

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Schlumberger



Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherches Science de l'EAU

Entreprise: Schlumberger

Mémoire de master en Hydraulique

Dimensionnement du réseau de distribution des hydrocarbures du champ Hassi Guettar

Réalisé par : Mlle. Lilia Kheliouen

Sous la direction de : Mr. Salim Benziada

Présenté et soutenu publiquement le : 02/07/2017

Composition du Jury :

Président	Mr. A. KETTAB	Professeur	Ecole Nationale Polytechnique
Promoteurs	Mr. S. BENZIADA	M.A.A	Ecole Nationale Polytechnique
Examineur	Mr. R. MESSAHLI	M.A.A	Ecole Nationale Polytechnique
Invitée	Mme. S. Gherbi	Account Manager	SCHLUMBERGER

ENP 2017

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Schlumberger



Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherches Science de l'EAU

Entreprise: Schlumberger

Mémoire de master en Hydraulique

Dimensionnement du réseau de distribution des hydrocarbures du champ Hassi Guettar

Réalisé par : Mlle. Lilia Kheliouen

Sous la direction de : Mr. Salim Benziada

Présenté et soutenu publiquement le : 02/07/2017

Composition du Jury :

Président	Mr. A. KETTAB	Professeur	Ecole Nationale Polytechnique
Promoteurs	Mr. S. BENZIADA	M.A.A	Ecole Nationale Polytechnique
Examineur	Mr. R. MESSAHLI	M.A.A	Ecole Nationale Polytechnique
Invitée	Mme. S. Gherbi	Account Manager	SCHLUMBERGER

ENP 2017

Dédicaces

Je dédie cette thèse,

A mes très chers parents, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut vos efforts fournis jour et nuit pour mon bien être. Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère soeur Mounia, son mari Hamza et à mon petit neveu chéri, je vous dédie ce travail en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, et en guise de remerciement pour votre soutien sans égale et votre affection si sincère.

A mon petit frère Rayan, Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour, en te remerciant pour ta présence ainsi que ton soutien, et en espérant être un modèle pour toi.

A Mehdi, je te dédie ce travail en te remerciant profondément pour tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, tes précieux conseils et encouragements durant tout mon parcours universitaire.

A ma très chère tante Leleti, merci pour ton affection et ton soutien si précieux, et d'avoir été présente dans les bons et les mauvais moments de notre vie.

A ma grand-mère paternelle Mouni, et à la mémoire de mes grands-parents maternels qui sans aucun doute seraient très fières de ma réussite.

A tous les membres de ma famille, petits et grands. Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mes chers amis et camarades de l'Ecole Préparatoire en science et technique d'Oran, et de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

A tous les enseignants de l'ENP et de l'EPSTO. Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu je présente mes remerciements à mon encadreur Monsieur Benziada pour son soutien qui m'a été précieux afin de mener mon travail à bon port.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes plus profonds remerciements vont à mes très chers parents, ma famille, et toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet.

ملخص

لاستغلال النفط، يجب أن تذهب من خلال مركز للعلاج تقع عادة في غضون كيلومترا من حقول الآبار، لذلك يجب أن يمر أولا محطة ضخ النفط والغاز التي من شأنها تعزيز أجل مواصلة الطريق نحو هذه المراكز، والتي تمر عبر خطوط الأنابيب أبعادها بعناية كما ضغط وتدفق المطلوبة.

بهدف زيادة الإنتاج في حقل في حاسي مسعود، كان الحجم وحدة ضخ جديدة، وهذا يعني عشرة سنتات شبكة التوزيع الحجم المصب من المضخة، لماذا لدينا العمل هو الحصول على أنابيب قطرها المثلى وتغيير حجمها بحيث نظام (مضخة + التوزيع) للعمل في أفضل الظروف.

الكلمات الرئيسية : نفط, أنابيب, الضغط, تدفق, زيادة الإنتاج.

Abstract

In order to proceed with the exploitation of the oil, it must pass through a treatment center generally located some kilometers from the catchment area. To do this, it must first pass through a hydrocarbon pumping station which would enable him to gain energy in order to continue the way towards these centers, while passing through pipelines meticulously designed according to the requirements of pressure and flow.

With a view to increasing production, at the HGA field located in Hassi Messaoud, a new pumping unit has been dimensioned, this has resulted in a distribution network sized downstream of the pump, for this purpose Our job is to find the optimum diameter of the pipelines and to resize them so that the system (pumping + distribution) can function in the best conditions.

Keywords: oil, pipelines, pressure, flow, increasing production.

Résumé

Afin de procéder à l'exploitation du pétrole, ce dernier doit obligatoirement passer par un centre de traitement généralement situé à quelques kilomètres du champ de captage. Pour cela, il doit d'abord passer par une station de pompage d'hydrocarbures qui lui permettrait de gagner en énergie afin de poursuivre le chemin en direction de ces centres, et ce en passant à travers des pipelines minutieusement dimensionnés selon les besoins en pression et en débit.

Dans une perspective d'augmentation de la production, au niveau du champ HGA situé à Hassi Messaoud, une nouvelle unité de pompage a été dimensionnée. Cela a eu pour conséquence un réseau de distribution sous dimensionné à l'aval de la pompe. Notre travail consiste à chercher le diamètre optimal des pipelines et de les redimensionner afin que le système (pompage + distribution) puisse fonctionner dans les meilleurs conditions.

Mots clefs : Pétrole, pipelines, pression, débit, augmentation de la production

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Nomenclature et Symboles grecs

Introduction générale **10**

Problématique **11**

1. Généralités sur les hydrocarbures	13
1.1. Définitions préliminaires	13
1.2. L'histoire du pétrole	14
1.3. Origine du pétrole	14
1.4. La formation du pétrole	14
1.4.1. Les roches mères	14
1.4.2. La migration des hydrocarbures	14
1.4.3. Les roches réservoirs	15
1.5. Conclusion	16
2. Ecoulement et mise en équations	18
2.1. Introduction	18
2.2. Ecoulement monophasique	18
2.2.1. Concept de fluide	18
2.2.2. Axiomes de base sur la nature du milieu fluide	18
2.2.3. Equation de la mécanique des fluides	19
2.2.4. Caractéristique des fluides	20
2.2.5. Propriétés des fluides	20
2.2.6. Régime d'écoulement d'un fluide incompressible	22
2.2.7. Calcul des pertes de charges	23
2.3. Conclusion	27
3. Description de la zone d'étude	29
3.1. Introduction	29
3.2. La région de Hassi Messaoud	29
3.3. Situation géographique et géologique de Hassi Guettar	29
3.4. Aspect stratigraphique de la région	30
3.5. Aspect pétrolier	32
3.6. Conclusion	32
4. Synthèse du dimensionnement du système de pompage	34
4.1. Introduction	34
4.2. Définition de l'HPS	34
4.3. Synthèse de dimensionnement de l'unité HPS	35
4.3.1. Objectif	35
4.3.2. Unité dimensionnée	35

4.4.	Conclusion	36
5.	Résolution du cas pratique	38
5.1.	Introduction	38
5.2.	Méthode de calcul	38
5.2.1.	Calcul du point de fonctionnement pour le diamètre actuel D= 8 inchs.....	39
5.2.2.	Calcul du point de fonctionnement pour un diamètre D= 10 inchs	42
5.2.3.	Calcul du point de fonctionnement pour un diamètre D= 12 inchs	45
5.3.	Conclusion et propositions	48
	Conclusion générale	49
	Bibliographie	50
	Annexe	51

Liste des tableaux

5.1	Calcul du point de fonctionnement D= 8 inchs	40
5.2	Calcul du point de fonctionnement D= 10 inchs	43
5.3	Calcul du point de fonctionnement D= 12 inchs	46
5.4	Diamètres commerciaux selon les normes américaines	48

Liste des figures

1.1	Migration primaire et secondaire du pétrole	15
1.2	Système pétrolier fonctionnel	16
2.1	Profil de vitesse de l'écoulement d'un fluide visqueux sur une paroi plane.....	22
2.2	Les différents régimes d'écoulement.....	22
2.3	Schéma d'une conduite cylindrique.....	24
2.4	Abaque de Moody.....	26
3.1	Situation géographique du gisement de HASSI GUETTAR.....	30
3.2	Colonne stratigraphique du champ de Hassi Messaoud.....	31
4.1	Représentation du système HPS.....	34
4.2	Courbe caractéristique de la pompe J350N.....	35
5.1	Courbe caractéristique de la pompe.....	39
5.2	Courbe des pertes de charge du réseau pour D= 8 inchs.....	41
5.3	Point de fonctionnement pour D= 8 inchs.....	42
5.4	Courbe des pertes de charge du réseau pour D= 10 inchs.....	44
5.5	Point de fonctionnement pour D= 10 inchs.....	44
5.6	Courbe des pertes de charge du réseau pour D= 12 inchs.....	47
5.7	Point de fonctionnement pour D= 12 inchs.....	47

Nomenclature

Q : Débit volumétrique (m^3/j)

V : Vitesse moyenne des particules fluides (m/s)

S : Section d'écoulement (m^2).

E_M : Energie mécanique (J)

E_P : Energie potentielle (J)

E_C : Energie cinétique (J)

W_{FF} : Travail des forces de frottement (J)

D : Diamètre de la conduite (m)

L : Longueur de la conduite (m)

J_s : Pertes de charge singulières (m)

J_l : Pertes de charge linéaires (m)

H : Charge hydraulique (m)

g : Accélération de la pesanteur ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Symboles grecs

ρ : Masse volumique du fluide (Kg/m^3)

χ_T : Coefficient de compressibilité (Pa^{-1})

β : Coefficient de dilatabilité (K^{-1})

ε : Rugosité relative de la conduite (mm)

μ : Viscosité dynamique ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

λ : Coefficient de perte de charge

Introduction générale

Le pétrole est une roche liquide carbonée, ou huile minérale. L'exploitation de cette énergie fossile est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine ; le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides. On l'utilise beaucoup pour l'industrie plastique et toutes sortes de dérivés.

Le pétrole et le gaz naturel peuvent être extraits en milieu terrestre ou marin. Avant d'être livrés aux consommateurs, ces corps subissent plusieurs étapes de transformations. Ils sont d'abord extraits des profondeurs de la terre, transportés jusqu'aux usines de traitement ou on les débarrasse des corps étrangers. C'est après ces opérations que ces produits peuvent être utilisés par les consommateurs.

Le transport par canalisation prend une importance de plus en plus grande à l'échelle nationale comme à l'échelle mondiale, à cause de l'augmentation constante des quantités des produits transportés et des consommations en énergie.

C'est dans cette optique, notre étude consiste à dimensionner un réseau de canalisation permettant de transporter le pétrole de la station de pompage situé au champ HGA vers le centre de traitement, pour ce faire nous allons adopter les chapitres suivants :

En premier lieu nous traiterons des généralités sur les hydrocarbures afin de définir la nature du fluide étudié, nous passerons par la suite au second chapitre intitulé écoulement et mise en équation. Nous décrirons la zone d'étude dans laquelle notre travail s'est effectué, et nous synthétiserons dans un quatrième chapitre le dimensionnement du nouveau système de pompage, qui se suivra d'un dernier chapitre intitulé résolution du cas pratique. Nous achèverons notre travail avec une conclusion générale.

Problématique

Le pétrole est l'une des ressources les plus importantes et stratégiques dans le monde actuel. Depuis des milliers d'années avant Jésus Christ, certains peuples dont ceux de la Mésopotamie l'ont utilisé comme source d'énergie.

Avec l'essor du machinisme ce produit est très recherché et est même devenu précieux, au point qu'on l'appelle « or noir ».

Actuellement, c'est la première source d'énergie mondiale qui satisfait la demande totale d'énergie commerciale (c'est-à-dire produit pétrolier, électricité, gaz, charbon noir, etc....)

Durant ces dernières années, le pétrole, produit échangé dans le monde entier, connaît une forte demande vu les besoins des populations qui ne cessent d'accroître.

En Algérie, le champ de Hassi Messaoud est l'un des plus grands champs pétroliers dans le monde, couvrant une superficie de plus de 2072 km² ; l'huile de stockage initialement en place est estimée à 41 milliards de barils.

Soit un champ Hassi Guettar comportant un réseau de surface, où se fait la collecte de la production de 7 puits à faible pression de tête et d'un manifold. L'objectif de ce champ et de booster les hydrocarbures vers un centre de traitement situé à 1km de HGA.

Etant donnée l'augmentation de la production au niveau du champ HGA, une nouvelle pompe a été dimensionnée afin de répondre aux besoins futurs. Cependant, nous ne pouvons exclure la possibilité que le réseau de distribution présent dans le circuit aval de la pompe ne puisse plus transporter ce nouveau débit allant jusqu'à 2000m³/j à cette nouvelle pression de 24 bars. Pour cela nous sommes dans l'obligation de calculer les pertes de charge au niveau de ce réseau et de tracer la courbe de ce dernier afin de déterminer le point de fonctionnement qui se rapprochera le plus du débit et de la pression voulus et ainsi déterminer le diamètre de fonctionnement optimal.

Chapitre 1

Chapitre 1

Généralités sur les hydrocarbures

1.1 Définitions préliminaires

Pétrole Le pétrole, du latin "petra" et "oleum", soit « huile de pierre » est une huile minérale naturelle utilisée comme source d'énergie. Il est issu d'un mélange variable d'hydrocarbure (molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène) associé à d'autres atomes, principalement de soufre, d'azote et d'oxygène. Certains de ses composants peuvent être gazeux, liquides et parfois solides selon la température et la pression. Cela explique la consistance variable du pétrole, plus ou moins visqueuse ou liquide ;

Hydrocarbure un composé organique constitué exclusivement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Leur formule brute est donc de la forme : C_nH_m , sachant que n et m sont deux entiers naturels ;

Pétrole brut Pétrole non transformé ;

Gisement un gisement est une concentration d'une ressource naturelle dans le sol ou le sous-sol que l'on peut exploiter en construisant une mine à ciel ouvert, souterraine et/ou des puits de forage ;

Viscosité La viscosité peut être définie comme la résistance à l'écoulement d'un liquide. Elle influence ainsi la propagation d'une nappe d'hydrocarbures à la surface de l'eau. Des hydrocarbures pétroliers ayant une faible viscosité sont très fluides et se propagent rapidement, rendant leur confinement difficile. Notons que la viscosité est influencée par la température. En effet, plus la température est faible, plus la viscosité est élevée ;

Perméabilité La perméabilité d'un matériau (une roche, un tissu, etc.) correspond à son aptitude à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de pression ;

Porosité propriété d'un milieu, d'un sol ou d'une roche de comporter des vides (pores) connectés ou non. Elle est exprimée par le rapport du volume des pores au volume global du milieu.

1.2 L'histoire du pétrole

Le pétrole est connu et utilisé depuis la plus haute Antiquité. Il forme des affleurements dans les lieux où il est abondant en sous-sol ; ces affleurements ont été utilisés de nombreuses façons : calfatage des bateaux, ciment pour le pavage des rues, source de chauffage et d'éclairage, et même produit pharmaceutique. Sa distillation, décrite dès le Moyen Âge, donne un intérêt supplémentaire à ce produit pour les lampes à pétrole. À partir des années 1850, le pétrole fait l'objet d'une exploitation et d'une utilisation industrielle. Il est exploité en 1857 en Roumanie, en 1859 aux États-Unis, dans l'État de Pennsylvanie, et en 1861 à

Borislav en Ukraine. À partir de 1910, il est considéré comme une matière première stratégique, à l'origine de la géopolitique du pétrole. La période 1920-1970 est marquée par une série de grandes découvertes de gisements, particulièrement au Moyen-Orient, qui fait l'objet de toutes les convoitises. Les marchés des produits pétroliers se développent également; outre les carburants comme l'essence, le gazole et le fioul lourd, qui accompagnent l'essor des transports dans leur ensemble, l'industrie pétrolière génère une myriade de produits dérivés, au nombre desquels les matières plastiques, les textiles et le caoutchouc artificiels, les colorants, les intermédiaires de synthèse pour la chimie et la pharmacie. Ces marchés permettent de valoriser la totalité des composants du pétrole. [Wikipédia]

En Algérie, le pétrole a été découvert pour la première fois en janvier 1956 à Edjeleh dans la région d'In-Amenas. La découverte du plus grand champ pétrolifère à Hassi-Messaoud est intervenue en juin de la même année par la société nationale de la recherche et d'exploitation du pétrole en Algérie (S.N. REPAL).

1.3 Origine du pétrole

L'origine du pétrole est envisagée par deux théories, l'une inorganique et l'autre organique. D'après la théorie inorganique avancée par D. Mendeleïev, la matière pétrolifère première se forme au sein de la terre par interaction des eaux souterraines avec les carbures de fer incandescents. Sous l'action durable des températures élevées, cette matière première se transforme progressivement en pétrole et en gaz. Toutefois cette théorie simple n'est confirmée ni par la composition ni par la distribution des champs pétrolifères dans l'écorce terrestre.

D'après la théorie organique, partagée par la plupart des savants, le pétrole et le gaz se font formés à partir des restes organiques des algues marines les plus simples et d'autres organismes. En mourant, les algues et les autres organismes tombent au fond des bassins et s'accumulent dans la couche des roches sédimentaires. A mesure qu'ils se déplacent en profondeur, la température et la pression de la roche augmentent, et sous leur action de matières organiques se transforment en pétrole et en gaz. [1]

1.4 La formation du pétrole

Pour que le pétrole et le gaz puissent former des gisements au sein de la terre, certaines conditions doivent être remplies : la présence d'une "roche-mère", des conditions favorables à leur transformation, des voies de migration, des réservoirs, et enfin un piège, où il sera bloqué avant d'atteindre la surface.

1.4.1. Les roches mères

Dans les profondeurs de la Terre, le pétrole et le gaz naturel naissent d'une transformation de la matière organique de plantes ou d'animaux morts. Leur genèse s'étale sur des millions d'années et nécessite des conditions de pression et de température particulières.

1.4.2. La migration des hydrocarbures

A partir de la roche mère où elles sont nées, les molécules d'hydrocarbures, de par leur légèreté, entament un parcours ascendant vers la surface. Elles se concentrent dans les roches

poreuses et sont bloquées par les roches imperméables. Ainsi se créent les gisements de pétrole et gisement de gaz.

Dans la roche mère, les hydrocarbures présentent un volume et une pression plus importants que le kérogène initial. Peu à peu, ils sont « expulsés » dans les couches rocheuses imbibées d'eau qui jouxtent la roche mère. Plus légers que l'eau contenue dans ces roches, le gaz et l'huile se déplacent vers la surface en circulant entre les particules minérales des roches. Ce mouvement lent et continu est appelé migration.

Cette migration est difficile. La vitesse dépend de la perméabilité de chaque roche qu'ils traversent et de la taille des molécules (les molécules de gaz ont une ascension plus rapide que les molécules de pétrole). En outre, une partie des hydrocarbures est stoppée, soit parce qu'ils se dissolvent dans l'eau contenue dans les roches traversées (cela affecte surtout le gaz), soit parce qu'ils adhèrent aux grains qui composent ces roches. Ce phénomène se nomme « pertes de migration ». Ces pertes peuvent être très importantes, surtout si l'huile et le gaz parcourent un long trajet au cours de leur progression. De ce fait, une partie des hydrocarbures issus des roches mères ne pourra jamais faire l'objet d'une exploitation pétrolière.

On distingue deux migrations successives: migration primaire et migration secondaire [2].

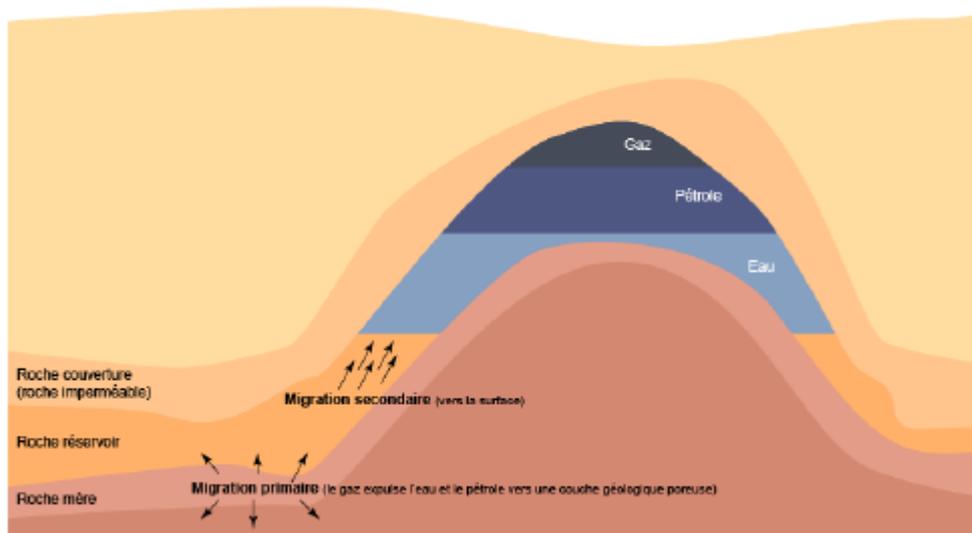


Figure 1.1 - Migration primaire et secondaire du pétrole

1.4.3. Les roches réservoirs

La constitution d'un gisement d'hydrocarbures nécessite en premier lieu une roche réservoir. C'est dans ces roches poreuses et perméables que les molécules d'hydrocarbures sont susceptibles de s'accumuler en grandes quantités.

Les roches sédimentaires sont formées de particules solides qui se sont déposées dans l'eau d'une mer, d'un océan, d'un lac ou d'une lagune. Selon la taille de ces particules, les roches ne présentent pas le même aspect : les grains très grossiers donnent des graviers, les grains plus petits donnent des sables, les grains les plus fins composent des argiles ou des boues.

Au sein des roches, on trouve aussi des espaces vides qui définissent leur porosité : plus le pourcentage de vide est important au cœur d'une roche, plus celle-ci est poreuse, comme la pierre ponce par exemple qui peut contenir beaucoup de fluides (eau, pétrole ou gaz).

Les espaces ou pores sont plus ou moins interconnectés entre eux – ce que l'on appelle la perméabilité, qui donne la capacité aux fluides de traverser la roche.

L'association de ces deux qualités au sein d'une même roche n'est pas systématique. Les ingénieurs d'exploration pétrolière recherchent les roches réservoirs, appelées tout simplement « réservoirs », qui combinent ces deux qualités : avec une bonne porosité on peut obtenir une grande quantité d'hydrocarbures et avec une bonne perméabilité, l'exploitation sera plus aisée grâce à un déplacement facile des hydrocarbures dans la roche. Mais le gisement d'hydrocarbures ne se formera que si la roche réservoir est surmontée d'une couche de roches imperméables empêchant la remontée verticale du pétrole et du gaz vers la surface, et qu'elle forme un volume fermé, empêchant leur remontée latérale. On appelle roche couverture cette roche qui fait office de barrière et piège les hydrocarbures.

Si les argiles et les couches de sels (évaporites) cristallisés forment les meilleures roches couvertures, toute roche suffisamment imperméable peut faire office de roche couverture, à l'instar de certains carbonates très compacts.

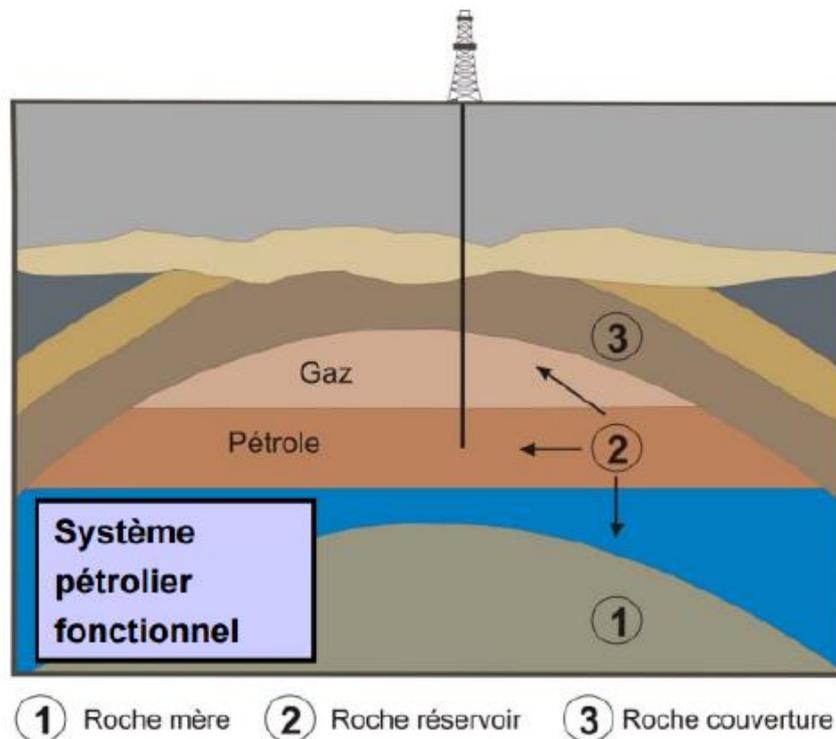


Figure 1.2 - Système pétrolier fonctionnel

1.5. Conclusion

L'accroissement des besoins en énergie a eu pour effet l'épuisement des gisements pétroliers et le changement de leur mode d'écoulement qui ne se fait plus naturellement, les rendant de plus en plus inaccessibles. C'est pour cela qu'une modélisation des différents types d'écoulement et leur mise en équation s'impose afin de mieux les exploiter tout en réalisant du profit.

Chapitre 2

Chapitre 2

Écoulement et mise en équations

2.1. Introduction

En génie pétrolier, les écoulements gaz-liquide (multiphasiques) sont fréquemment rencontrés surtout dans l'exploitation des gisements. L'exploitation des gisements pétroliers peut être faite naturellement sous l'effet de la force exercée par le gaz sur le pétrole, ou artificiellement en injectant du gaz sous pression dans la poche du gisement.

Dans le cadre de notre étude on s'intéressera particulièrement aux fluides monophasiques.

2.2. Écoulement monophasique

2.2.1. Concept de fluide

On désigne sous le nom de fluides des milieux « facilement déformable », comme les liquides et gaz. La notion de fluides s'oppose à celles des solides. Cette distinction, qui rejoint celle de la physique élémentaire entre les différents états de la matière, solide, liquide, gaz est fondée sur le comportement mécanique de ces corps. On peut ainsi définir les fluides comme des milieux matériels pouvant être déformés de façon quelconque à partir d'efforts dont la valeur peut être aussi réduite que l'on veuille, par le choix d'une vitesse de déformation suffisamment faible.

Ainsi, à l'opposé de ce qui se passe dans les solides, il n'existe pas de seuil de contrainte pour obtenir une déformation donnée.

2.2.2. Axiomes de base sur la nature du milieu fluide

On précise dans ce qui suit les caractères et les limites des différentes hypothèses faites quant à la nature du milieu fluide.

Hypothèse de continuité Continuité du milieu et de ces transformations. Les fluides seront considérés comme des milieux continus, c'est-à-dire des milieux dont les caractéristiques physiques (vitesse, contrainte, température etc...) varient de façon continue d'un point à un autre. La conservation de cette continuité au cours du temps, implique également la continuité des transformations du milieu de façon à ce que deux éléments de fluides en contact à un instant initial le demeurent à tout instant ultérieur et réciproquement. Ces hypothèses qui correspondent au point de vue macroscopique habituel de la mécanique, tant que l'échelle des phénomènes considérés est très supérieure à celle des mécanismes élémentaires que l'on rencontre au niveau moléculaire. Elles sont par contre en défaut pour les écoulements à basse densité, au travers des milieux poreux, dans les phénomènes d'onde de choc, de diffusion moléculaire, etc...

Homogénéité- isotropie Les fluides purs sous une seule phase sont en général des milieux **Homogène** et isotropes pour la plupart de leurs propriétés physiques, en ce sens que ces propriétés sont les mêmes en tout point du fluide et sont indépendantes de la direction considérée.

Les mélanges de deux ou plusieurs gaz, ou encore les liquides parfaitement miscibles, constituent également du point de vue macroscopique des milieux homogènes et isotropes.

2.2.3 Equations de la mécanique des fluides

Equation de continuité

L'équation de continuité traduit le principe de conservation de la masse du fluide au cours de l'écoulement, autrement dit il n'y aura ni apport ni prélèvement de la matière pour un volume de contrôle donnée.

La masse de volume qui rentre par unité de temps, est égale à la masse de volume qui sort par unité de temps.

On peut traduire cela par l'équation suivante, dite équation de continuité :

$$Q = V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad (2.1)$$

Avec :

Q : débit écoulé m³/s.

V₁, V₂ : vitesses moyennes des particules fluides.

S₁, S₂ : sections d'écoulement.

Equation du mouvement

les équations de Navier-Stokes sont des équations aux dérivées partielles non linéaires qui décrivent le mouvement des fluides « newtoniens » (liquide et gaz ordinaires) dans l'approximation des milieux continus.

En écrivant la somme des forces qui 'exercent sur un élément fluide en mouvement permanent, et en moyennant un certain nombre d'hypothèse, on aboutit aux équations suivantes :

$$\left[\begin{array}{l} \frac{1}{\rho} * \frac{\partial P}{\partial x} = X - \frac{\partial u}{\partial t} - \mu \Delta u \\ \frac{1}{\rho} * \frac{\partial P}{\partial y} = Y - \frac{\partial v}{\partial t} - \mu \Delta v \\ \frac{1}{\rho} * \frac{\partial P}{\partial z} = Z - \frac{\partial w}{\partial t} - \mu \Delta w \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Avec :

$\frac{1}{\rho} \vec{\text{grad}} P$: Forces de pression.

$\vec{F}(X, Y, Z)$: Force extérieurs rapportées à l'unité de masse.

$\vec{V}(U, V, W)$: vecteur vitesse d'écoulement.

μ : viscosité dynamique (m^2/s)

2.2.4. Caractéristiques des fluides

Fluide parfait

Soit une molécule constituant un fluide. Considérons $d\vec{F}$ la force de l'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de la particule de normale n entre la molécule et le milieu extérieur. La force $d\vec{F}$ peut être décomposée en une composante tangentielle $d\vec{F}_T$ et une composante normale $d\vec{F}_N$ à la surface dS .

Un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte l'effet de frottement. C'est-à-dire que la composante $d\vec{F}_T$ est nulle. Autrement dit, la force est normale à l'élément de surface dS .

Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est utilisée que pour simplifier les calculs, les forces de frottement interne qui s'oppose au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération dans un fluide réel. Néanmoins, quand un fluide est au repos, il peut être considéré comme étant un fluide parfait.

Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles.

Fluide compressible

Un fluide est considéré comme compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles. [4]

2.2.5. Propriétés des fluides

Nous allons parler des fluides Newtoniens, c'est-à-dire équivalent à milieu matériel, homogène, continu et isotrope, pour lesquels les relations de comportement contraintes-déformations sont des fonctions linéaires.

Masse volumique-Compressibilité, Dilatabilité

La masse volumique ρ dépend de la pression et de la température. On définit un coefficient χ_T de compressibilité et un coefficient β de dilatabilité tel que :

$$\chi_T = \frac{1}{\rho} * \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T \quad (2.3)$$

Et

$$\beta_p = \frac{1}{v} * \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad (2.4)$$

Pour les liquides on peut en général négliger la variation de la masse volumique en fonction de la pression $\chi_t=0$. L'influence de la température doit quant à elle être prise en compte dans les problèmes de convection naturelle, ou lors de la traversée d'échangeurs de chaleurs conduisant à un échauffement ou à un refroidissement important ($\Delta T > 50^0$). Dans tous les autres cas, un liquide peut être considéré comme incompressible ($\rho = \text{constante}$), et par suite, le principe de conservation du débit masse \dot{m} s'identifie au principe de conservation du débit volume V [3]

$$m = \rho * V \quad (2.5)$$

Les gaz occupent quant à eux tout le volume qui leurs est disponible. Ce sont donc des fluides compressibles. Pour un gaz parfait on a :

$$\chi_t = \frac{1}{p} \quad \text{et} \quad \beta = \frac{1}{T}$$

Viscosité

- Viscosité dynamique

Si un fluide s'écoule le long d'une paroi rigide, la vitesse d'écoulement des molécules en contact avec cette paroi est assimilée à la valeur nulle sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules et cette paroi. De ce fait, chaque molécule repérée par la position z sur l'axe perpendiculaire à la paroi ralentit les molécules adjacentes mais se trouvant à une distance $z+dz$. Cela donne lieu à des vitesses d'écoulement qui sont fonction de la distance z . Autrement dit, le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres et à des vitesses différentes.

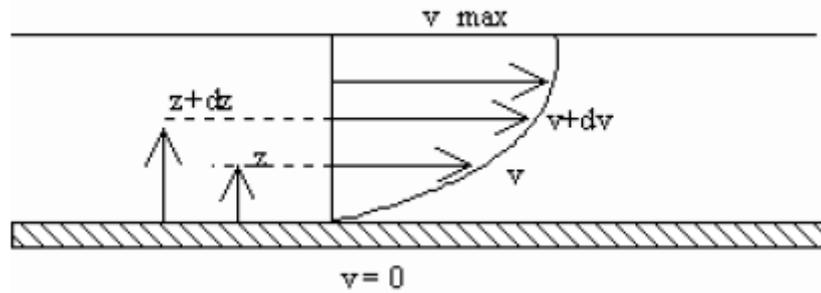


Figure 2.1 - Schéma représentant le profil de vitesse de l'écoulement d'un fluide visqueux sur une paroi plane

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force F exercée par le courant sur la paroi rigide de la surface S et la variation de vitesse ΔV entre deux couches s'écoulant à une distance Δz l'une de l'autre, tel que :

$$F = \mu * S * \frac{\Delta V}{\Delta Z} \quad (2.6)$$

Avec, F : Force de glissement entre les couches en (N) ; μ : Viscosité dynamique en (kg/m.s) ; S : Surface de contact entre deux couches en (m²) ; ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s) ; Δz : Distance entre deux couches en (m).

- **Viscosité cinématique**

La viscosité cinématique est le quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide. [4]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.7)$$

2.2.6. Régime d'écoulement d'un fluide incompressible

Nous allons procéder par l'injection d'un volume de fluorescéine dans l'axe d'un tube horizontal parcouru par l'eau, afin de pouvoir définir la trajectoire des particules d'eau, et ainsi le régime d'écoulement suivant le débit du liquide (c'est-à-dire suivant la vitesse car la section d'écoulement reste constante). Les résultats observés sont les suivants :

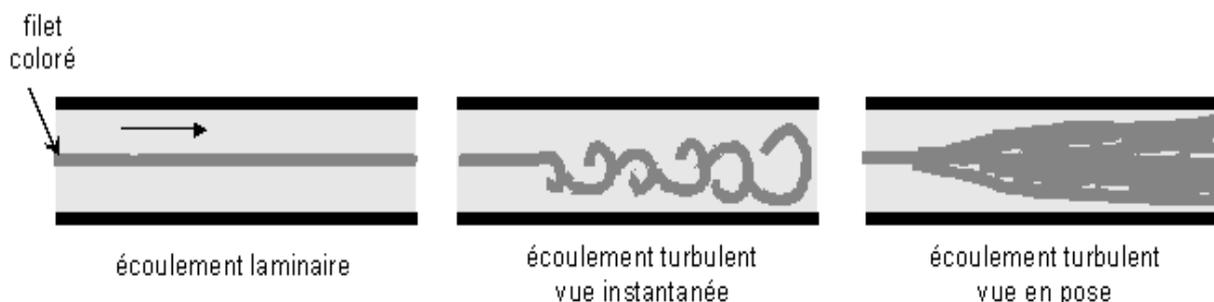


Figure 2.2 - Les différents régimes d'écoulement

- **Régime laminaire** dans ce régime la vitesse d'écoulement est suffisamment faible on constate un filet coloré, parfaitement net, très bien délimité et qui ne se mélangent pas au filet voisin. C'est la preuve que la masse liquide en mouvement est constituée de filet liquide parallèle et qui ne se mélange pas.
- **Régime transitoire** l'augmentation de la vitesse d'écoulement à travers le tube, provoque des vibrations et des oscillations au niveau du filet coloré, il devient instable et sinueux.
- **Régime turbulent** dans ce régime la vitesse d'écoulement s'accroît davantage, le filet coloré se rompt. Les particules le constituant se dispersent sous l'effet de mouvements transversaux désordonnés qui finissent par donner une couleur uniforme à toute la masse liquide en mouvement dans le tube en verre.

Nombre de Reynolds un nombre adimensionnel qu'Osborne Reynolds a proposé en 1883 suite à son expérience caractérisant les différents régimes d'écoulement, Si V est la vitesse moyenne de l'écoulement dans le tube, D le diamètre du tube et ν Le coefficient de viscosité cinématique du liquide en mouvement, on désigne par nombre de Reynolds le rapport entre les forces d'inerties et les forces visqueuses tel que :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.8)$$

- Si $Re < 2000$ le régime est laminaire.
- Si $2000 < Re < 2300$ le régime est transitoire.
- Si $Re > 2300$ le régime est turbulent.

2.2.7. Calcul des pertes de charge

Perte de charge linéaire

Considérons un écoulement entre deux points (1) et (2) d'un fluide réel dans une conduite. Les hypothèses de l'écoulement sont les suivantes :

- le fluide est réel et incompressible : ceci sous-entend qu'il existe des force dues au frottement visqueux qui génère un travail négatif et donne naissance aux pertes de charge
- l'écoulement est permanent : les caractéristiques de l'écoulement ne changent pas en fonction du temps.

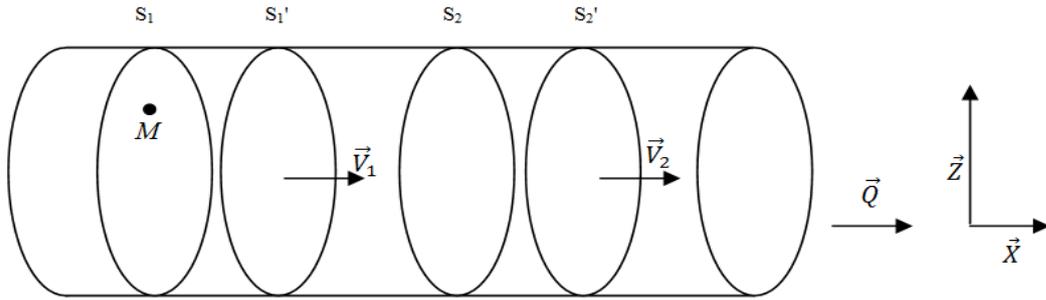


Figure 2.3 - Schéma d'une conduite cylindrique

On désigne par :

S_1 et S_2 respectivement la section d'entrée et la section de sortie du fluide à l'instant t ,

S_1' et S_2' respectivement les sections d'entrée et de sortie du fluide à l'instant $t' = (t + dt)$, et

V_1 et V_2 les vecteurs vitesse d'écoulement respectivement à travers les sections S_1 et S_2 de la conduite.

dx_1 et dx_2 respectivement les déplacements des sections S_1 et S_2 pendant l'intervalle de temps dt ,

dm_1 : masse élémentaire entrante comprise entre les sections S_1 et S_1' ,

dm_2 : masse élémentaire sortante comprise entre les sections S_2 et S_2' ,

M : masse comprise entre S_1 et S_2 ,

dV_1 : volume élémentaire entrant compris entre les sections S_1 et S_1' ,

dV_2 : volume élémentaire sortant compris entre les sections S_2 et S_2' ,

On considère un axe Z verticale dirigé vers le haut. On désigne par $Z_{1,2}$ et Z respectivement les altitudes des centres de gravités des masses dm_1 , dm_2 et M .

On désigne par F_1 et F_2 respectivement les normes des forces de pression au niveau des sections S_1 et S_2 .

A un instant t , le fluide de masse $(dm_1 + M)$ est compris entre S_1 et S_2 .

Son énergie mécanique est de :

$$E_M = E_P + E_C = (dm_1 * g * Z_1 + M * g * Z) + \frac{1}{2} dm_1 * V_1^2 + \int_{S_2}^{S_1} \frac{dm * V^2}{2} \quad (2.9)$$

A l'instant $t' = (t + dt)$, le fluide de masse $(dm_2 + M)$ se trouve entre les deux sections S_1' et S_2' .

Son énergie mécanique est donnée par :

$$E'_M = E'_p + E'_c = (dm_2 * g * Z_2 + M * g * Z) + \frac{1}{2} dm_2 * V_2^2 + \int_{S'_2}^{S'_1} \frac{dm * V^2}{2} \quad (2.10)$$

En appliquant le théorème de l'énergie mécanique entre les instants t et t' qui dit : « La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces extérieures ».

D'après les hypothèses, le fluide est réel donc, on prendra en considération les forces de pression ainsi que les forces de frottement visqueux.

$$E'_M - E_M = W_{FP} + \sum W_{FF} = F_1 * dx_1 - F_2 * dx_2 + \sum W_{FF} \quad (2.11)$$



$$E'_M - E_M = P_1 * S_1 * dx_1 - P_2 * S_2 * dx_2 + \sum W_{FF} = P_1 * dV_1 - P_2 * dV_2 + \sum W_{FF} \quad (2.12)$$

Après simplification on aboutit à :

$$dm_2 * g * Z_2 + \frac{1}{2} dm_2 * V_2^2 - dm_1 * g * Z_1 - dm_1 * V_1^2 = \frac{P_1}{\rho_1} * dm_1 - \frac{P_2}{\rho_2} * dm_2 + \sum W_{FF} \quad (2.13)$$

Or, par principe de conservation de la masse on sait que : $dm_1 = dm_2 = dm$.

Aussi, le fluide est incompressible donc : $\rho_1 = \rho_2 = \rho$.

Enfin, après intégration dm suivant on aboutit à l'équation de Bernoulli :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + g * (Z_2 - Z_1) = \frac{\sum W_{FF}}{dm} \quad (2.14)$$

De là, on considère $J_{12} = \frac{\sum W_{FF}}{dm}$ comme étant la perte de charge par unité de masse due au frottement visqueux entre le point (1) et (2).

Sachant les pertes de charge linéaire sont proportionnelles à la longueur de la conduite et inversement proportionnelles à son diamètre, mais aussi proportionnelles au carré de la vitesse d'écoulement du fluide. Elles peuvent s'exprimer comme suit :

$$J_l = - \lambda * \frac{V^2}{2} * \frac{L}{D} \quad (2.15)$$

Où, V : vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s) ; L : longueur de la conduite (m) ; D : diamètre de la conduite (m) ; λ : coefficient de perte de charge linéaire (il dépend du régime d'écoulement et notamment du nombre de Reynolds Re).

Les valeurs de λ diffèrent suivant le régime d'écoulement. Certains scientifiques ont proposé des formules empiriques, parmi ces formules on trouve entre autres :

Pour un écoulement laminaire ($Re < 2000$), λ est donné par la formule de Poiseuille :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.16)$$

Pour un écoulement turbulent lisse ($2300 < Re < 10^5$), λ est donné par la formule de Blasius :

$$\lambda = 0.316 * Re^{-0.25} \quad (2.17)$$

Pour un écoulement turbulent rugueux ($Re > 10^5$), λ est donné par la formule de Blench :

$$\lambda = 0.79 * \sqrt{\frac{k}{d}} \quad (2.18)$$

Avec, k : rugosité de la surface interne de la conduite (mm) ; d : diamètre intérieur de la conduite (mm).

Par contre, pour un écoulement transitoire, il aura fallu attendre la formule de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}}\right) \quad (2.19)$$

Avec ε : rugosité relative de la conduite.

Qui est de plus en plus utilisée en raison de son caractère universel, de ses bases expérimentales et théoriques et de la large gamme de variation du nombre de Reynolds à laquelle elle s'applique.

Vue la complexité de sa forme mathématique, l'emploi d'abaques et de tables facilite son emploi. Il suffit de faire correspondre le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement à la rugosité relative de la conduite pour trouver la valeur de λ . [5]

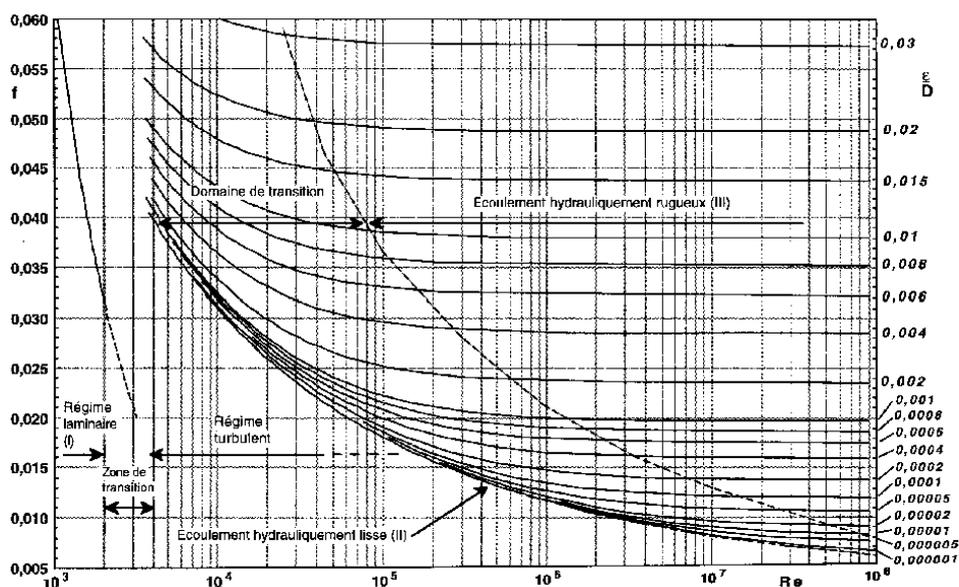


Figure 2.4 - Abaque de Moody [5]

Pertes de charge singulières

Ceux sont des pertes de charge provoquées par la présence de singularités le long d'un tronçon, telles que les changements rapides dans la direction ou l'amplitude de la vitesse du fluide, ainsi que de l'élargissement et la contraction de la canalisation, les coudes, les clapets anti-retour, les dispositifs contrôlant le débit (vanne, diaphragme..).

Des expériences avec de l'eau à grand nombre de Reynolds ont montré que les pertes de charge singulières varient proportionnellement au carré de la vitesse.

En conséquence ces pertes de charge sont exprimées par la relation suivante :

$$\Delta h_s = k * \frac{V^2}{2g} \quad (2.20)$$

Avec :

Δh_s : Perte de charge singulière en (m) ;

k : Coefficient adimensionnel qui dépend de la singularité ;

V : vitesse moyenne de l'écoulement en (m/s) ;

g : Accélération de la pesanteur en (m/s²) ;

Dans la plupart des pipelines, les pertes de charges linéaires constituent la proportion la plus importante de la perte d'énergie due au frottement

2.3. Conclusion

On aura compris le long de ce chapitre l'importance de bien analyser les différents types d'écoulement à travers les équations établies dans chacun d'eux, ainsi que leurs effets prépondérants dans le dimensionnement des conduites ainsi que de toute unité du réseau de surface. Pour lequel, nous allons faire le dimensionnement dans la région de Hassi- Guettar.

Chapitre 3

Chapitre 3

Description de la zone d'étude

3.1. Introduction

Le champ Hassi Guettar situé au sud de la zone Hassi Messaoud, est alimenté par un grand nombre de puits de la région, Les hydrocarbures en provenance de ces puits doivent subir une séparation puis passer par un système de pompage qui permettra de booster le pétrole et de le transférer vers un centre de traitement situé à une distance de 970 m du champ.

3.2. La région de Hassi Messaoud

Le môle de Hassi Messaoud, de forme ovoïde et de direction NE-SW est situé au Nord de la plateforme saharienne entre les méridiens 5_40' et 6_20' Est et les parallèles 31_30' et 32_00' Nord, il occupe ainsi une superficie de 5 400 Km² ; il est le résultat d'une histoire paléo tectonique très complexe.

La périphérie du champ de Hassi Messaoud est constituée de zones faillées où des Horst et Grabens. Ces zones périphériques hautes situées en aval par rapport au gisement Hassi Messaoud contiennent des accumulations d'huile.

Parmi ces structures la structure de HASSI GUETTAR située au Sud-Ouest du champ de Hassi Messaoud.

3.3. Situation géographique et géologique de Hassi Guettar

Hassi Guettar correspond à une structure satellite située au Sud-Ouest du champ de Hassi Messaoud, dans le bloc n_427, entre les longitudes 5_30' et 6_30' Ouest et les latitudes 30_50' et 31_40' Nord. La figure ci-dessous représente une carte de position du gisement de HASSI GUETTAR.

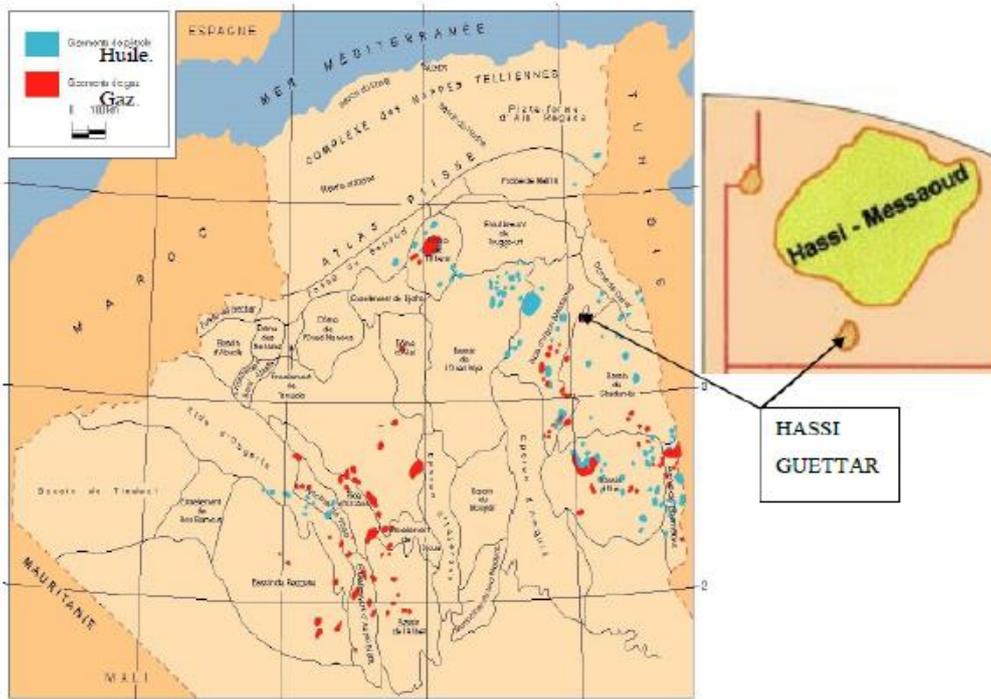


Figure 3.1 - Situation géographique du gisement de HASSI GUETTAR [6]

La structure de Hassi Guettar est située sur la dorsale Amguid El Biod / Hassi Messaoud, ses limites sont :

- L'ensellement de Touggourt au Nord.
- La dorsale d'Amguid, qui sépare le bassin d'Illizi de celui de Mouydir, au sud.
- Le bassin de Berkine à l'Est.
- Le bassin d'Oued Mya à l'Ouest.
- Le dôme de Dahar au Nord-Est.

Elle est répartie sur trois zones hautes :

- Le dôme de Hassi Messaoud.
- Le bourrelet d'El Agreb – El Gassi plus au Sud.
- Le bourrelet de Hassi Brahim à l'Est.

Ce périmètre est considéré comme étant un grand dôme compartimenté en blocs (horsts et grabens), affecté par un réseau complexe de failles très denses de directions NE-SW et NWSE, issues du socle et héritées des événements antéhercyniens.

3.4. Aspect stratigraphique de la région

Du point de vue stratigraphie, les terrains traversés par tous les sondages HGA sont presque les mêmes à l'exception des intercalations éruptives qui sont distribuées d'une façon discontinue avec des épaisseurs variables. La coupe stratigraphique type de la région se présente sur la figure suivante :

Ère	Sys	ETAGES	LITHO	Ep (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	
CZ	NEOG	MIO PLIOCENE		239	Recouvrement sableux avec alternances d'argiles, calcaires et marnes sableuses	
		EOCENE		122	Calcaire dolomitique à silex	
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE		107	Calcaire dolomitique argileux, anhydrite à passées de dolomie
			ANHYDRITIQUE		209	Anhydrite, marnes, dolomie
			SALIFERE		149	Sel massif à intercalations d'argiles et marnes
		TURONIEN		112	Calcaire tendre crayeux, dolomitique et argileux. Nappe d'eau salée	
		CENOMANIEN		147	Anhydrite, marnes, dolomie, calcaire et argile	
		ALBIEN		362	Grès à intercalations d'argiles silteuses. Nappe d'eau douce	
		APTIEN		24	Dolomies cristallines et calcaires	
		BARREMIEN		276	Grès fins à moyens, carbonatés, intercalés de niveaux d'argiles	
		NEOCOMIEN		182	Argiles à intercalation calcaire et/ou dolomie, grès à passées argileux	
		MALM		226	Argiles et marnes intercalées de calcaires; dolomie et grès	
	JURASSIQUE	DOGGIER	ARGILEUX		107	Argiles tendres, marnes dolomitiques à rares passées gréseuses fines
			LAGUNAIRE		211	Anhydrite, Dolomie, et argiles tendres à marnes grises
		LIAS	LD1		66	Dolomies, anhydrites à passées d'argiles et de calcaires
			LS1		90	Argiles plastiques brunes salifères à passées de sel et d'anhydrite
			LD2		55	Dolomies à passées marnes grises
			LS2		58	Sels translucides à quelques passées de marnes grises
	LD3		31	Marnes grises à passées de dolomies		
	TRIAS	SALIFERE	TS1		46	Alternance de sel d'anhydrite et de dolomie
			TS2		189	Sel massif à intercalation d'anhydrite et argile
			TS3		202	Sel massif avec traces d'argiles
ARGILEUX			113	Argiles rouges dolomitiques ou Silteuses injectée de sel et anhydrite		
GRESEUX			0 à 35	Grès fins à moyens à ciment argileux		
ERUPTIF			0 à 92	Andésite		
PALEOZOIQUE		ORDOVICIEN	Quartzites d'El Hamra		75	Grès quartzitiques fins présentant de la glauconite et de l'anhydrite
	Grès d'El Atchane			25	Grès fins feldspathiques et glauconieux	
	Argiles d'El Gassi			50	Argile verte ou noire à graptolites	
	Zone des Alternances			18	Alternances d'argiles et de grès quartzitiques avec glauconite et lignites	
	CAMBRIEN	R. Isométriques		42	Grès isométriques à plages de quartzites; présence de lignites	
		R. Anisométriques		125	Grès quartzites anisométriques moyens à grossiers à ciment argileux et siliceux avec stratifications obliques à entrecroisées	
		R. 2		100	Grès moyens à grossiers parfois micacés à ciment argileux illitiques	
		R. 3		370	Grès feldspathiques et micacés grossiers à ciment argileux	
		Infra Cambrien		45	Grès argileux rouges	
		SOCLE			Granite porphyroïde rose	

(SONATRACH, légèrement modifiée)

Figure 3.2 - Colonne stratigraphique du champ de Hassi Messaoud

3.5. Aspect pétrolier

L'huile de Hassi Guettar provient des argiles radioactives du Silurien. Elle présente les mêmes caractéristiques que celle du champ de Hassi Messaoud; sa migration s'est faite à travers la surface de discordance hercynienne et/ou les zones de développement des grès triasiques, qui l'ont drainé de la roche mère silurienne vers les roches réservoirs du Cambro-Ordovicien. Cette migration est accentuée grâce à un pendage favorable vers le Sud. Le drainage latéral devient parfois vertical suivant les plans de failles. [6]

3.6. Conclusion

Etant donnée les richesses minières, particulièrement les hydrocarbures qui recèlent au sein de la zone de Hassi Messaoud, leurs bonne exploitation demeure une responsabilité des producteurs de pétrole, pour cela des systèmes de pompages ont été installés afin de booster l'huile vers les centres de traitement à travers des pipelines bien dimensionnés.

Chapitre 4

Chapitre 4

Synthèse du dimensionnement du système de pompage

4.1. Introduction

De nos jours, il existe différents systèmes de pompage permettant le transfert des hydrocarbures depuis le gisement vers le centre de traitement, L'objectif de ce chapitre est de synthétiser le dimensionnement de l'unité HPS placé au niveau du champ HGA se trouvant à Hassi Messaoud.

4.2. Définition de l'HPS

Un système de pompage horizontal (HPS) est une pompe centrifuge à plusieurs étages, montée horizontalement pour les applications de pompage de surface. Les systèmes de pompage horizontaux sont utilisés dans diverses applications telles que les inondations d'eau, l'élimination des eaux salées, l'approvisionnement en eau, le transfert d'huile brute, l'injection de propane liquide, le transfert GNL et les amines.

Ce système de pompage est caractérisé par des pressions de refoulement allant jusqu'à 5000 psi et des débits allant jusqu'à 395m³/h.

Chaque unité HPS est conçue selon des spécifications et des normes rigoureuses. Les unités se composent généralement de :

- moteur (moteur électrique ou moteur diesel / gasoil).
- Thrust chamber.
- Garniture Mécanique.
- Pompe centrifuge horizontale à plusieurs étages.
- Interrupteurs d'arrêt de la sécurité des pressions et des vibrations.
- Socle.

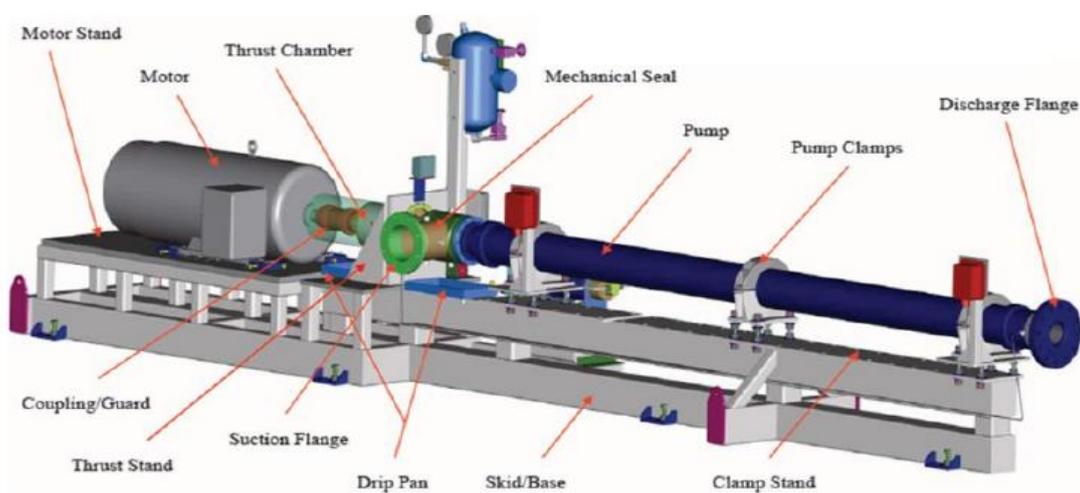


Figure 4.1 - Représentation du système HPS

4.3. Synthèse de dimensionnement de l'unité HPS

4.3.1 Objectif

L'objectif du dimensionnement de la nouvelle unité HPS était de répondre à de nouvelles exigences du client, quant à l'augmentation de la production du pétrole de 460 m³/j à 730 m³/j dans le cas actuel, et allant jusqu'à 2000 m³/j à l'horizon futur à une pression de 24 bars.

4.3.2 Unité dimensionnée

La nouvelle unité HPS dimensionnée comporte principalement :

a) Une pompe à étages de compression les caractéristiques de cette pompe sont les suivants :

- ✓ Type : pompe J350N.
- ✓ Nombre d'étages : 13 étages.
- ✓ Débit maximal : 2451.054 m³/j
- ✓ Pression à l'entrée de la pompe : 4 bars
- ✓ Pression de refoulement : 24 bars
- ✓ Diamètre de la bride d'aspiration : 152.4 mm
- ✓ Diamètre de la bride de refoulement : 101.6 mm
- ✓ Puissance absorbée : 58.9 KW
- ✓ Puissance fournie au fluide : 46.29 KW
- ✓ Rendement : 78.59 %
- ✓ NPSH disponible : 41m
- ✓ NPSH requis : 7.3m
- ✓ Fréquence de fonctionnement : 53 Hz.
- ✓ Matériaux de construction de la pompe : Acier pour le corps de la pompe/ Monel pour l'arbre de la pompe/ Ni-Résistant pour les étages de la pompe/ Acier pour les brides d'aspiration et de refoulement.

La figure ci-dessous représente la courbe caractéristique de la pompe :

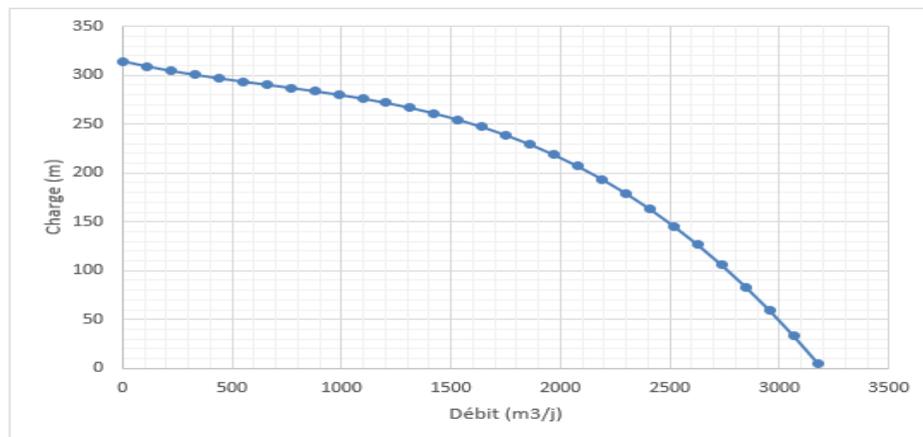


Figure 4.2 - Courbe caractéristique de la pompe J350N

b) **Thrust Chamber** Entre le moteur et la pompe on a mis en place une thrust chamber afin d'absorber les charges générées par la pompe, et de empêcher le fluide de faire un retour vers le moteur, et supporter le poids de l'unité et ses vibrations.

c) **Moteur** les caractéristiques du moteur sont :

- ✓ Vitesse de rotation : 3180.00
- ✓ Facteur de charge : 80.99 %
- ✓ Rendement : 94.70 %
- ✓ Intensité du courant : 134.00 Amp
- ✓ Tension : 380.00 V
- ✓ Puissance de fonctionnement : 80.99 hp
- ✓ Puissance maximale : 90.86 hp

d) **Châssis de la pompe** le châssis de l'unité est un châssis léger.

Des switches et des transmetteurs relient l'HPS au VSD permettant ainsi le transfert des données, qui seront par la suite retransmises à l'utilisateur en temps réel par satellite. [7]

4.4 **Conclusion**

De ce chapitre nous avons d'ores et déjà établie une partie majeure dans l'acheminement des hydrocarbures vers le centre de traitement, cependant, le dimensionnement d'un réseau de distribution à l'aval de l'unité de pompage n'est pas à négligé, car l'augmentation du débit et de la pression du fluide traversant les pipelines ne peut pas être sans aucune influence sur ces derniers.

Chapitre 5

Chapitre 5

Résolution du cas pratique

5.1. Introduction

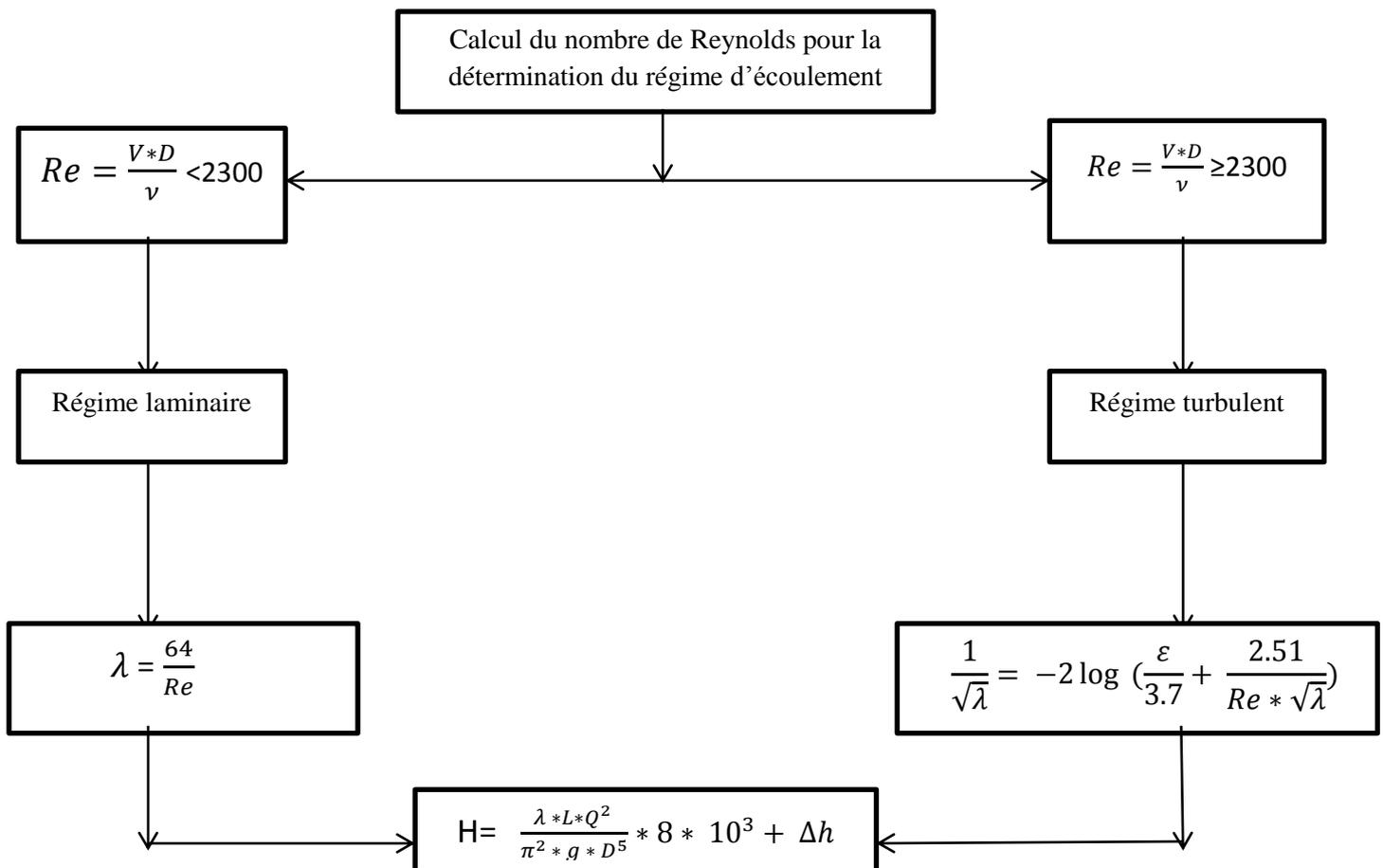
Dans ce chapitre, nous allons procéder au dimensionnement du réseau de distribution se trouvant à l'aval de la pompe, en commençant tout d'abord par vérifier la possibilité de fonctionnement du système (pompe+ pipeline avec D=8inch) actuel, et éventuellement proposer une solution en cas de défaillance.

5.2. Méthode de calcul

Le calcul du réseau de distribution se fait à partir de l'équation de Colebrook et White.

On suppose que notre circuit ne contient que des pertes de charges linéaires.

L'organigramme suivant représente la procédure de calcul des pertes de charges le long du réseau de distribution :



Organigramme représentant la procédure de calcul des pertes de charge

Avec:

Re : Nombre de Reynolds (sans unité).

ν : viscosité cinématique (m²/s).

V : vitesse de fluide (m/s).

D : Diamètre de la conduite (m).

ε : Rugosité absolue de la conduite.

λ : Coefficient de perte de charge (sans unité).

Q : Débit du fluide (m³/h).

H : perte de charge (m)

Δh : La pression au manifold (m).

ρ : La masse volumique du fluide (kg/m³).

Nous allons procéder au calcul du point de fonctionnement de la nouvelle pompe (J350N) avec des pipelines de diamètres différents ($D_1 = 8$ inch, $D_2 = 10$ inchs, $D_3 = 12$ inchs), et ainsi définir le diamètre optimal qui pourrait nous donner un point de fonctionnement avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} 730 \text{ m}^3/\text{d} < Q < 2000 \text{ m}^3/\text{d} \\ P = 24 \text{ bars soit } H = 305.81\text{m} \end{array} \right.$$

Le graphe ci-dessous représente la courbe caractéristique de la pompe J350N :

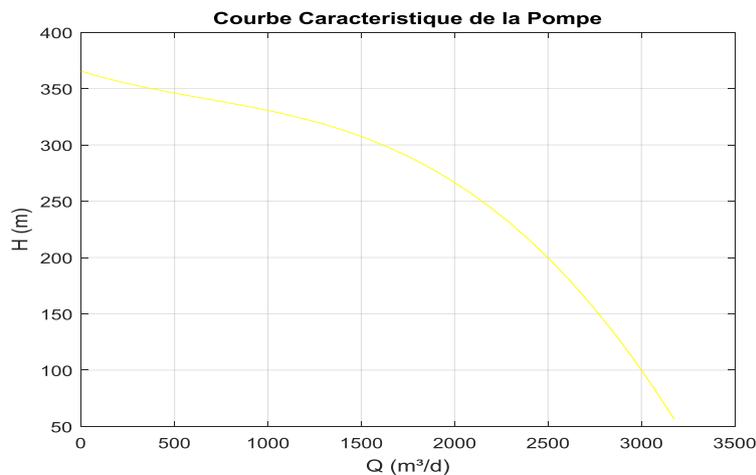


Figure 5.1 - Courbe caractéristique de la pompe

5.2.1. Calcul du point de fonctionnement pour le diamètre actuel D= 8 inchs

Nous allons commencer par vérifier la possibilité de garder le réseau de distribution actuel avec un diamètre D= 8 inchs

Les résultats de calcul du réseau de distribution pour ce diamètre sont notés dans le tableau ci-dessous :

Q (m3/d)	Q (m3/s)	S m2	V(m/s)	Re	Λ	H
0	0	0,0314	0	0		
100	0,0012	0,0314	0,0369	17903,5	0,0267	104,2373
200	0,0023	0,0314	0,0737	35807,0	0,0267	129,1290
300	0,0035	0,0314	0,1106	53710,4	0,0267	170,6153
400	0,0046	0,0314	0,1474	71613,9	0,0267	228,6961
500	0,0058	0,0314	0,1843	89517,4	0,0267	303,3715
600	0,0069	0,0314	0,2212	107420,9	0,0267	394,6413
700	0,0081	0,0314	0,2580	125324,4	0,0267	502,5057
800	0,0093	0,0314	0,2949	143227,9	0,0267	626,9646
900	0,0104	0,0314	0,3317	161131,3	0,0267	768,0180
1000	0,0116	0,0314	0,3686	179034,8	0,0267	925,6659
1100	0,0127	0,0314	0,4055	196938,3	0,0267	1099,9083
1200	0,0139	0,0314	0,4423	214841,8	0,0267	1290,7453
1300	0,0150	0,0314	0,4792	232745,3	0,0267	1498,1767
1400	0,0162	0,0314	0,5160	250648,7	0,0267	1722,2027
1500	0,0174	0,0314	0,5529	268552,2	0,0267	1962,8232
1600	0,0185	0,0314	0,5898	286455,7	0,0267	2220,0383
1700	0,0197	0,0314	0,6266	304359,2	0,0267	2493,8478
1800	0,0208	0,0314	0,6635	322262,7	0,0267	2784,2518
1900	0,0220	0,0314	0,7003	340166,1	0,0267	3091,2504
2000	0,0231	0,0314	0,7372	358069,6	0,0267	3414,8435
2100	0,0243	0,0314	0,7741	375973,1	0,0267	3755,0311
2200	0,0255	0,0314	0,8109	393876,6	0,0267	4111,8133
2300	0,0266	0,0314	0,8478	411780,1	0,0267	4485,1899
2400	0,0278	0,0314	0,8846	429683,6	0,0267	4875,1611
2500	0,0289	0,0314	0,9215	447587,0	0,0267	5281,7267
2600	0,0301	0,0314	0,9584	465490,5	0,0267	5704,8869
2700	0,0313	0,0314	0,9952	483394,0	0,0267	6144,6417
2800	0,0324	0,0314	1,0321	501297,5	0,0267	6600,9909
2900	0,0336	0,0314	1,0689	519201,0	0,0267	7073,9346
3000	0,0347	0,0314	1,1058	537104,4	0,0267	7563,4729
3100	0,0359	0,0314	1,1427	555007,9	0,0267	8069,6057
3200	0,0370	0,0314	1,1795	572911,4	0,0267	8592,3330

Table 5.1 – calcul du point de fonctionnement D= 8 inchs

De ce tableau on remarque que le nombre de Reynolds est au minimum de l'ordre de 10^5 , donc le régime d'écoulement est turbulent, ce qui nous a conduits à calculer le coefficient de perte de charge linéaire λ par la formule de COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} \right)$$

Avec : $\varepsilon = 0.0254 \text{ mm}$; $L = 974.39\text{m}$

Le graphe ci-dessous représente la courbe de pertes de charge du réseau avec un diamètre de 8 inchs :

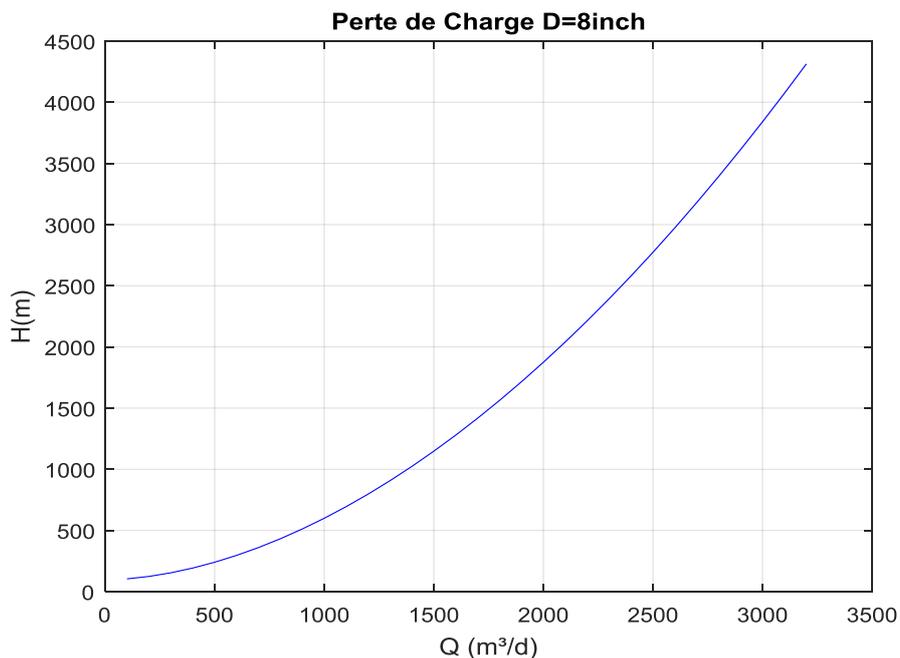


Figure 5.2 - Courbe des pertes de charge du réseau pour D= 8 inchs

L'intersection de la courbe des pertes de charge ou courbe de réseau avec celle de la courbe caractéristique de la pompe nous permettra de définir le point de fonctionnement

La courbe ci-dessous représente l'intersection des deux courbes :

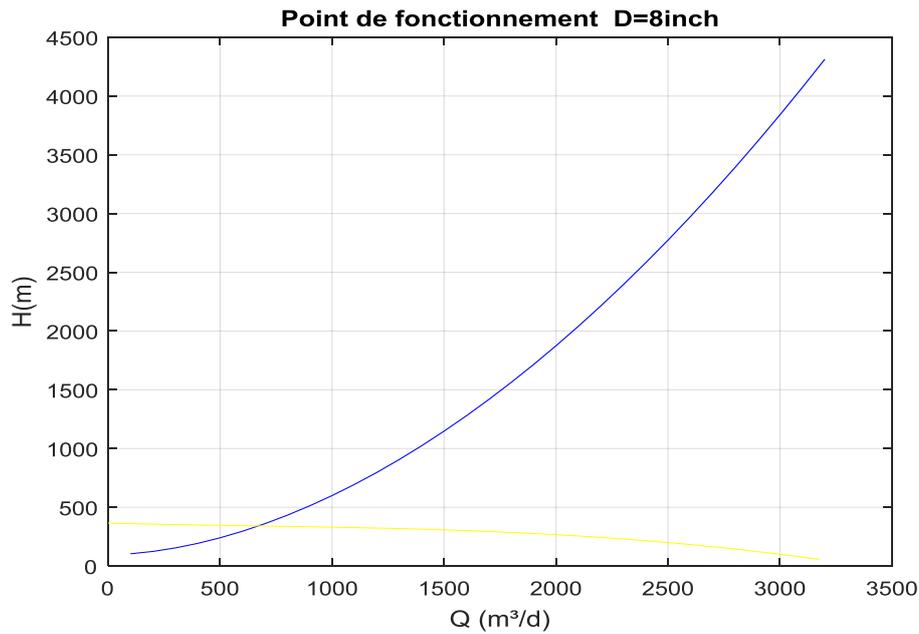


Figure 5.3 - Point de fonctionnement pour D= 8 inchs

Remarques

De cette courbe, on remarque que les coordonnées du point de fonctionnement du réseau avec le diamètre actuel de 8 inchs nous donne :

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q = 669.87 \text{ m}^3/\text{d} & \Rightarrow \text{débit insuffisant} < 730 \text{ m}^3/\text{d} \\ H = 340.94 & \Rightarrow \text{charge très importante} > 305.81 \end{array} \right.$$

On constate le réseau actuel comportant un pipeline d'un diamètre de 8 inchs est sous dimensionné, et ne peut véhiculer le pétrole avec le nouveau débit.

On propose alors de refaire le calcul avec un diamètre du pipeline de 10 inchs

5.2.2. Calcul du point de fonctionnement pour un diamètre de D= 10 inchs

Les résultats de calcul du réseau de distribution pour ce diamètre sont notés dans le tableau ci-dessous :

Q (m3/d)	Q (m3/s)	S m2	V(m/s)	Re	λ	H
0	0	0,0506	0	0		
100	0,0012	0,0506	0,0229	14090,0	0,0283	98,8267
200	0,0023	0,0506	0,0457	28180,1	0,0283	107,4867
300	0,0035	0,0506	0,0686	42270,1	0,0283	121,9201
400	0,0046	0,0506	0,0914	56360,2	0,0283	142,1269
500	0,0058	0,0506	0,1143	70450,2	0,0283	168,1070
600	0,0069	0,0506	0,1371	84540,3	0,0283	199,8605
700	0,0081	0,0506	0,1600	98630,3	0,0283	237,3873
800	0,0093	0,0506	0,1828	112720,4	0,0283	280,6875
900	0,0104	0,0506	0,2057	126810,4	0,0283	329,7610
1000	0,0116	0,0506	0,2285	140900,5	0,0283	384,6080
1100	0,0127	0,0506	0,2514	154990,5	0,0283	445,2282
1200	0,0139	0,0506	0,2742	169080,6	0,0283	511,6218
1300	0,0150	0,0506	0,2971	183170,6	0,0283	583,7888
1400	0,0162	0,0506	0,3199	197260,7	0,0283	661,7292
1500	0,0174	0,0506	0,3428	211350,7	0,0283	745,4429
1600	0,0185	0,0506	0,3657	225440,8	0,0283	834,9300
1700	0,0197	0,0506	0,3885	239530,8	0,0283	930,1904
1800	0,0208	0,0506	0,4114	253620,9	0,0283	1031,2242
1900	0,0220	0,0506	0,4342	267710,9	0,0283	1138,0313
2000	0,0231	0,0506	0,4571	281801,0	0,0283	1250,6118
2100	0,0243	0,0506	0,4799	295891,0	0,0283	1368,9657
2200	0,0255	0,0506	0,5028	309981,1	0,0283	1493,0929
2300	0,0266	0,0506	0,5256	324071,1	0,0283	1622,9935
2400	0,0278	0,0506	0,5485	338161,2	0,0283	1758,6674
2500	0,0289	0,0506	0,5713	352251,2	0,0283	1900,1147
2600	0,0301	0,0506	0,5942	366341,3	0,0283	2047,3354
2700	0,0313	0,0506	0,6170	380431,3	0,0283	2200,3294
2800	0,0324	0,0506	0,6399	394521,4	0,0283	2359,0967
2900	0,0336	0,0506	0,6627	408611,4	0,0283	2523,6375
3000	0,0347	0,0506	0,6856	422701,5	0,0283	2693,9516
3100	0,0359	0,0506	0,7085	436791,5	0,0283	2870,0390
3200	0,0370	0,0506	0,7313	450881,6	0,0283	3051,8998

Table 5.2 – Calcul du point de fonctionnement D= 10 inchs

De ce tableau aussi on remarque que le nombre de Reynolds est au minimum de l'ordre de 10^5 , donc le régime d'écoulement est turbulent, ce qui nous a conduits à calculer le coefficient de perte de charge linéaire λ par la formule de COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} \right)$$

Avec : $\varepsilon = 0.0254 \text{ mm}$; $L = 974.39\text{m}$

Le graphe ci-dessous représente la courbe des pertes de charge du réseau avec un diamètre de 10 inchs :

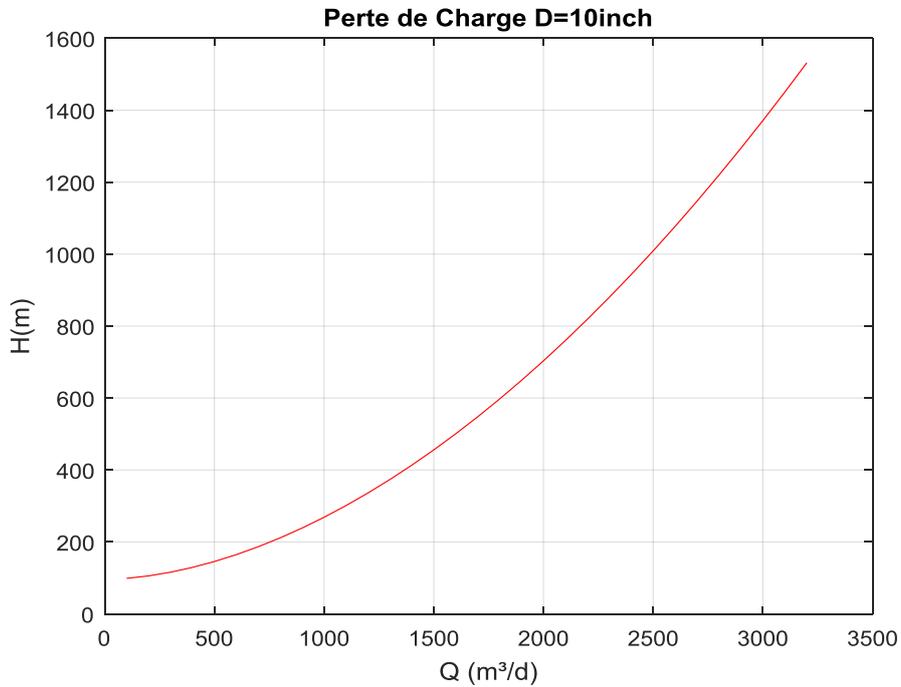


Figure 5.4 - Courbe des pertes de charge du réseau pour D= 10 inchs

L'intersection de cette courbe avec celle de la courbe caractéristique de la pompe, on obtient le point de fonctionnement du système représenté dans le graphe suivant :

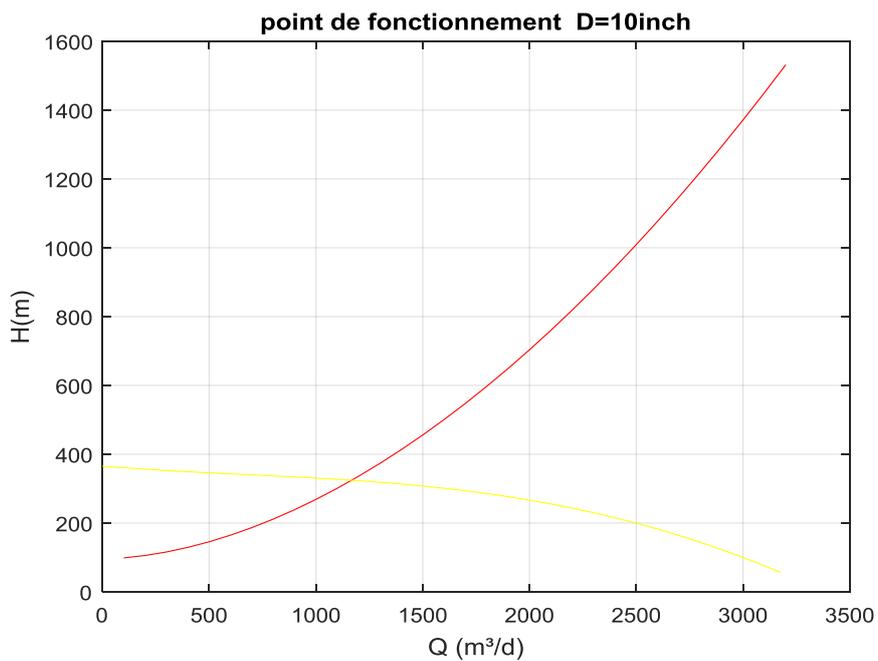


Figure 5.5 - Point de fonctionnement pour D= 10 inchs

Remarques

De cette courbe, on remarque que les coordonnées du point de fonctionnement du réseau avec le diamètre de 10 inchs nous donne :

$$\left[\begin{array}{ll} Q = 1166.11 \text{ m}^3/\text{d} & \longrightarrow 730 \text{ m}^3/\text{d} < Q < 2000 \text{ m}^3/\text{d} \text{ Vérifiée} \\ H = 324.27 \text{ m} & \longrightarrow \text{charge importante} > 305.81 \end{array} \right.$$

On constate que le réseau comportant un pipeline de 10 inchs de diamètre pourrait être une solution, car il répond non seulement au débit et à la charge voulus, cependant on va tenter de réduire la charge en augmentant le diamètre de la conduite à 12 inchs.

5.2.3. Calcul du point de fonctionnement pour un diamètre de D= 12 inchs

Les résultats de calcul du réseau de distribution pour ce diamètre sont notés dans le tableau ci-dessous :

Q (m3/d)	Q (m3/s)	S m2	V(m/s)	Re	λ	H
0	0	0,0729	0	0		
100	0,0012	0,0729	0,0159	11741,7	0,0297	97,1556
200	0,0023	0,0729	0,0317	23483,4	0,0297	100,8023
300	0,0035	0,0729	0,0476	35225,1	0,0297	106,8802
400	0,0046	0,0729	0,0635	46966,8	0,0297	115,3892
500	0,0058	0,0729	0,0794	58708,5	0,0297	126,3294
600	0,0069	0,0729	0,0952	70450,2	0,0297	139,7007
700	0,0081	0,0729	0,1111	82192,0	0,0297	155,5032
800	0,0093	0,0729	0,1270	93933,7	0,0297	173,7368
900	0,0104	0,0729	0,1428	105675,4	0,0297	194,4016
1000	0,0116	0,0729	0,1587	117417,1	0,0297	217,4975
1100	0,0127	0,0729	0,1746	129158,8	0,0297	243,0246
1200	0,0139	0,0729	0,1904	140900,5	0,0297	270,9828
1300	0,0150	0,0729	0,2063	152642,2	0,0297	301,3722
1400	0,0162	0,0729	0,2222	164383,9	0,0297	334,1927
1500	0,0174	0,0729	0,2381	176125,6	0,0297	369,4444
1600	0,0185	0,0729	0,2539	187867,3	0,0297	407,1273
1700	0,0197	0,0729	0,2698	199609,0	0,0297	447,2412
1800	0,0208	0,0729	0,2857	211350,7	0,0297	489,7864
1900	0,0220	0,0729	0,3015	223092,5	0,0297	534,7627
2000	0,0231	0,0729	0,3174	234834,2	0,0297	582,1701
2100	0,0243	0,0729	0,3333	246575,9	0,0297	632,0087
2200	0,0255	0,0729	0,3491	258317,6	0,0297	684,2784
2300	0,0266	0,0729	0,3650	270059,3	0,0297	738,9793
2400	0,0278	0,0729	0,3809	281801,0	0,0297	796,1113
2500	0,0289	0,0729	0,3968	293542,7	0,0297	855,6745
2600	0,0301	0,0729	0,4126	305284,4	0,0297	917,6689
2700	0,0313	0,0729	0,4285	317026,1	0,0297	982,0944
2800	0,0324	0,0729	0,4444	328767,8	0,0297	1048,9510
2900	0,0336	0,0729	0,4602	340509,5	0,0297	1118,2388
3000	0,0347	0,0729	0,4761	352251,2	0,0297	1189,9577
3100	0,0359	0,0729	0,4920	363993,0	0,0297	1264,1078
3200	0,0370	0,0729	0,5079	375734,7	0,0297	1340,6891

Table 5.3 – calcul du point de fonctionnement D= 12 inches

De ce tableau aussi on remarque que le nombre de Reynolds est au minimum de l'ordre de 10^5 , donc le régime d'écoulement est turbulent, ce qui nous a conduits à calculer le coefficient de perte de charge linéaire λ par la formule de COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} \right)$$

Avec : $\varepsilon = 0.0254 \text{ mm}$; $L = 974.39\text{m}$

Le graphe ci-dessous représente la courbe des pertes de charge du réseau avec un diamètre de 12 inchs :

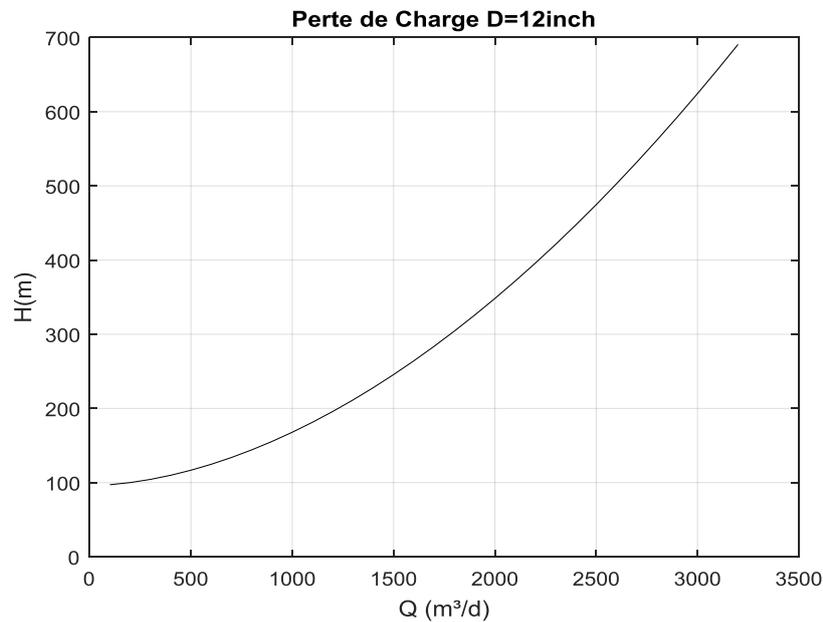


Figure 5.6 - Courbe des pertes de charge du réseau pour D= 12 inchs

L'intersection de cette courbe avec celle de la courbe caractéristique de la pompe, on obtient le point de fonctionnement du système représenté dans le graphe suivant :

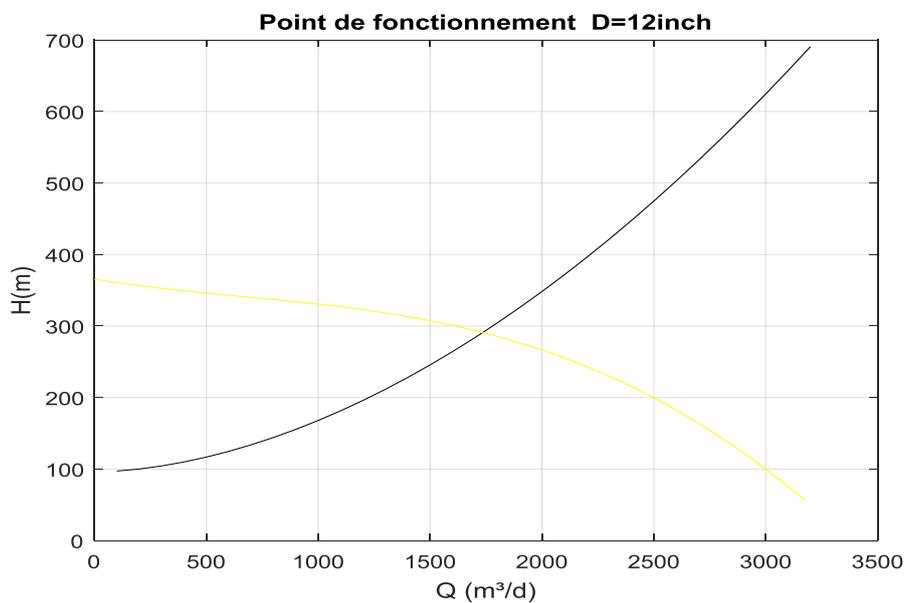


Figure 5.7 - Point de fonctionnement pour D= 12 inchs

Remarques

De cette courbe, on remarque que les coordonnées du point de fonctionnement du réseau avec le diamètre de 10 inchs nous donne :

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q = 1735.37 \text{ m}^3/\text{d} & \longrightarrow 730 \text{ m}^3/\text{d} < Q < 2000 \text{ m}^3/\text{d} \text{ Vérifiée} \\ H = 290.98 \text{ m} & \longrightarrow \text{charge insuffisante} < 305.81 \end{array} \right.$$

On constate que le pipeline de 12 inchs ne peut répondre aux besoins en pression de service, ce dernier sera non seulement surdimensionné engendrant des frais supplémentaires et ne pourra procurer la pression nécessaire au bon fonctionnement du réseau.

Après avoir refait les calculs avec un diamètre de 11 inchs le point de fonctionnement a été de :

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q = 1451.06 \text{ m}^3/\text{d} & \longrightarrow 730 \text{ m}^3/\text{d} < Q < 2000 \text{ m}^3/\text{d} \text{ Vérifiée} \\ H = 310.34 \text{ m} & \longrightarrow \text{charge suffisante} \end{array} \right.$$

Cependant le diamètre de 11 inchs ne demeure pas dans la liste des diamètres commerciaux rependant aux normes américaine.

Le tableau suivant représente la liste des diamètres commerciaux selon les normes américaines : [8]

NPS	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
DN	15	20	25	40	50	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600

Table 5.4 – diamètres commerciaux selon les normes américaines

Avec :

NPS : Nominal Pipe Size

DN : Diamètre Nominal

5.3. Conclusion et propositions

A partir des calculs élaborés dans ce chapitre nous pouvons conclure que le réseau actuel de 8 inchs de diamètre doit être remplacé par un nouveau réseau.

On conclut que D= 10 inchs est la variante optimale rependant à la fois aux besoins en débit et en charge.

La différence de charge de 18.45m pourrait être réduite par les pertes de charge singulières négligée dans cette étude.

On propose de mettre en place un système de vannage afin de contrôler les hausses de pression qui pourraient surgir.

Afin d'augmenter le débit à 2000 m³/d on propose de mettre en place une deuxième pompe identique à la première placé en parallèle.

Conclusion générale

Avec la croissance que connaît l'industrie dans le monde, la nécessité de puiser toutes les ressources disponibles devient de plus en plus importante. Notre cas d'étude s'est porté sur le domaine pétrolier, qui fait l'objet de plusieurs travaux de recherche, visant à développer de nouveaux outils optimisant l'exploitation de cette ressource.

Suite à l'augmentation de la production causée principalement par l'accroissement des besoins en énergie, un nouveau système de pompage a été dimensionné au niveau du champ Hassi Guettar boostant le pétrole au centre de traitement situé à 974.39m à un débit de 2000 m³/j et à une pression de 24 bars. Pour cela et d'après notre étude, le redimensionnement du réseau de distribution à l'aval de l'unité de pompage était d'une grande nécessité pour le bon fonctionnement du système (pompage et distribution). Ainsi notre choix s'est porté sur un réseau de pipeline d'un diamètre de 10 inches avec possibilité de réglage des charges par un système de vannage adéquat, et proposition de la mise en place d'une pompe en parallèle.

A travers ce projet, nous avons pu élaborer le dimensionnement le plus adéquat du réseau de distribution au niveau du champ HGA afin que le traitement des hydrocarbures puisse se faire dans les meilleures conditions.

Bibliographie

- [1] N.SIDOROV. Forage et exploitation des puits de pétrole et de gaz. Editons Mir Moscou, 1986.

- [2] RENE COSSÉ. Le gisement. Institut français du pétrole et Editions Technip, 1988.

- [3] Cours de mécanique des fluides. Université de Perpignan.

- [4] N.T. CHABANE CHAOUCH. « Pompes multiphasiques comme alternative à la séparation conventionnelle combinée au pompage et à la compression ». Mém.de mast. Ecole Nationale Polytechnique, 2013.

- [5] R. BEN HAMOUDA. Cours et Exercices Corrigés de MDF. Centre de Publication Universitaire de Tunis, 2008.

- [6] M. ABBAS LARBI « Analyse et diagnostic de l'EPF Hassi Guettar (HGA) ». Projet professionnel de fin de formation. SONATRACH, 2016.

- [7] L. KHELIOUEN, Z. MAROUF. « Transfert des hydrocarbures à travers une pompe centrifuge horizontale ». Mém de PFE. Ecole Nationale Polytechnique, 2017.

- [8] Risques et précautions liés aux matériels ENSPM formation industrie –IFP training, 2005.

Annexe

Programme de calcul des coefficients de pertes de charge (MATLAB)

```
function F = colebrook2(R,K)
% F = COLEBROOK(R,K) fast, accurate and robust computation of the
% Darcy-Weisbach friction factor F according to the Colebrook equation:
%
%          -          -
%      1          | K    2.51          |
%  ----- = -2 * Log_10 | ----- + ----- |
% sqrt(F)          | 3.7    R * sqrt(F) |
%          -          -
% INPUT:
% R : Reynolds' number (should be >= 2300).
% K : Equivalent sand roughness height divided by the hydraulic
%     diameter (default K=0).
%
% OUTPUT:
% F : Friction factor.
%
% FORMAT:
% R, K and F are either scalars or compatible arrays.
%
% ACCURACY:
% Around machine precision for all R > 3 and for all 0 <= K,
% i.e. for all values of physical interest.
%
% EXAMPLE: F = colebrook([3e3,7e5,1e100],0.01)
%
% Edit the m-file for more details.

% Method: Quartic iterations.
% Reference: http://arxiv.org/abs/0810.5564
% Read this reference to understand the method and to modify the code.

% Author: D. Clamond, 2008-09-16.

% Check for errors.
if any(R(:)<2300) == 1,
    warning('The Colebrook equation is valid for Reynolds" numbers >= 2300.');
```

```

% Initialization.
X1 = K .* R * 0.123968186335417556;           % X1 <- K * R * log(10) / 18.574.
X2 = log(R) - 0.779397488455682028;         % X2 <- log( R * log(10) / 5.02 );

% Initial guess.
F = X2 - 0.2;

% First iteration.
E = ( log(X1+F) - 0.2 ) ./ ( 1 + X1 + F );
F = F - (1+X1+F+0.5*E) .* E ./ (1+X1+F+E.*(1+E/3));

% Second iteration (remove the next two lines for moderate accuracy).
E = ( log(X1+F) + F - X2 ) ./ ( 1 + X1 + F );
F = F - (1+X1+F+0.5*E) .* E ./ (1+X1+F+E.*(1+E/3));

% Finalized solution.
F = 1.151292546497022842 ./ F;               % F <- 0.5 * log(10) / F;
F = F .* F;                                  % F <- Friction factor.

```