



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس
Université M'Hamed Bougara de Boumerdès
كلية المحروقات والكيمياء
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département transport et équipements des hydrocarbures

Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie mécanique

Option : transport et distribution des Hydrocarbures

Thème

**Etude les régimes de fonctionnement des stations
de la ligne OB1**

Présenté par :

- BOUMAZA Chiekh
- SAIB Ahmed

Encadré par :

- Mr BOUHAFS

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre **DIEU**,
notre Créateur pour m'avoir donné la force pour
accomplir ce travail*

*Nous exprimons toutes mes reconnaissances et
gratitudes à l'administration et à l'ensemble du corps
enseignant de l'Université M'HAMED BOUGARA pour
leurs efforts à nous garantir la continuité et
l'aboutissement de ce programme de Master.*

*Nos remerciements l'encadreur **Mr. BOUHAFS** pour
nous avoir guidées de ce travail, pour son aide, ses
orientations, ses conseils et ses encouragements*

*Mon profond remerciement et ma gratitude vont aussi
aux Membres du jury, pour leur accord de juger mon
travail*

*Enfin, tous nos remerciements, nos reconnaissances et
notre gratitude vont à nos très chers parents et à notre
précieuse familles pour leurs soutient indéfectibles, sans
Oublier nos amis (es).*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A Mes chers parents, Aucune ne dédicace, aucun mot
ne pourrait exprimer mon respect, mon amour
éternel et ma considération pour les sacrifices que
vous avez consenti pour mon instruction et mon bien
être.*

A Mes très chers frères et surtout mes chères sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis chacun à son nom et mes collègues

*A tous les enseignants et les enseignantes qui ont
contribué à ma formation tout au long de ma vie.*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de
loin à l'élaboration de ce travail.*

Résumé

Le transport du pétrole est très important pour l'état et son économie, et est la bouée de sauvetage de son économie. Il existe de nombreuses façons de le transporter, le plus important transport de pétrole par pipeline. Il est exempt de défauts dans ce monde et constitue l'un des problèmes les plus importants auxquels doit faire face le transport de pipelines la perte de charge. Nous devons étudier ce phénomène dans le cadre d'une étude numérique, théorique et pratique en déterminant les différents types de régime d'écoulement et en l'appliquant à une situation réelle, ce qui rend notre travail très important du point de vue pratique, industrielle et économique. L'écoulement du pétrole brut dans les pipelines est caractérisé par un model hydrodynamique influencé par la variation de plusieurs paramètres tel que "la viscosité, le comportement rhéologique, la température et le débit". Le transport de pétrole brut ne se passe pas toujours sans problèmes tel que les dépôts organiques dans les canalisations ainsi que la consommation d'une énorme quantité d'énergie dans le procédé de pompage

Mots-clés :

Régime d'écoulement, Perte de charges, Reynoldes , programme Excel

ملخص

نقل النفط مهم جدا للدولة واقتصادها ، وهو شريان الحياة لاقتصادها. هناك طرق عديدة لنقله ، من أهمها نقل النفط عبر خطوط الأنابيب. إنها خالية من العيوب في هذا العالم وهي واحدة من أكبر المشاكل التي تواجه انخفاض ضغط النقل عبر خطوط الأنابيب. علينا دراسة هذه الظاهرة في إطار الدراسة العددية والنظرية والعملية من خلال تحديد الأنواع المختلفة لنظام التدفق وتطبيقها على وضع حقيقي، مما يجعل عملنا مهمًا للغاية من الناحية العملية والصناعية والاقتصادية. يتسم تدفق النفط الخام في خطوط الأنابيب بنموذج هيدروديناميكي يتأثر بتغير العديد من العوامل مثل "اللزوجة والسلوك الريولوجي ودرجة الحرارة ومعدل التدفق". لا يخلو نقل النفط الخام دائمًا من مشاكل مثل الترسبات العضوية في خطوط الأنابيب وكذلك استهلاك كمية هائلة من الطاقة في عملية الضخ.

الكلمات الدالة :

نظام التدفق ، فقدان الرأس ، رينولدز ، برنامج اكسل

Abstract

Oil transportation is very important to the state and its economy, and is the lifeline of its economy. There are many ways to transport it, the most important pipeline oil transportation. It is free from flaws in this world and is one of the biggest problems facing pipeline transportation pressure drop. We have to study this phenomenon in the framework of numerical, theoretical and practical study by determining the different types of flow regime and applying it to a real situation, which makes our work very important from the practical point of view, industrial and economic. The flow of crude oil in pipelines is characterized by a hydrodynamic model influenced by the variation of several parameters such as "viscosity, rheological behavior, temperature and flow rate". The transport of crude oil is not always without problems such as organic deposits in the pipelines as well as the consumption of a huge amount of energy in the pumping process.

Key words:

Flow regime, Head loss, Reynoldes, Excel program

Liste des symboles :

D : Le diamètre de la conduite (m).

P : La pression (Pa).

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

h: La hauteur différentielle (m).

L : La longueur de la conduite (m).

Q: Le débit volumique (m³/s).

Re: Nombre de Reynolds.

S : La section de la conduite (m²).

V : La vitesse (m/s).

Z : La hauteur (m).

ρ : Densité du liquide (Kg/m³).

v : La viscosité cinématique (m²/s).

μ : La viscosité dynamique (Kg/ms).

λ : Le coefficient de la pertes de la charges.

Liste des figures:

FIGURE 1: CHAINE DE TRANSPORT PAR CANALISATION DE SONATRACH.....	3
FIGURE 2: LE RESEAU ACTUEL DU PETROLE BRUT.....	4
FIGURE 3:ORGANIGRAMME DE LA DRGB.....	6
FIGURE 4 : PROFIL EN LONG DE L'OB1.....	9
FIGURE 5 : LES DIFFERENTES VARIATIONS DE L'EPAISSEUR DE L'OB1	9
FIGURE 6 :LES REGIMES D'ECOULEMENT.....	15
FIGURE 7 :INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA VISCOSITE.....	19
FIGURE 8 : SCHEMA D'UN TUBE	21
FIGURE 9 REGIME LAMINAIRE	24
FIGURE 10: REGIME TURBULENT	24
FIGURE 11 :DIAGRAMME DE MOODY [7]	27
FIGURE 12 :SWAMEE ET JAIN S'ECARTE	31
FIGURE 13 : PENTE HYDRAULIQUE DU SP1 POUR $Q=2200M^3/H$	45
FIGURE 14 : RELATION ENTRE NPSH ET DEBIT.....	52
FIGURE 15 PROFIL ON LONG ENTRE SP1 ET SP1 BIS POUR $Q=1800$	63
FIGURE 16: PROFIL ON LONG ENTRE SP1 BIS ET SP2 POUR $Q=1800 M^3/H$	63
FIGURE 17: PROFIL ON LONG ENTRE SP2 ET SP3 POUR $Q=1800 M^3/H$	64
FIGURE 18 : PROFIL ON LONG ENTRE SP3 ET TMB POUR $Q=1800M^3/H$	64
FIGURE 19 : PROFIL ON LONG ENTRE SP1 ET SP2 POUR $Q=800M^3/H$	65
FIGURE 20 : PROFIL ON LONG ENTRE SP1 ET SP2 POUR $Q=1200M^3/H$	65
FIGURE 21: PROFIL EN LONG DU L'OB1	66
FIGURE 22: POINT DE FONCTIONNEMENT DU SP1	71
FIGURE 23: POINT DE FONCTIONNEMENT DU SP1-BIS	72
FIGURE 24: POINT DE FONCTIONNEMENT DU SP2	73
FIGURE 25: POINT DE FONCTIONNEMENT DU SP3	74
FIGURE 26 :FONCTION GOAL SEEK	79
FIGURE 27 :GOAL SEEK FENETRE	79

Liste des tableaux :

TABLEAU 1: RESEAU EN EXPLOITATION	5
TABLEAU 2: CARACTERISTIQUES DE L'OB1.	8
TABLEAU 3: LES CARACTERISTIQUES DE SP1.	10
TABLEAU 4: CARACTERISTIQUES DE SP1 BIS.	10
TABLEAU 5:: CARACTERISTIQUES DE SP2.	11
TABLEAU 6 :: CARACTERISTIQUES DE SP3	11
TABLEAU 7:: CARACTERISTIQUES DU TERMINAL ARRIVEE BEJAÏA.	12
TABLEAU 9 : LES COEFFICIENTS DU SECURITIES	22
TABLEAU 10 : LES LIMITES D'ELASTICITE ET DE RUPTURE DE L'ACIER	23
TABLEAU 11: LES REGIMES D'ECOULEMENT	26
TABLEAU 12 : VALEURS DE M ET B SELON LE REGIME D'ECOULEMENT	45
TABLEAU 13 : CARACTERISTIQUE DE L'ECHANTILLON DE PETROLE ETUDIE.	57
TABLEAU 14: LA DENSITE ET VISCOSITE POUR DIFFERENTES TEMPERATURES	57
15 LES REGIMES D'EXPLOITATION ACTUELLE :	58
TABLEAU 16: LES HAUTEURS GEOMETRIQUES	59
TABLEAU 17: LES LONGUEURS DU PIPELINE ENTRE LES STATION	59
TABLEAU 18: LES EPAISSEURS DU PIPELINE PAR LONGUEURS	60
TABLEAU 19 : LES PERTES DE LA CHARGE POUR OB1	61
TABLEAU 20: LES TYPES DU REGIME D'ECOULEMENT POUR OB1	62
TABLEAU 21 : LES CARASTIRISTIQUES DES STATIONS DU L' OB POUR $Q=800M^3/H$	69
TABLEAU 22: LES CARACTERISTIQUES DES STATIONS DU L'OB1 POUR $Q=1800M^3/H$	70

Sommaire

Liste des symboles

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Chapitre 01 : Présentation générale de TRC et description de l'OB1

1 PRESENTATION GENERALE DE TRC : 3

1.1 Consistance du Réseau de Transport : 4

1.2 Cartographie actuelle du Réseau de transport:..... 4

2 PRESENTATION DE LA DIRECTION REGIONALE DE BEJAIA DRGB :..... 5

2.1 Situation géographique de la DRGB : 5

2.2 Organigramme de la DRGB : 6

2.2.1 Présentation des différents départements : 6

3 DESCRIPTION ET HISTORIQUE DE L'OB1 : 7

3.1 Caractéristiques de L'OB1 : 8

3.2 Topographie de l'OB1 : 9

1.1.2 Variation de l'épaisseur de L'OB1: 9

4 CARACTERISTIQUES DES STATIONS :10

4.1 SP1 : 10

4.2 SP1 bis : 10

4.3 SP2: 11

4.4 SP3 : 11

4.5 Terminal Arrivée : 12

Chapitre 02: Les régimes d'écoulement pour les oléoducs

1	INTRODUCTION	15
1.1	ECOULEMENT STATIONNAIRE ET INSTATIONNAIRE	15
2	DETERMINATION TYPE DU REGIME D'ECOULEMENT	15
2.1	Débit volumique	16
2.1.1	Définition :	16
2.1.2	Relation entre débit massique et débit volumique	16
2.2	La masse volumique	16
2.3	La densité relative	17
2.3.1	Définition	17
2.3.2	Influence de la température sur la densité	17
2.4	La viscosité	17
2.4.1	Définition	17
2.4.2	TYPES DU VISCOSITE	18
2.4.3	La relation entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique	18
2.4.4	Influence de la température sur la viscosité	18
2.5	La rugosité absolue	19
2.6	La rugosité relative	20
2.7	Choix du diamètre optimum	21
2.8	Détermination du l'épaisseur	21
2.9	Diamètre intérieur	23
2.10	Les régimes d'écoulement	23
2.10.1	Régime laminaire	24
2.10.2	Régime turbulent	24
2.11	Les types du régime d'écoulement	25
2.12	Diagramme de Moody	26

2.13	Coefficient de la perte de la charge λ	28
2.13.1	Definition	28
2.13.2	L'écoulement laminaire	28
2.13.3	L'écoulement turbulent	28
2.13.3.1	Régime turbulent hydrauliquement lisse	28
2.13.3.2	Régime turbulent frottement mixte	28
2.13.3.3	Régime turbulent tube rugueux	28
2.14	La formule Colebrook-White	29
2.15	La formule de Swamee et Jain	30
2.16	Perte de charge	42
2.16.1	Définition	42
2.16.2	Les types de perte de la charge	43
2.16.2.1	Les pertes de charge singulières	43
2.16.2.2	Les pertes de charge régulières	44
2.16.3	Perte de la charge totale	45
2.17	La pente hydraulique	45
3	régime de fonctionnement de la station de pompage	46
3.1	Généralité sur les stations de pompage	46
3.2	Généralité sur les pompes	46
3.3	Catégories de pompes	47
3.3.1	Les pompes volumétriques	47
3.3.2	Les turbopompes	47
3.4	La pompe centrifuge	47
3.5	Régime de fonctionnement des stations de pompage	48
3.5.1	Espacement des stations de pompag	48
3.5.2	Calcul du régime de fonctionnement des pompes	48
3.5.3	Assemblage des pompes.....	48
3.5.3.1	Assemblage en série.....	49
3.5.3.2	Assemblage en parallèle.....	49
3.5.4	Nombre de pompe :	49
3.5.5	Calcul des paramètres de fonctionnement des pompes:	49

3.5.5.1	Charge d'une pompe	49
3.5.5.2	Variation de nombre de tours de la pompe	50
3.5.5.3	Rendement.....	50
4.5.1.1	Puissance absorbée par la pompe.....	50
3.5.5.4	Limitation de la hauteur manométrique d'aspiration-NPSH-requis	51
3.6	Types des moteurs	52
3.6.1	Moteur d'entrainement	52
3.6.2	Moteur électrique	52
3.6.3	Moteur Diesel	52
3.6.4	Turbine à gaz	53
3.7	Point de fonctionnement	53

Chapitre 03 : Partie pratique

1	INTRODUCTION	55
2	OBJECTIVE DE L'ETUDE	55
3	LA PARTIE ETUDIEE.....	55
4	LES PROPRIETES MECANIQUES DU TRONÇON	55
5	L'échantillon étudié	56
6	Viscosité et densité du produit	57
6.1	Densité et viscosité.....	57
7	Débit Q :	58
7.1	Déférence des hauteurs géométrique	59
7.2	Longueurs du pipeline	59
7.3	Diamètre du pipeline.....	60
7.4	Epaisseur moyen	60
7.5	Le diamètre intérieur	60

7.6	Rugosité relative	61
7.7	Calcul hydraulique pour l'OB1	61
7.8	Régime d'écoulement	62
7.9	La pente hydraulique (profil on long)	62
7.9.1	SP1 –SP1 bis	63
7.9.2	SP1 bis –SP2 :	63
7.9.3	SP2 – SP3 :	64
	CAS DU STATION DU BY-PASS SP1-SP2	64
7.9.4	SP3 –TMB	64
7.9.5	Analyse et interprétation	67
7.10	Calcul des régimes de fonctionnement des stations de pompage :	67
7.10.1	SP1	67
7.10.1.1	Calcul Hst:.....	67
7.10.1.2	La charge de la station	67
	Le nombre de pompe mise en marche dans la station est 1, K=1	67
7.10.1.3	Calcul la Vitesse de rotation	68
7.10.1.4	Calcul de rendement	68
7.10.1.5	Calcul la puissance consommée par la pompe	68
7.11	Point de fonctionnement	71
7.11.1	SP1 :	71
7.11.1.1	Point de fonctionnement du SP1	71
7.11.2	SP1-bis	71
7.11.2.1	: Point de fonctionnement du SP1 bis :	72
7.11.3	SP2	73
7.11.3.1	Point de fonctionnement du SP2	73
7.11.4	SP3	74
7.11.4.1	Point de fonctionnement du SP3	74

Chapitre 4 : Modélisation du coefficient de la perte de la charge

1	généralité	76
7.12	Modélisation	76
7.13	Logiciel	76

7.14	But du travail:.....	76
7.15	Généralités sur Excel:	76
7.16	FONCTIONS SUR EXCEL	77
7.1	La recopie automatique.....	77
7.2	La recopie automatique et les formules.....	77
7.3	Fonctions très utiles d'Excel.....	78
7.4	Fonctions conditionnelles	78
7.5	Méthode de travail.....	78
7.6	Méthode du calcul itérative	78
7.7	Méthode Excel goal Seek	79
7.8	Les étapes de la modélisation dans l'Excel goal Seek.....	80
7.9	Organigramme du travail	81
7.10	Modélisation sur dernier tronçon du l'OB1	82
7.10.1	Méthode Excel goal Seek:.....	82
7.11	méthode de substitutions successives	83
7.12	ANALYSE ER INTERPRETATION	83

Chapitre 05 : Optimisation des régimes de fonctionnement de la ligne

OB1

1	introduction sur les problemes d'optimisation	85
1.1	Définition d'un problème d'optimisation	85
1.2	Les caractéristiques d'un problème d'optimisation:	86
2	les problemes d'optimisation mono-objective.....	87
2.1	Variables de décision:.....	87

2.2	Espace décisionnel et espace objectif :	87
2.3	Contraintes:.....	88
3	CLASSIFICATION ET ALGORITHMES DE RESOLUTION DES PROBLEMES D'OPTIMISATION :	88
3.1	Les problèmes de programmation linéaires PPL :	88
3.2	Les problèmes de programmation non linéaires PNL:.....	88
4	LE SOLVEUR EXCEL:.....	89
5	application de l'optimisation pour les différentes phases	89
5.1	La fonction objective F:	90
5.2	Les contraintes d'optimisation de la ligne :.....	91
5.3	Les contraintes de l'OB1 :	91
5.3.1	Les pertes de charges :.....	91
5.3.2	Les pressions de refoulement max :	91
5.3.3	Protection contre la cavitation :	92
5.3.4	Logique :.....	92
	conclusion generale.....	95
	reference.....	97

Introduction générale

Introduction générale :

Les oléoducs et les gazoducs, comme les autoroutes, les voies ferrées et les lignes de transport d'électricité, font partie de notre quotidien depuis longtemps. Ce sont des moyens d'assurer la qualité et le niveau de vie dont nous bénéficions en Algérie aujourd'hui. Les pipelines n'ont pas leur égal quand il s'agit de transporter du pétrole sur de longues distances de façon sûre, fiable et économique. Ils sont extrêmement importants pour la création de richesse en Algérie et leur emploi, comme leur développement, est dans l'intérêt public et le plus grand bien de tous les Algériens.

Le transport par canalisation prend une importance de plus en plus grande à l'échelle nationale comme à l'échelle mondiale, qui correspond à une augmentation constante des quantités des produits transportés et des consommations en énergie. Cette situation exige des entreprises Algériennes de développer davantage leur logistique, voire même de diversifier leur modes de transports afin d'assurer un approvisionnement régulier pour faire face à l'accroissement de la demande sur le marché. C'est dans cette optique que les entreprises pétrolières algériennes du groupe SONATRACH (Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures) ont entrepris un vaste programme d'investissement visant à sécuriser l'approvisionnement du pays en produits pétroliers, à travers un maillage intelligent de pipelines des différentes zones du pays. Ce vaste programme d'investissement vise à atteindre, à moyen terme, un taux de transport par canalisation de 75%.

Considéré comme étant un des maillons clés de sa chaîne de valeurs, ce mode de transport contribue sensiblement à la réduction à la fois des coûts, des délais de livraison, du trafic routier et assure aussi des transports massifs d'hydrocarbures en veillant au respect de l'environnement avec des conditions de sécurité les plus strictes. Les pipelines de grande longueur ne peuvent être spécialisés, on les utilise, lorsqu'il s'agit de pétrole, pour le transport de bruts de différentes origines et lorsqu'il s'agit ainsi de produits finis (les essences, le gasoil, le kérosène,...etc.).

Le diamètre des canalisations récentes atteint jusqu'à 56 pouces (142,24 cm) et la pression de service 75 bars. Dans ces conditions les problèmes de résistance et par conséquent de sécurité des canalisations deviennent extrêmement importants. Il est donc nécessaire que des ingénieurs appelés à travailler dans les sociétés pétrolières aient des connaissances suffisantes des différents aspects des problèmes de résistance des pipelines pour pouvoir juger l'intérêt de leur installation pour le transport de gaz, de brut ou de produits raffinés, La connaissance du régime d'écoulement d'un fluide est un point clé en génie des procédés, car il a une influence sur la plupart des phénomènes, en particulier les transferts de chaleur, de matière, les pertes de charges etc...

Ce mémoire est organisé en cinq chapitres.

- ✓ Le premier chapitre est une description de la ligne OB1 et Description de la société de transport par canalisation centre Bejaia.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à des généralités sur le transport du pétrole brut et les techniques utilisées pour déterminer les différents types de régimes d'écoulement.
- ✓ Dans le troisième chapitre, on fait une étude théorique du technique de déterminera le type de régime et les méthodes numériques pour calculer les pertes de la charge.
- ✓ Dans le quatrième chapitre on a une modélisation numérique en utilisant l'Excel pour déterminer le type de régime et coefficient de la perte de la charge.
- ✓ Pour le dernier chapitre on fait une optimisation pour les puissances consommées per les stations utilisant le solveur EXCEL.

Chapitre 01 :
Présentation générale de
TRC et description de
l'OB1

1 Présentation générale de TRC :

L'Activité Transport par Canalisations est un maillon important de la chaîne des hydrocarbures, d'un point de vue historique, stratégique et opérationnel.

Depuis ce réseau de transport par canalisations ne cesse de s'intensifier et de se complexifier en fonction du développement des activités de l'Amont et de l'Aval pétrolier et gazier de SONATRACH, en national et en international.

Actuellement, l'Activité transport par canalisations assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, gaz naturel, GPL et condensât) depuis les champs de production jusqu'aux complexes et unités de traitements, de transformation, de stockage, d'expédition et d'exportation. Le transport par canalisations est une étape charnière dans la chaîne des hydrocarbures.

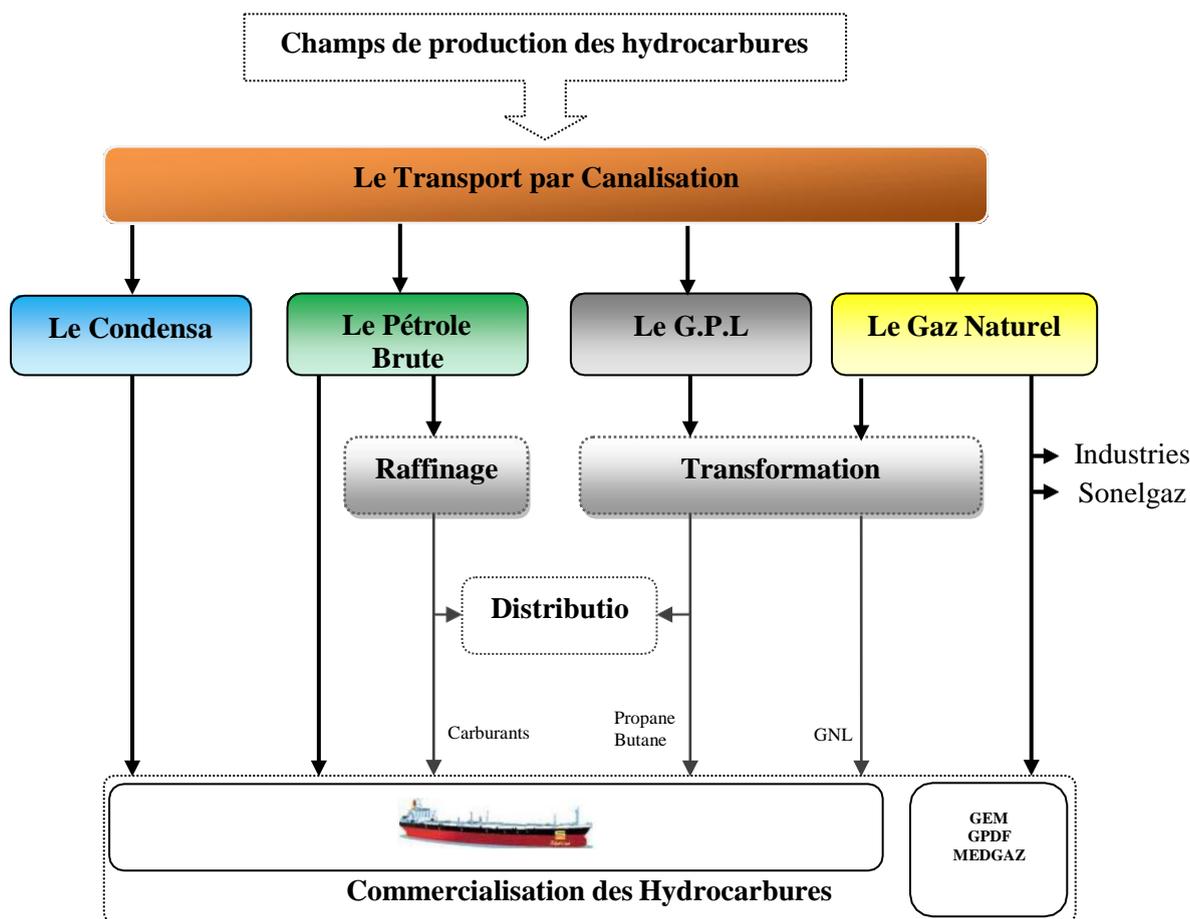


Figure 1: Chaîne de transport par canalisation de SONATRACH.

Ses missions consistent à définir, à réaliser, à exploiter, à maintenir et à faire évoluer le réseau de canalisations et les ouvrages pour répondre aux besoins de Sonatrach dans les meilleures conditions d'économie, de qualité, de sécurité et de respect de l'environnement.

1.1 Consistance du Réseau de Transport :

- ✓ 21 oléoducs d'une longueur de 9 946 km, avec une Capacité de transport de 247,553 Millions de Tep/an.
- ✓ 18 gazoducs d'une longueur totale de 10 981 km, avec une Capacité de transport de 195,121 Milliards de Sm³/an.
- ✓ 83 stations de pompage et de compression.
- ✓ 127 bacs de stockage de pétrole brut et de Condensat, d'une Capacité design de 4,2 Millions de Tep.
- ✓ 02 Centres de Dispatching Liquides et Gaz.
- ✓ 12 postes de chargement de pétrole brut et de Condensat à quai et 05 postes de chargement de pétrole brut en haute mer (02 à Arzew, 02 à Skikda et 01 à Béjaïa) de type SPM (Single Point Mooring), implantés au niveau des terminaux marins dans les différents ports (Arzew, Bethioua, Béjaïa et Skikda).
- ✓ 03 Directions opérationnelles de maintenance.
- ✓ 03 Bases régionales d'intervention (HEH – Barika – SP6/Tiaret).
- ✓ 01 Centre de Stockage et Transfert des Fluides (CSTF).

1.2 Cartographie actuelle du Réseau de transport:

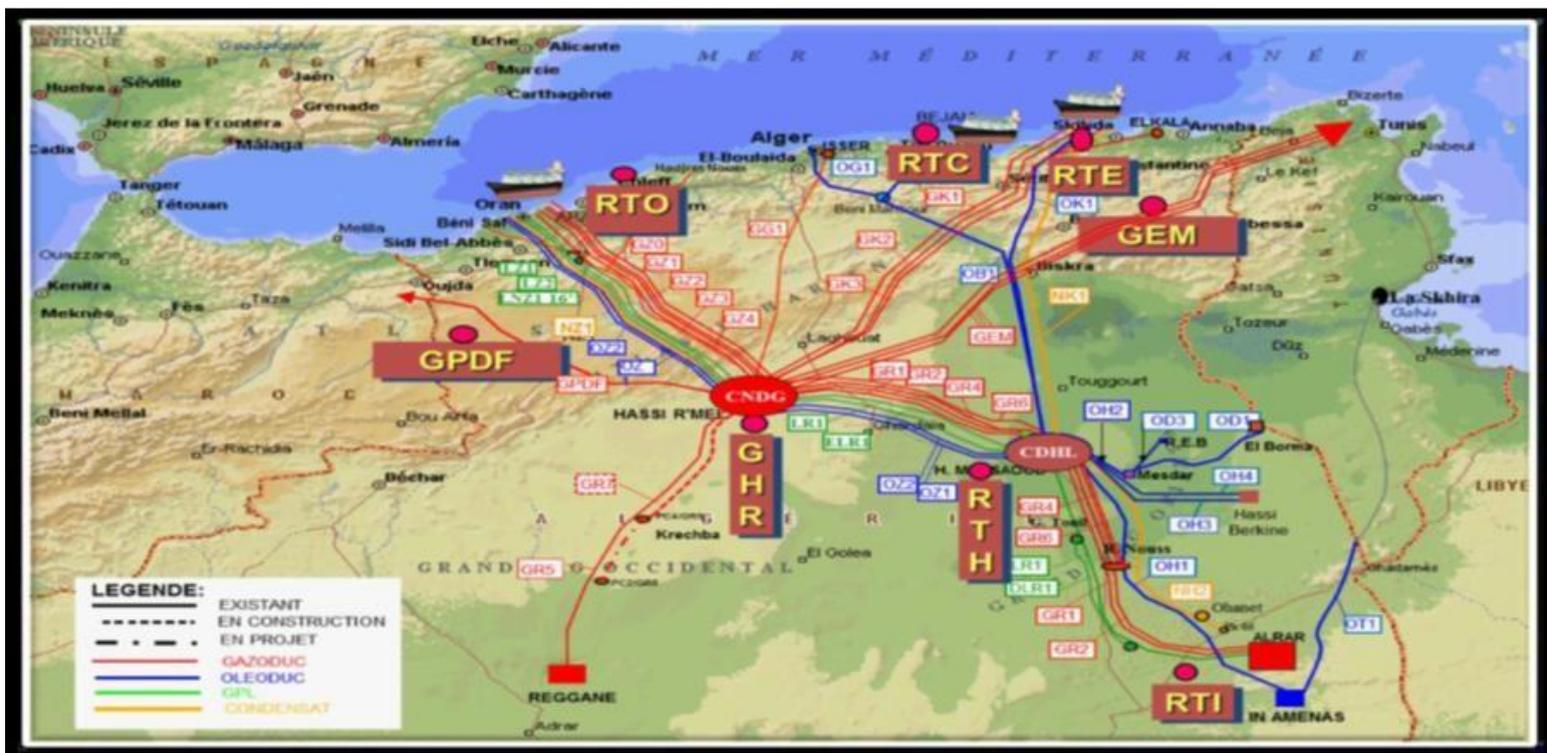


Figure 2: Le réseau actuel du Pétrole Brut.

	Pétrole brut	Condensat	GPL	Gaz Naturel	Total
Nombre des STC	7	3	2	10	22
Nombre des Canalisations	12	3	6	18	39
Longueur(Km)	4973	1718	3255	10981	20927
Nombre de Stations	34	5	11	33	83
Nombre de Bacs	100	27	-	-	127
Capacité Design Stockage (10 ⁶ TM)	3.3	0.87	-	-	4.17
Capacité Design Transport (MTEP)	172.9	44.905	29.747	186.833	434.385

Tableau 1: Réseau en exploitation

2 Présentation de la direction régionale de Bejaia DRGB :

La DRGB est l'une des sept directions régionales opérationnelles de transport par canalisations des hydrocarbures, elle est rattachée directement à la division exploitation.

2.1 Situation géographique de la DRGB :

Elle est située au nord de Bejaia (arrière port) et à l'entrée de la ville sur la zone industrielle. Elle s'étend sur une superficie d'environ 596601 m².

Son effectif est d'environ 480 travailleurs répartis sur 11 sites géographiques. Sa mission consiste en le transport, le stockage, et la livraison des hydrocarbures liquides et gazeux (pétrole brut et gaz naturel) de la région centre du pays via les pipelines.

2.2 Organigramme de la DRGB :

La direction régionale de Bejaïa est répartie comme le décrit l'organigramme suivant :

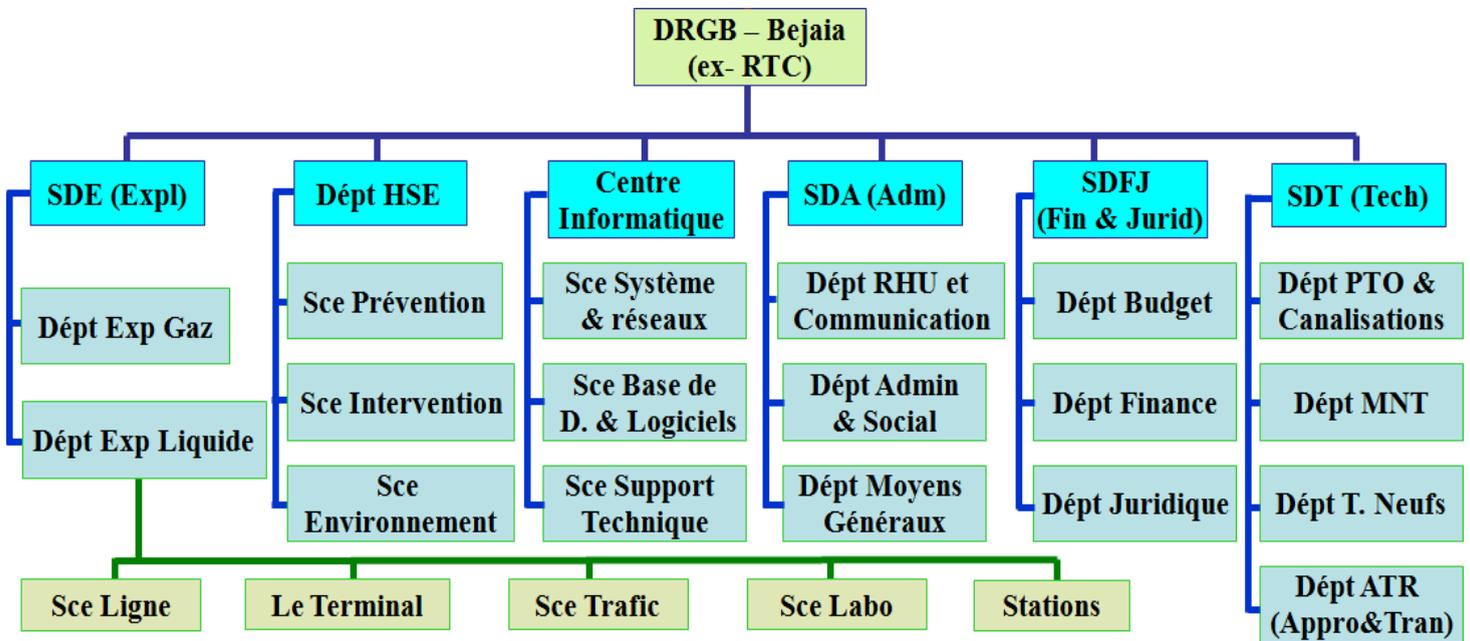


Figure 3: Organigramme de la DRGB.

I.2.2.1 Présentation des différents départements :

La DRGB est composée de quatre sous-directions qui sont elle-même décomposée en départements que nous allons décrire ci-dessous.

a- Sous-direction exploitation : est chargée de l'exploitation des installations de la région, elle est composés de deux départements :

- Département exploitation liquide : il a pour mission principale, l'organisation du transport de pétrole brut et du condensat dans les meilleures conditions et couts.
- Département exploitation gaz : il a pour mission principale, l'organisation du programme transport du gaz dans les meilleures conditions et couts, et assurer le bon fonctionnement du gazoduc.

b- Sous-direction Finance et Juridique :

Elle a pour mission d'effectuer la gestion financière, de préparer le budget, d'assurer le contrôle de gestion et de prise en charge des affaires juridiques de la DRGB. Elle est organisée en trois départements : département finance, département juridique, département budget et contrôle de gestion.

- Département budget et contrôle de gestion : Son rôle essentiel est de s'assurer que les budgets sont respectés. Par ailleurs, il se charge d'élaborer le budget annuel de l'entreprise, comparer les prévisions faites avec les résultats obtenus et tirer.
-
- Département juridique : Ce département a pour mission de prendre en charge les litiges nés entre la DRGB et les différents partenaires, et la préservation de tout le patrimoine de l'entreprise.
- Département finances : Celui-ci a pour mission d'assurer la gestion financière de la DRGB, il est composé de deux services : comptabilité générale et trésorerie.

c- Sous-direction technique :

Elle a pour mission d'assurer la maintenance et la protection des ouvrages, ainsi que l'approvisionnement, l'étude et le suivi des projets de réalisation des travaux neufs. Elle est organisée en quatre départements : département maintenance, département protection des ouvrages, département approvisionnement et transport et le département travaux neufs.

d- Sous-direction administration :

Elle a pour mission la gestion des ressources humaines et les moyens généraux. Elle est organisée en trois départements : département administration et social, département ressources humaines et communication, département moyens généraux

e- Enfin le centre informatique :

Il est chargé de développer et d'exploiter des applications pour le compte de la DRGB ainsi que la maintenance des équipements informatiques.

3 Description et historique de l'OB1 :

Ce pipeline, premier Oléoduc installé en Algérie et réalisé par la SOPEG, fondée en 1957 par la Compagnie Française de Pétrole CFP et la SNREPAL, fut mis en service en 1959 pour acheminer le pétrole brut au terminal marin de Bejaïa d'où sa dénomination d'OB1. Partant du centre de stockage de Haoudh-El-Hamra PK 0 (Point Kilométrique) à une altitude de 150 m, et traversant les deux principaux pics (l'un à Metlili au PK 386 dont l'altitude est de 542 m et l'autre à Selatna au PK 533 dont l'altitude est de 1032 m) il atteint enfin le Terminal Marin de Bejaïa **TMB** après un parcours de 668Km environ. Entre HEH et Selatna l'OB1 est de **24"** et il est seulement de **22"** pour le reste de son parcours vers le Terminal Marin de Bejaïa, son acier est de nuance **X52** et **X42**.

Au départ l'OB1 était mis en marche avec seulement trois stations de pompage (**SP1**, **SP2** et **SP3**) pour une capacité de 12,5 MTA (1800 m³/h) puis, juste après sa mise en service en 1959 et pour porter sa capacité à 15 MTA (2200 m³/h), on a décidé de construire à 190 Km en aval de SP1, c'est-à-dire au niveau de Djamâa, la quatrième station qui fut réceptionnée en 1961 et qui porta finalement le nom de **SP1bis** puisqu'elle était en amont de SP2.

Vers 1969 alors que les besoins en pétrole allaient en grandissant, quatre stations intermédiaires appelées aussi Stations Satellites (**SPA**, **SPB**, **SPC** et **SPD**) furent mises en ligne pour pouvoir atteindre la capacité de 17,8 MTA (2540 m³/h). Ainsi le transport du brut de l'OB1 est assuré par 4 stations principales (SP1, SP1bis, SP2 et SP3) et 4 stations Satellites (SPA, SPB, SPC et SPD). Toutes ces stations ainsi que le Terminal Marin TMB sont gérés par la **Direction Régionale de Bejaia DRGB** à l'exception de SP1 gérée elle par la **Direction Régionale de HEH DRGH**. En 1974 débuta le transport du Condensat (C₅+) de l'OB1.

Le 20''OG1:Par ailleurs à partir de 1970, sur une longueur de 131 Km et pour pouvoir acheminer le brut vers la raffinerie de Sidi-Arcine Alger TRA (ex-Raffinerie d'El-Harrach) qui était auparavant alimentée à partir de Bejaïa par cabotage, un piquage de 16'' sur l'OB1 ainsi qu'une Station de Pompage (**SBM**) furent réalisés au niveau de **Beni-Mansour** (PK 573). Cet Oléoduc fut appelé **OG1** (1^{er}Oléoduc arrivant à ALGER). Etant l'unique station de pompage sur l'**OG1** (rappel: SPD peut aussi débiter sur l'OG1), la Station **SBM** assure l'approvisionnement en brut de la raffinerie de Sidi-Arcine par un débit d'alimentation stable en le soutirant directement de l'**OB1 22''** ou, au cas où l'OB1 22'' est en colonne de condensat, le soutirage se fait alors à partir des deux bacs installés justement à cet effet à Béni-Mansour. Puis en 2005, sur presque le même parcours, ce pipeline fut totalement remplacé par un 20'' d'une longueur de 145 Km.

Actuellement les stations satellites ne fonction plus, leurs dates d'arrêt sont (SPA : 1998 / SPB : 2007 / SPC : 2001 / SPD : 1994) et l'OB1 ne transporte plus du condensat, depuis septembre 2011, après la création de la raffinerie de Skikda alimentée directement de Haoudh-El-Hamra.

3.1 Caractéristiques de L'OB1 :

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques de l'OB1 :

I – OLEODUCS	24'' & 22'' OB1 (Brut)	20'' OG1 (Brut)
Départ de	Haoud-El-Hamra (Hassi-Messaoud)	Béni-Mansour
Arrivée à	Bejaïa	Sidi-Arcine
Diamètre (pouce)	24'' sur 533 Km & 22'' sur 135 Km	20''
Longueur (Km)	668	145
Nombre de Stations	7 (SP1 bis fonction seulement au-delà 1400 m ³ /h)	1
Nombre de Machines	34	7
Capacité (MTA)	15	8
Mise en service	1959	2005 (1971 pour l'ex 16'')

Tableau 2:Caractéristiques de l'OB1.

3.2 Topographie de l'OB1 :

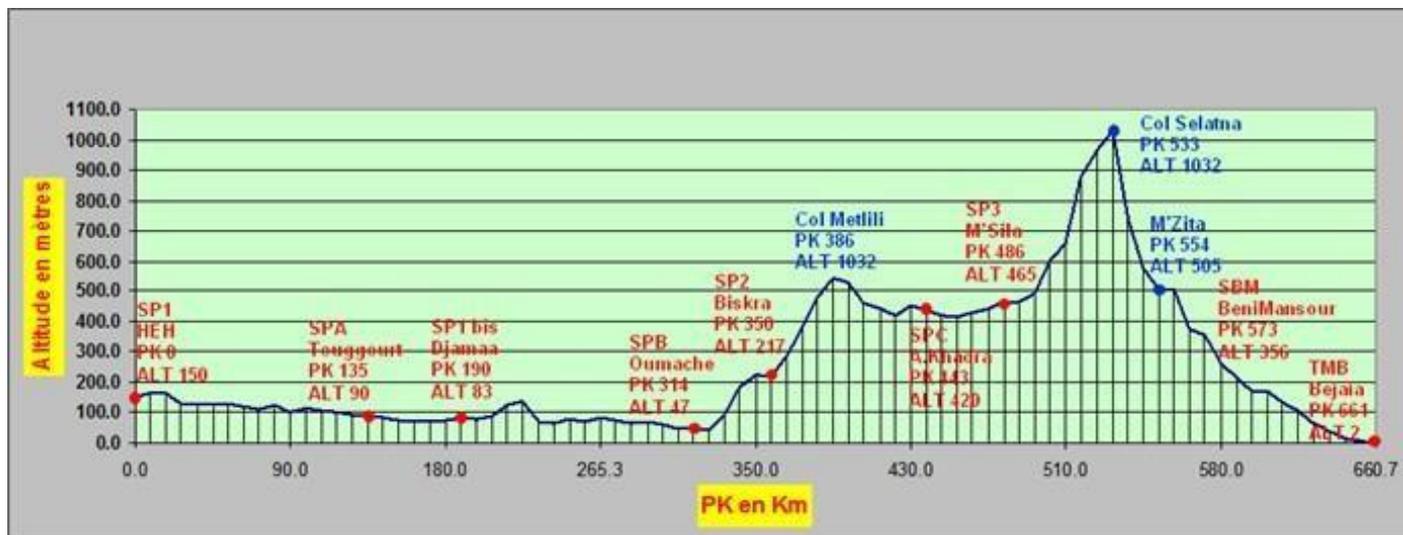


Figure 4 : Profil en long de l'OB1.

I.1.2 Variation de l'épaisseur de L'OB1:

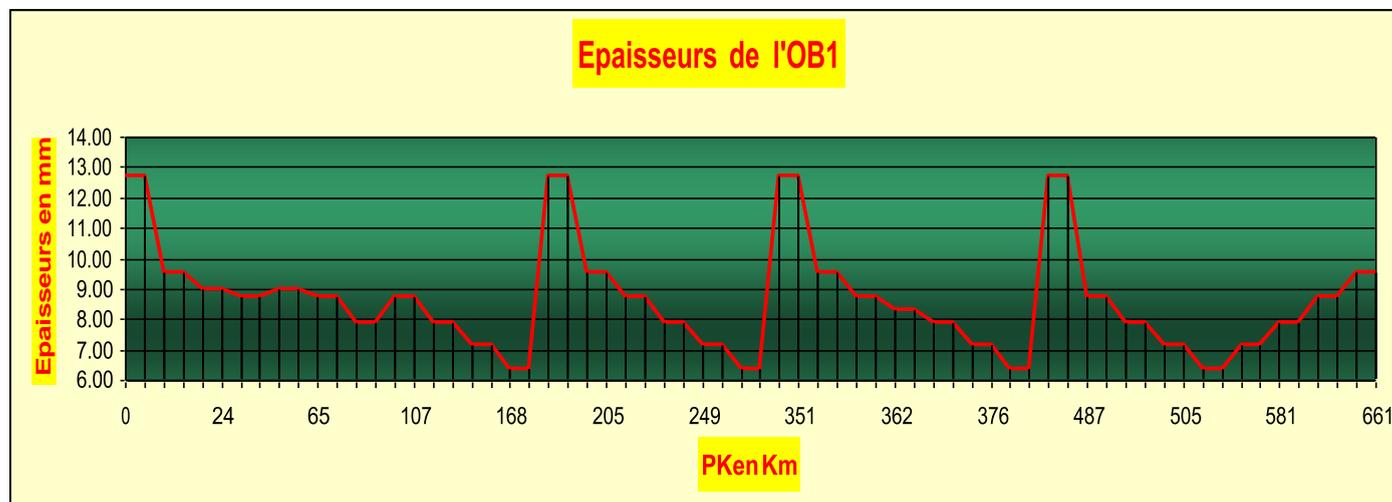


Figure 5 : les différentes variations de l'épaisseur de l'OB1

4 Caractéristiques des stations :

Les tableaux suivants donnent les caractéristiques de chaque station :

4.1 SP1 :

Situation géographique			SP1
			PK : 0.000
TP : Turbopompe TC : Turbocompresseur EP : Electropompe MP : Moteur	Turbin e ou Moteu r	Nomb re	5 EP
		Constructeur	CEN
		Type	Asynchrone
		Puissance CV	10 000
	Pompe ou Compresseur	Nomb re	5 pompes
		Constructeur	GUINARD
		Type	Centrifuge
Turboalternateu r ou Groupe électrogène		Nomb re	1
		Constructeur	SDM O
		Puissance KVA	250
Consommation			Secours

Tableau 3:les caractéristiques de SP1.

CV : Chevaux

KVA : kilo volt Ampère

4.2 SP1 bis :

Situation géographique			SP1 bis
			PK : 189.820
TP : Turbopompe TC : Turbocompresseur EP :Electropompe MP :Moteur	Turbin e ou Moteu r	Nomb re	2 TP
		Constructeur	NuovoPignone
		Type	Turbine à gaz
		Puissance CV	13410.22 (10 MW)
	Pompe ou Compresseur	Nomb re	2 pompes
		Constructeur	NuovoPignone
		Type	Centrifuge
Turboalternateu r ou Groupe électrogène		Nomb re	2 TA
		Constructeur	Solar
		Puissance KVA	(1 MW)
Consommation			Secours

Tableau 4: Caractéristiques de SP1 bis.

4.3 SP2:

Situation géographique			Station : Nlle SP2
			PK : 350.832
TP : Turbopompe TC : Turbocompresseur EP Electropompe MP Motopompe	Turbine ou Moteur	Nombre	5 EP
		Constructeur	ASP ROBICON
		Type	Asynchrone
		Puissance CV	2011.533 (1500KW)
	Pompe ou Compresseur	Nombre	5 pompes
		Constructeur	GUINARD
		Type	Centrifuge
Turboalternateur ou Groupe électrogène		Nombre	1 GE
		Constructeur	ROSSIGE
		Puissance CV	630 KVA
Consommation			Secours

Tableau 5:: Caractéristiques de SP2.

4.4 SP3 :

Situation géographique			Station : Nlle SP3
			PK : 486.243
TP : Turbopompe TC : Turbocompresseur EP Electropompe MP Motopompe	Turbine ou Moteur	Nombre	5 EP
		Constructeur	ASP ROBICON
		Type	Asynchrone
		Puissance CV	2145.635 (1600KW)
	Pompe ou Compresseur	Nombre	5 pompes
		Constructeur	GUINARD
		Type	Centrifuge
Turboalternateur ou Groupe électrogène		Nombre	1 GE
		Constructeur	ROSSIGE
		Puissance CV	630 KVA
Consommation			Secours

Tableau 6 :: Caractéristiques de SP3

4.5 Terminal Arrivée :

Situation géographique			TMB
			PK : 667.135
TP : Turbopompe TC : Turbocompresseur EP : Electropompe MP : Motopompe	Turbine ou Moteur	Nombre	10 EP
		Constructeur	BREGUET . CEN. BSH . SW
		Type	Asynchrone
		Puissance CV	6 137
	Pompe ou Compresseur	Nombre	10 pompes
		Constructeur	GUINARD
		Type	Centrifuge
	Turboalternateur ou Groupe électrogène		Nombre
Constructeur			PETBOW
Puissance KVA			165
Consommation			Secours

Tableau 7:: Caractéristiques du Terminal Arrivée Bejaïa.

Observation : la dernière installation sert à faire des transferts internes au Terminal et à charger des navires au port pétrolier. La DRGB possède une autre installation qui sert à faire des transferts internes au Terminal et à charger des navires en haute mer.

Chapitre 02:

Les régimes d'écoulement pour les oléoducs

1 Introduction

Les expériences réalisées par Reynolds (1883) lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de trois régimes d'écoulement : laminaire, transitoire et turbulent. L'écoulement laminaire est caractérisé par une seule direction (composante) de vitesse (vecteurs vitesse parallèles), un écoulement turbulent est caractérisé par des tourbillons dans le fluide, le passage du régime laminaire au régime turbulent est dit régime d'écoulement transitoire.

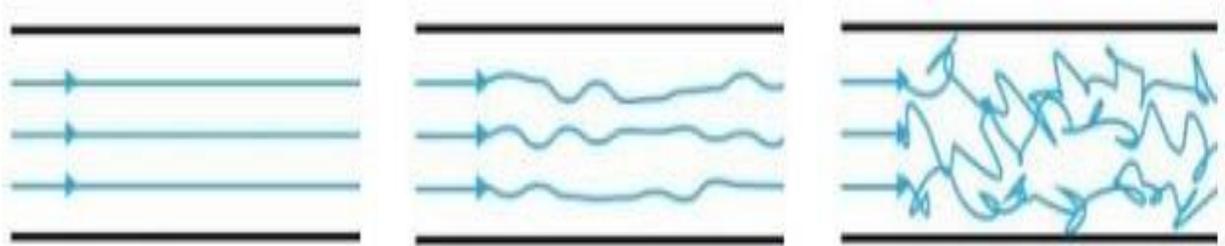


Figure 6 :Les régimes d'écoulement.

Écoulement stationnaire et instationnaire :

- ✓ On dit qu'un écoulement est stationnaire si toutes les variables décrivant le mouvement sont indépendantes du temps.

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0$$

- ✓ Un écoulement est dit **instationnaire** si les variables décrivant le mouvement dépendent du temps.

2 Détermination type du régime d'écoulement:

Pour déterminer le régime d'écoulement du pétrole dans les pipelines on a besoin des données suivantes :

- ✓ débit Q .
- ✓ propriétés physico-chimiques du pétrole (la masse volumique, la viscosité cinématique).

- ✓ Les températures (température ambiante, température du sol.....)
- ✓ Propriétés mécaniques de l'acier du pipe.
- ✓ La rugosité absolue e

2.1 Débit volumique :

2.1.1 Définition :

C'est le volume de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant le temps.

Le débit est donné par millions tonnes par année, on définit par m^3/s supposant que le pipe fonctionne 350 jours (15 jours de la maintenance)

$$Q_v = Q_a / (350 * 24 * 3600) \quad m^3/s$$

Q_a : débit annuel

2.1.2 Relation entre débit massique et débit volumique :

A partir des relations précédentes on peut déduire facilement la relation entre le débit massique et le débit volumique :

$$Q_m = \rho * Q_v$$

Q_m : débit massique en kg/s

Q_v : débit volumique en m^3/s

ρ : la masse volumique en kg/m^3

2.2 La masse volumique :

On appelle aussi la densité, c'est la masse d'une unité de volume

$$\rho = m/v$$

ρ : densité en kg/m^3

M : masse du brut en kg

V : volume du brut en m^3

2.3 La densité relative:

2.3.1 Définition:

La densité relative d'un produit est donnée par la relation suivante :

$$d = \rho_{20} / \rho_{\text{eau}}$$

ρ_{eau} : densité de l'eau à 4°C (1000 kg/m³)

ρ_{20} : densité de l'eau à 20°C

2.3.2 Influence de la température sur la densité

La densité du pétrole varie avec la température, plus que la température augmente, plus la densité diminue. La relation entre la température et la densité est donnée par la relation suivante :

$$\rho_t = \rho_{20} - \kappa(t-20) \quad \text{Kg/m}^3$$

$$\kappa = 1.825 - 1.315 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{20}$$

ρ_t : densité du produit à la température t

ρ_{20} : densité à 20°C

T : température °C

2.4 La viscosité:

2.4.1 Définition:

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel on mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide.

2.4.2 TYPES DU VISCOSITE :

On a deux types de la viscosité :

- ✓ Viscosité dynamique : on exprime par l'unité du poise et désigne par lettre μ .
- ✓ Viscosité cinématique : on exprime par l'unité du stockes et désigne par lettre ν

2.4.3 La relation entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique :

On donne la relation entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique par la relation suivante :

$$\nu = \mu / \rho$$

2.4.4 Influence de la température sur la viscosité :

La viscosité du produit dépend de la température .plus que la température du produit augmente plus la viscosité diminue.

Pour détermine la viscosité du pétrole a une température quelconques on utilise la formule de Reynolds-Filinov :

$$\nu_t = \nu_{t1} * \text{expo} (- u (t-t_1)) \quad \text{st}$$

Avec $u = \ln (\nu_1/\nu_2)/(t_2-t_1)$

ν_1, ν_2, ν_t :respectivement viscosité à la température t_1, t_2, t

Ln : logarithme népérien

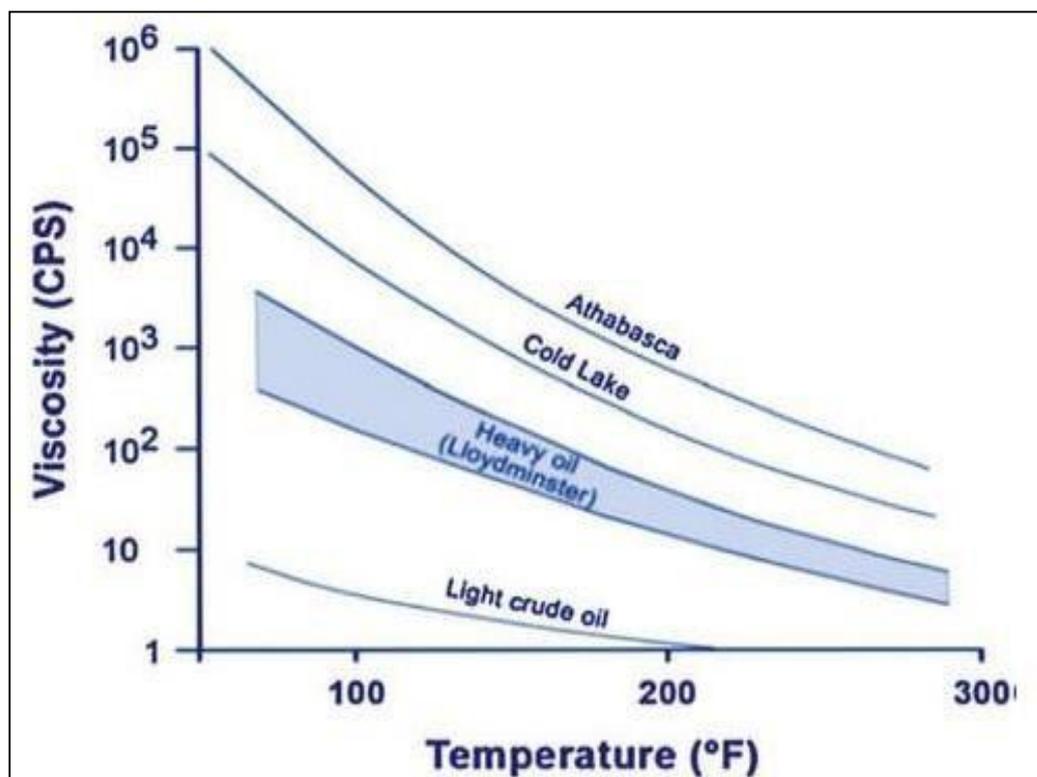


Figure 7 :Influence de la température sur la viscosité

2.5 La rugosité absolue :

Est un paramètre important pour les calculs des Reynolds critiques et la détermination des pertes de la charge. L'unité essentielle de la rugosité est généralement millimètres et désigne par lettre e . On peut déterminer par MECAFLUX (logiciels aide calculs mécanique des fluides).

Exemples de rugosités de tuyau ou conduites de réseaux hydrauliques:

acier soudé	Neufs	0,04
Tuyaux en acier soudé	Neufs, revêtus de bitumen	0,05
Tuyaux en acier soudé	Depuis longtemps en service, le bitume partiellement disparu, corrodés	0,1
Tuyaux en acier soudé	Depuis longtemps en service, corrosion uniforme	0,15
Tuyaux en acier soudé	Sans inégalités notables aux joints ; intérieurement enduits (épaisseur de la couche: 10 mm environ); mauvais état	0,3 à 0,4
Tuyaux en acier soudé	Conduites principales de gaz, après de nombreuses années d 'exploitation	0,5
Tuyaux en acier soudé	Avec rivure transversale simple ou double ; enduits intérieurement, ou sans revêtement, mais non corrodés	0,6 à 0,7
Tuyaux en acier soudé	Enduits intérieurement, mais non exempts d 'oxydation ; encrassés au cours du service avec de l 'eau, mais non corrodés	0,95 à 1
Tuyaux en acier soudé	Conduites principales de gaz, après 20 ans de service, dépôts stratifiés	1,1
Tuyaux en acier soudé	Avec double rivure transversale, non corrodés; encrassés en cours de service avec de l 'eau	1,2 à 1,5
Tuyaux en acier soudé	Dépôts faibles	1,5

[5] Tableau 8 :Rugosités de quelques conduits en fonction de leur état

2.6 La rugosité relative :

Il égal la rugosité absolu sur le diamètre intérieur du conduite, sa valeur est sans unité.

$$\xi = e / D$$

e : la rugosité absolu en mm

D : diamètre intérieur en mm

2.7 Choix du diamètre optimum:

Il faut préciser que : 1 pouce=0.0254 m

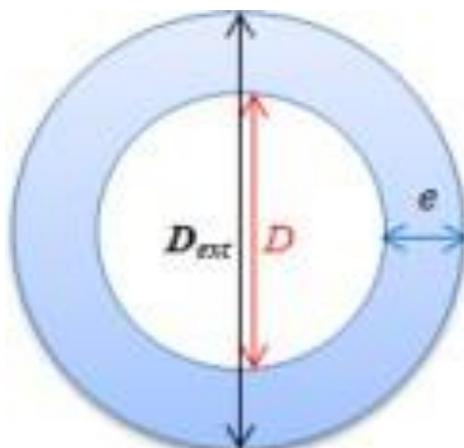


Figure 8 : Schéma d'un tube

On peut déterminer le diamètre du pipeline de la manière suivante :

On a l'équation de la continuité : $Q = w * A$ avec $A = \pi d^2 / 4$

Donc
$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w}}$$

Q : débit en m^3 / s

W : la vitesse d'écoulement

On comparée ensuite le diamètre calcule avec les diamètres normalisés et on choisit le diamètre normalisé le plus proche.

2.8 Détermination du l'épaisseur :

Pour déterminer l'épaisseur de la pipe on utilise la formule de Barlow:

$$\delta = \frac{P * d}{2 * \sigma}$$

: Épaisseur de la paroi δ

P : Pression du service

D : Diamètre extérieure

: Contrainte dans la paroi σ

Pour le calcul des conduites la contrainte admissible est donnée par les relations :

$$[\sigma]_e = k_e \sigma_e$$

$$[\sigma]_r = k_r \sigma_r$$

k_e et k_r sont les coefficients de sécurité .on déterminer par le tableau suivant :

Catégorie	Gaz		Liquide	
	k_e	k_r	k_e	k_r
I	0,600	0,360	0,675	0,470
II	0,720	0,550	0,750	0,590
III	0,800	0,600	0,820	0,650

Tableau 9 :Les coefficients du Security

: ont respectivement les limites d'élasticité et de rupture de l'acier. σ_e et σ_r

On déterminera par le tableau suivant

Spécification A.P.I	Grade	Limite d'élasticité MPa (N/mm ²)	Limite de rupture MPa (N/mm ²)
5L	A	210	340
5L	B	250	420
5LX	X42	290	420
5LX	X46	320	450
5LX	X52	370	470
5LX	X56	390	520
5LX	X60	410	550
5LX	X65	460	560
5LX	X70	490	600

Tableau 10 : Les limites d'élasticité et de rupture de l'acier

Pour mesure de sécurité on adoptera la valeur la plus faible pour une épaisseur plus élevée.

On comparée ensuite le épaisseur calcule avec les épaisseurs normalisés et on choisit l'épaisseur normalisé le plus proche.

2.9 Diamètre intérieur :

On calculer par la relation suivante :

$$D = d - 2 * \delta$$

D : Diamètre extérieur en mètre

: Épaisseur en mètre δ

2.10 Les régimes d'écoulement :

Il existe deux régimes d'écoulement :

- ✓ Régime laminaire
- ✓ Régime turbulent

2.10.1 Régime laminaire :

Quand l'écoulement se fait par filet parallèle c'est-à-dire que les lignes de courant sont toutes parallèles à l'axe de la conduite. On parle alors d'écoulement stratifié. Il se produit dans les canalisations ou la vitesse d'écoulement est faible.



Figure 9 Régime laminaire

2.10.2 Régime turbulent :

Apparaît lorsqu'il y a formation de tourbillons dans le liquide pour des vitesses d'écoulement élevées. Cet écoulement chaotique apparaît au centre de la conduite alors que sur la périphérie on distingue une couche limite laminaire.

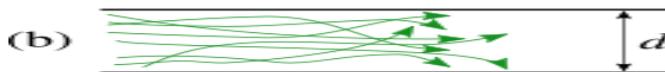


Figure 10: Régime turbulent

On distingue trois zones de régime turbulent :

- ✓ Régime turbulent hydrauliquement lisse
- ✓ Régime turbulent frottement mixte
- ✓ Régime turbulent tube rugueux (régime quadratique)

En utilisant divers fluides à viscosités différentes, en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si

l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds donné par l'expression suivante:

$$Re = (w * d) / \nu \quad \text{ou} \quad Re = \frac{4Q_{\varphi}}{\pi d \mu}$$

V : Vitesse moyenne d'écoulement considérée en (m/s).

d : Diamètre de la conduite (m).

ν : Viscosité cinématique du fluide (m²/s).

Q : débit en m³ /s

μ : Viscosité dynamique en poise μ

De l'expérience, Il est montré que pour un écoulement dans une conduite, que :

Si $Re < 2320$: l'écoulement est laminaire.

Si $Re_{cr1} > Re > 2320$: l'écoulement est turbulent hydrauliquement lisse

Si $Re_{cr1} < Re < Re_{cr2}$: l'écoulement est turbulent frottement mixte

Si $Re > Re_{cr2}$: l'écoulement est turbulent tube rugueux (régime quadratique)

Ces valeurs doivent être considérées comme des ordres de grandeur, le passage d'un type d'écoulement à un autre se fait progressivement.

Reynold critique 1(Re_{cr1}):on déterminer par la relation suivant :

$$Re = 59.5 / (\epsilon)^{8/7} \quad \text{avec } \epsilon : \text{ la rugosité relative}$$

Reynold critique 2 (Re_{cr2}) : on déterminer par la relation suivant :

$$Re = \frac{665 - 765 \cdot \log(\epsilon)}{\epsilon} \quad \text{avec } \epsilon : \text{ la rugosité relative}$$

2.11 Les types du régime d'écoulement :

Régime d'écoulement	laminaire	Turbulent		
Type du régime	/	hydrauliquement lisse	frottement mixte	Tube rugueux
Nombre du Reynolds	$Re < 2320$	$Re_{cr1} > Re > 2320$	$Re_{cr1} < Re < Re_{cr2}$	$Re > Re_{cr2}$

Tableau 11: Les régimes d'écoulement

2.12 Diagramme de Moody :

En ingénierie, le diagramme de Moody est un graphe adimensionnel qui représente le facteur de friction de Darcy-Weisbach f_D en fonction du nombre de Reynolds Re et de la rugosité relative pour un débit de pleine section dans une conduite circulaire. Ce graphe permet de calculer les pertes de charges ou le débit dans un tuyau donné.

En 1944, Lewis Ferry Moody publie un graphique représentant le facteur de friction de Darcy-Weisbach en fonction du nombre de Reynolds Re pour diverses valeurs de rugosité relative ε / D . Ce graphique est connu sous le nom de graphe de Moody ou Diagramme de Moody. Ce travail est une adaptation du travail de Hunter Rouse à l'aide des coordonnées employées par R. J. S. Pigott, dont le travail était basé sur une analyse de quelque 10 000 expériences provenant de diverses sources. Les mesures de débits de fluides dans des tuyaux artificiellement rendus rugueux par J. Nikuradse étaient à ce moment-là encore trop récentes pour avoir été pris en compte par Pigott.

Le diagramme a pour but de fournir une représentation graphique de la fonction produite par C. F. Colebrook en collaboration avec C. M. White. Cette fonction permettant de dessiner une courbe de transition reliant la zone de transition entre les tuyaux lisses et rugueux, c'est-à-dire la région de turbulence incomplète ou régime transitoire.[6]

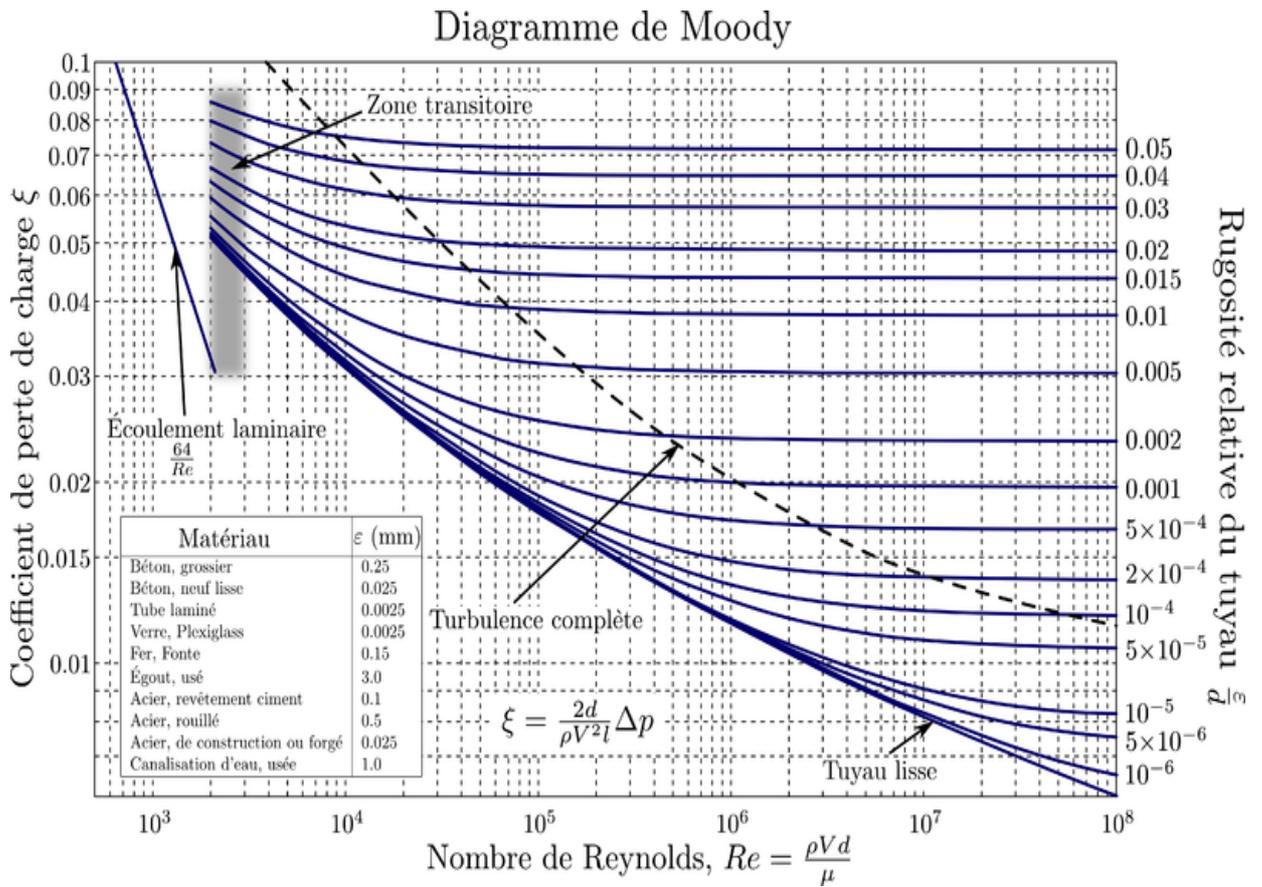


Figure 11 :Diagramme de Moody [7]

- ✓ Les phénomènes d'écoulement sont beaucoup plus complexes et la détermination du coefficient de perte de charge résulte de mesures expérimentales. C'est ce qui explique la diversité des formules anciennes qui ont été proposées pour sa détermination.
- ✓ Des formules empiriques ou des abaques sont donc utilisées pour avoir des ordres de grandeur corrects des pertes de charge. Les calculs très précis sont inutiles, car les installations sont toujours dimensionnées avec un coefficient de sécurité permettant une adaptation à des fonctionnements imprévus
- ✓ Pour chaque régime d'écoulement du tableau on a un coefficient de la perte de la charge λ déterminé par plusieurs méthodes, donc pour donner une valeur précise de λ pour chaque régime est revenu à la formule utiliser.

2.13 Coefficient de la perte de la charge λ :

2.13.1 Définition

λ est un coefficient sans dimension appelé coefficient de perte de charge linéaire.

Le calcul des pertes de charge repose entièrement sur la détermination de ce coefficient.

2.13.2 L'écoulement laminaire :

Dans ce cas on peut montrer que le coefficient λ est uniquement fonction du nombre de Reynolds Re , l'état de la surface n'intervient pas et donc λ ne dépend pas de la rugosité ϵ_s (la hauteur moyenne des aspérités du tuyau), ni de la nature de la tuyauterie.

$$\lambda = 64/Re \quad \text{formule de stocks}$$

2.13.3 L'écoulement turbulent :

En régime turbulent l'état de la surface devient sensible et son influence est d'autant plus grande que le nombre de Reynolds Re est grand. Tous les travaux ont montré l'influence de la rugosité et on s'est attaché par la suite à chercher la variation du coefficient en fonction du nombre de Reynolds Re et de la rugosité ϵ_s du tuyau. [8]

2.13.3.1 Régime turbulent hydrauliquement lisse :

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25} \quad \text{formule de Blasius}$$

2.13.3.2 Régime turbulent frottement mixte :

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{68}{Re} + \epsilon_s \right)^{0.25} \quad \text{formule d'altcholle}$$

2.13.3.3 Régime turbulent tube rugueux :

$$\lambda = 0.11 (\epsilon_s)^{0.25} \quad \text{formule d'altcholle}$$

Remarque :

- ✓ Comme en régime laminaire, le régime turbulent ne s'établit parfaitement qu'à partir d'une certaine longueur l .
- ✓ Pour de grandes valeurs de Re , l'influence de cette longueur ne peut être sensible que pour des tuyaux courts.

- ✓ Dans le domaine de l'écoulement turbulent en conduite sous pression, La relation universellement admise pour résoudre la dernière catégorie de problème est celle de *Darcy-Weisbach*, Le coefficient de perte du charge lambda est régi par plusieurs formules.

2.14 La formule Colebrook-White :

La formule de Colebrook - White permet de calculer le coefficient lambda de pertes de charges linaires dues aux frottements et à la viscosité. La formule de Colebrook est actuellement considérée comme celle qui traduit le mieux les phénomènes d'écoulement en régime turbulent.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k/D}{3,71} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

Où

K : la rugosité absolue caractérisant l'état des parois internes de la conduite

D : le diamètre de la conduite

Re : le nombre de *Reynolds* caractérisant l'écoulement.

Remarque :

- ✓ La relation couvre tout le domaine du diagramme de *Moody* et reste applicable pour $Re > 2320$ et $0 \leq \xi / D \leq 0,05$.
- ✓ En raison de la forme implicite de la relation, l'évaluation du coefficient de frottement f doit se faire en s'appuyant soit sur un procédé itératif ou soit sur des formules approchées, sachant que la rugosité relative ε / D ainsi que le nombre de *Reynolds* R sont les variables connues du problème.
- ✓ La présente note technique met en évidence les deux principales relations approchées destinées au calcul explicite du coefficient de frottement f en

conduite circulaire sous pression. Elles se rapprochent de la relation et peuvent être d'une grande utilité dans la plupart des cas pratiques, notamment lors de l'évaluation du gradient J de la perte de charge.

- ✓ L'utilisation directe de cette formule demande, du fait de sa forme implicite, un calcul par approximations successives ; on emploie aussi en pratique des représentations graphiques (abaques).
- ✓ pour simplifier la relation précédente, on peut chercher à savoir si l'écoulement est hydrauliquement lisse ou rugueux pour évaluer la prédominance des deux termes entre parenthèses dans la relation de Colebrook.

2.15 La formule de Swamee et Jain :

La formule de Swamee et Jain (1976) est la relation la plus utilisée de nos jours. Elle constitue une solution approchée à l'équation de sorte que le coefficient de la perte de charge λ s'exprime par :

$$\lambda = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad \text{ou}$$

Log : Logarithme décimale

ε : la rugosité absolue caractérisant l'état des parois internes de la conduite

D : le diamètre de la conduite

Re : le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement.

Remarque :

- ✓ Le caractère explicite de la relation est évident. Le coefficient de la perte de charge peut-être en effet directement évalué à partir des valeurs connues de ε / D et de Re . Cependant, pour définir le domaine de validité de la relation, il serait intéressant de la comparer à la formule exacte de Colebrook-White.
- ✓ Une brève comparaison a été effectuée et les résultats sont reportés sur la figure suivante. Nous avons en fait représenté, dans un système d'axes de

coordonnées à divisions logarithmiques, les écarts $(\Delta\lambda) / \lambda$ calculés entre les deux relations en fonction du nombre de *Reynolds* Re et pour trois valeurs seulement de la rugosité relative ε / D .

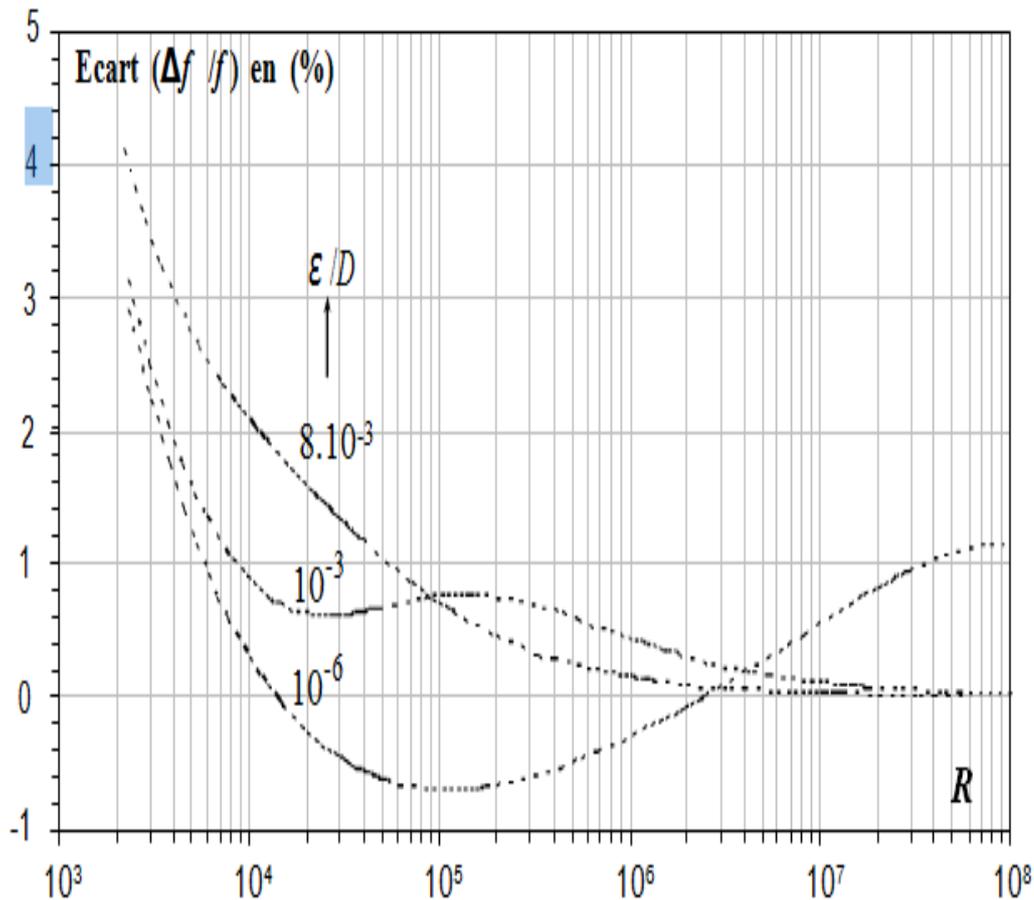


Figure 12 : Swamee et Jain s'écarte

Pour la rugosité relative $\varepsilon / D = 8 \cdot 10^{-3}$, la figure 1 montre que la formule de *Swamee et Jain s'écarte* de celle de *Colebrook-White* d'environ 3% pour un nombre de *Reynolds* $R = 4000$. Cet écart diminue au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de *Reynolds* et atteint 2,2% environ pour $R = 10^4$. De manière générale, le diagramme de la figure 1 indique clairement que les écarts entre les relations (2) et (3) dépendent à la fois de ε / D et de R .

2.16 Perte de charge:

2.16.1 Définition :

- ✓ On appelle perte de charge en mécanique des fluides la chute de pression due aux frottements divers contre les parois d'un tube ou d'une gaine. En résulte une dissipation de l'énergie mécanique du fluide.
- ✓ Il existe deux types de pertes de charge : les pertes linéaires – aussi appelées régulières – et les pertes singulières. Les premières sont la conséquence des frottements sur les parois d'un conduit ou d'une canalisation dont la rugosité peut varier tandis que les secondes sont imputables aux diverses singularités du réseau comme les coudes, les réductions, les entrées et sorties...
- ✓ Il existe plusieurs situations où le calcul de la perte de charge peut s'avérer primordial. On s'en sert par exemple pour prévoir le dimensionnement de la tuyauterie industrielle ou encore des pompes industrielles. Pour mesurer la perte de charge globale, il est nécessaire de comprendre la différence entre la perte de charge globale, il est nécessaire de comprendre la différence entre la perte de charge régulière et la perte de charge singulière et de les additionner.
- ✓ Les pertes de charge singulières se produisent lorsqu'il y a une modification géométrique des conduites par lesquelles le fluide s'écoule. Ces modifications géométriques perturbent l'écoulement normal du fluide, peuvent provoquer le décollement du fluide des parois des différents tronçons, voire occasionner des tourbillons à l'intérieur de la conduite. Sont généralement recensés comme causes de perte de charge singulière les changements de direction ou de section des canalisations comme les coudes, les branchements et les raccordements en T, les vannes et robinets, les appareils de mesure, les rétrécissements et variations de section, les clapets, filtres, diaphragmes...[9]

2.16.2 Les types de perte de la charge:**2.16.2.1 Les pertes de charge singulières :**

Les pertes de charges singulières (ou accidentelles) sont exprimées en hauteurs de fluide (mètres), en pascals ou en bars.

On les exprime par :

$$H = (K_s V^2) / 2$$

Tels que :

V : vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s)

K_s : Coefficient de pertes de charge. Il dépend de la nature et de la géométrie de l'accident de forme.

Les valeurs de K_s sont données par les constructeurs dans leurs catalogues.

Pour Les pertes de charge singulières:

- ✓ Les pertes de charges singulières des réseaux aérauliques ou hydrauliques sont des pertes de pression provoquées par le passage du fluide dans des obstacles et accessoires comme des vannes, raccords, élargissement, sortie de réservoir, hotte aspirante etc... .
- ✓ Les pertes de charges singulières s'expriment en Pascal ou en mètres colonnes de fluide (m) ou en mètres de conduite rectilignes équivalentes. Les pertes de charges singulières sont aussi appelées pertes de charges accidentelles. Ce sont les pertes de charges dues aux accidents rencontrés sur le trajet du fluide.
- ✓ Des coefficients de perte de charge singulière sont donnés pour ces accidents lorsque ce sont des organes communs comme des robinets ou vannes. En général ces données sont fournies par les constructeurs d'accessoires hydrauliques. Certaines formules permettent de calculer ces coefficients, comme la formule de Weisbach pour les coudes ou de Lorenz pour les cônes divergents.

2.16.2.2 Les pertes de charge régulières :

Les pertes de charge linéaires sont proportionnelles à la longueur L de la conduite, inversement proportionnelles à son diamètre d, proportionnelle au carré de la vitesse débitante V du fluide.

$$H_f = (\lambda * L * W^2) / (2 * D * g)$$

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.

Ou par la formule généralisée de Leybenson :

$$H_f = (B * Q^{(2-m)} * L * v^m) / (D^{(5-m)})$$

B et m sont des coefficients dépend du régime d'écoulement.

$$B = (8 * A) / (4^m * g * \pi^{(2-m)})$$

Régime d'écoulement		M	A	B
Laminaire		1	64	4.15
turbulant	Tube lisse	0.25	0.3164	0.0246
	Frottement mixte	0.123	$10^{(0.127\log(\xi-0.627))}$	0.0802λ
	quadratique	0	λ	0.0827λ

Tableau 12 :valeurs de m et B selon le regime d'écoulement

2.16.3Perte de la charge totale :

ON DIFINIE PAR/

$$H \text{ totale} = H_L + H_s + (Z_2 - z_1) + H_f$$

2.17 La pente hydraulique :

La pente hydraulique représente la perte de charge par unité de longueur de la conduite.

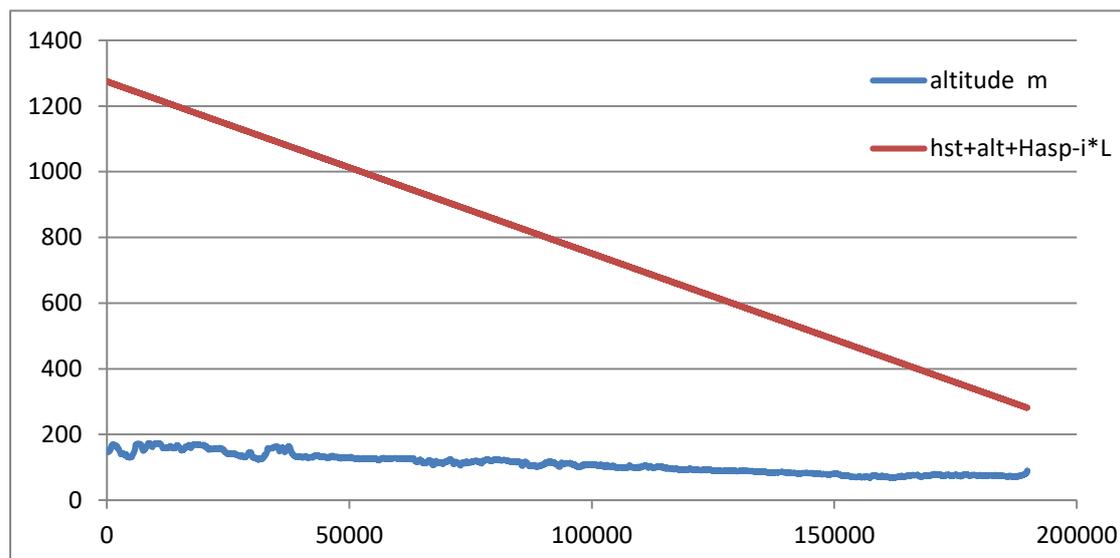


Figure 13 : pente hydraulique du SP1 pour Q=2200m³/h

Pour les pertes des charges on a :

$$H = P / \rho g$$

H : la charge en m

P: pression en bar

ρ : la masse volumique en kg/m^3

g: constante du pesanteur

Pour la pente hydraulique on a:

$$i = H / L$$

H: la charge en m

L: longueur de la conduite en km

3 Régime de fonctionnement de la station de pompage

3.1 Généralité sur les stations de pompage:

Les stations de pompage sont installées sur des oléoducs pour fournir la pression requise pour transporter les hydrocarbures d'un endroit à un autre. En raison des limitations des pressions de canalisation, les stations multiples de pompage peuvent être nécessaires pour transporter un Volume donné par canalisation. Les endroits et les pressions auxquels ces stations de pompage fonctionnent sont déterminés par des pressions permises de la conduite, la puissance disponible et les facteurs environnementaux et géotechniques. En générale on utilise des pompes centrifuges pour leur assez faible investissement et leur rendement élevé.

3.2 Généralité sur les pompes:

Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

L'énergie requise pour faire fonctionner ces machines dépend donc des nombreux

facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements:

- ✓ Les propriétés du fluide: masse volumique, viscosité, compressibilité
- ✓ Les caractéristiques de l'installation: longueur, diamètre, rugosité, singularités...
- ✓ Les caractéristiques de l'écoulement: vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression

3.3 Catégories de pompes:

On distingue deux grandes catégories de pompes:

3.3.1 Les pompes volumétriques:

On appelle pompe volumétrique, une pompe à l'intérieur de laquelle une transformation d'énergie mécanique en énergie de pression s'effectue au cours du processus de refoulement périodique du fluide sous l'action d'un piston, vis, engrenage ou palettes.

3.3.2 Les turbopompes:

On appelle turbopompe toute machine dans laquelle une ou plusieurs roues munies d'aube ou d'ailettes tournant autour d'un axe échange de l'énergie avec un fluide. La rotation de la roue permet aux aubes de transformer l'énergie mécanique reçue en énergie cinétique et de pression communiquée aux particules du fluide au moyen de la force centrifuge.

3.4 La pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge est une machine tournante destinée à pomper une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique à communiquer au liquide comportant en général une hauteur géométrique d'élévation de niveau (2), une augmentation de pression (p) et toujours des pertes de charges.

Une pompe centrifuge est constituée principalement par une roue à ailettes ou aubes (rotor) qui tourne à l'intérieur d'un carter étanche appelé corps de pompe.

Pour améliorer le rendement de la pompe, on peut intercaler entre le rotor et la volute une roue fixe appelée diffuseur qui est munie d'aubes de courbure convenable.

Le calcul des pompes centrifuges s'effectue par l'analyse dimensionnelle et par le théorème d'Euler

3.5 Régime de fonctionnement des stations de pompage:

3.5.1 Espacement des stations de pompage:

Avant de procéder aux calculs du régime de fonctionnement des stations de pompage il faut connaître l'emplacement de ces stations sur le tracé.

$$H_b + n.H_{st} = H_f + H_{loc} + (Z_2 - Z_1) + H_{final}$$

$$H_{st} = H_{ref} - H_{ap}$$

Où: H_b : Charges des pompes booster (30-50) m

n : Nombre de station de pompage

H_{st} : La charge créée par chaque station

H_f : Les pertes de charge répartie

H_e Les pertes de charge locale

$Z_2 - Z_1$: La différence des hauteurs ou cote géodésique

H_{final} : la charge à la fin du pipeline

3.5.2 Calcul du régime de fonctionnement des pompes:

IV.3.2.1 Choix des pompes

Dans les pares réservoirs stations pompage on utilise différentes pompes. Les pompes les plus utilisées sont les pompes centrifuges pour pompage des produits visqueux, surtout

Les pompes centrifuges peuvent être exploitées de nominal.

3.5.3 Assemblage des pompes:

Dans le domaine des pipelines on a deux types d'assemblage

3.5.3.1 Assemblage en série:

Il est utilisé en cas de pompe à grande débit et faible charge, consiste à sommer les charges pour chaque débit. Les pompes peuvent être identiques ou distinctes.

3.5.3.2 Assemblage en parallèle

Il est utilisé en cas de pompe à faible débit et grande charge, consiste à sommer les débits pour la même charge. Les pompes peuvent être identiques ou distinctes.

3.5.4 Nombre de pompe :

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

- ✓ Cas d'assemblage en série des pompes identiques:

$$K = H_{st} / H_p$$

- ✓ Cas d'assemblage en parallèle des pompes identiques:

$$K = Q / Q_p$$

Avec :

K: nombre des pompes en service.

H_{st}: Hauteur engendrée par la station (m).

H_p: Hauteur fournie par la pompe (m).

Q: Débit de la ligne.

Q_p: débit passant par la pompe (m)

3.5.5 Calcul des paramètres de fonctionnement des pompes:**3.5.5.1 Charge d'une pompe:**

On exprime la forme générale de la caractéristique de la pompe centrifuge par la formule :

$$H_p = a - bQ^2 \quad \text{formule déterministe}$$

3.5.5.2 Variation de nombre de tours de la pompe:

Le degré de variation de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement, peut être trouvé à l'aide des formules connues de similitude.

$$H_{p1}/H_{p2} = (n_1/n_2)^2 \quad Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

Où

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

Q_1 , Q_2 : Débit de la pompe avant et après la réduction.

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

Utilisant les relations ci-dessus on peut déterminer le degré de réduction pour les valeurs données de Q_1 et H_{p1} :

$$n_p = n_{nom} * \sqrt{\frac{H_{p1} - aQ_1^2 - bQ_1}{c}}$$

3.5.5.3 Rendement:

Le rendement d'une pompe est calculé par la formule suivante:

$$\eta = \eta_{max} \left[1 - \left(1 - \frac{Q_p}{Q_{nom}} * \frac{n_{nom}}{n_p} \right)^2 \right]$$

Où :

η_{max} : Rendement maximale de la pompe qui correspond au débit nominal.

Q : Débit nominal (2100 m/h)

4.5.1.1 Puissance absorbée par la pompe:

La puissance absorbée par une pompe correspond à la charge H , et au débit Q est égale à

$$P_{abs} = \frac{\rho * g * H_p * Q_p}{\eta} \cdot 10^{-3} \quad \text{KW}$$

Où :

ρ : La masse volumique du produit débité (kg/m^3)

g : Accélération de pesanteur (9.81 m/s²)

H_p : La hauteur fournie par la pompe (m)

Q_p : Le débit passant par la pompe (m/s)

η : Rendement de la pompe

3.5.5.4 Limitation de la hauteur manométrique d'aspiration-NPSH-requis :

La cavitation est la vaporisation du liquide contenu dans la pompe quand il est soumis à une pression inférieure à la tension de vapeur correspondant à sa température

Ce phénomène se produit à l'orifice d'aspiration de la pompe, des bulles apparaissent dans les zones où la pression est la plus faible (entrée des aubes de roue des pompes centrifuges), elles sont transportées dans les zones de pression plus fortes où se produit la décondensation. Des impulsions se produisent alors à des fréquences élevées et créent des surpressions locales très élevées (jusqu'à des centaines de bars).

Pour éviter ce problème de la cavitation, il faut que la pression à l'entrée de la pompe soit supérieure à la tension de vapeur, d'une marge excédentaire suffisante pour s'assurer qu'en aucun cas, on aura la cavitation.

Cette marge excédentaire s'appelle le NPSH soit Net Positive Section Head ou encore français (**Hauteur Pratique Nette A L'aspiration**) cette valeur s'exprime par

$$\text{NPSH} = \frac{P}{\rho * g} - \frac{P_r}{\rho * g}$$

Où P est la pression d'entrée de la pompe et P_r est la tension de vapeur du liquide

Alors, on distingue deux types de NPSH qui sont :

✓ NPSH requis:

C'est la valeur du NPSH déterminée par le constructeur pour les conditions de débits et vitesses données. Il dépend uniquement de la construction interne de la pompe. Le NPSH requis est donc l'intervalle défini par $(P - P_{op})$ qui constitue l'intervalle de la sécurité qui évite l'apparition de la cavitation

✓ NPSH disponible:

C'est la valeur dont dispose la pompe de par les conditions d'installations. Elle dépend donc des conditions d'installation et d'exploitation qui sont la nature du liquide, la pression, la température, la hauteur géométrique, le diamètre et la forme des conduites. Elle est indépendante de la construction de la pompe

Pour qu'une pompe fonctionne normalement (sans cavitation), il faut que

$$\text{NPSH}_{dis} > \text{NPSH}_{req}$$

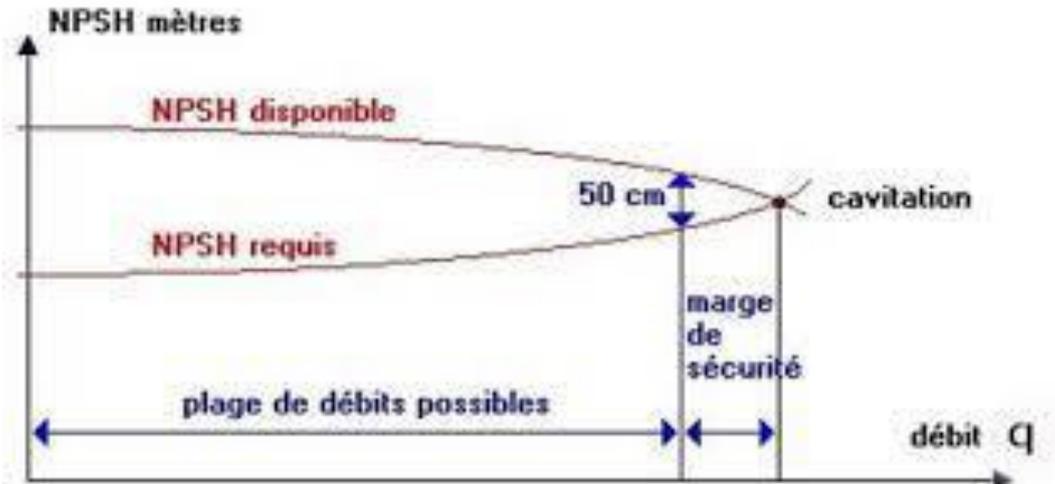


Figure 14 : relation entre NPSH et débit

3.6 Types des moteurs :

3.6.1 Moteur d'entrainement:

Le type du moteur d'entrainement dépend de la source d'énergie disponible sur site. Cette source peut être de l'énergie électrique, un carburant pétrolier ou un gaz. Donc les moteurs d'entrainement peuvent être : des moteurs électriques, des moteurs Diesel ou des turbines a gaz.

3.6.2 Moteur électrique :

Dans le domaine des pipelines, les moteurs électriques sont de type asynchrones triphasés à une paire de pole 3000 tr/min. Ce type de moteur développe une grande puissance avec un rendement excellent (90%-96 %) son inconvénient c'est sa vitesse de rotation fixe. Pour faire varier la vitesse de rotation on a le recours à:

- ✓ -variateur de fréquence
- ✓ -Embrayage hydraulique

3.6.3 Moteur Diesel:

Ils peuvent fonctionner sur une gamme étendue de carburant (gasoil, fuel oil, brut...) leur vitesse de rotation est variable mais pour les grandes puissances (SMW et plus); il devient coc ombrant et constitue une source de vibration.

3.6.4 Turbine à gaz :

Ce sont des moteurs qui peuvent développer de grandes puissances mais le rendement est faible (30%-38%).

3.7 Point de fonctionnement :

Chacune des pompes fonctionne en ensembles avec une conduite ou bien un system des conduites on peut déterminer la charge créé par cette pompe et le débit du system d'une façon graphique. Le point d'intersection entre la courbe caractéristique de la pompe et la courbe caractéristique de la pompe ce point appelée point de fonctionnement ou point du régime.

Chapitre 03 :

Partie pratique

1 Introduction :

Lors de son écoulement dans les réseaux du transport ; le pétrole brut subit plusieurs modifications physiques au niveau des paramètres suivants (pertes de charge, vitesse, viscosité) causées principalement par la chute de température. La connaissance du régime d'écoulement d'un fluide est un point clé en transport des hydrocarbures car il a une influence sur la plupart des phénomènes, en particulier les transferts de chaleur, de matière, les pertes de charges etc. Les phénomènes d'écoulement sont beaucoup plus complexes et la détermination du coefficient de perte de charge résulte de mesures expérimentales. En régime turbulent l'état de la surface devient sensible et son influence est d'autant plus grande que le nombre de Reynolds Re est grand. Tous les travaux ont montré l'influence de la rugosité et on s'est attaché par la suite à chercher la variation du coefficient l en fonction du nombre de Reynolds Re et de la rugosité k du tuyau.

C'est ce qui explique la diversité des formules qui ont été proposées pour sa détermination (Colebrook, Hazen-Williams, Darcy-Weisbach)

2 Objectifs de l'étude :

- ✓ Déterminer les différents types du régime d'écoulement dans la ligne OB1 entre station de HEH et terminal arrive au Bejaia.
- ✓ Déterminer les pressions dans les stations de pompage.

3 La partie étudiée:

Dans ce parti pratique on va étudier le dernier tronçon du l'OB1 entre station du HEH et terminal arrivée Bejaïa (SP1-SP bis-SP2-SP3-Col Slatna-TMB).

4 Les propriétés mécaniques du tronçon :

Les propriétés mécaniques de ce tronçon :

- ✓ Il existe ensuite un piquage sur la ligne à BENI MANSOUR au PK 573. Cet oléoduc transporte le pétrole brut vers la raffinerie d'ALGER

- ✓ L'épaisseur du tube varie entre 6,32 mm et 9,5 mm suivant les conditions des pressions sur la ligne, à la sortie des stations l'épaisseur égale à 12,7 mm, la nuance d'acier des tubes est le X52.
- ✓ La distribution des épaisseurs de la canalisation entre SP1 et TRC Bejaia et les hauteurs géométriques des stations sont données dans le chapitre 01

5 L'échantillon étudié :

La substance étudiée est le pétrole brut. L'échantillon a été obtenu pendant notre période de stage ça caractéristiques sont comme suite :

Pétrole brut	Valeur	Unité
Densité	0.8276	Kg
Densité API	39.47	
Viscosité cinématique à T=20c°	4.6	Cst
Point d'éclair, Abel	<20	°c
Tension de vapeur	10.4	Psi
Soufre totale	0.13	% poids
Paraffines	2.4	% poids
Asphaltenes	0.06	% poids

Carbone résiduel	0.83	% poids
Pouvoir calorifique supérieur	11036	Kcal/kg

Tableau 13 :caractéristique de l'échantillon de pétrole étudié.

6 Viscosité et densité du produit:

Sont définis à l'aide d'analyse du laboratoire, on trouve les valeurs de la densité et viscosité comme règle à 20°C.

On utilise les relations suivantes :

$$\rho_t = \rho_{20} - \alpha(t-20)$$

$$\text{Avec } \alpha = 1.825 - 1.315 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{20}$$

$$v_t = v_{t1} \cdot \exp(-u(t-t_1))$$

$$\text{Avec } u = \ln(v_1/v_2)/(t_2-t_1)$$

6.1 Densité et viscosité:

On détermine des valeurs de la viscosité et de la densité pour différentes températures :

Température (°C)	Densité Kg/m ³	Viscosité cinématique cst	Viscosité dynamique poise
-10	0.8699	5.540	4.8192
-5	0.8755	4.950	4.3337
0	0.8915	4.112	3.6655
20	0.9218	2.759	2.5432
37.8	0.8498	1.989	1.6902

Tableau 14:La densité et viscosité pour différentes températures

Remarque:

On observe que l'influence de la température sur la densité et la viscosité (sur le pétrole brut liquide en générale) est négligeable.

7 Débit Q :

Le tableau ci-après résume les régimes d'exploitation actuelle au niveau des différents tronçons.

Sections	Régimes (m ³ /h)	Pompes boosters	Nombre de Pompes
SP1-SP2	800	01	01
	1 100	02	02
	1 400	02	03
SP1-SP1 Bis	1 800	02	03
	2 200	02	04
SP1 Bis – SP2	1 800	-	01
	2 200	-	01
SP2-SP3	800	01	01
	1 400	02	02
	1 800	02	03
	2 200	02	04
SP3 – TMB	800	01	01
	1 400	02	02
	1 800	02	03
	2 200	02	04

15 Tableau : les régimes d'exploitation actuelle

7.1 Déférence des hauteurs géométrique :

Section	Altitude (m)	Déférence des hauteurs (m)
SP1	150	-67
SP1 bis	83	
SP2	217	134
SP3	465	248
Col de Slatna	1032	567
TMB	2	-1030

Tableau 16:Les hauteurs géométriques

7.2 Longueurs du pipeline :

Section	SP1	SP1 bis	SP2	SP3	Col Slatna	TMB
PK (km)	0	190	350	486	533	661

Tableau 17:Les Longueurs du pipeline entre les station

$L = PK (\text{Bejaïa}) - PK (\text{SP1})$

$$661 - 0 = 661 \text{ km}$$

7.3 Diamètre du pipeline:

Le diamètre du pipeline varie sur deux tronçons à savoir :

Le premier tronçon étant de HEH au col - SELATNA d'une conduite de 24'' de diamètre. Et de col - SELATNA au TM BEJAIA d'une conduite de 22'' de diamètre.

Propriété mécanique d'acier :

L'acier utilisé pour la conduite de transport de pétrole est des propriétés suivantes :

API 5L grade X52 avec

Limite d'élasticité (écoulement) : 37 kgf/mm²

Limite d'élasticité : 47 kgf/mm²

Calcul l'épaisseur moyenne et diamètre intérieur :

On les données suivantes :

Li (km)	0.355	5.096	5.689	8.165	27.725
ei (mm)	12.7	8.73	7.92	7.13	635

Tableau 18: Les épaisseurs du pipeline par longueurs

7.4 Epaisseur moyen :

Epaisseur moyen est donnée par la relation suivante :

$$e_{moy} = \frac{\sum Li * ei}{\sum Li} = 6.9811 \text{ mm}$$

7.5 Le diamètre intérieur :

C'est donnée par :

$$d_{int} = D_{ext} - 2 * e$$

Pour D=24'' on à d int = 595.6378 mm

Pour D=22'' on à d int = 544.8378 mm

7.6 Rugosité relative :

On utilise la relation suivant :

$$\xi = 2 e / d_{\text{int}}$$

On a $e = 0.03$

Pour $D=24''$ on $\xi = 0.00010073$

Pour $D=22''$ on $\xi = 0.0001101$

7.7 Calcul hydraulique pour l'OB1:

Pour $Q = 2200 \text{ m}^3/\text{h}$:

5		SP1-SP1 bis	SP1 bis -SP2	SP2-SP3	SP3-col	col -TMB
6	longueur m	190000	160000	136000	47000	108000
7	altitude m	-67	134	248	567	-1030
8	Reynolds	435444,2	435444,2	435444,2	435444,2	476045
9	reynolds cr1	2199466,4	2199466	2199466	2199466	1986420
10	reynolds cr2	36954586	36954586	36954586	36954586	33533869
11	λ	0,012317	0,012317	0,012317	0,012317	0,012045
12	i	0,00507	0,00507	0,00507	0,00507	0,004958
13	Hst m	963,2427	811,1518	689,479	238,2758	/
14	Hasp m	88,86	157,41	71,09	68,55	20,25
15	Href m	985,1027	1102,562	1008,569	873,8258	/
16	P ref bar	79,24363	88,69227	81,13131	70,2923	/

Tableau 19 :Les pertes de la charge pour OB1

7.8 Régime d'écoulement :

Déterminer les types du régime d'écoulement pour $T= 20^{\circ}\text{C}$ pour chaque station :

	Re cr1	Re cr2	Re	Type de régime
SP1-SP1-bis	2199558.111	30354913.9	158510.99	Régime turbulent (frottement mixte)
SP1-bis – SP2	2199558.111	30354913.9	356649.73	Régime turbulent (frottement mixte)
SP2 –SP3	2199558.111	30354913.9	356649.63	Régime turbulent (frottement mixte)
SP3 – Col Slatna	2199558.111	30354913.9	158510.99	Régime turbulent (frottement mixte)
Col Slatna –TMB	1986957.6	27503232.67	173371.39	Régime turbulent (frottement mixte)

Tableau 20:les types du régime d'écoulement pour OB1

Remarque :

Pour tous les débits de fonctionnement pour l'OB1 en toujours le même régime de fonctionnent le régime turbulent frottement mixte.

7.9 La pente hydraulique (profil on long):

On trace les courbes du profil on long pour tous les station de l'OB1 pour différents débits (800-1200-1800-2200).

Dans notre travaille on prend $Q=1800 \text{ m}^3/\text{h}$

7.9.1 SP1 –SP1 bis :

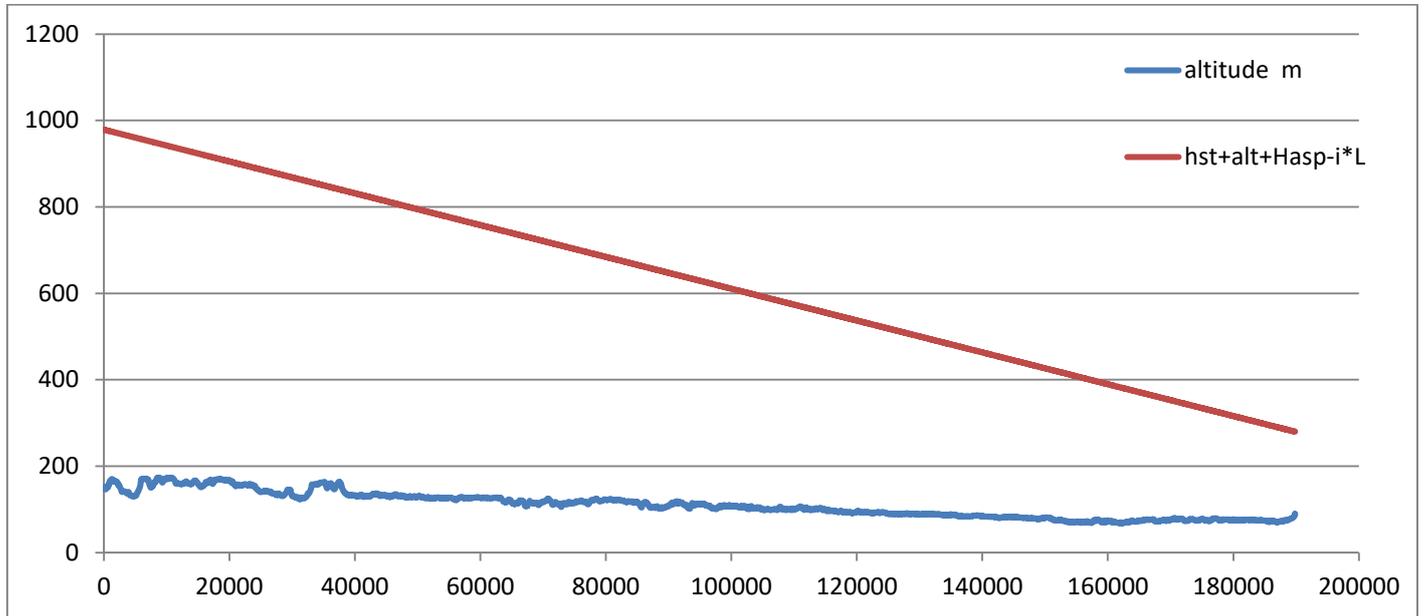


Figure 15 profil on long entre SP1 et SP1 bis pour Q=1800

7.9.2 SP1 bis –SP2 :

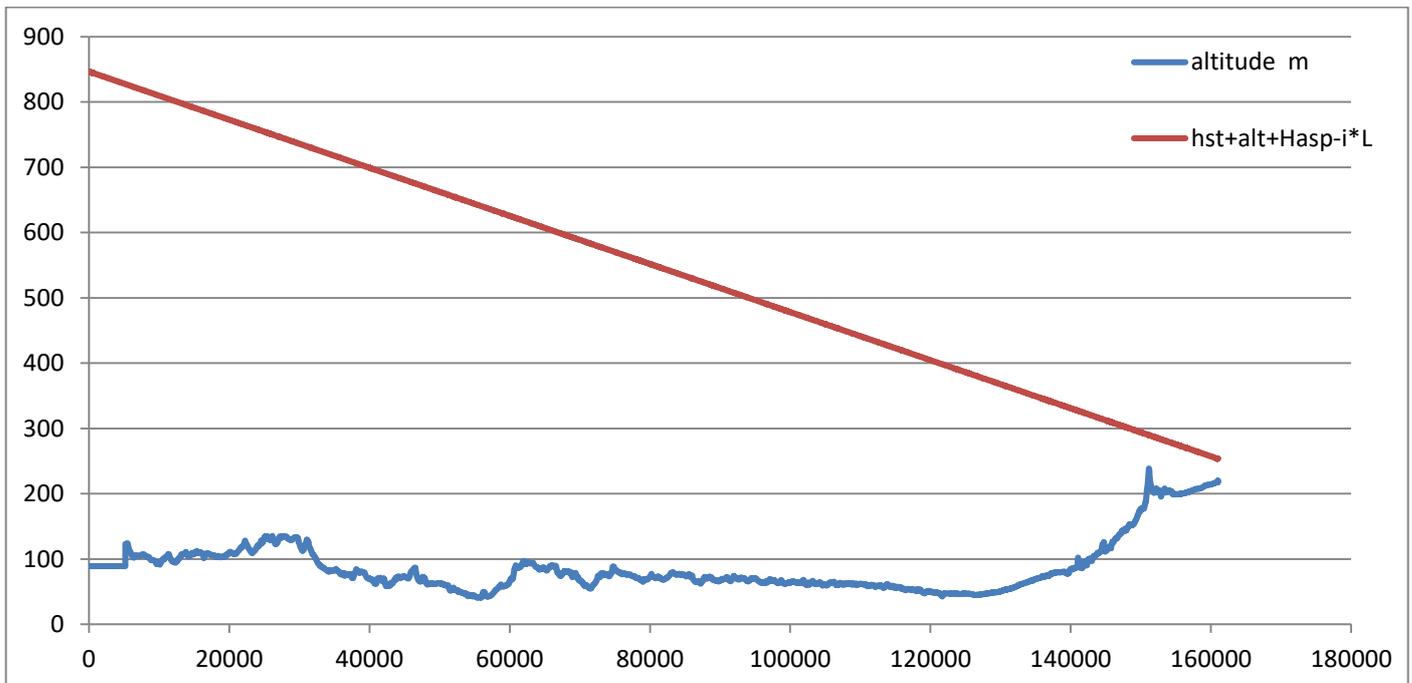


Figure 16: profil on long entre SP1 bis et SP2 pour Q=1800 m³/h

7.9.3 SP2 – SP3 :

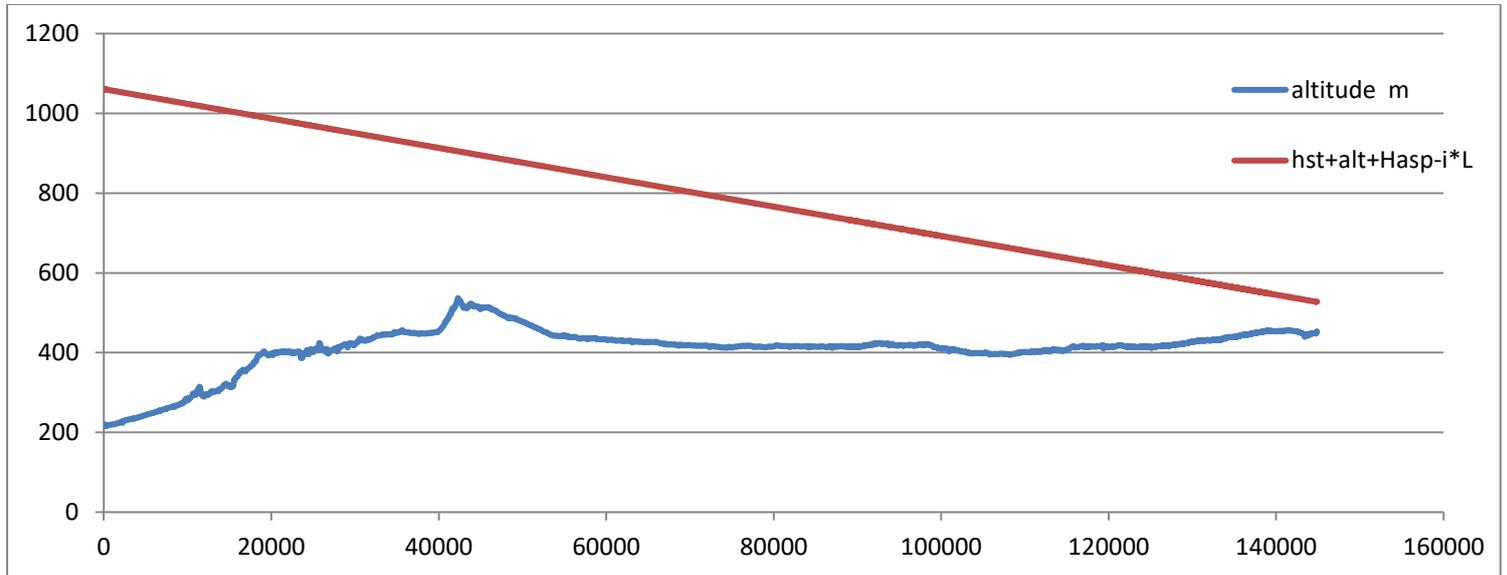


Figure 17: profil on long entre SP2 et SP3 pour $Q=1800 \text{ m}^3/\text{h}$

7.9.4 SP3 – TMB :

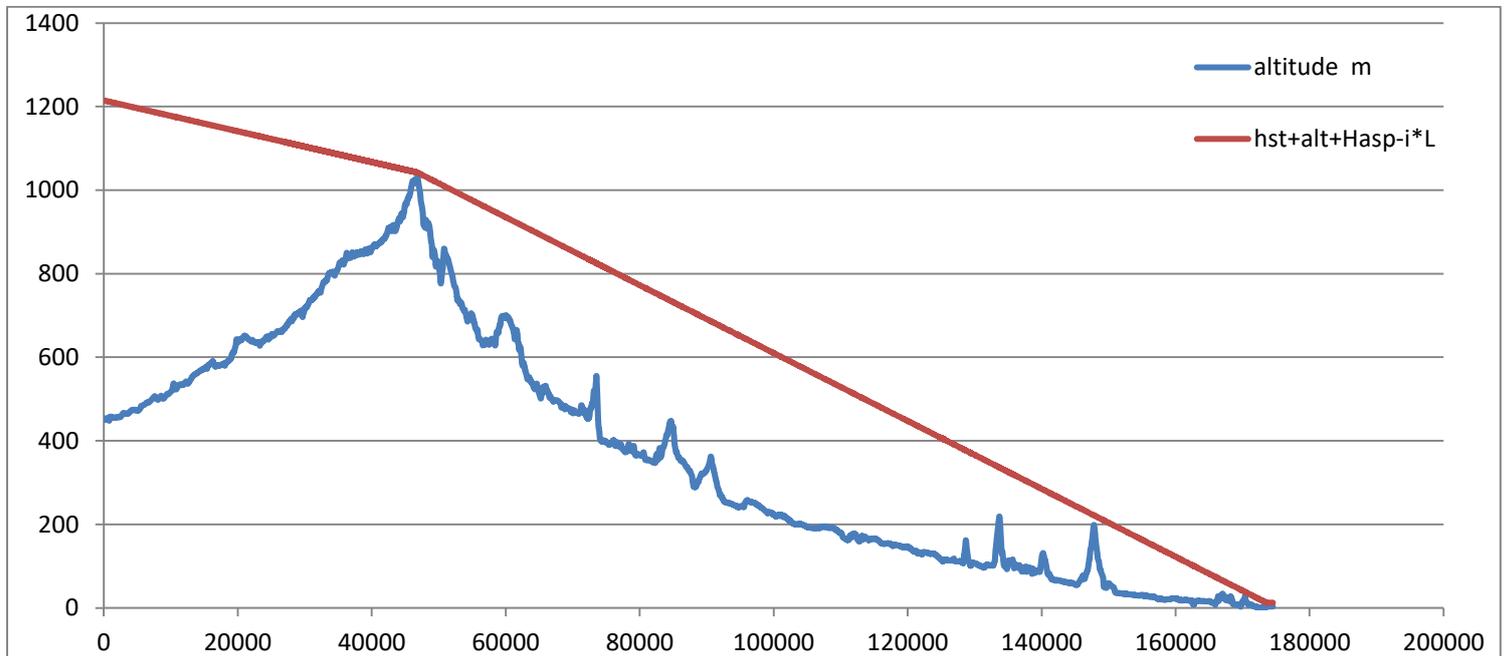
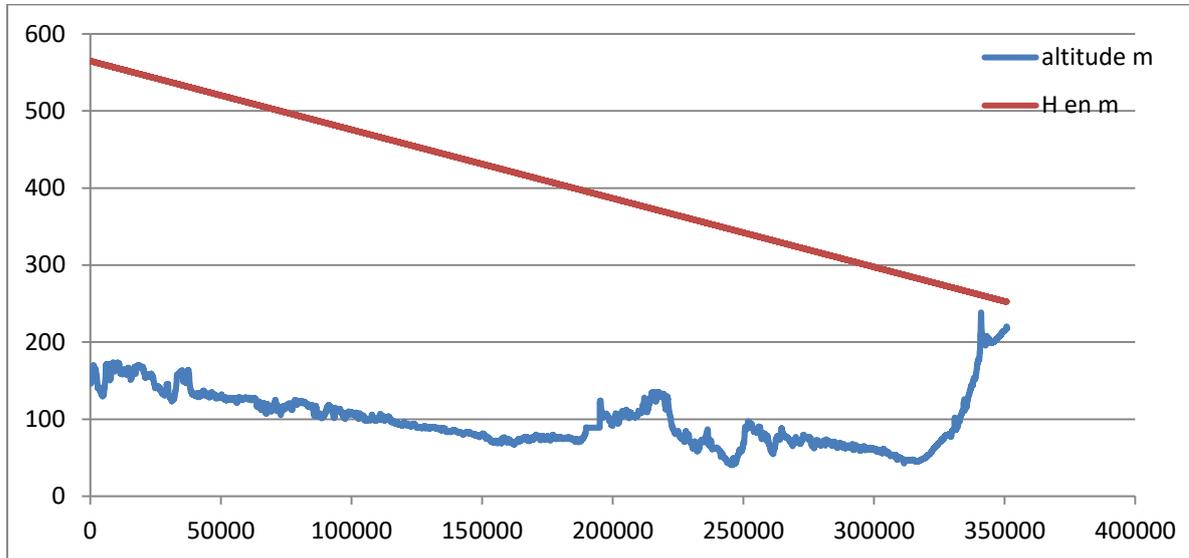
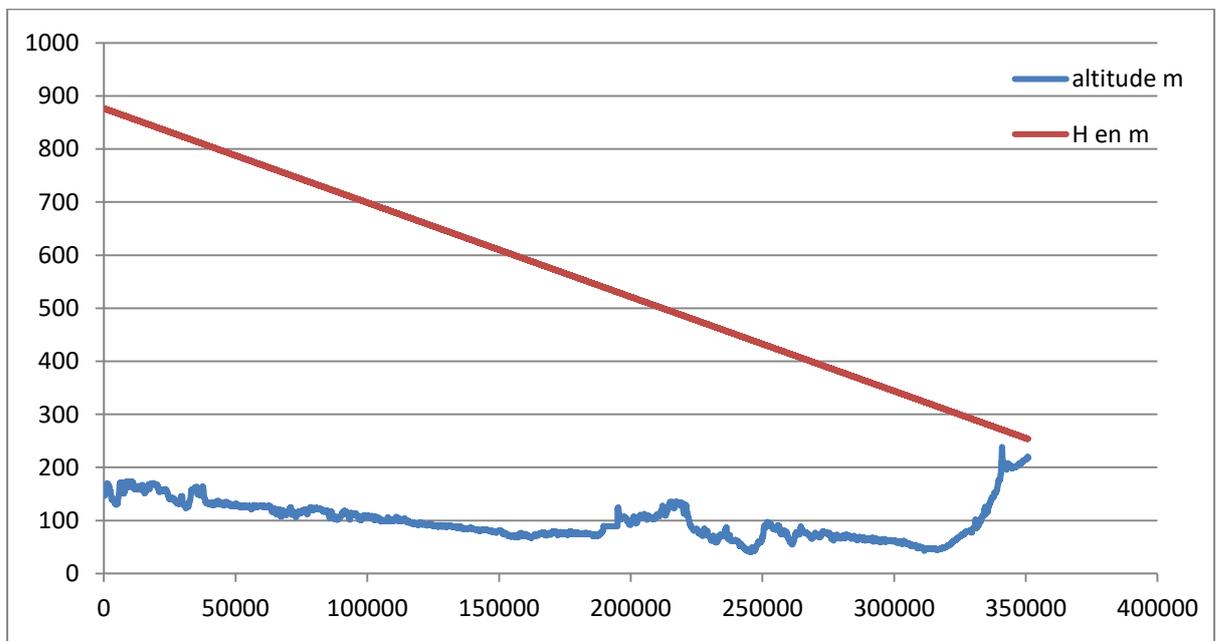


Figure 18 : profil on long entre SP3 et TMB pour $Q=1800\text{m}^3/\text{h}$

4.5.2 CAS DU STATION DU BY-PASS SP1-SP2 :POUR $Q=800 \text{ m}^3/\text{h}$:**Figure 19 : profil on long entre SP1 et SP2 pour $Q=800\text{m}^3/\text{h}$** POUR $Q=1200 \text{ m}^3/\text{h}$:**Figure 20 : profil on long entre SP1 et SP2 pour $Q=1200\text{m}^3/\text{h}$**

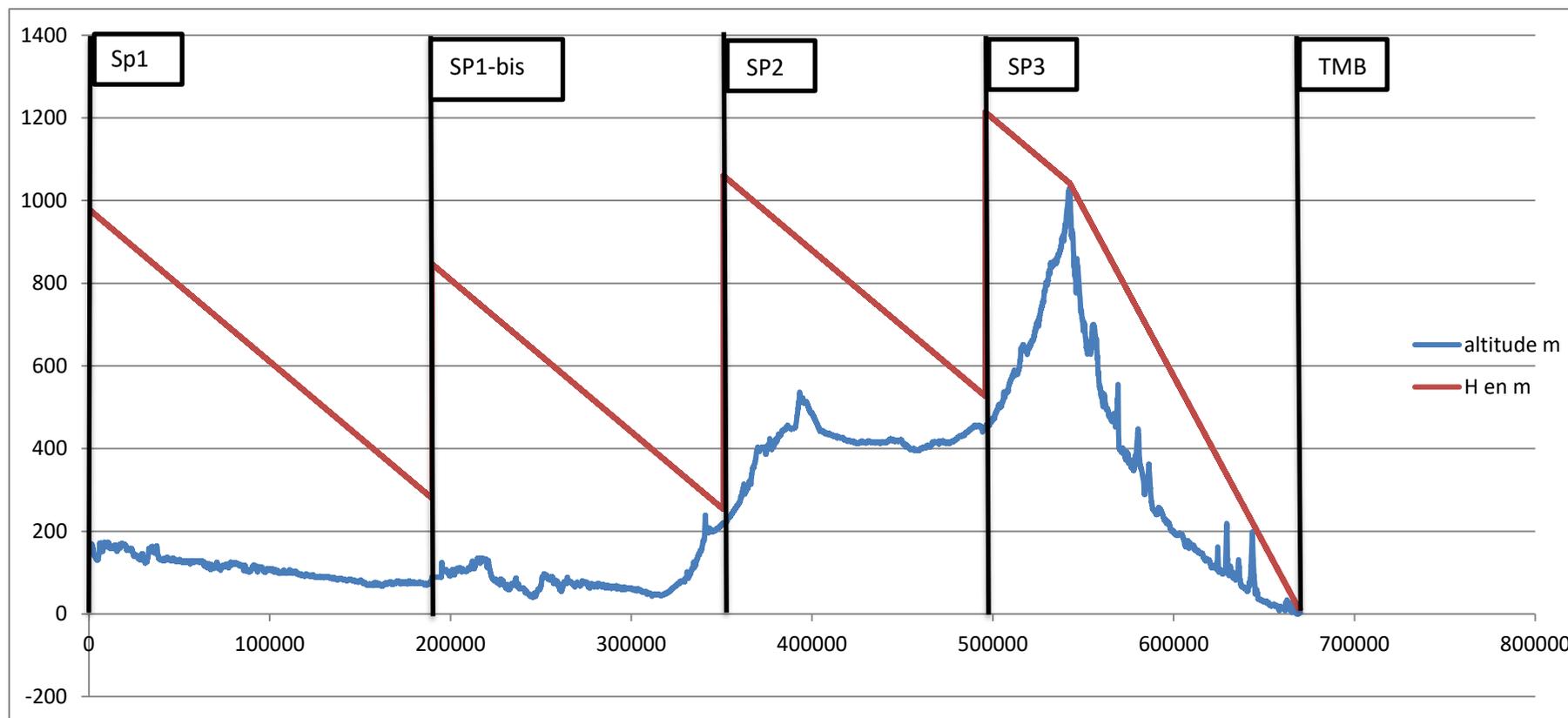


Figure 21: profil en long du l'OB1

7.9.5 Analyse et interprétation :

- ✓ Dans notre calcul hydraulique du L'OB1, pour le tronçon SP1- SP2 et pour les débits allant de (800 à 1200) m³/h, on a une station en by-pass (station djamaa SP1 bis) qui dispose d'une seule pompe qui fonctionne avec les hauts débits à partir de 1600 m³/h.
- ✓ Pour les pression d'aspiration des stations SP2 et SP3, elle est de l'ordre de 1 bar, qu'on considère faible, (d'après les documents qui nous ont été fournis sur le lieu de stage) . Dans les conditions d'exploitations des oléoducs, cette valeur est de l'ordre de (3 à 5) bar.
- ✓ D'après le graphe (fig 16), le point de contrôle se situe dans le col de Slatna, au Pk 533 km, a une altitude de 1032 m, dont l'écoulement en aval est gravitaire.

7.10 Calcul des régimes de fonctionnement des stations de pompage :

7.10.1 SP1:

7.10.1.1 Calcul Hst:

$$H_{st} = H_{ref} - H_{asp} = K * H_p$$

Tel que

$$\begin{aligned} H_{asp} &= P_{asp} * 10^5 / \rho * g \\ &= ((9.4 * 10^5) / (803.9 * 9.81)) \\ &= 119.382 \text{ mhp1} \end{aligned}$$

7.10.1.2 La charge de la station

Le nombre de pompe mise en marche dans la station est 1, K=1

$$\begin{aligned} H_{st} &= H_{ref} - H_{asp} = H_p \\ &= 448.0453 - 119.283 \\ &= 328.7171 \text{ m} \end{aligned}$$

7.10.1.3 Calcul la Vitesse de rotation :

$$\begin{aligned}\eta_p &= \eta_{\max} \sqrt{\frac{Hp1 - aQ^2 - bQ1}{c}} \\ &= 3780 \\ \eta_p &= 4080,63 \text{ tr/min}\end{aligned}$$

7.10.1.4 Calcul de rendement :

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_{\max} [1 - (1 - ((Qp/Qnom) * (Nnom/np))^2)] \\ &= \eta_{\max} [1 - (1 - ((800/2100) * (3780/4081))^2)] \\ &= 46.5\%\end{aligned}$$

7.10.1.5 Calcul la puissance consommée par la pompe :

$$\begin{aligned}P_{\text{abs}} &= \frac{\delta * g * Hp * Qp}{\eta} \cdot 10^{-3} \\ &= \frac{803 * 9.81 * 328.7171 * 800}{\eta} \cdot 10^{-3} \\ &= 1237.650 \text{ KW}\end{aligned}$$

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

Pour $Q = 800 \text{ m}^3/\text{h}$

	Q M ³ /h	Href m	Pabs bar	Hasp M	Hst m	K	Hp m	Nnom Tr/min	Np Tr/min	N nom	H	Puissance KW	Puissance Station KW
SP1	800	448,04	9,4	119,32	328,71	1	328,71	3780	4080,63	0,8	0,4650	0,4650	1237,50
SP2	800	640,65	5,6	71,08	364,37	1	364,37	2950	3159,55	0,86	0,5030	0,5030	1268,14
SP3	800	681,97	5,4	68,55	552,15	1	552,15	3560	3788,35	0,84	0,4937	0,4937	1957,53

Tableau 21 : les caractéristiques des stations du l' OB pour $Q=800\text{m}^3/\text{h}$

Pour $Q = 1800 \text{ m}^3/\text{h}$

	Q M ³ /h	Href M	Pabs bar	Hasp M	Hst M	K	Hp M	Nnom Tr/min	Np Tr/min	N nom	H	Puissance KW	Puissance Station KW
SP1	1800	787,82	7	88,86	698,96	3	232,92	2950	2775,58	0,89	0,88 29	1039,33	3117,99
SP1 bis	1800	790,58	12,4	157,41	633,17	1	633,17	3000	2280,05	0,82	0,8066	3091,84	3091,84
SP2	1800	807,76	5,6	71,09	736,67	3	245,56	29,50	2297,10	0,86	0,8513	1136,17	3408,51
SP3	1800	749,83	5,4	68,55	681,29	3	681,29	3560	3596,87	0,84	0,6045	1479,55	4438,64

Tableau 22: les caractéristiques des stations du l'OB1 pour $Q=1800\text{m}^3/\text{h}$

7.11 Point de fonctionnement :

Pour tous les stations on trouve le point de l'intersection des graphes la charge du pompe et la charge calculée du conduite tels que :

- ✓ Les caractéristiques de la pompe :

$$= H = a - b * Q^2$$

- ✓ Les caractéristiques de la conduite :

$$H = (Z2-Z1) + [1.02 * \lambda * L/D * Q^2 / (\pi^2 * g * D^5)] + H_f$$

7.11.1 SP1 :

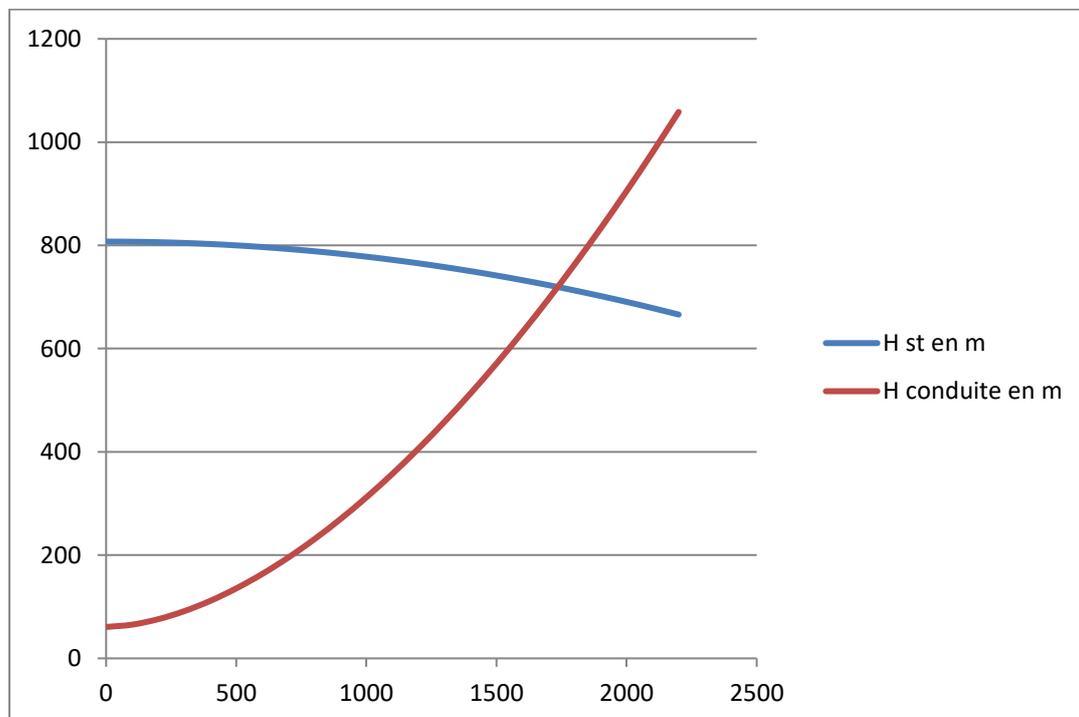


Figure 22: point de fonctionnement du SP1

7.11.1.1 Point de fonctionnement du SP1 :

D'après le graphe le point de fonctionnement du SP1 du Haoud El

Hamrra est $Q=1750 \text{ m}^3/\text{h}$ et $H=750 \text{ m}$

7.11.2 SP1-bis :

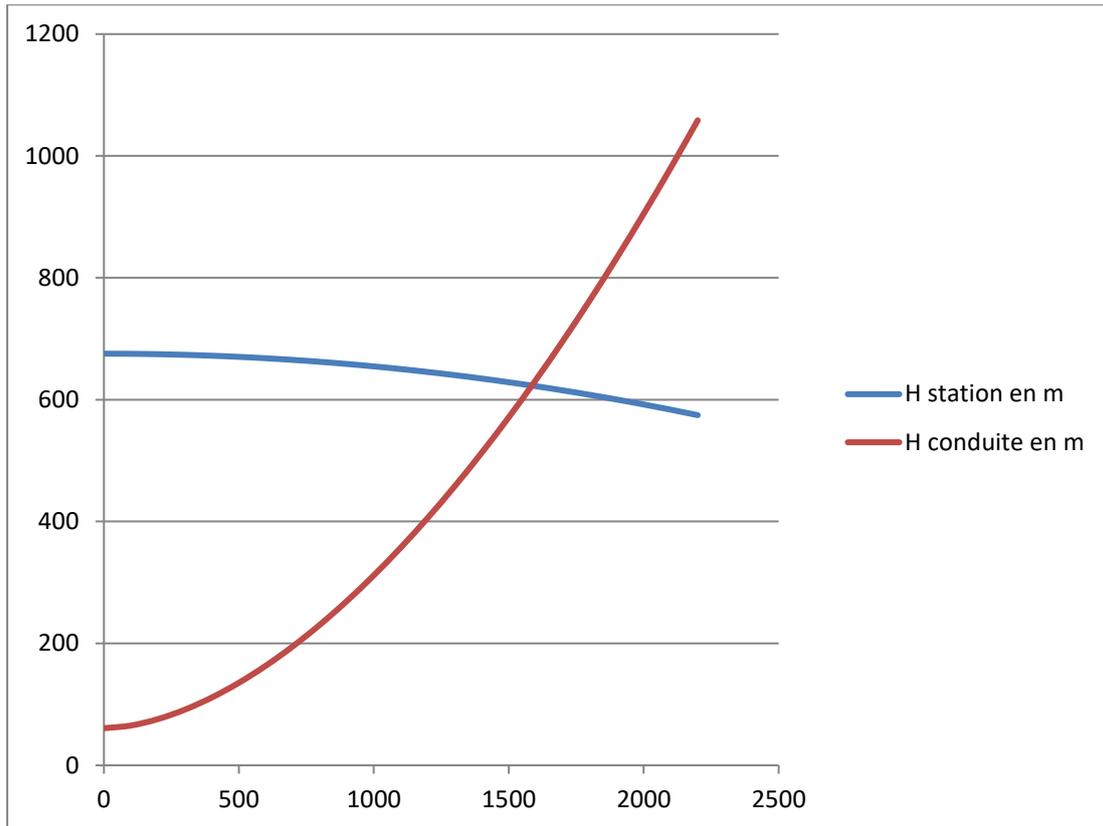
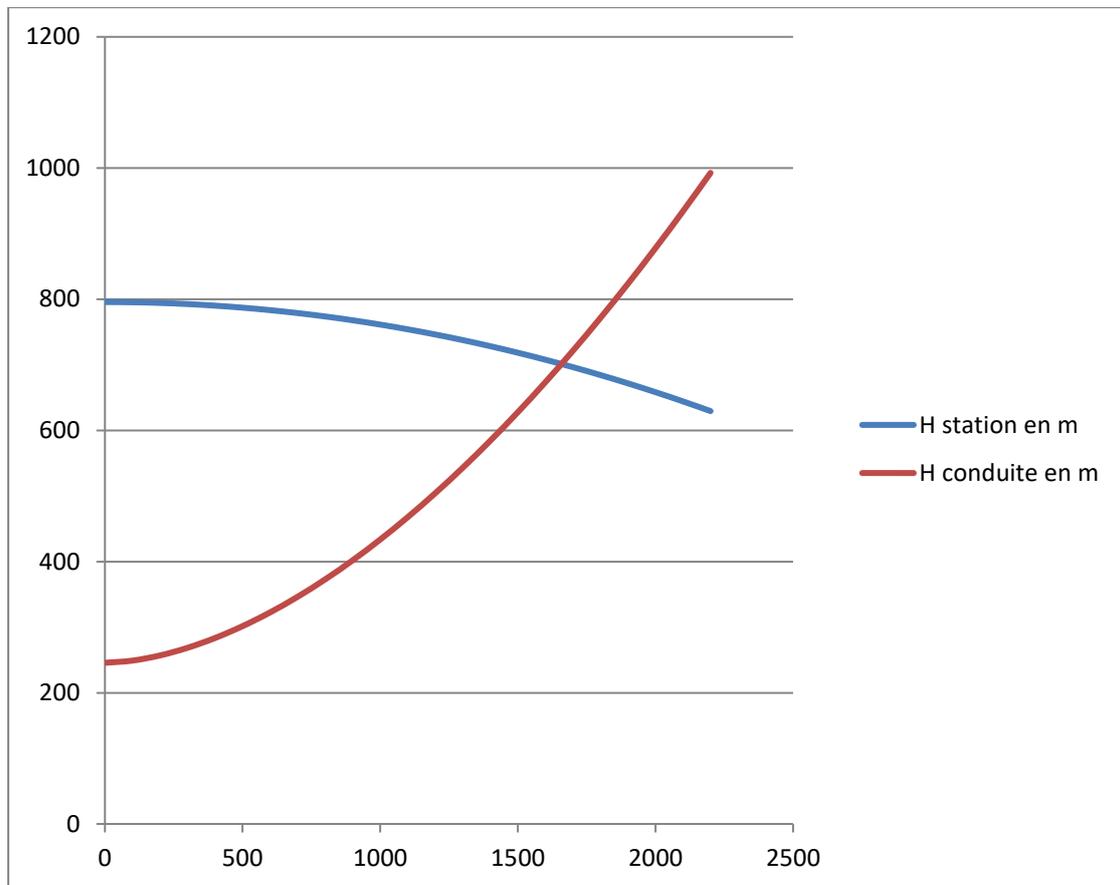


Figure 23: point de fonctionnement du SP1-bis

7.11.2.1 : Point de fonctionnement du SP1 bis :

D'après le graphe le point de fonctionnement du SP1 bis du djamaa est
 $Q=1600\text{m}^3/\text{h}$ et $H= 650\text{ m}$

7.11.3 SP2 :**Figure 24: point de fonctionnement du SP2****7.11.3.1 Point de fonctionnement du SP2 :**

D'après le graphe le point de fonctionnement du SP2 du Biskra est

$Q=1600\text{m}^3/\text{h}$ et $H= 700\text{ m}$

7.11.4 SP3 :

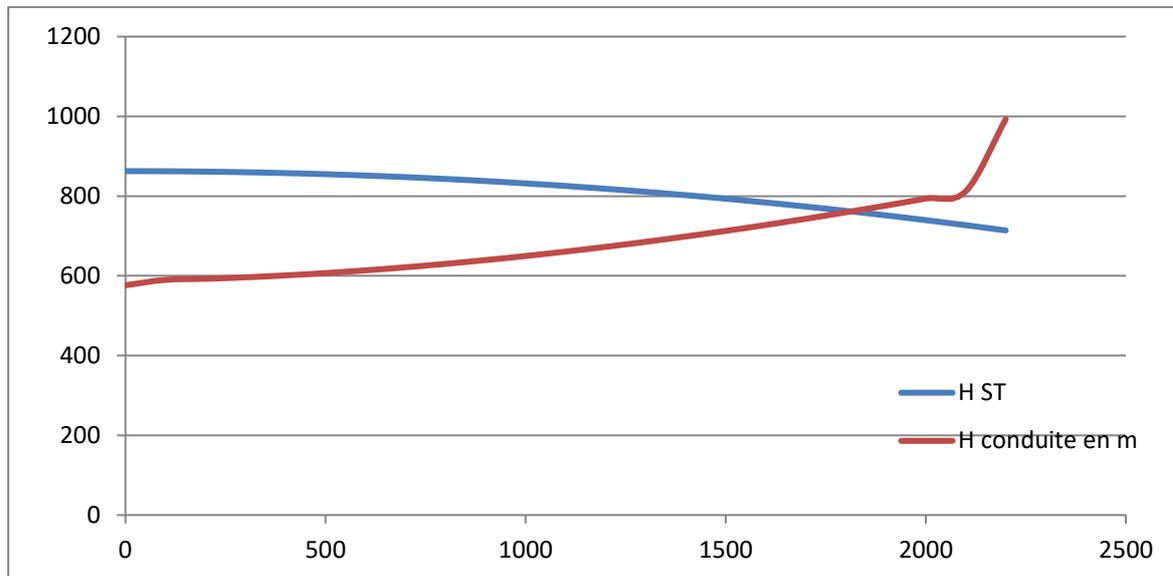


Figure 25: point de fonctionnement du SP3

7.11.4.1 Point de fonctionnement du SP3 :

D'après le graphe le point de fonctionnement du SP3 du M'sila est

$$Q=1800\text{m}^3/\text{h} \quad \text{et} \quad H=750\text{ m}$$

Interprétation :

On a traité dans ce chapitre les points de fonctionnement de toutes les stations, on a vérifié ces points pour le débit de $1800\text{ m}^3/\text{h}$ avec des charges de station qui diffèrent selon les tronçons

Chapitre 4 :

Modélisation du coefficient de la perte de la charge

1 Généralité:

7.12 Modélisation:

Modéliser un processus, c'est le décrire de manière scientifique et quantitative, par exemple en termes d'équations. Cela permet d'en étudier l'évolution et d'en simuler, des variantes en modifiant certains paramètres. La modélisation permet d'obtenir une solution à la fois efficace et fiable parce que tous les paramètres et tous les cas possibles sont envisagés, puisqu'on connaît l'influence respective des différents paramètres, et qu'on sait lesquels ont une importance critique et lesquels sont secondaires.

7.13 Logiciel:

Le logiciel est l'étape ultime du processus, de modélisation/ simulation/ optimisation. Une fois le problème convenablement analysé et résolu, le logiciel représente la solution sous forme visible. C'est le produit fini de la modélisation.

Dans ce parti en utilise Microsoft Excel pour modéliser les différents paramètres des régimes d'écoulements.

7.14 But du travail:

Le but principale de notre travail est modéliser le calcul du coefficient de la perte de charge utilisant formule de colebrook entre station du HEH et TM Bejaia en utilisant Microsoft Excel. Les résultats trouvés par le modèle sont comparés aux résultats trouvés par l'expérimentation.

7.15 Généralités sur Excel:

- ✓ Excel est un logiciel de bureautique appartient à la suite Office de Microsoft
- ✓ Excel nous permet de faire des tableaux, de les remplir par données, d'effectuer des opérations sur ces données, d'automatiser un traitement sur un ensemble de données, de schématiser ces données et même les résultats de traitement sous forme plusieurs types de graphismes ...etc.
- ✓ Ce genre de logiciel est appelé « TABLEUR », il existe plusieurs logiciels de ce genre (exemple la suite open office)

- ✓ Chaque feuille de calcul est composée de colonnes (Numérotées alphabétiquement A, B, C, ..., Z, AA, AB, ... etc.) et de lignes numérotée à partir de 1.
- ✓ Une cellule peut contenir des données de n'importe quel type (nombre naturel ou réel, booléen, date, texte, monétique ...etc.).
- ✓ Une cellule peut contenir aussi des formules (équations) arithmétiques ou logiques.
- ✓ Dans les formules, Excel manipule les noms des cellules comme des variables.
- ✓ Un ensemble de cellules contiguës est appelé « PLAGES DE CELLULES »
- ✓ une plage de cellules se référence par le nom de la cellule gauche en haut suivi par deux points « : » ensuite le nom de la cellule droite en bas (B2:C4 c'est l'ensemble des cellules : B2, C2, B3, C3, B4 et C4).

7.16 FONCTIONS SUR EXCEL :

7.1 La recopie automatique:

Lorsqu'on sélectionne une cellule ou une plage de cellules, on observe qu'elle est entourée en gras et contient en plus un point à droite en bas.

Créer des formules simples sous Excel:

- ✓ Une formule arithmétique donne comme résultat un nombre
- ✓ Une formule logique (comparaison) donne comme résultat une valeur logique : vrai ou faux.
- ✓ N'importe quelle formule doit être commencée par le symbole « = », sinon Excel la traite comme un texte simple.

7.2 La recopie automatique et les formules:

Excel permet aussi la recopie automatique des formules d'une manière intelligente :

- ✓ Si dans la cellule A2 contient la formule « =D2*6-B1 », quand on recopie cette formule sur la cellule B4 (de A2 vers B4 : saut de 1 colonne et 2

lignes) elle devient « =E4*6-C3 »

- ✓ Si on veut empêcher qu'une cellule soit changée par la recopie automatique, on pose le symbole dollar « \$ » avant le caractère de la colonne pour le fixer (même chose pour le numéro de ligne ou avant les deux).

7.3 Fonctions très utiles d'Excel:

Excel contient beaucoup de fonctions qu'on peut les utiliser directement. Une fonction à un nom suivi par parenthèse ouvrante et une fermante. Si la fonction demande des données (paramètres) on les mettre entre les parenthèses et les séparées (si elle demande plus d'un paramètre) par point- virgule « ; ».

7.4 Fonctions conditionnelles:

SI (Condition ; Formule_si_Vraie ; Formule_si_Fausse)

Condition : expression logique (comme A5 >= 0 selon la valeur de A5 elle retourne Vrai ou faux)

Formule_si_Vraie : exécuté si la valeur de la condition est **vraie**.

Formule_si_Fausse : exécuté si la valeur de la condition est **fausse**.

Si l'une des formules est placée entre guillemets doubles (") Excel n'exécute pas la formule mais il l'affiche comme **texte**.

7.5 Méthode de travail:

Pour déterminer le coefficient des pertes de charge de l'OB1 par la formule de Colebrook on utilisant deux méthodes :

7.6 Méthode du calcul itérative :

On déclarer les valeurs caractéristiques du pipe et les formules générales de calcul hydraulique (chapitre 02) et en fait un calcul itérative pour la formule de Colebrook (expliquer dans l'organigramme).

7.7 Méthode Excel goal Seek :

Contrairement aux équations linéaires simultanées, les équations non linéaires simultanées ne peuvent pas être résolues à l'aide de l'algèbre linéaire.

Cependant, nous pouvons étendre le concept d'utilisation de Goal Seek de la résolution d'une seule équation implicite à la résolution de systèmes d'équations non linéaires.

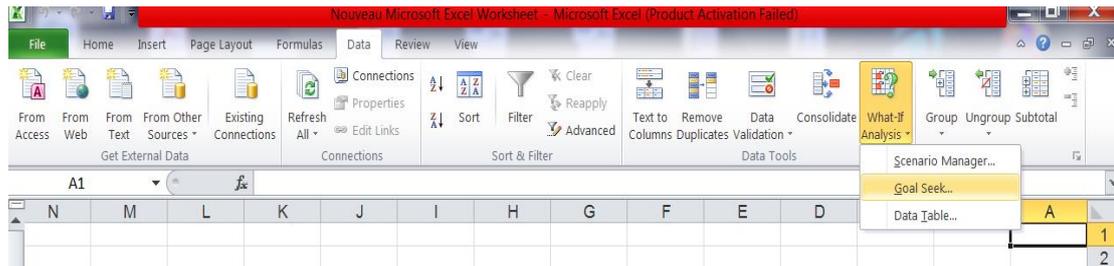


Figure 26 :Fonction Goal Seek

Nous utiliserons Goal Seek pour trouver une valeur de f qui minimise la différence entre les côtés gauche et droit de l'équation de Colebrook-White. Essentiellement, ce que nous recherchons est la racine de l'équation. Pour cela nous allons calculer les côtés gauche et droit séparément, puis créer une fonction "Objectif" que nous tenterons de minimiser. [12]

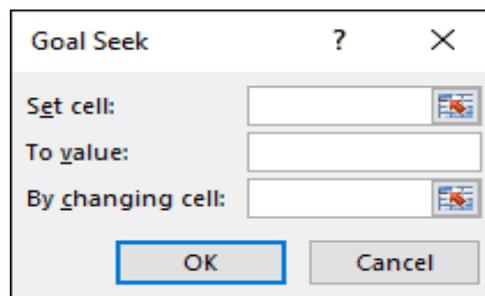


Figure 27 :Goal Seek fenêtre

En détermine:

- ✓ Le coefficient de pertes de charges λ
- ✓ le type du régime d'écoulement
- ✓ la vitesse d'écoulement V
- ✓ la pression P
- ✓ le nombre de Reynolds Re

7.8 Les étapes de la modélisation dans l'Excel goal Seek:

Etape 01:

Déclarer les caractéristiques de la conduite

- ✓ Rugosité du tuyau e en mm
- ✓ diamètre d en mm
- ✓ débit volume Q en m^3/s .
- ✓ Viscosité cinématique ν en cst.
- ✓ Longueur de la canalisation L en m.
- ✓ Etape 02:

Déterminer

- ✓ le nombre de Reynolds
- ✓ rugosité relative
- ✓ la nature de l'écoulement.

Etape 03

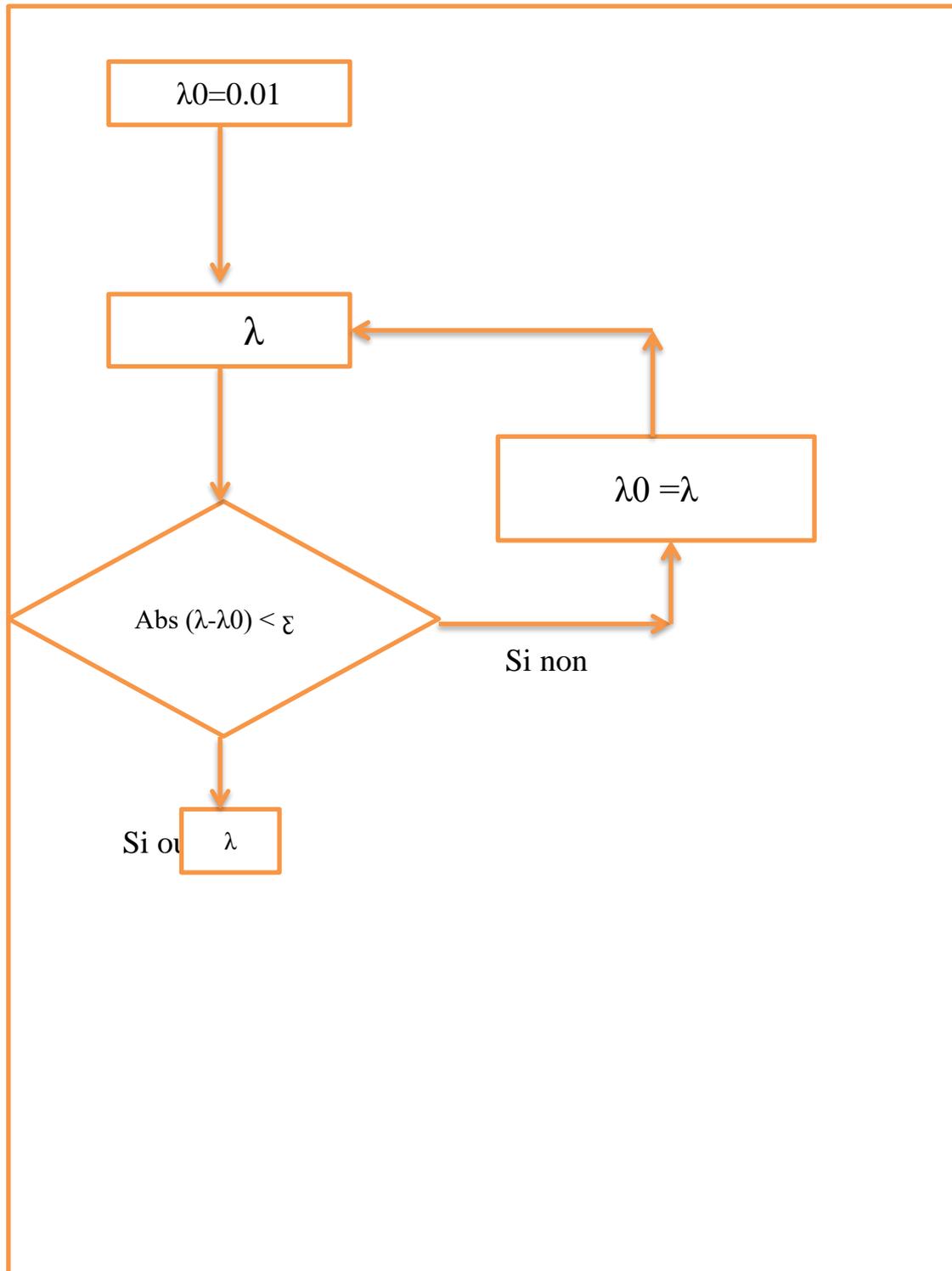
Si le nombre de Reynolds est

- ✓ inférieur à 2000 alors on calcule le coefficient de perte de charge par $\lambda = 64/R$
- ✓ supérieur à 3000, alors on cherche une solution de l'équation de Colebrook

Étape 04:

- ✓ Déclarer la formule du colebrook
- ✓ on suppose que $\lambda = 0.01$
- ✓ on déterminer nouveau λ
- ✓ On arrêter le calcul jusqu'à $\lambda - \lambda_0 = 0$

7.9 Organigramme du travail:



7.10 Modélisation sur dernier tronçon du l'0B1 :

7.10.1 Méthode Excel goal Seek:

Partie de déclaration :

check	RMS	LMS	λ	Re
2,028627	7,971373	10	0,01	1
2,028627	7,971373	10	0,01	2
2,028627	7,971373	10	0,01	3
2,028627	7,971373	10	0,01	4
2,06165	7,93835	10	0,01	5

Partie du résultat :

check	RMS	LMS	λ	Re
0,000348	8,070262	8,070611	0,015353	1
0,000348	8,070262	8,070611	0,015353	2
0,000348	8,070262	8,070611	0,015353	3
0,000348	8,070262	8,070611	0,015353	4
0,000441	8,026865	8,027306	0,015519	5

7.11 Méthode de substitution successive :

pour D = 24"			pour D = 22"		
λ_0	λ	TEST	λ_0	λ	TEST
0,01	0,016574	FALSE	0,01	0,016621	FALSE
0,016574	0,016008	FALSE	0,016621	0,016108	FALSE
0,016008	0,016044	FALSE	0,016108	0,016137	FALSE
0,016044	0,016042	FALSE	0,016137	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	FALSE
0,016042	0,016042	FALSE	0,016135	0,016135	TRUE
0,016042	0,016042	TRUE			

Analyse et interprétation :

Les valeurs du coefficient de la perte de la charge trouvée on utilisant la méthode de Goal seek et la méthode de substitutions successives pour le calcul de la formule de Colebroke-white sont les même. Par contre, si on compare les valeurs trouvées dans le chapitre 03 qui corresponde à la formule de Blasius, on constate une déférence de 0.003. la formule de blasius est considéré déterministe donc relativement juste, Par apport a celle de colebroke qui est généraliste.

Chapitre 05 :

**Optimisation des régimes
de fonctionnement de la
ligne OB1**

1 Introduction sur les problèmes d'optimisation :

L'optimisation est une branche des mathématiques et de l'informatique en tant que disciplines, cherchant à modéliser, à analyser à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à déterminer quelles sont, la ou les solutions satisfaisant un objectif quantitatif tout en respectant d'éventuelles contraintes.

L'optimisation joue un rôle important en recherche opérationnelle dans les mathématiques appliquées, en analyse et en analyse numérique, en statistique pour l'estimation du maximum de vraisemblance d'une distribution pour la recherche de stratégies dans le cadre de la théorie des jeux, ou encore en théorie du contrôle et de la commande.

Maintenant, tous les systèmes susceptibles d'être décrit par un modèle mathématique sont optimisés, la qualité des résultats et des prédictions dépend de la pertinence du modèle, de l'efficacité de l'algorithme et des moyens pour le traitement numérique.

L'optimisation est connue depuis l'antiquité, pendant longtemps elle ne pouvait être utilisée que pour résoudre des problèmes simples, depuis une quarantaine d'année seulement en relation avec le progrès prodigieux de l'informatique, l'optimisation a connu un développement fulgurant

1.1 Définition d'un problème d'optimisation:

Un problème d'optimisation est défini par :

- ✓ un espace de recherche (de décision): ensemble de solutions ou de configurations constitué des différentes valeurs prises par les variables de décision
- ✓ une ou plusieurs fonction(s) dite objectif(s), à optimiser (minimiser ou maximiser).
- ✓ un ensemble de contraintes à respecter.

Dans la plupart des problèmes, l'espace d'état (décision) est fini ou dénombrable. Les variables du problème peuvent être de nature diverse (réelle, entier, booléenne, etc.) et exprimer des données qualitatives ou quantitatives. La fonction objectif représente le but à atteindre pour le décideur. L'ensemble de contrainte définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche (solutions réalisables). La résolution optimale du problème consiste à trouver le point ou un ensemble de points de l'espace de recherche qui satisfait au mieux la fonction objectif. Le résultat est appelé valeur optimale ou optimum. Néanmoins en raison de la taille des problèmes réels, la résolution optimale s'est souvent montrée impossible dans un temps raisonnable. Cette impossibilité technique impose la résolution approchée du problème, qui consiste à trouver une solution de bonne qualité (la plus proche possible de l'optimum).

1.2 Les caractéristiques d'un problème d'optimisation:

Un problème d'optimisation est caractérisé par

- ✓ le domaine des variables de décision : soit Continu et on parle alors de problème continu, soit discret et on parle donc de problème combinatoire.
- ✓ la nature de la fonction objectif à optimiser: soit linéaire et on parle alors de problème linéaire, soit non linéaire et on parle donc de problème non linéaire:
- ✓ le nombre de fonctions objectifs à optimiser: soit une fonction scalaire et on parle alors de problème mono-objectif, soit une fonction vectorielle et on parle donc de problème multi objectif:
- ✓ la présence ou non des contraintes: on parle de problème sans contrainte ou avec contrainte
- ✓ sa taille: problème de petite ou de grande taille
- ✓ l'environnement: problème dynamique (la fonction objectif change dans le temps)

On peut voir de façon intuitive, un problème d'optimisation comme un problème de recherche, qui consiste à explorer un espace contenant l'ensemble de toutes les solutions potentielles réalisables, dans le but de trouver la solution optimale, sinon la plus proche possible de l'optimum, permettant de minimiser ou maximiser une

fonction dite objectif:

- ✓ maximiser les performances,
- ✓ minimiser les pertes,
- ✓ Identifier une panne à moindre coût.
- ✓ maximiser le rendement du capital tout en minimisant le risque associé, -
enfin, l'ingénieur n'a pas seulement besoin de concevoir, mais il doit le faire de manière optimale.

2 Les problèmes d'optimisation mono-objective:

Lorsqu'un seul objectif (critère) est donné, le problème d'optimisation est mono-objectif, dans ce cas la solution optimale est clairement défini 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 se une valeur $s \in \Omega$. 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.

2.1 Variables de décision:

Les variables de décision sont des quantités numériques pour les quelles des valeurs sont à choisir. Cet ensemble de n variables est appelé vecteur de décision: (x_1, x_2, \dots, x_n) . Les différentes valeurs possibles prises par les variables de décision x_i constituent l'ensemble des solutions potentielles.

2.2 Espace décisionnel et espace objectif :

Deux espaces Euclidiens sont considérés en optimisation:

- ✓ L'espace décisionnel, de dimension n , n étant le nombre de variables de décision. Cet espace est constitué par l'ensemble des valeurs pouvant être prise par le vecteur de décision.

- ✓ L'espace objectif: l'ensemble de définition de la fonction objectif, généralement défini dans la valeur dans l'espace objectif d'une solution est appelée coût, ou fitness.

2.3 Contraintes:

Dans la plupart des problèmes d'optimisation, des restrictions sont imposées par les caractéristiques du problème. Ces restrictions doivent être satisfaites afin de considérer une solution acceptable, Cet ensemble de restrictions, appelées contraintes, décrit les dépendances entre les variables de décision et les paramètres du problème. On formule usuellement ces contraintes c_j par un ensemble d'inégalités, ou d'égalités de la forme: $c_j(x_1, x_2, x_3...x_n) \geq 0$.

3 Classification et Algorithmes de résolution des problèmes d'optimisation :

Les problèmes d'optimisation peuvent être classés en deux catégories:

3.1 Les problèmes de programmation linéaires PPL :

Les problèmes de programmation linéaires peuvent être résolus par l'intermédiaire de l'algorithme

- ✓ Simplexe
- ✓ Point intérieur
- ✓ Algorithmes pour les problèmes de grande taille :
 - Méthodes de décomposition de bender ou la <<génération de lignes>>
 - Méthodes de décomposition de dantzig-Wolfe ou la <<génération de colonnes>>

3.2 Les problèmes de programmation non linéaires PNL.:

Les problèmes de programmation non linéaires peuvent être résolus par l'intermédiaire de plusieurs algorithmes tel que :

- ✓ Newton
- ✓ Quasi-Newton
- ✓ Le gradient conjugué
- ✓ La recherche linéaire,
- ✓ Les régions de confiance,
- ✓ La méthode de Nelder-Mead,

4 Le solveur Excel:

L'optimisation à l'aide de solveur Excel est pratiquement simple il suffit de suivre les étapes suivantes:

- a)- on définit la fonction objective en fonction des variables et les variables avec des valeurs initiales 0 par exemple:
- b)- On sélectionne le solveur dans le menu outils, une fenêtre nous est ouverte à en de laquelle nous inscrivons les informations décrivant le problème à résoudre :
 - ✓ Cellule objectif à définir : la fonction d'objective se trouve dans la cellule correspondante.
 - ✓ Cellules variables : sélectionne les cellules qui contient les variables.
- c)- on ajoute par la suite toutes les contraintes existantes en cliquant sur 'ajouter', une fenêtre apparait :
- d)- on clique sur Ajouter et la même fenêtre apparait : on ajoute chaque fois une contrainte jusqu'au satisfaire toutes les contraintes.
- e)- on choisit par la suite le mode de résolution du problème selon le problème de programmation linéaire ou non linéaire : par le simplex si le problème est linéaire, par GRG non linéaire si le problème ou non –linéaire.
- f)- on clique sur Résoudre et aura la solution :
- g)- Message d'erreur : il est possible que le Solveur envoie le message suivant :
Cela signifie que le solveur ne peut pas trouver une solution intermédiaire dans laquelle toutes les contraintes sont satisfaites.

5 Application de l'optimisation pour les différentes phases:

L'oléoduc OB1 fonctionne actuellement avec trois débits différents; 800,1100 et 1800m³/h, passant par trois stations de pompage principales, chaque débit détermine des pressions de refoulement et des pressions d'aspiration bien précises pour chaque station.

Une station de pompage est caractérisée par un débit, un rendement de la station, une pression d'aspiration et une pression de refoulement, ces termes sont liés par la fonction de la puissance N_i . Elle est définie comme la puissance développée par chaque station de pompage.

$$N_i = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{st} \cdot Q_p}{\eta}$$

$H_{st} = K \cdot H_p$ Si les pompes sont en série.

$H_{st} = H_p$ Si les pompes sont en parallèle.

Tel que:

$$H_{st} = H_{ref} - H_{asp} = 0.084 \cdot \frac{\lambda \cdot Q^2 \cdot L}{(D_{int})^5} + \Delta Z$$

$$N_i = \frac{P_{ref} - P_{asp}}{\eta} \cdot Q$$

Q: Débit volumique de la ligne (constant).

ρ : Densité du produit considéré (constante).

η : Le Rendement de la station.

H: La charge développée par la station i.

P_{ref} : La pression de refoulement de la station.

P_{asp} : La pression d'aspiration de la station 1.

K: nombre de pompe.

D_{int} : Diamètre intérieur moyen du tronçon.

L_i : Longueur du tronçon.

λ : coefficient de perte de charge pour le débits dans le tronçon.

ΔZ : Dénivelé du tronçon.

Dans ce chapitre on cherche à faire l'optimisation des régimes de fonctionnement donc on intéresse à minimiser l'énergie ou la puissance développée par les moteurs de chaque station de Pompage en maintenant le débit fixe, et en faisant varier les pressions d'aspiration et celles de refoulement.

5.1 La fonction objective F:

On définir au début la fonction objective qui se résume dans la puissance totale développée par les stations de de pompage en marche. Mettant 'n' le nombre de station de pompage en marche; la pace totale s'écrit:

$$F = N_{tot} = \sum_{i=1}^n N_i$$

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{\rho \cdot g \cdot H_{st}}{\eta} \cdot Q$$

$$F = \rho \cdot g \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta} \left(0.084 \cdot \frac{\lambda \cdot Q^2 \cdot L}{(D_{int})^5} + \Delta Z \right) \cdot Q$$

$$F = \rho \cdot g \cdot Q \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta} \left(0.084 \cdot \frac{\lambda \cdot Q^2 \cdot L}{(D \text{ int})^5} + \Delta Z \right)$$

On définit dans la fonction objective:

$$F = \rho \cdot g \cdot Q \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta} \left(0.084 \cdot \frac{\lambda \cdot Q^2 \cdot L}{(D \text{ int})^5} + \Delta Z \right) \longrightarrow \text{minimiser}$$

Les paramètres de la pression sont limités par des conditions bien déterminées s'appellent les contraintes.

5.2 Les contraintes d'optimisation de la ligne :

Les contraintes doivent tenir compte des paramètres d'exploitations suivants :

- ✓ Les pertes de charges : $\mathbf{P_{ref} - P_{asp} = \rho \cdot g \cdot H_{fr} + \rho \cdot g \cdot \Delta Z_i}$.
- ✓ Les pressions de refoulement max : $\mathbf{P_{ref}^i \leq P_{refmax}^i}$.
Les pressions d'aspiration min (risque de cavitation) : $\mathbf{P_{asp}^i \geq P_{aspmin}^i}$.
- ✓ Logique : $\mathbf{P_{ref}^i \geq P_{asp}^i}$.

5.3 Les contraintes de l'OB1 :

5.3.1 Les pertes de charges :

$$\mathbf{P_{ref}^{sp1} = P_{asp}^{spbis} = \rho \cdot g \cdot H_{fr}^1 + \rho \cdot g \cdot \Delta Z_1}$$

$$\mathbf{P_{ref}^{spbis} = P_{asp}^{sp2} = \rho \cdot g \cdot H_{fr}^2 + \rho \cdot g \cdot \Delta Z_2}$$

$$\mathbf{P_{ref}^{sp2} = P_{asp}^{sp3} = \rho \cdot g \cdot H_{fr}^3 + \rho \cdot g \cdot \Delta Z_3}$$

$$\mathbf{P_{ref}^{sp3} = P_{fin}^{cs} = \rho \cdot g \cdot H_{fr}^4 + \rho \cdot g \cdot \Delta Z_4}$$

5.3.2 Les pressions de refoulement max :

$$\mathbf{P_{ref}^{sp1} \leq P_{refmax}^{sp1}}$$

$$\mathbf{P_{ref}^{spbis} \leq P_{refmax}^{spbis}}$$

$$\mathbf{P_{ref}^{sp2} \leq P_{refmax}^{sp2}}$$

$$\mathbf{P_{ref}^{sp3} \leq P_{refmax}^{sp3}}$$

5.3.3 Protection contre la cavitation :

$$P_{asp}^{sp1} \geq P_{aspmin}^{sp1}.$$

$$P_{asp}^{spbis} \geq P_{aspmin}^{spbis}.$$

$$P_{asp}^{sp2} \geq P_{aspmin}^{sp2}.$$

$$P_{asp}^{sp3} \geq P_{aspmin}^{sp3}.$$

5.3.4 Logique :

$$P_{ref}^{sp1} \geq P_{asp}^{sp1}.$$

$$P_{ref}^{spbis} \geq P_{asp}^{spbis}.$$

$$P_{ref}^{sp2} \geq P_{asp}^{sp2}.$$

$$P_{ref}^{sp3} \geq P_{asp}^{sp3}.$$

Notant que : $H_{ft}^i = 0.084 \frac{\lambda_i \cdot Q \cdot L_i}{D_{int} \cdot 5}$

$$\Delta Z = Z^{i+1} - Z^i$$

Les résultats de l'optimisation pour :

Minimisation de la puissance pour la première phase ($Q=800 \text{ m}^3/\text{h}$) :

Avant l'optimisation

	Sp1	Sp2	Sp3
Pref max [bar]	57.44	55.45	56.6
Pasp min [bar]	-	0.5	0.5
Href[m]	447.98	435.42	620.63
Pref [bar]	35.29	34.30	48.89
Pasp [bar]	10	1	1
Hfr + ΔZ [m]	376.89	366.87	607.94
η %	46.5	50.3	49.37
Puissance [kw]	1237.5	1268.14	1957.53
Somme de puissances : 4463.17 kw			

Après l'optimisation

	SP1	SP2	SP3
Href [m]	383.30	703.9	620.70
Pref [bar]	30.19	55.45	48.9
Pasp [bar]	9.4	0.5	26.54
Hfr + ΔZ [m]	376.89	366.87	607.94
Puissance [kw]	992.76	2425.22	1004.95
Somme des puissances : 4422.95 kw			

Le gain :

Le gain de l'énergie est calculé comme suit :

$$\text{Gain} = ((P_{\text{avant opt}} - P_{\text{apres opt}}) / P_{\text{avant opt}}) \cdot 100\% = 0.8\%$$

Les résultats de l'optimisation pour :

Minimisation de la puissance pour la première phase ($Q=1800 \text{ m}^3/\text{h}$) :

Avant l'optimisation

	Sp1	SP1 bis	Sp2	Sp3
Pref max [bar]	57.44	69.57	55.45	56.6
Pasp min [bar]	-	7.5	0.5	0.5
Href[m]	608.70	640.56	640.56	706.19
Pref [bar]	47.95	50.46	50.46	55.63
Pasp [bar]	10	1	1	1
Hfr + ΔZ [m]	452.64	569.56	613.42	693.51
η %	88.3	80.49	85.1	50.17
Puissance [kw]	1958.87	1996.87	1996.87	4227.43
Somme de puissances : 10545.27 kw				

Après l'optimisation

	SP1	SP1 bis	SP2	SP3
Href [m]	729.17	575.91	703.90	706.20
Pref [bar]	57.44	45.36	55.45	55.63
Pasp [bar]	9.4	21.78	0.5	7.12
Hfr + ΔZ [m]	452.64	569.56	613.42	693.51
Puissance [kw]	2297.11	1237.13	2726.33	4081.96
Somme des puissances : 10342.54 kw				

Le gain :

Le gain de l'énergie est calculé comme suit :

$$\text{Gain} = ((P_{\text{avant opt}} - P_{\text{apres opt}}) / P_{\text{avant opt}}) \cdot 100\% = 1.92\%.$$

Conclusion générale

Conclusion générale:

L'objectif de ce travail est d'étudier le régime d'écoulement de l'oléoduc OB1, pour différents débits allant de (800, 1200, 1800 et 2200) m³/h. il est nécessaire, pour assurer une meilleure optimisation des variantes d'exploitations de la ligne, de choisir la technique la plus convenable pour résoudre les différents problèmes survenus pour traiter ce problème.

Parmi les paramètres physiques pour effectuer cette étude, on peut citer le profil en long, avec les données d'inspection de 2009 et les nouvelles valeurs de la pression de service, les propriétés physiques de produit (masse volumique et viscosités), ainsi que les débits pratiqués dans la ligne.

Dans notre projet on a choisi :

- ✓ Un calcul hydraulique pour déterminer les caractéristiques des tronçons ainsi que celles des stations pour déterminer le point de fonctionnement de la ligne .
- ✓ Calcul des puissances fournies par les pompes au niveau de chaque station, sans tenir compte des puissances des moteurs d'entraînement, et cela par manque des données.
- ✓ Calcul de l'optimisation des puissances des pompes par la méthode de simplexe.

On a pu conclure que :

- ✓ Concernant le débit max de 1800 m³/h, selon les points de fonctionnement obtenu, on constate que les charges sont dans les règles de sécurité et ne dépassent pas la PMS. Cela est visible aussi sur les graphes de la pente hydraulique.
- ✓ On a considéré que le point de contrôle se trouve au niveau du col de Slatna. L'écoulement aval de ce col est gravitaire avec un écoulement à section pleine dans les points bas et à section réduite au niveau des pics. Pour ce tronçon (col de Slatna TMB), on l'a abordé d'une manière sommaire en considérant que l'écoulement se fait à section pleine.

- ✓ S'agissant du calcul de la puissance au niveau des stations, et après optimisation de calculs de ces variantes, il s'avère que le gain est minime car il varie de 0,85% pour le débit de 800 m³/h à 1,92% pour le débit de 1800 m

A la fin de ce travail, on remarque que l'OB1 a fait l'objet de beaucoup d'études sachant que techniquement par long c'est une ligne qui l'a fait pensée a remplacé vu que sa durée de vie est largement dépassée. on suggere que les autorités cocernes en l'occurrence SONATRACH pense à un autre projet nouveau avec d'autres perspectives.

Les références :

- [1] Document et données donnée dans le lieu de stage
- [2] Cour transport des produits pétroliers Mr Younsi Karim
- [3] Cour équipement des pipelines Mr Bouzid Rachid
- [4] Cour pompe et compresseur Mr Mohamadi Kamal
- [5] site : [mecaflux aide aux calculs de mécanique des fluides](#)
- [6] Lewis Ferry Moody, « Friction factors for pipe flow », *Transactions of the ASME*, vol. 66 (8), 1944, p. 671–684
- [7] Site: wikimedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg
- [8] CALCUL DES PERTES DE CHARGE - est-usmba.ac.ma
- Legarrec entreprise –concepteur et fabricant des systèmes fluides perte-de-charge/[9]
- [10] cour technique numérique en transport des hydrocarbures de Mr BOUHAFS
- [11] Younes Naziha (Evaluation approximative de l'état de corrosion de l'OB1) thème de master 2016 université Boumerdes
- [12] Engineer excel Colebrook-equation-solver-in-excel