est divisé en deux parties (corps supérieur et corps inférieur). Les deux demi-corps sont assemblés horizontalement par boulons d'assemblages, la volute est à double à joint horizontal. A l'intérieur, la pompe est constituée essentiellement d'un arbre tournant fabriqué d'une façon d'assurer un minimum de vibrations et aussi dans le but de prolonger au maximum sa durée de vie, il est fabriqué en acier inoxydable du nuance (X 20 D.U), il est supporté et guidé par deux paliers, aussi sept roue sont montées sur l'arbre, chaque roue est en acier du nuance (Z6CNDU 20 - 08 M).Le tableau suivante montre les caractéristiques de la pompe.

Type de volute	Double à joint horizontal
Nombre d'impulseur	7. 1 ^{er} en double aspiration
Dimension	290x25x35
Puissance de calcul	492,91 kw
Rendement	77,3
Vitesse de rotation max	2930 rpm
NPSH requis	4.39 bar
Débit max	239 m ³ /h

Tableau II-1 : caractéristiques de la pompe.

la courbe caractéristique de la pompe principale est représentée dans la figure ci-dessous :

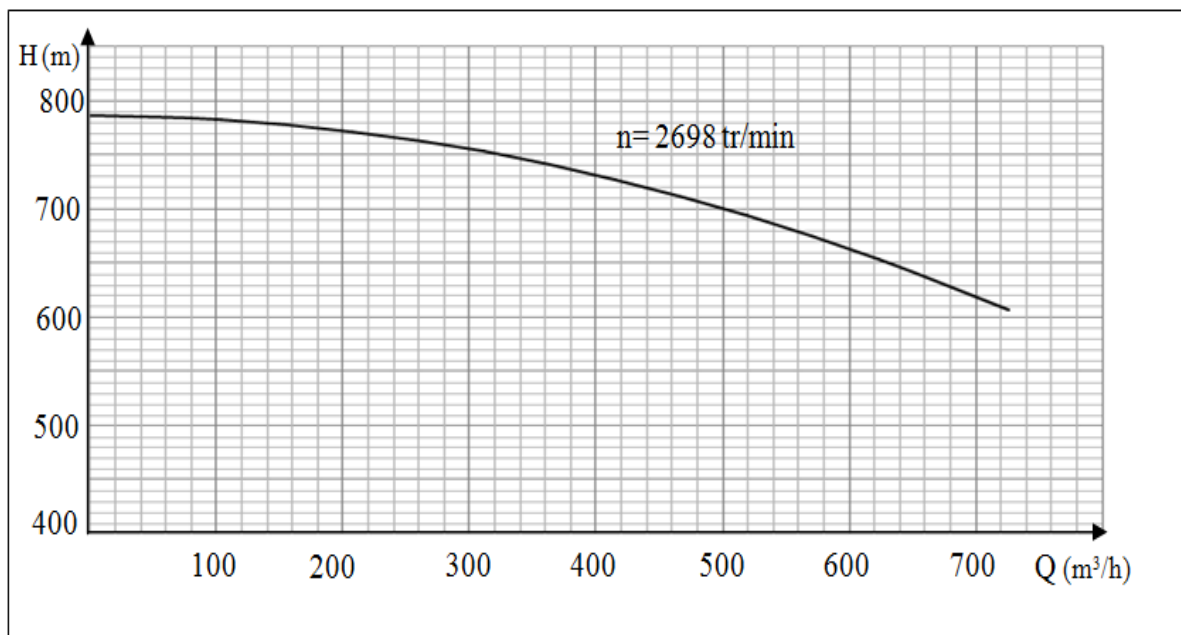


Figure II-1: Courbe caractéristique de la pompe de SBM

La station de Béni Mansour est conçue pour fonctionner selon deux modes :

Mode ligne : dans ce mode la station soutire le brut de l'oléoduc OB1 22'' et alimente la raffinerie d'Alger par deux régime, le régime 440 m³/h qui est assuré par deux pompes principales en marche et une autre en stand-by, le régime 650 m³/h, réalisé par trois pompes en marche et une autre en stand-by.

Mode bac, dans ce mode la station est alimentée depuis les bacs de stockage et assure le débit 580 m³/h, on réalise ce régime avec trois pompes principales en marche et une en stand-by.

Le tableau et les courbes ci-dessous récapitulent les différents régimes de la station SBM:

nombre de pompe en service	Régime de fonctionnement (m ³ /h)	Débit d'une pompe (m ³ /h)	pression de refoulement (bar)	vitesse de reptation de la pompe (tr/min)
1	217	217	58	2865
2	430	215	59	2698
3	580	193	63	2762
3	650	217	68	2865

Tableau II-2 : les différents régimes de la station SBM

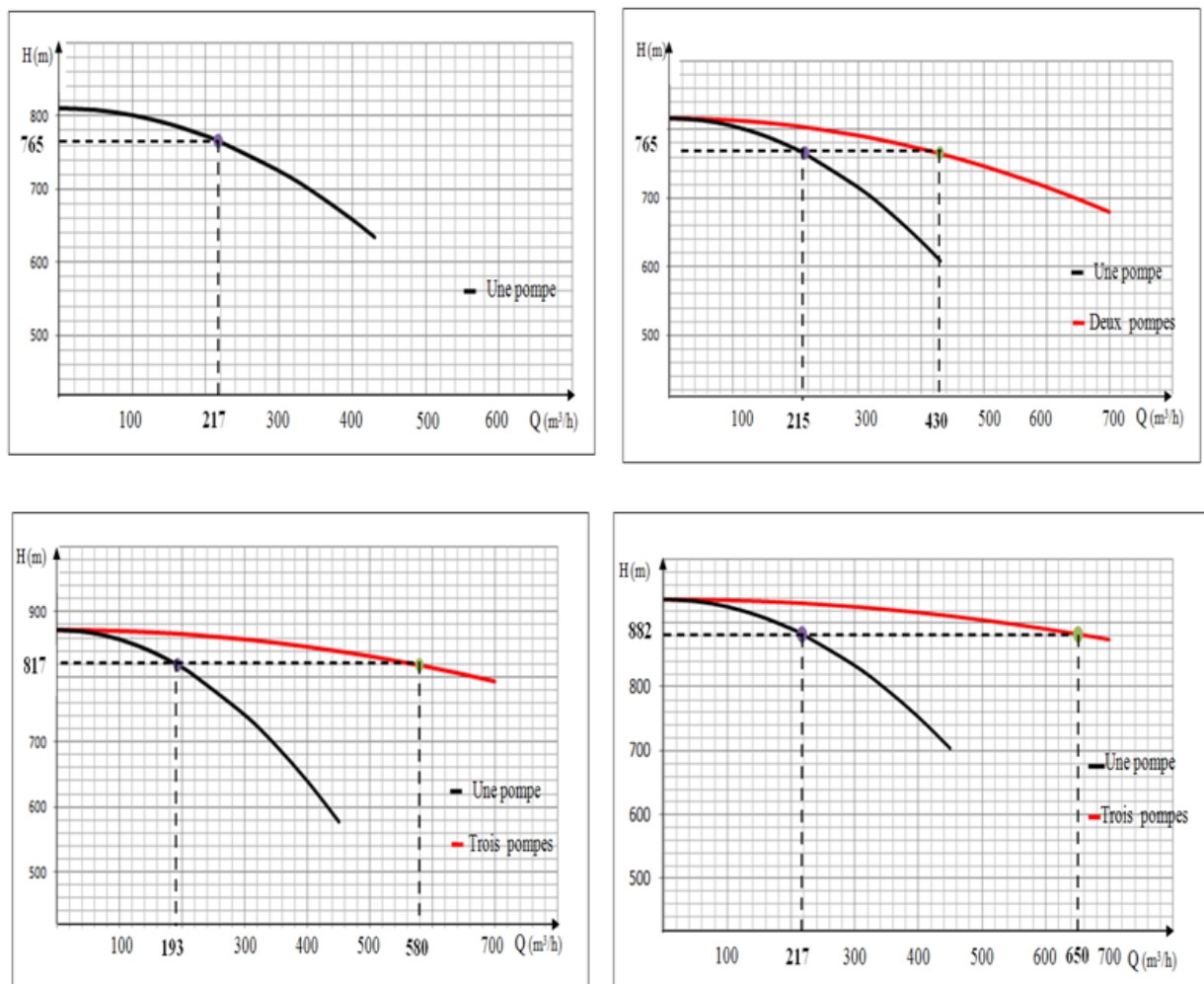


Figure II-2: Courbes caractéristiques des différents régimes de SBM

La puissance et le rendement de la pompe en fonction du débit sont représentés dans le tableau et le schéma suivant :

débit Q en m ³ /h	0	85.14	147.77	193.34	216.91	238.94	295.84	352.77	393
puissance en KW	0	152.53	257.7	329.40	365.88	395.73	454.89	489.1	502.29
rendement en %	0	42.5	61.43	69.71	73.22	74.97	77.01	75.73	73.03

Tableau II-3 : La puissance et le rendement de la pompe en fonction du débit

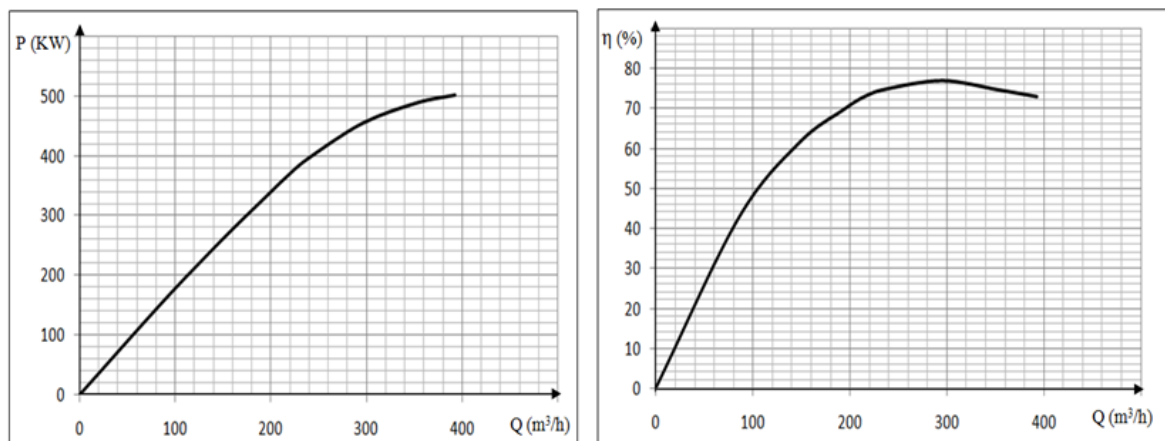


Figure II-3: Puissance et rendement de la pompe

III.2-Le moteur

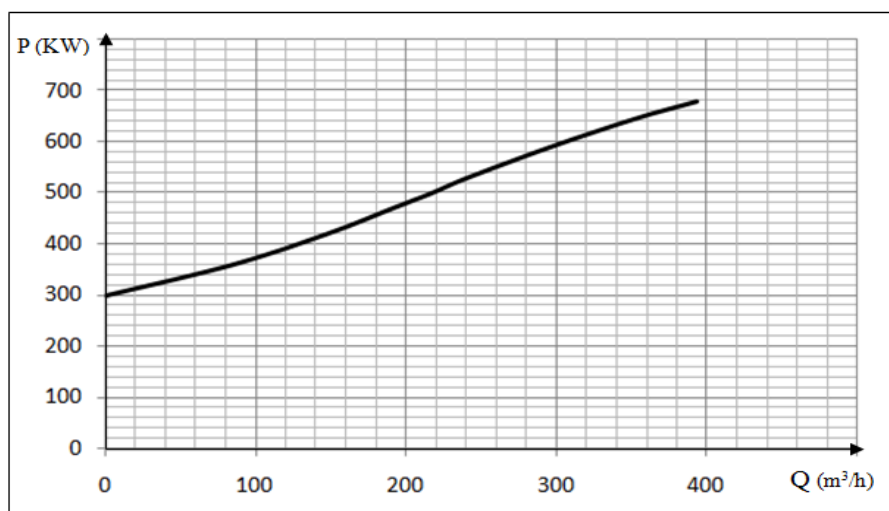
Les pompes principales sont entraînées par un moteur électrique asynchrone, les caractéristiques de ce moteur se trouvent dans le tableau suivant :

Marque	LOHER
Type de moteur	Moteur asynchrone triphasé
Puissance	540 kW
Tension	5500 v
Fréquence	50 Hz
Vitesse de rotation	2984 tr/min
Sens de rotation	Droite
Température de service	-20 a 45 °C
Masse	3900 kg
Démarrage	Directe
Degré de protection	IP65

Tableau II-3 : Caractéristiques de moteur

La puissance sur l'arbre du moteur en fonction de débit de la pompe est représentée dans la figure suivante :

débit Q m ³ /h	0	85.14	147.77	193.34	216.91	238.94	295.84	352.77	393
puissance sur l'arbre KW	297	358.61	419.38	472.21	499.39	527.48	590.19	645.49	679.74

Tableau II-4 : La puissance sur l'arbre du moteur en fonction de débit de la pompe**Figure II-4: Puissance du moteur**

III.3-Le coupleur hydrodynamique

Le coupleur hydrodynamique utilisé dans la station SBM est de marque GUINARD à vitesse réglable avec un taux de glissement égale 1.6 %, pour assurer la bonne transmission de l'énergie du moteur à la pompe. Le coupleur est équipé d'un réservoir d'huile d'un volume égale à 250 litres. Pour refroidir l'huile lors de fonctionnement le coupleur est muni de deux refroidisseurs.

III.4-Les pompes boosters

La station SBM comporte trois pompes boosters, elles sont utilisées dans le cas où l'alimentation des pompes principales se fait à travers les bacs de stockage.

Le régime bac est assuré toujours par deux pompes boosters en marche et une autre en stand-by.

Les paramètres de sortie des pompes boosters sont montrés comme suit :

nombre de pompe en service	débit (m ³ /h)	pression (bar)
1	290	13
2	580	13

Tableau II-6: Les paramètres de sortie des pompes boosters

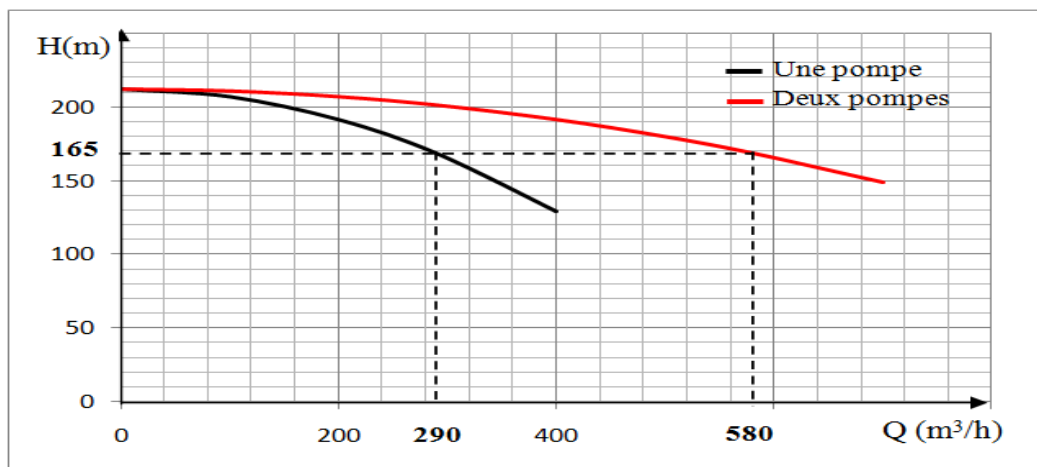


Figure II-5:Caractéristiques de la pompe booster

Le tableau suivant montre les caractéristiques de la pompe booster:

Type de volute	Monobloc
Nombre d'impulseur	1
Pression de refoulement	13.26 bar
Puissance	157 kw
Rendement	74.5
Vitesse de rotation max	2980 rpm
NPSH disponible	3.69 mce

Tableau II-7: les caractéristiques de la pompe booster

III.5- Les bacs de stockage

La section stockage du site SBM se compose de deux bacs à toit flottant d'une capacité de 12000 m³ chacun, ces bacs de stockage sont utilisés comme réserve pour la station dans le cas où la ligne OB1 est indisponible. Le remplissage de ces bacs est réalisé soit depuis le réseau

d'arrivée du brut (réseau principal) soit depuis le réseau de drain et purge (réseau secondaire) et leurs vidange se faite à travers le réseau principal uniquement, les dimensions des deux bacs sont les suivantes :

Hauteur : 18m.

Hauteur du remplissage : 16 m.

Diamètre : 30,5m.

Volume : 12000m³.

Volume mort : 2500 m³.

Stocke utile : 9500 m³.

Epaisseur : 16.32 mm à la base et 6.32 mm au sommet.

III.6-Réseau électrique de SBM

La station de Béni Mansour est alimentée par deux lignes électriques de haute tension en alternance, chacune fournie une tension de 30 kV. La ligne exploitée passe tout d'abord par un tableau de haute tension de 30 KV, ensuite elle est dispatchée sur quatre transformateurs abaisseurs dont deux ont une puissance de 5 MVA qui baissent la tension du 30 KV a 5.5 KV, deux autres transformateurs ont une puissance de 630 KVA, ils baissent la tension du 30 KV a 400V. Chaque transformateur de 5.5 KV assure l'alimentation d'un jeu de barre d'un tableau qui permet lui-même d'alimenter la moitié des installations (électropompes et installations de basse tension), ces tableaux sont couplés entre eux fin d'alimenter toute les installations en cas de nécessité. Les transformateurs de 400V sont installés pour assurer l'énergie électrique des installations de baisse tension, dans le cas d'une perte ou d'une chute de tension de la ligne 30 KV. Un groupe électrogène d'une puissance de 400 KW prend en charge l'alimentation des équipements nécessaires a la sécurité de la station.

III.7-La ligne D'OBM

L'oléoduc D'OBM est un pipeline d'une longueur de 144 kilomètres et de 20 pouces de diamètre, il transporte environ de 4.1 million mètres cube de pétrole brut par année de la station de pompage SBM vers le terminal arrivé Sidi Rsine pour alimenter la raffinerie d'Alger. L'oléoduc a été mis en service en 2006, il est construit avec des tubes en acier de type API 5L X60 avec une rugosité de 0.04572 mm. L'oléoduc est constitué de deux tançons, le premier traverse la wilaya de brouira jusqu'à le col de deux Bassins d'une longueur de 112km, ce tronçon est construit avec des tubes d'une épaisseur de 8.74 mm ce qui lui permet d'avoir une

pression de service maximale (PMS) de 83.77 bar, le deuxième tronçon est conçu pour un écoulement gravitaire à partir du col jusqu'au terminal d'une longueur de 30 km avec une épaisseur de 10.31mm et une PMS de 89 bar. Les schémas ci-dessous montre le profile hydraulique de la ligne D'OBM :

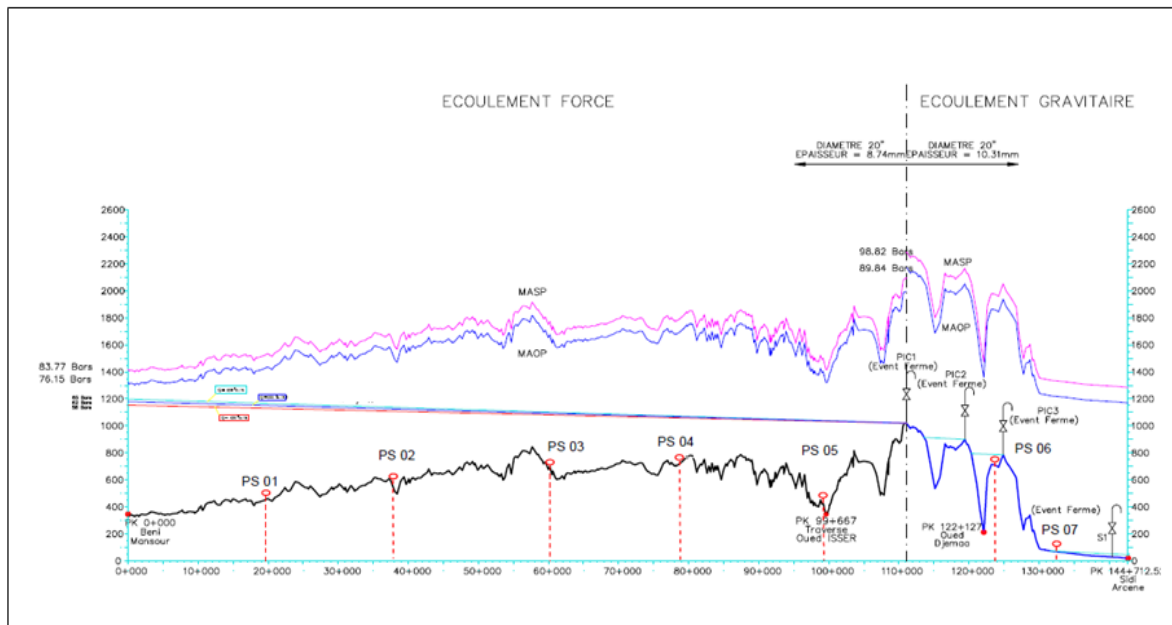


Figure II-6: Profile hydraulique de la ligne D'OBM

La courbe caractéristique du réseau est montrée dans la figure ci-dessous :

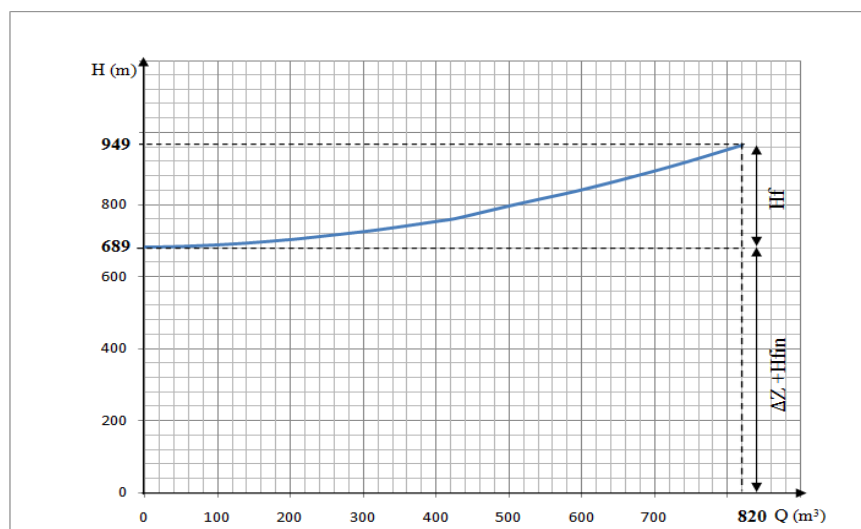


Figure II-7: Courbe du réseau D'OBM

Chapitre III

Etude hydraulique du nouveau régime de la station SBM

Chapitre III

ETUDE HYDRAULIQUE DU NOUVEAU REGIME DE SBM

Introduction

Le nouveau régime de la station de Béni Mansour sera établi en tenant compte la nouvelle capacité de production de la raffinerie d'Alger après l'extension de 75 %, dont la station SBM est tenu de satisfaire, sans provoquer aucun arrêt de cette dernière et sans présenter aucun risque sur la ligne D'OBM.

Dans ce chapitre on va déterminer le régime convenable de la station SBM ainsi les paramètres de sortie de la station SBM (débit et pression).

IV.1-Détermination du débit horaire de la station SBM

Après l'extension, la capacité de production de la raffinerie d'Alger va augmenter de 40%, par conséquent le débit envoyé par la station de Béni Mansour doit être supérieur au débit de traitement, dont une partie de la quantité envoyée sera réservée au remplissage des bacs (stock utile) qui va être utilisé au moment de l'indisponibilité de la ligne D'OBM, d'où le débit envoyé par la station SBM doit être calculé de la façon suivante :

IV.1.1-calcul du stock utile (Su) de la raffinerie :

Nous avons ce tableau qui présente les caractéristiques des bacs qui entreposent le produit transporté par l'obm :

Tank Name	Description	Min Level (m^3)	Max Level (m^3)	Min Op Level (m^3)	Max Op Level (m^3)	min	max	coef
A301	CRUDE	2124	34621	9558	23789	1000	16300	2.124
A302	CRUDE	2124	34621	9588	23789	1000	16300	2.124
A303	CRUDE	2547	36932	11462	28526	1000	14500	2.547
TK401	CRUDE	2735	39658	12308	38290	1000	14500	2.735
sum		9530	145831					

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau III-1 : Caractéristiques des bacs qui entreposent le produit transporté par l'obm**NB : A301 et A303 sont pas en XP**Donc : $V_{tot} = 145831 - 34621 - 36932 = 74278 m^3$ **Max level** : Volume total de stockage de la raffinerie (V_{tot})**Min level** : Volume mort de la raffinerie (V_{mort})

On a :

$$Su = V_{tot} - V_{mort}$$

Donc :

$$Su = 74278 - 9530 - 2547 - 2124 = 60077 m^3$$

IV.1.2-Calcul du débit (Q_h) qui assure le remplissage des bacs de la raffinerie

On suppose que la ligne D'OBM soit indisponible une fois par deux mois, donc la raffinerie consomme le stock utile tout les deux mois, donc on obtient :

$$Q_h = \frac{Su}{60 * 24} = \frac{60077}{60 * 24} = 41.72 m^3/h$$

IV.1.3-Calcul du débit de SBM

Après extension de la raffinerie d'Alger, la station de Béni Mansour doit débiter un volume horaire égal au nouveau volume horaire de raffinerie augmenté d'un débit utile pour le remplissage des bacs de la raffinerie :

$$Q_{SBM} = 440 + (440 * 0.4) + 41.72 = 659.62 m^3/h \quad \text{On prend } Q_{SBM} = 660 m^3/h$$

Le débit $660 m^3/h$ doit être supporté par la canalisation où la pression due à ce débit ne doit pas dépassée la PMS (pression maximale de service) en tout point de la ligne.

IV.2-Détermination de la pression de refoulement de la station SBM

La station de Béni Mansour doit fournir une pression suffisante pour assurer le débit recommandé par la raffinerie d'Alger, une pression pour laquelle la station vaincre le dénivelé du Cole Deux Basin, les pertes de charges linéaires dues au frottement et les pertes de charge locales au niveau de différents équipements de la ligne (vannes de sectionnement, clapets anti retour,...etc.).

IV.2.1-calcul hydraulique du régime de fonctionnement

En gardant la ligne actuelle D'OBM, pour déterminer la nature du régime d'écoulement de la station de Béni Mansour avec le débit $660 \text{ m}^3/\text{h}$, on suit les étapes illustrées dans l'organigramme suivant:

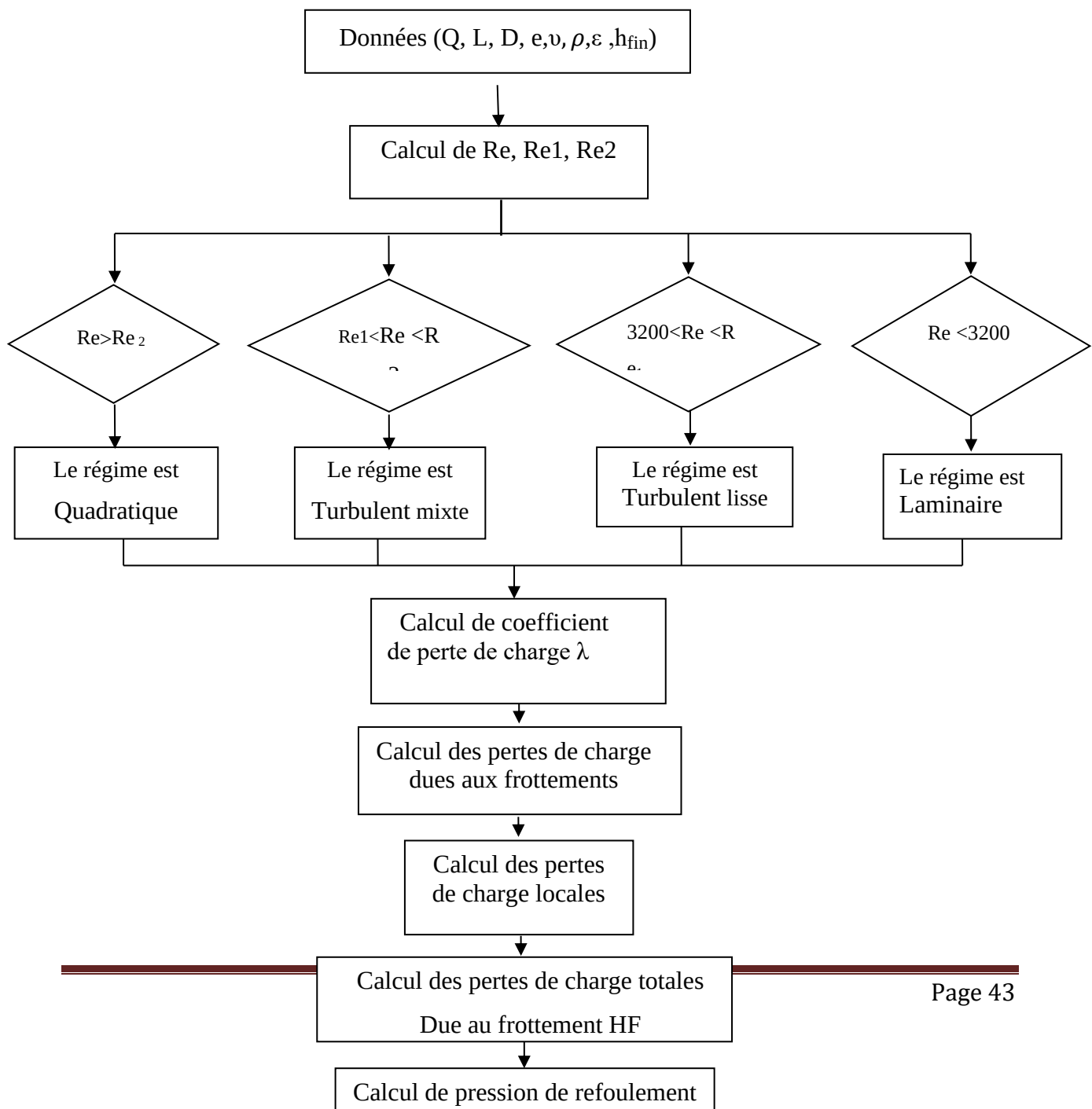


Figure III-1: Organigramme du calcul hydraulique.**1-Calcul de nombre Reynolds**

Pour calculer le nombre de Reynolds on utilise la formule (II. 5) :

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot v}$$

Données :

$$Q = 660 \text{ m}^3/\text{h} = 0.1833333 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$D_{\text{ext}} = 20'' = 0.508 \text{ m}.$$

$$e = 0.00874 \text{ m}.$$

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ext}} - 2e = 0.49052 \text{ m}.$$

$$v = 0.00000252 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Donc :

$$Re = \frac{4 * 0.1833333}{3.14 * 0.49052 * 0.00000252} = \mathbf{188935.8791}$$

2-Calcul des Reynolds critiques

On calcule des Reynolds critiques en utilisant la formule (II. 5b) :

$$Re_1 = \frac{59.5}{\varepsilon^{8/7}} \quad \text{et} \quad Re_2 = \frac{665 - 765 \ln \varepsilon}{\varepsilon}$$

Données :

$$e = 0.04572 \text{ mm.}$$

$$\varepsilon = 2.e / D_{\text{int}} = 0.00018641$$

Donc :

$$Re_1 = \frac{59.5}{0.00018641^{8/7}} = 1088523,658$$

$$Re_2 = \frac{665 - 765 \ln \varepsilon}{\varepsilon} = 38809532,41$$

On a :

$$Re_1 < Re < Re_2$$

Donc le régime d'écoulement est **turbulent mixte**.

3-Calcul de coefficient de frottement

Le coefficient de frottement est calculé par la formule (II. 5d) :

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

Données :

$$\varepsilon = 0.00018641 \text{ mm.}$$

$$D_{\text{int}} = 0.49052 \text{ m.}$$

$$Re = 188935.8791$$

Donc :

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{0.00018641}{0.49052} + \frac{68}{188935.8791} \right)^{0.25} = 0,018142252$$

4-calcul de la vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement est déterminée à l'aide de la formule (II. 6) :

$$v = \frac{4 Q}{\pi D_{int}^2}$$

Données :

$$Q = 660 \text{ m}^3/\text{h} = 0.1833333 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$D_{int} = 0.49052 \text{ m}.$$

Donc :

$$v = \frac{4 * 0.1833333}{3.14 * (0.49052)^2} = \mathbf{0.97064 \text{ m/s}}$$

5-Calcul de perte de charge due au frottement

On calcul la perte de charge due au frottement par la relation (II. 6a) :

$$h_f = \frac{\lambda L V^2}{2 g D}$$

Données :

$$\lambda = 0,018142252$$

$$L = 112846 \text{ m}.$$

$$V = 0.97064 \text{ m/s}.$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2.$$

Donc :

$$h_f = 0,018142252 \left(\frac{112846 * 0.97064^2}{2 * 9.81 * 0.40952} \right) = \mathbf{200,42 \text{ m}}$$

6-Calcul de perte de charge locale

Elle est déterminée par la formule (II. 7a) :

$$h_{loc} = (0.01 \text{ à } 0.02) h_f$$

Données :

$$h_f = 200.42 \text{ m}$$

Donc :

$$h_{loc} = 0.02 * 200,42 = \mathbf{4,0084 \text{ m}}$$

7-Calcul de la charge totale

On la calcule en utilisant la formule (II. 8)

$$H_{ref} = h_f + h_{loc} + \Delta Z + H_{fin}$$

Données :

$$h_f = 200.42 \text{ m}$$

$$h_{loc} = 4,0084 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 662.78 \text{ m}$$

$$H_{fin} = 25.9452205 \text{ m}$$

Donc :

$$H_{ref} = 200.42 + 4,0084 + 662.78 + 25.9452205 = \mathbf{893,1536 \text{ m}}$$

8-calcul de la pression de refoulement de SBM

La pression de refoulement de SBM est déterminée par la relation suivante :

$$P_{ref} = \rho g H_{ref}$$

Données :

$$\rho = 796 \text{ kg/m}^3.$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2.$$

$$H_{ref} = 893,1536 \text{ m}$$

Donc :

$$P_{ref} = 796 * 9.81 * 893,1536 = 6\,972\,669,7381728 = \mathbf{69,73 \text{ bar}}$$

Conclusion

D'après le résultat obtenu dans les calculs hydrauliques, la pression de refoulement nécessaire pour acheminer le brut jusqu'à le col de Deux Bassin avec le débit de $660 \text{ m}^3/\text{h}$ est inférieur à la pression maximale admissible de service (PMS) de la ligne D'OBM avec une marge de sécurité de 15 %. Vu le règlement algérien de sécurité qui exige une PMS majorée de 10 % de la pression de service, on conclut que le pipe D'OBM peut supporter la pression de refoulement **(69,73 bar)** recommandée pour l'application du régime $660 \text{ m}^3/\text{h}$, et qu'il nécessite aucune modification ou reconstruction de la ligne D'OBM.

IV.3- Nouveau profile hydraulique de la ligne D'OBM :

Le profile hydraulique avec la nouvelle pression et le nouveau débit de la station SBM est établi en tenant compte la répartition de la pression en fonction de la longueur du tracé de la ligne D'OBM, cette répartition est représentée dans la figure ci-dessous:

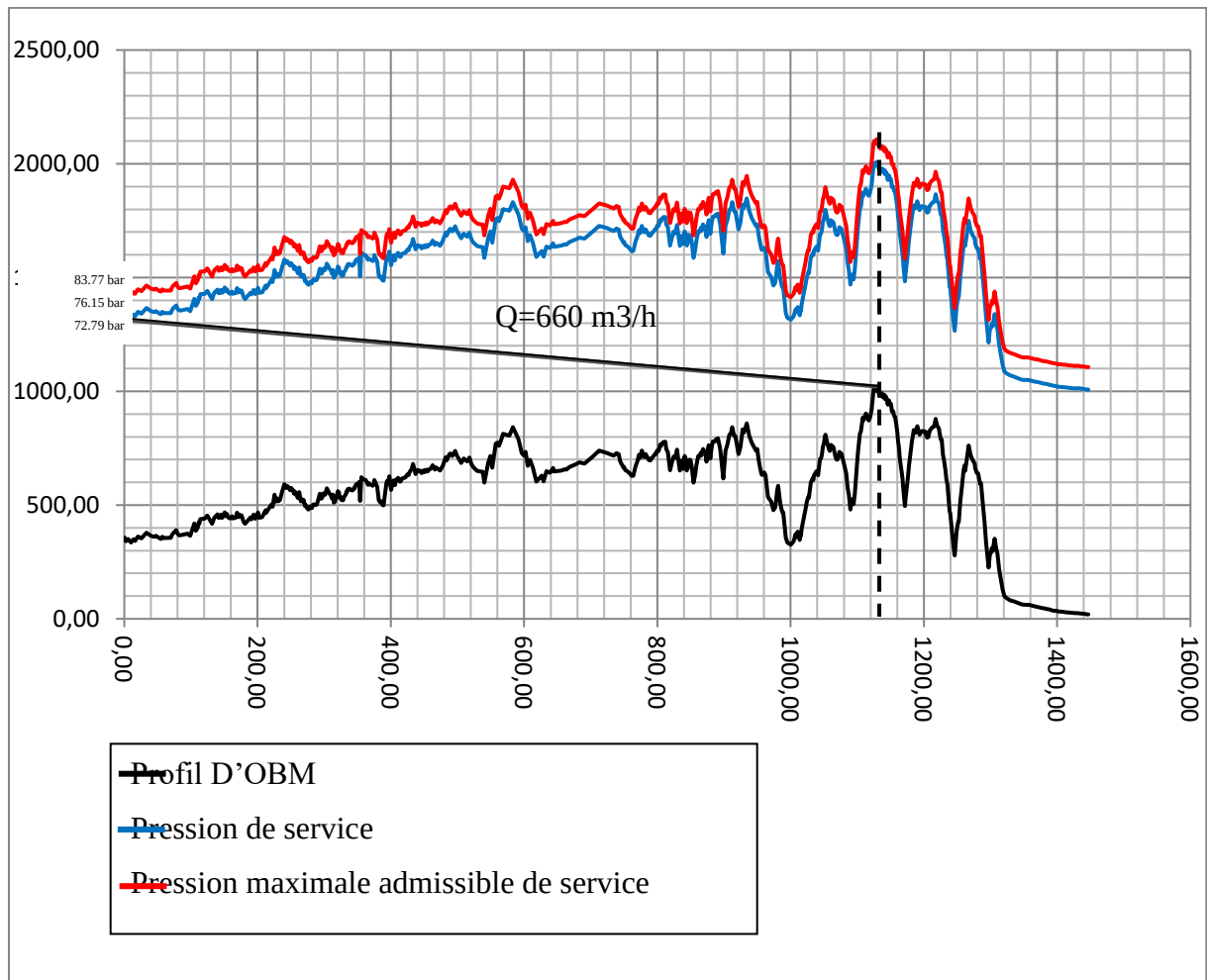


Figure III-2: Le nouveau profile hydraulique de la ligne D'OBM

Chapitre IV

Méthode d'application du nouveau régime

Chapitre IV

METHODE D'APPLICATION DU NOUVEAU REGIME

Introduction

La bonne application d'un régime de fonctionnement nécessite des équipements fiables et performants et des procédures d'exploitation adéquates. Le choix d'un équipement ou d'une procédure est établi après une étude approfondie. Dans ce chapitre on va déterminer les équipements et les procédures convenables à la station de Béni Mansour pour appliquer le régime $660 \text{ m}^3/\text{h}$ d'une manière sûre et moins couteuse.

IV.1-Application du nouveau régime en utilisant quatre pompes principales

Dans le but d'effectuer le régime $660 \text{ m}^3/\text{h}$ par la station SBM en gardant les pompes actuelles, et en utilisant quatre pompes en parallèle, dont trois seront en marche ($220 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chaque pompe) et une autre disposée en secours. Une modification de leurs caractéristiques est indispensable afin de modifier les performances de la pompe (débit et pression de refoulement). Cette modification vise notamment la vitesse de rotation de la pompe et le diamètre de l'impulseur, le point de fonctionnement de ce montage est illustré dans le schéma ci-dessous :

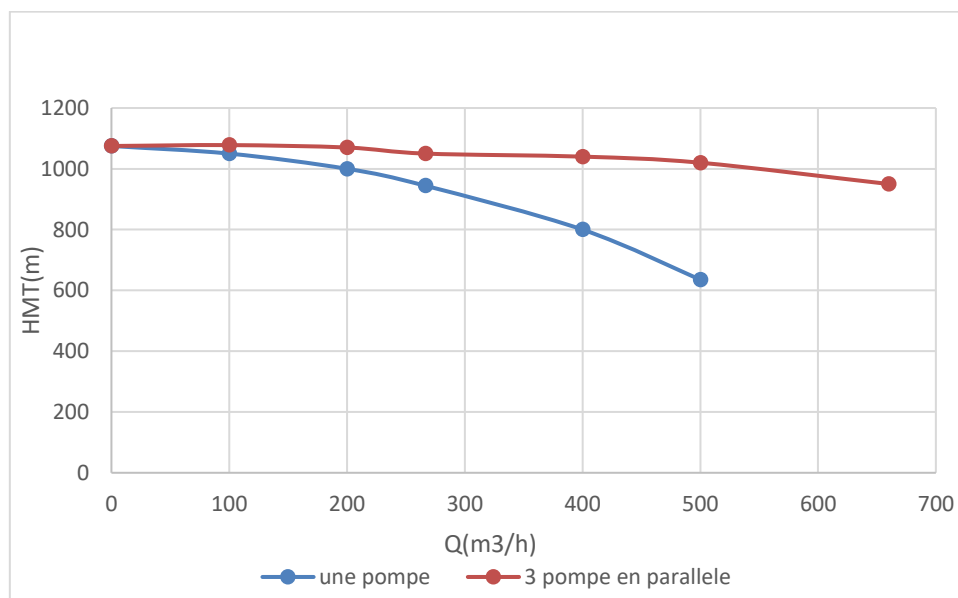


Figure IV-1: Régime $660 \text{ m}^3/\text{h}$ avec trois pompes.

IV.1.1- Augmentation du débit par changement de vitesse de rotation de la pompe

L'augmentation de la vitesse de rotation de la pompe est la méthode la plus utilisée pour augmenter le débit, en utilisant la loi de similitude. On peut déterminer le débit maximal de la pompe comme suit :

1-Calcul de vitesse maximale de la pompe ($n_{\max}$)

$$n_{\max} = 98.2\% * n_{\text{mot}}$$

n_{mot} : vitesse du moteur ($n_{\text{mot}} = 2984 \text{ tr/min}$).

Donc :

$$n_{\max} = 0.982 * 2984 = \mathbf{2930 \text{ tr/min}}$$

2-Calcul du débit maximal de la pompe

En utilisant la formule (II. 17) on trouve :

$$Q_{\max} = \frac{n_{\max} * Q}{n}$$

Données :

$$n_{\max} = 2930 \text{ tr/min}$$

$$Q = 220 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$n = 2660 \text{ tr/min}$$

D'où :

$$Q_{\max} = \frac{2930 * 220}{2660} = \mathbf{242.331 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$P = P_1 * \left(\frac{n_{\max}}{n} \right)^2$$

Données :

$$P_1 = 58 \text{ bar.}$$

$n_{\max}=2930 \text{ tr/min.}$

$n=2660 \text{ tr/min.}$

Donc :

$$P = 58 * \left(\frac{2930}{2660}\right)^2 = 70 \text{ bar}$$

IV.1.2-Augmentation de débit par agrandissement du diamètre de l'impulseur :

Pour développer le débit ($660\text{m}^3/\text{h}$) avec trois pompes, un changement de l'impulseur est nécessaire en augmentant le diamètre des roues, ce diamètre est calculé comme suit :

1-Calcul du diamètre après rognage :

En utilisant la formule (II. 18) on trouve :

$$D = D_1 \sqrt{\frac{Q}{Q_1}}$$

Avec :

$D_1=29 \text{ mm}$

$Q_1=239 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q=220 \text{ m}^3/\text{h}$

Donc :

$$D = 29 * \sqrt{\frac{220}{239}} = 27.82\text{mm}$$

2-Calcul de la pression de la pompe après rognage

La pression de la pompe après rognage est calculée à l'aide de la formule (II. 17)

$$P_2 = P_1 * \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

Données :

$D_1=29\text{mm.}$

$D_2=27.82\text{mm.}$

$P_1= 70 \text{ bar}$

Donc :

$$P_2 = 70 * \left(\frac{27.82}{29}\right)^2 = \mathbf{64.42 \text{ bar}}$$

Conclusion :

Si on effectue les modifications citées auparavant (changement de vitesse de rotation et rognage), la marge de sécurité obtenue par rapport à la PMS est égale à 7.5 %. Comme cette valeur est inférieure à la valeur recommandée par le règlement Algérien de sécurité (10%), on conclut que le régime $660\text{m}^3/\text{h}$ ne peut être appliqué sauf si la ligne D'OBM se reconstruit avec une PMS élevée.

VI.2-Application du nouveau régime en utilisant cinq pompes principales

La station SBM peut assurer le régime $660 \text{ m}^3/\text{h}$ en mettant cinq pompes principales en service montées en parallèle, où quatre pompes vont développer le débit $660 \text{ m}^3/\text{h}$ et la cinquième sera utilisée comme une pompe de secours. Le point de fonctionnement de la station avec quatre pompes montées en parallèle est représenté dans la figure suivante :

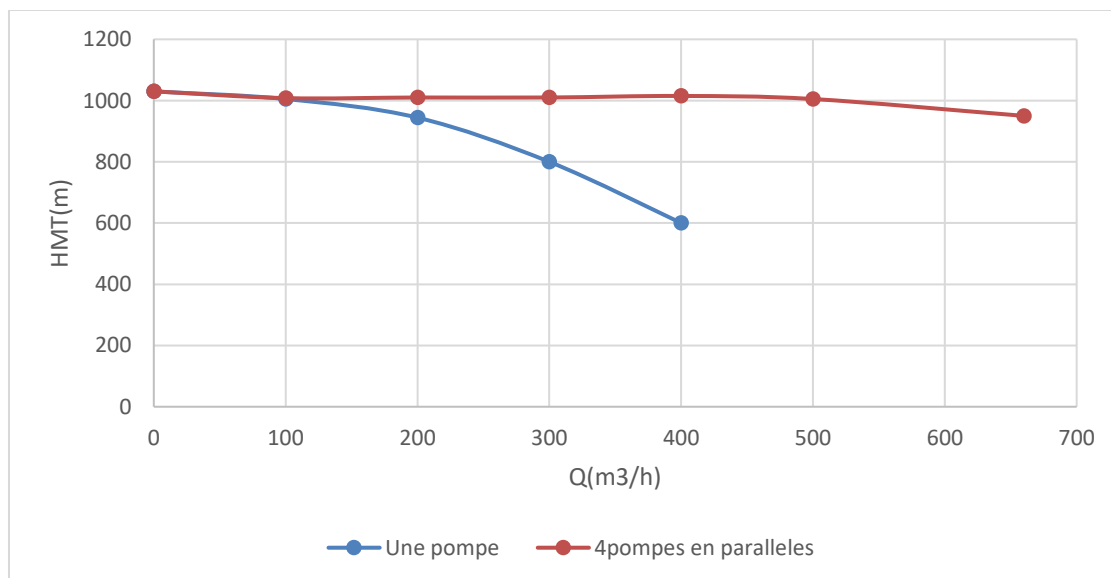


Figure IV-2: Régime $660 \text{ m}^3/\text{h}$ avec quatre pompes en marche

V.2.1-Calcul de la vitesse spécifique de la pompe

Elle est déterminée par la formule (II. 17) :

$$N_s = 3.65 * n * \left(\frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{Z}\right)^{\frac{3}{4}}} \right)$$

Données :

$$Q=165 \text{ m}^3/\text{h}=0.04583\text{m}^3/\text{s}$$

$$H =817\text{m}$$

$$n = 2930 \text{ tr/min}$$

$$Z=7 \text{ étages}$$

Donc :

$$N_s = 3.65 * 2930 * \left(\frac{\sqrt{0.04583}}{\left(\frac{817}{7}\right)^{\frac{3}{4}}} \right) = \mathbf{64.475 \text{ tr/min}}$$

On remarque que : $N_s < 80$ donc la pompe de SBM est une pompe à faible vitesse.

IV.2-2 Calcul du rendement de la pompe

1-Calcul du rendement volumétrique (formule II. 15a)

$$\eta_v = \frac{1}{\left[1 + 0.68 * (N_s)^{\frac{-2}{3}} \right]}$$

Donnés :

$$N_s = 64.475 \text{ tr/min}$$

Donc :

$$\eta_v = \frac{1}{\left[1 + 0.68 * (64.475)^{\frac{-2}{3}} \right]} = \mathbf{0.96 = 96 \%}$$

2-Calcul du diamètre de l'arrête de l'entrée de raménée (D_{ri}) (formule II. 15c)

$$D_{r1} = K_0 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$$

Données :

$$K_0 = 3.9.$$

$$Q = 0.04583 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 2930 \text{ tr/min.}$$

Donc :

$$D_{r1} = 3.9 \sqrt[3]{\frac{0.04583}{2930}} = \mathbf{0.09753 \text{ m} = 97.53 \text{ mm}}$$

3-Calcul du rendement hydraulique (formule II. 15b)

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

$$\text{Avec } D_{r1} = 97.53 \text{ mm}$$

Donc :

$$\eta_h = 1 - \left[\frac{0.42}{(\log(97.53) - 0.172)} \right]^2 = \mathbf{0.99 = 99 \%}$$

4-Calcul du rendement mécanique (formule II. 15d)

$$\eta_m = \frac{0.96}{\left[1 + \left(\frac{820}{N_s^2} \right) \right]}$$

$$\text{Avec : } N_s = 64.475 \text{ tr/min.}$$

Donc :

$$\eta_m = \frac{0.96}{\left[1 + \left(\frac{820}{64.475^2} \right) \right]} = \mathbf{0.802 = 80.2 \%}$$

5-Calcul du rendement global de la pompe (formule II. 15)

$$\eta_g = \eta_v * \eta_h * \eta_m$$

Données :

$$\eta_v = 0.96, \eta_h = 0.99, \eta_m = 0.802$$

Donc :

$$\eta_g = 0.96 * 0.95 * 0.82 = \mathbf{0.75 = 75\%}$$

IV.2-3 Calcul de la puissance de la pompe

Elle est déterminée par la (formule II. 14) :

$$P = Q \rho g H$$

Données :

$$Q = 0.04583 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 796 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Donc :

$$P = 0.04583 * 796 * 9.81 * 817 = 292384.2596 \text{ W} = \mathbf{292.384 \text{ KW}}$$

IV.2-3 Calcul de la puissance du moteur

La puissance du moteur est déterminée par la (formule II. 16) :

$$P_a = \frac{P_h}{\eta}$$

Données :

$$P_h = 292.384 \text{ KW}$$

$$\eta = 75.5 \%$$

Donc :

$$P_a = \frac{292.384}{0.755} = \mathbf{387.264 \text{ KW}}$$

En ce mode de fonctionnement on remarque que la puissance motrice (540 KW) est plus grande que la puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe (387.264 KW), donc on conclue que le moteur peut entrainer la pompe facilement.

Partie Optimisation

OPTIMISATION DANS LE BARC DE STOCKAGE

V.1.Introduction sur les problèmes d'optimisation

V.1.1Définitions

V.1.1.1Problème d'optimisation

Rendre optimal, c'est donner à quelque chose les meilleures conditions d'utilisation, de fonctionnement et de rendement. L'optimisation est une branche des mathématiques cherchant à modéliser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à minimiser ou maximiser une fonction sur un ensemble. Généralement, un problème d'optimisation peut être défini comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser Maximiser } f(x) \\ \text{sous les contraintes} \\ g(x) \leq 0 \text{ (contraintes d'inégalité)} \\ h(x) = 0 \text{ (m contraintes d'égalité)} \\ x_i \leq x \leq x_s \end{array} \right.$$

Où : $x = (X_1, \dots, \dots, X_d)$ représente le vecteur des variables de décision ou variables indépendantes, $g(x)$ et $h(x)$ représentent respectivement les contraintes d'inégalité et d'égalité, X_i et X_s sont respectivement les bornes inférieure et supérieure du domaine de recherche des variables,

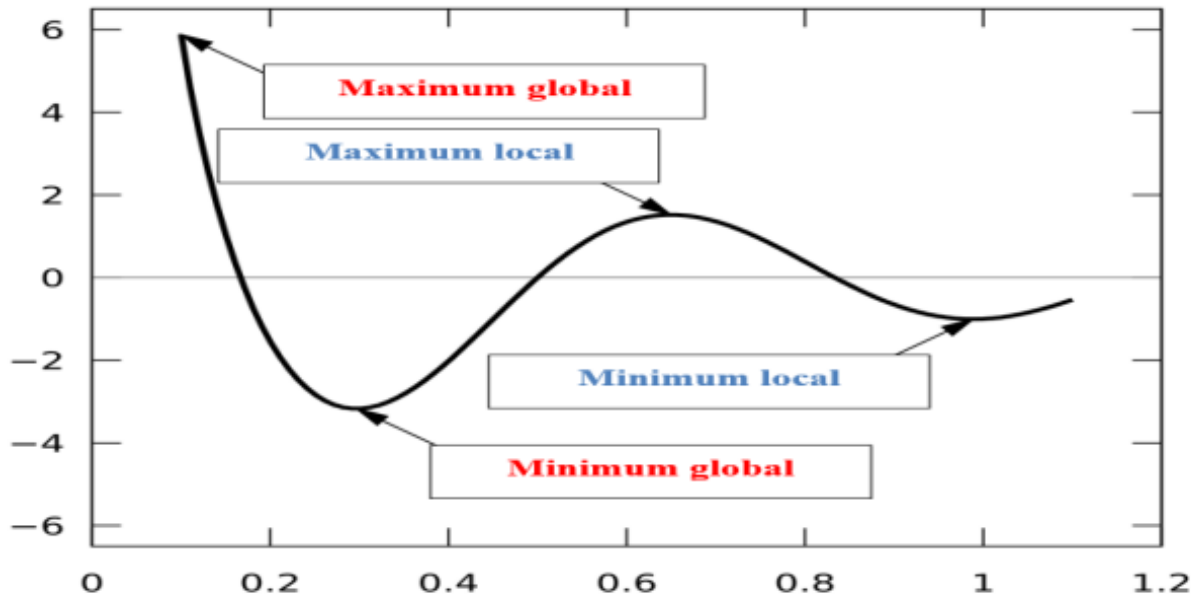


Figure V-1 : Exemple de types d'extremums

V.1.1.2 Les problèmes d'optimisation mono-objectifs :

Lorsqu'un seul objectif (critère) est donné, le problème d'optimisation est mono-objectif. Dans ce cas la solution optimale est clairement définie, c'est celle qui a le coût optimal (minimal, maximal). De manière formelle, à chaque instance d'un tel problème est associé un ensemble Ω des solutions potentielles respectant certaines contraintes et une fonction d'objectif $f:\Omega \rightarrow \Psi$ qui associe à chaque solution admissible $s \in \Omega$ une valeur $f(s)$. Résoudre l'instance (Ω, f) du problème d'optimisation consiste à trouver la solution optimale $s^* \in \Omega$ qui optimise (minimise ou maximise) la valeur de la fonction objectif f . Pour le cas de la minimisation : le but est de trouver $s^* \in \Omega$ tel que $f(s^*) \leq f(s)$ pour tout élément $s \in \Omega$. Un problème de maximisation peut être défini de manière similaire.

- Variables de décision
- Espace décisionnel et espace objectif
- Contraintes

V.1.1.3 Optimisation multi objectif :

L'optimisation multi objectif est un axe de recherche très important à cause de la nature multi objectif de la plupart des problèmes réels. Les premiers travaux menés sur les problèmes multi objectifs furent réalisés au 19^{ème} siècle sur des études économique par Edgeworth et généralisés par Pareto.

- Problèmes d'optimisation multi objectifs
- Variables de décision
- Espace décisionnel et espace objectif
- Contraintes

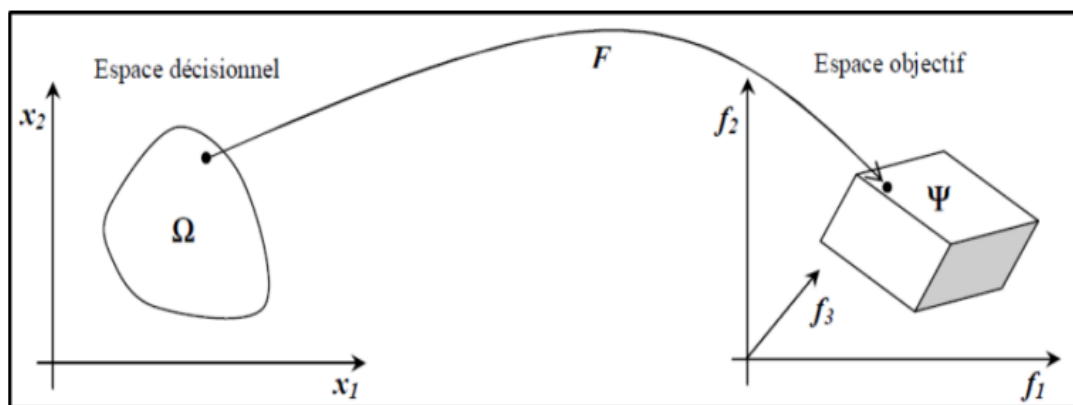


Figure V-2 : Problème d'optimisation multi objectif (2 variables de décision et 3 fonctions objectifs)

V.2. Les méthodes de résolution :

V.2.1 Méthodes déterministes :

Les méthodes analytiques ou déterministes sont basées sur une algorithmique procédurale rigoureuse. Parmi les méthodes les plus connues, on trouve : le calcul différentiel (DF) et la méthode de Lagrange, ces méthodes se localisaient à la résolution de problème mono-objectif, mais ces dernières sont insuffisantes pour être dérivables, continus et mono variables. Cela a stimulé l'apparition des méthodes dites itératives, tels que la programmation non linéaire (NLP), la programmation quadratique séquentielle (SQP), la programmation dynamique (DP), l'algorithme du gradient réduit généralisé (GRG), la programmation géométrique (GP) et la

programmation de But (LP). Avec ces méthodes analytiques itératives, il est souhaitable que ces méthodes soient continuées et dérivables et que leurs formes, à savoir, linéaire, non linéaire, concave ou convexe, soient définies et préalablement connues. A cet effet, l'utilisation de ces méthodes reste très limitée surtout dans le domaine de l'optimisation des conditions d'usinage.

V.2.2. Méthodes stochastiques :

Les méthodes d'optimisation stochastiques s'appuient sur des mécanismes probabilistes et aléatoires. Cette caractéristique indique que plusieurs exécutions successives de ces méthodes peuvent conduire à des résultats différents pour une même configuration initiale d'un problème d'optimisation. Ces méthodes peuvent être classées selon deux grandes catégories : les méthodes heuristiques et les méthodes méta-heuristiques .

V.2.2.1.Méta heuristiques à base de solution unique :

Travaillent sur un seul point de l'espace de recherche à un instant donné en commençant avec une solution initiale puis de l'améliorer itérativement en choisissant une nouvelle solution dans son voisinage.

On définit la notion d'optimalité locale au sens Pareto : un sous-ensemble de solutions non dominées dans un voisinage déterminé.

a) Algorithmes de recherche locale :

Pour une optimisation locale tout algorithme basé sur la notion de voisinage, piégé par le premier optimum local. Les algorithmes de descente plus utilisés, nous citons:

- Descente simple « simple descente »
- Plus grande descente « Deepestdescent »
- Multi-Start descent

b) Algorithmes de recherche locale pour une optimisation globale :

Tout algorithme local par son mécanisme de fonctionnement et global par sa recherche d'optimum global utilisant des mécanismes pour s'échapper de ces minima locaux.

- Recuit simulé <<Simulatedannealing>>
- Recherche tabou <<Tabusearch>>
- Recherche à voisinage variable << Variable neighborhoodsearch>>
- GRASP
- Recherche locale itérée « Iterated local search>>
- Recherche locale guidée <<Guided local search>>

V.2.2.2.Méta heuristiques à base de population de solutions :

Travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche en commençant avec une population de solution initiale puis de l'améliorer au fur et à mesure des itérations. L'intérêt de ces méthodes est d'explorer un très vaste espace de recherche et d'utiliser la population comme facteur «de diversité» de plus elles sont très adaptées et très largement utilisées pour l'optimisation multi objectifs.

a) Algorithmes Evolutionnaires :

Un algorithme évolutionnaire est typiquement composé de trois éléments fondamentaux :

- Une population
- Un mécanisme d'évaluation
- Un mécanisme d'évolution

•Programmation évolutive (Evolutionary Programming) :

Ce modèle évolutionniste accentue l'utilisation de la mutation et n'utilise pas dans sa version originale la recombinaison des individus par croisement. Développé à l'origine pour l'évolution d'automates à état fini, ce modèle est souvent appliqué à la résolution de problèmes d'optimisation à variables réelles. Dans ce cas, il utilise une mutation qui consiste à ajouter une perturbation Gaussienne à chaque composante du vecteur à variables réelles constituant l'individu. Cette perturbation est basée sur la performance de l'individu : l'idée consiste à faire subir des mutations importantes aux mauvais individus et inversement des mutations faibles aux bons individus. L'opérateur de sélection est de type probabiliste : il s'agit de la méthode du tournoi basée sur une compétition entre individus choisis aléatoirement.

• Stratégies d'évolution :

Elles ont été développées pour résoudre des problèmes d'optimisation industriels à variables réelles dans lesquels il n'existe pas de fonction d'objectif analytique. Ce modèle utilise le principe de mutation sur les réels du modèle de la Programmation Evolutive. Cependant, ce principe a été affiné de sorte que la fonction de perturbation Gaussienne est contrôlée par l'ensemble de la population courante. Si la proportion de mutation réussie est élevée, l'espace de recherche exploré est restreint autour d'un optimum local, il faut donc diversifier la population en augmentant le taux de mutation. Ces approches utilisent un opérateur de sélection de type déterministe : les solutions dont la fitness est mauvaise sont éliminées de la population.

En outre, dans le modèle originel, les populations des parents et de leurs descendants sont généralement de taille différente.

- **Algorithmes génétiques (GeneticAlgorithms) :**

Le mécanisme des AG consiste à faire évoluer, à partir d'un tirage initial, un ensemble de points de l'espace de recherche vers l'optimum du problème. Avec des opérations extrêmement simples et sans se soucier de la sémantique de ces chromosomes codés en combinant ses solutions entre elles pour en former de nouvelles en essayant d'hériter des bonnes caractéristiques des solutions parents. On obtient une solution qui s'approche de l'optimum en un temps acceptable. C'est en effet cette légèreté de mise en œuvre qui fait la puissance et le charme des AG.

- **Programmation génétique (GeneticProgramming) :**

Est une extension du modèle d'apprentissage des algorithmes génétiques à l'espace des programmes. Les individus formant une population sont donc des programmes candidats à la résolution d'un problème. Ces programmes sont exprimés sous la forme d'arbres sur lesquels les opérateurs génétiques produisent des transformations en vue d'obtenir un programme qui satisfait la résolution du problème choisi.

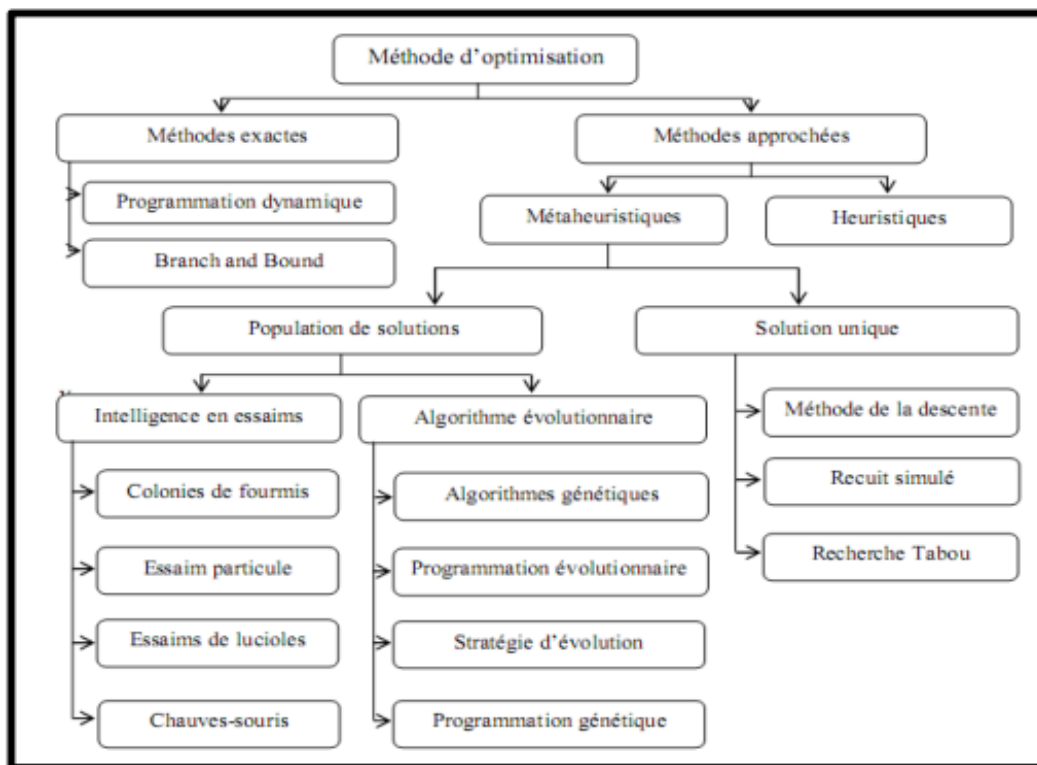
- b) Colonie de fourmis :**

En marchant du nid à la source de nourriture et vice-versa (ce qui dans un premier temps se fait essentiellement de façon aléatoire), les fourmis déposent au passage sur le sol une substance odorante appelée phéromones. Cette substance permet ainsi donc de créer une piste chimique, sur laquelle les fourmis s'y retrouvent. En effet, d'autres fourmis peuvent détecter les phéromones grâce à des capteurs sur leurs antennes. Les phéromones ont un rôle de marqueur de chemin : quand les fourmis choisissent leur chemin, elles ont tendance à choisir la piste qui porte la plus forte concentration de phéromones. Cela leur permet de retrouver le chemin vers leur nid lors du retour. D'autre part, les odeurs peuvent être utilisées par les autres fourmis pour retrouver les sources de nourritures trouvées par leurs congénères.

- c) Essaim de particulaire :**

Met en jeu des groupes de particules sous forme de vecteurs se déplaçant dans l'espace de recherche. Chaque particule p est caractérisée par deux variables d'état (sa position courante $x(t)$ et sa vitesse courante $v(t)$). Cette technique repose sur deux règles :

- Chaque particule se souvient du meilleur point par lequel elle est passée au cours de ses évolutions et tend à y retourner,
- Chaque particule est informée du meilleur point connu au sein de la population et tend à s'y rendre.

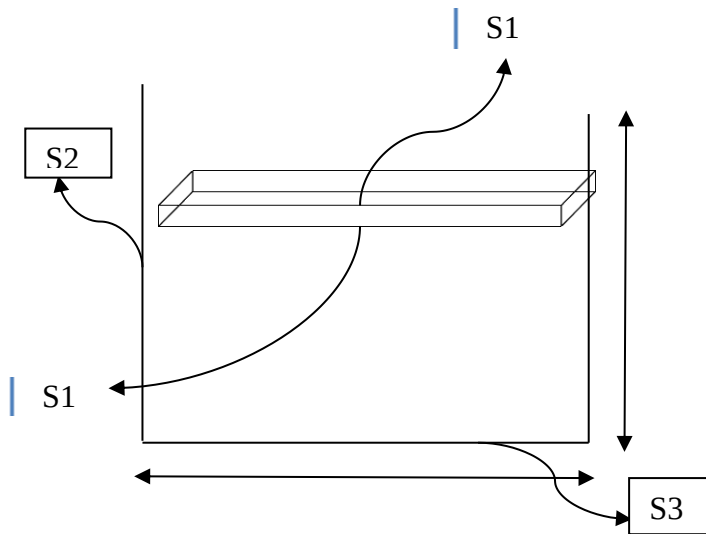


Comme était mentionner dans la problématique , le problème de la raffinerie c'est que deux bacs sont ne pas on XP a cause de la boue, et la meilleurs solution pour ce problème est le traitement par amant pour éliminer la boue (décantation, stabilisation), dans cette manière on propose d'ajouter un nouveau bac de stockage au niveau de la station SBM pour éliminer la boue par décantation.

- **Application :** Le but de ce partie est de trouver les dimensions optimales d'un réservoir cylindrique vertical a toit flottant de $12000m^3$ de capacité, hauteur H et de diamètre D .

Sachant que :

- La hauteur du réservoir ne peut dépasser 18m
- L'épaisseur des tôles constituant le réservoir est constante
- Le toit flottant du réservoir est a double deck
- Le diamètre du réservoir ne peut dépasser 30,5 m
- Le prix du réservoir est proportionnel à la masse d'acier utiliser



Sous les hypothèses, la dimension optimale de réservoir correspond à une surface minimale des tôles.

$$S_T = 2S_1 + S_2 + S_3 = 2\frac{\pi}{4}D^2 + \pi DH + \frac{\pi}{4}D^2$$

$$\frac{3\pi}{4}D^2 + \pi DH \dots \dots \dots MIN(\text{Fonction objectif}) \dots \dots \dots (1)$$

- Dans ce cas les variables de décision : (D , H)
- $H \leq 18$
- Le volume de réservoir : $\frac{\pi}{4}D^2H \leq 12000 \text{ m}^3$
- $D \leq 30.5$

NB : Les variables sont réelles donc sont des variables continus.

❖ On utilise le solveur Excel pour résoudre le problème d'optimisation facilement et on trouve les valeurs optimales de :

➤ $H = 12,9176434 \text{ m}$

➤ $S = 3427,86146 \text{ m}^2$

➤ $V = 9433,86146 \text{ m}^3$

➤ $D = 30,5 \text{ m}$

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude du régime de fonctionnement de la station de Béni Mansour en vue d'une extension de la raffinerie d'Alger de 40%, après la détermination du volume horaire nécessaire pour l'alimentation de la raffinerie, une étude hydraulique a été faite afin de déterminer la pression recommandée.

Vu que le pipe D'OBM et les équipements de la station SBM sont récents et gardent toujours leurs caractéristiques physiques, une étude a été élaborée sur la pompe afin d'améliorer leur performances pour appliquer le nouveau régime en gardant les mêmes installations actuelles de SBM, néanmoins l'application de cette méthode nécessite une PMS élevée de la ligne D'OBM.

A travers cette étude, nous avons découvert que la mise en place d'une cinquième pompe est la méthode la plus efficace et la plus économique pour l'application du régime proposé.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) KSB Aktiengesellschaft, Zentrale Kommunikation (V5), D-67225 Frankenthal (Pfalz) Allemagne (détermination des pompes centrifuge).
- 2) WILO AG Nortkirchenstraße 10044263 Dortmund Germany (principes fondamentaux de technologie des pompes).
- 3) Manuel d'exploitation de la station de Béni Mansour.
- 4) Cours de formation de l'institut Algérien du pétrole avril 2016 (cours de Dr. Ben Mounah, Dr. Belehssan et Dr. rezougue).
- 5) Cours formation total et l'IFP.
- 6) LAUNAY .J et PERROTIN .G « Stations de pompage, Liquides à pression moyenne » Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique. Edition PYC. France.
- 7) Document GUINARD (pompe centrifuge).
- 8) Documentation de sonatrach.
- 9) TURBOMACHINES Hydrauliques et Thermiques, Rabah HAOUI, Dar Assabille /2009
- 10) Fichier PDF : MACHINES HYDRAULIQUES Classification et Définitions (<http://www.almohandiss.com/>)