

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie
Département Transport et Equipements
Des Hydrocarbures



Domaine : Sciences et technologies

Filière : Hydrocarbures

Option : Transport et distribution des hydrocarbures

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Présenté par

SADANI Ibtissem

et

KERCHOUCHE Ryma

Thème

Optimisation de la périodicité de nettoyage de l'oléoduc OB1

Soutenu publiquement le 07/07/2022

Devant le jury :

YOUNSI Karim

UMBB

Encadrant

MENAA Abdennour

UMBB

Examineur

BOUHAFS Smail

UMBB

Examineur

TIKOBAINI Mourad

UMBB

Examineur

Résumé

Les canalisations de transport de pétrole ont la fâcheuse tendance de s'encrasser en fonction du temps et de ce fait provoquer une augmentation des pertes de charge qui se traduisent principalement par une diminution de performances hydrodynamiques et de productivité de la ligne

Pour réduire l'impact de ces inconvénients, il y a lieu de recourir à un nettoyage périodique de la conduite. D'où l'importance cruciale de cette étude qui est de définir le choix de l'outil le mieux adapté à la situation d'encrassement et la périodicité optimale d'envoi d'un racleur de nettoyage.

Abstract

Oil transport pipelines have the unfortunate tendency to become clogged over time and thus cause an increase in pressure drops which mainly result in a decrease in hydrodynamic performance and line productivity.

To reduce the impact of these inconveniences, it is necessary to resort to periodic cleaning of the pipe. Hence the crucial importance of this study, which is to define the choice of the tool best suited to the clogging situation and the optimal periodicity for sending a cleaning scraper.

Dédicace

Je dédie ce travail,

À ma douce maman, ma source de tendresse qui m'a toujours soutenue et donnée
la patience pour que ce travail soit achevé

À mon cher père pour son encouragement et la confiance qu'il m'a accordé le
long de mon parcours

À mon cher mari Younes, pour sa présence dans les moments les plus difficiles
malgré la distance

À mes deux chers frères Ayoub et Oussama, les mots ne suffisent guère pour
exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour eux

À mes chères amies Ryma, Meryama, Souada, Ines, Wissem, Sissou,
Sabrina, Abir, Cheima, Zoudy, Wissal, Kouda, Yasmine, Leila je suis
reconnaissante pour votre soutien quotidien sans vous mon parcours n'aurait
pas eu le même goût

Ibtissem

Dédicace

Je dédie ce travail,

À mon ange, ma maman qui a œuvré pour ma réussite par son affection, son soutien et son amour qu'elle me porte tous les jours

À mon héros, mon père qui n'a pas cessé de m'encourager et m'a guidé vers le bon chemin

À ma grande sœur Lamia qui a cru en moi et m'a supporté dans toutes les épreuves de la vie

À mon adorable petite sœur Lyfia, boule de joie qui me fait toujours sourire en me remontant le moral

À ma chère binôme Ibtissem, avec qui j'ai partagé ce modeste travail, et que malgré les obstacles on a su les surmonter ensemble

Aux personnes les plus chères à mon cœur, mes alliées Asma et Ikram qui m'ont appris le sens de l'amitié depuis tant d'année

À mes cousins et cousines, ma source d'énergie merci pour tous les moments de délire partagés ensemble

--- À la mémoire de ma chère grand-mère Yaya; et de mon grand-père partis trop tôt, source de joie, de bonheur et de sagesse dont le mérite et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour

Ryma

Remerciements

Quand un travail de projet de fin d'études est bouclé et que l'heure des bilans est arrivée, des pensées particulières s'adressent à tous ceux qui ont soutenu sa réalisation et sa finalisation.

Ce travail a été réalisé conjointement à la Direction Régional de Béjaia et le Département de Transport des hydrocarbures à la faculté des Hydrocarbures et de la Chimie – Boumerdes -

Nous adressons nos vifs remerciements et notre reconnaissance aux responsables de ces deux établissements pour nous avoir permis de réaliser ce travail dans des conditions favorables.

Nous tenons à remercier Mr M. LOUBA pour toutes ses orientations pertinentes, ses précieux conseils et pour tous les moyens mis à notre disposition durant notre séjour au sein de la DRGB

C'est pour nous un honneur, un privilège, en même temps un devoir et une dette de reconnaissance méritée à notre encadreur Mr Karim YOUNES, nous le remercions très sincèrement pour avoir dirigé ce mémoire. Ce fut un grand plaisir de travailler avec lui.

Nous le remercions de nous avoir fait confiance, pour son soutien ainsi que pour toutes les discussions enrichissantes et son aide documentaire. Nous le remercions également pour ses conseils, ses orientations et ses encouragements.

Nous exprimons aussi notre gratitude à monsieur Abdesslam KADERBAKE (chef de département de l'exploitation oléoduc de la DRGB) pour la qualité de ses compétences, ses conseils et ses qualités humaines qui nous ont permis de mener à bien ce mémoire. Nous le remercions énormément pour son aide et pour la grande patience dont il a fait preuve durant notre période de stage.

Nous tenons à adresser particulièrement nos remerciements à Mr BOUKAÏS, Mr ISKOBAÏS et Mr MENAÏ pour leur participation en tant que examinateurs de ce travail.

Nous tenons aussi à associer ce travail à nos familles, à qui nous le dédions. Sans leur présence et leurs encouragements permanents, on n'aurait jamais atteint nos objectifs.

Ryma & Iblissem

Définitions

Station de pompage : les stations de pompage sont situées à des intervalles réguliers le long de pipeline pour augmenter la pression (chute de pression à cause de perte par frottement) au niveau souhaité (pression d'aspiration de la prochaine station).

Vanne : est un dispositif destiné à contrôler (stopper ou modifier) le débit d'un fluide au niveau des canalisations, il existe plusieurs type selon la fonction (décharge, chasse, compensation, garde.

Raffinage : désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer du pétrole le maximum de produits à haute valeur commerciale.

GPL : est un mélange des hydrocarbures légers, stocké à état liquide et issu du raffinage du pétrole pour 40 % et de traitement du gaz naturel pour 60%. IL se compose essentiellement de propane et de butane. Le mélange peut contenir jusqu'à 0.5% de d'autres hydrocarbures légers tel que le butadiène.

GNL : gaz naturel de qualité commerciale condensé à l'état liquide.il des compose essentiellement de méthane mais comprend aussi jusqu'à 10% d'éthane et de petites quantités d'autres gaz (propane et butane). Le méthane devient liquide à une température de -161 °C à pression atmosphérique.

Pétrole brut : provient directement de l'exploitation d'un puits de pétrole à l'issue des traitements de dessablage, de décantage de l'eau, et éventuellement de séparation de la phase gazeuse à pression et température ambiantes. Il est mesuré en baril ou en m³.

Condensat : dits aussi « pentane plus (C₅⁺) », ce nom désigne la fraction légère allant de pentane (C₅H₁₂) jusqu'à l'heptane (C₇H₁₆). Ils sont présents en solution gazeuse dans le gisement, et se condensent sous forme liquide à pression atmosphérique.

Gisement : ou un champ pétrolier, délimite une zone ou est enfouie une grande quantité de pétrole et ou une tentative pour l'en extraire peut être faite en creusant des puits. Il peut s'étendre sur plusieurs kilomètres, permettant d'avoir plusieurs puits sur un même champ.

Réservoirs tampons : se présentent généralement sous la forme d'un réservoir de grande capacité. En principe ils stockent l'énergie thermique qui n'est pas requise dans l'immédiat en vue d'une consommation ultérieure en fonction de la demande.

Turbopompe : une turbopompe est une pompe conçue pour augmenter la pression d'un liquide ou d'un gaz dans le but d'accroître la puissance ou les performances du moteur.

Trading et Shipping : ce sont des activités majeures prise en charge par chaque

E-commerce où le vendeur confie la marchandise à un transporteur afin qu'elle parvienne au client.

Pression maximal design : c'est cette pression maximale de design pour laquelle la conduite est réellement conçue, en régime permanent du réseau ou de la zone de pression, qui peut être atteinte dans une section de la canalisation en service, en tenant compte des fluctuations produites par un possible coup de bélier.

Cavitation : est un phénomène que l'on rencontre principalement dans les industries de l'hydraulique et de l'hydrodynamique. Il se manifeste par la formation de cavités de vapeur (bulle) à l'intérieur d'un liquide lorsque la pression locale diminue rapidement en dessous de la pression de vapeur du liquide.

Écoulement gravitaire : est provoqué seulement par la seule pente du tuyau où le point désiré est à une hauteur suffisante pour que l'écoulement poursuive son chemin librement.

Effet venturi : un phénomène de la dynamique de fluide qui subit une dépression lorsqu'il est en écoulement là où la vitesse augmente, ou la section de la conduite se rétrécit (resserrement).

Commissionning : est une démarche qui définit l'ensemble des tâches à mettre en œuvre permettant d'atteindre un bon niveau de performance et créer des conditions nécessaires pour les maintenir pour une longue durée.

Cintrage : est un procédé mécanique de déformation d'un tube ou d'une barre, suivant un rayon et un angle avec une cintreuse.

Sator : est la partie stationnaire d'un moteur électrique qui va créer un champ magnétique, qui par interaction avec le champ magnétique rotorique produit le couple électromécanique

Rator : est la partie rotative du moteur, constituée d'un ensemble de bobines reliées à un collecteur rotatif qui permet de maintenir fixe la direction transversale de magnétisation du rotor lorsque celui-ci tourne.

Drainage : ensemble de procédés et opérations mis en œuvre pour faciliter l'écoulement et l'évacuation de l'eau en excès dans un sol trop humide.

Pipeline : tuyau, de différents diamètres, conçus pour le transport à grande distance de certains fluides, spécialement des carburants liquides tels que les hydrocarbures (oléoduc), et gaz naturel (gazoduc) etc.

Gaz naturel : gaz fossile, est un mélange gazeux d'hydrocarbures constitué principalement de méthane, mais comprenant toujours certaines quantités de d'autres alcanes supérieurs, et parfois un faible pourcentage de dioxyde de carbone, d'azote, de sulfure d'hydrogène ou d'hélium.

Electropompe : est une pompe qui fonctionne avec un moteur électrique.

Station portuaire : est une installation industrielle destinée pour les activités portuaires liées au chargement des navires ou transport des produits pétroliers vers les utilisateurs final (le

client). Elle est composée d'un ou plusieurs réservoirs qui peuvent être au-dessus du sol ou enterrés et un ensemble de vannes et de compteurs afin de décharger le pétrole.

Coefficient de risque de blocage d'outil : exprime la possibilité de blocage d'un outil et dépend de l'état de surface et de son étanchéité.

Sédiment : ensemble de particules en suspension dans l'eau, l'atmosphère ou la glace qui finit par se déposer sous l'effet de la pesanteur souvent en couches ou strates successives. Elle se forme à basse température.

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------	---

Chapitre I : La ligne d'OB1

I.1.Sonatrach	3
I.1.1. Aperçue historique – SONATARCH	3
I.1.2. Activités de Sonatrach	3
I.1.2.1. Activité amont	3
I.1.2.2. Activité aval	4
I.1.2.3. Activité de commerce	4
I.1.2.4. Activité de transport par canalisation	4
I.1.3. Description du réseau de transport	5
I.2. La DRGB	7
I.2.1. Présentation de la DRGB	7
I.2.2.Description de la DRGB	7
I.2.2.1. Les bacs de stockage	7
I.2.2.2. Manifolds	8
I.2.2.3. Une gare racleur	8
I.2.2.4. Unités de pompage	8
I.2.2.5. La tour de contrôle	8
I.2.2.6. Port Pétrolier	9
I.2.3. Structure organisationnelle	10
I.3. Description de la ligne OB1	11
I.3.1. Caractéristiques	11
I.3.2. L'oléoduc OB1 24" / 22"	12
I.3.2.1. Le premier tronçon	12
I.3.2.1. Le deuxième tronçon	12
I.3.2.1. L'oléoduc OGI	12
I.3.3. Les stations	12
I.3.3.1. Terminal départ SP1	14
I.3.3.2. la station SPI Bis	15
I.3.3.3. la station SP2	15
I.3.3.4. La station SP3	16
I.3.3.5. Terminal arrivée	17
I.3.4. D'autres caractéristiques de fonctionnement	18

Chapitre II : Les anomalies dans les canalisations

II.1. Les types d'anomalies	19
II.1.1.Perte de métal	19
II.1.1.1. Corrosion	19
II.1.1.2. Erosion	23
II.1.2. Défauts de construction	23
II.1.2.1. La fissuration	23
II.1.2.2. Défauts de soudage	24
II.1.3. Encrassement et dépôts	24
II.1.3.1. Cas des gazoducs	24
II.1.3.2. Cas des oléoducs	25
II.2. Conséquences	26
II.3. Moyens de lutte contre quelques anomalies	26

Chapitre III : Opération de nettoyage

III.1. Nettoyage aux produits chimiques	27
III.2. Nettoyage mécanique	27
III.3.1. Les outils rigides	28
III.3.1.1. Le racleur de nettoyage	28
III.3.1.2. Le racleur de séparation	29
III.3.1.3. Le racleur de calibrage	29
III.3.1.4. Les racleurs corps acier	29
III.3.1.5. Le racleur bidirectionnel	30
III.3.2. Les outils élastiques	30
III.3.2.2. Les sphères	32
III.3.2.3. Les hybrides	32
III.3.3. Piston à gel	33
III.4. Les avantages et inconvénients des racleurs	33
III.4.1. Les outils rigides	33
III.4.2. Les outils élastiques	34
III.4.3. Piston gel	35
III.5. Évaluation de l'efficacité des racleurs nettoyeurs	35
III.6. Nettoyage des oléoducs et gazoduc	35
III.7. Préparation d'une opération de nettoyage	36
III.7.1. Objectif de l'opération	36
III.7.2. La nature de substance à évacuer	36
III.7.3. Localisation des zones les plus encrassées	36
III.7.4. Estimation de volume à évacuer	36
III.7.5. Pression de pousser disponible	37
III.7.6. Le débit d'opération	37
III.7.7. L'influence du diamètre intérieur sur le choix d'outil	37
III.7.8. Distance à parcourir par l'outil	37
III.7.9. Rayon de courbure le plus faible	37
III.7.10. Position géodésique des obstacles	38
III.7.11. Piquage et tés non barrés	38
III.7.12. Types et dimensions des vannes	38
III.7.13. Sélection d'outil	38

Chapitre IV : Partie théorique, calcul hydraulique d'un oléoduc

IV.1. La canalisation	41
IV.1.1. Diamètre et l'épaisseur du pipeline	41
IV.1.2. Pression maximale admissible de service (PMS)	41
IV.2. Caractéristiques du produit transporté	42
IV.2.1. La densité (ρ)	43
IV.2.2. La viscosité (ν)	43
IV.3. Formules du calcul hydraulique	43
IV.3.1. Débit vitesse d'écoulement	43
IV.3.2. Nombre de Reynolds (Re)	44
IV.3.3. Régime d'écoulement d'un fluide	44
IV.3.4. Perte de charge	46
IV.3.4.1. Perte de charge linéaire	46
IV.3.4.2. Perte de charge locale (singulière H_s)	47
IV.3.4.3. Perte de charge total (H_t)	47

IV.3.5. Charge de refoulement total (H _{ref})	47
IV.3.6 Pression hydrostatique	48
IV.4. Pente hydraulique (i)	48
IV.5. Point de contrôle	49
IV.6. Courbe caractéristique du réseau	49
IV.7. Les pompes	50
IV.7.1 Définition	50
IV.7.2 Ossature et principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	50
IV.7.3 Choix de type de pompe	51
IV.7.4 Caractéristiques d'une pompe	52
IV.7.5. Courbe caractéristique de la pompe	52
IV.7.6. Rendement de la pompe (η_p)	52
IV.7.7. Puissance	53
IV.7.7.1. Puissance absorbée par la pompe (P _a)	53
IV.7.7.2. Puissance exigée par le moteur ou la turbine	53
IV.7.8 NPSH	54
IV.7.8.1 NPSH requis	54
IV.7.8.2 NPSH disponible	54
IV.7.9. Assemblage des pompes	55
IV.7.9.1. Assemblage en série	55
IV.7.9.2. Assemblage en parallèle	55
IV.7.10. La charge de refoulement de station	56
IV.8. Point de fonctionnement	56
IV.9. Adaptation de pompes sur le réseau	57
IV.9.1. La variation de vitesse de rotation	57
IV.9.2. Nombre de pompe	58

Chapitre V : Analyse hydraulique de l'oléoduc OB1

V.1. SP1-Selatna	59
V.1.1. La pression de refoulement exigée	59
V.1.1.1. Organigramme de calcul hydraulique	59
V.1.1.2. Régime de fonctionnement	60
V.1.1.3. Calcul de perte de charge dans les lignes	62
V.1.1.4. Calcul de pression exigée	62
V.1.2. La pente hydraulique	62
V.1.3. La courbe caractéristique de la conduite	65
V.1.4. Calcul de la charge de refoulement de la station (H _{ref-st})	65
V.1.4.1. Charge manométrique des pompes principales et booster	65
V.1.4.2. Représentation graphique	68
V.1.4.3. Le point de fonctionnement	70
V.1.4.4. Interprétation des résultats	71
V.1.4.5. Régulation de la vitesse de rotation	71
V.1.4.6. Nouveau point de fonctionnement après régulation	73
V.1.5. Rendement et calcul puissance	73
V.1.5.1 Partie calcul	73
V.1.5.2. Interprétation des résultats	74
V.2. SP3-TMB	74
V.2.1. Données des calculs	75
V.2.2. Régime de fonctionnement	75
V.2.3. Point de contrôle	76

V.2.4. Interprétation des résultats	76
 Chapitre VI : Modèle d'évaluation de la périodicité optimale de nettoyage	
VI.1. Objectif de l'étude	77
VI.2. Organigramme d'optimisation de la périodicité	77
VI.3. Encrassement d'un oléoduc	78
VI.3.1. Paramètres caractéristiques de l'encrassement	78
VI.3.2. Analyse hydraulique et évaluation de la baisse de débit en gendre par l'encrassement	78
VI.3.2.1. Organigramme de calcul du par itération en présence d'un pipeline encrassé	79
VI.3.2.2. Formule du débit	80
VI.3.3. Détermination du débit non transporté	81
VI.3.4. Coût du manque à gagner	81
VI.4. Opération de nettoyage	82
VI.4.1 Choix d'outil	82
VI.4.1.1. Outil rigide et piston élastique	82
VI.4.1.2. Outil de type sphère	84
VI.4.2. Opération d'envoi de l'outil	85
VI.4.2.1. Baisse de débit due à l'envoi de l'outil	85
VI.4.2.2. Le temps de transit d'outil(t)	86
VI.4.2.3. La quantité non transporté(Q_n)	86
VI.4.2.4. Le coût du manque à gagner due à la quantité non transportée	86
VI.4.2.5. Risque de blocage de l'outil de nettoyage	86
VI.4.2.6. Le nombre minimal de passage d'outil	87
VI.4.3. Coût d'une opération de nettoyage(C_n)	87
VI.4.3.1. Coût d'opération d'envoi de l'outil(C_e)	88
VI.4.3.2. Coûts logistiques (C_l)	88
VI.5. Optimisation de la périodicité de nettoyage	88
 Chapitre VII : Simulation de phénomène d'encrassement dans l'OB1	
VII.1 Nature de substance à évacuer	90
VII.1.1. Caractéristiques du produit transporté	90
VII.1.2 Analyse de composition	90
VII.2 Le volume diffluant à évacuer	91
VII.3 Hypothèse sur l'évolution du phénomène d'encrassement	91
VII.3.1 Evolution des paramètres d'encrassement	91
VII.3.2. Calcul hydraulique et régime de fonctionnement du pipeline OB1 en tenant compte de l'encrassement	91
VII.3.2.1. Données prises en compte dans ce calcul	91
VII.3.2.2. Les résultats de calcul	92
VII.3.2.3. Interprétation	93
VII.3.2.4. Les pertes de charge totales	93
VII.3.3.1. Calcul de la charge de refoulement station	93
VII.3.3.2 Interprétation	94
VII.3.3.3 Détermination de la nouvelle charge de refoulement station	94
VII 3.3.4. Représentation graphique	94
VII 3.3.5. Interprétation	95
VI.3.4 Caractéristique de la pompe	95
VII.3.4.1. Détermination du rendement et de la puissance absorbée des pompes	95
VII.3.5. Calcul des manques à gagner	96

VII.3.5.1. Calcul de coût	96
VII.3.5.2. Représentation graphique	98
VII.3.5.3 Interprétation	98

Chapitre VIII : Choix d'outil de nettoyage adéquat

VIII.1. Choix d'outil	99
VIII.2. L'envoi d'un outil élastique sous forme de piston	100
VIII.2.1. Caractéristiques de l'outil	100
VIII.2.2. Régime d'écoulement	100
VIII.2.3. Coût du débit non transporté	101
VIII.2.4. Risque de blocage	102
VIII.2.5. Le coût d'envoi d'outil	102
VIII.2.6. Le coût d'opération de nettoyage	103
VIII.3. L'envoi de deux outils élastiques	103
VIII.3.1 ^{ère} étape : L'envoi de sphère	103
VIII.3.1.1 La charge de déplacement d'outil	103
VIII.3.1.2. Coût de la chute de débit	104
VIII.3.1.3 Coût d'opération de nettoyage	105
VIII.3.1.4 Interprétation	105
VIII.3.2. 2 ^{ème} étape : L'envoi de piston	105
VIII.3.2.1 Coût de la chute de débit	105
VIII.3.2.2. Coût d'opération	105
VIII.3.2.3. Le coût total d'opération de nettoyage	106
VIII.4. L'envoi d'un hybride	106
VIII.4.1 Le coût d'opération de nettoyage	106
VIII.5. Interprétation	107
VIII. 6 Conclusion	107
VIII.7. Comparaison	108
VIII.7.1. Coût d'une opération de nettoyage	108
VIII.7.1.1. Représentation graphique	108
VIII.7.2. Les avantages et les inconvénients	109
VIII.8 Conclusion	109

Chapitre IX : Analyse des paramètres agissant sur la périodicité optimale de nettoyage

IX.1. La périodicité optimale d'envoi d'un outil de nettoyage	110
IX.1.1 Graphiquement	110
IX.1.2 Analytiquement	111
IX.1.3 Conclusion	111
IX.2. Analyse des paramètres influant sur la périodicité de nettoyage	111
IX.2.1. Effet de la longueur encrassée	112
IX.2.1.1. Test d'influence	112
IX.2.1.2 Présentation graphique	112
IX.2.1.3. Interprétation	112
IX.2.2 Résistance du aux dépôts dans les points bas	113
IX.2.2.1. Test d'influence	113
IX.2.2.2. Représentation graphique	113
IX.2.2.3. Interprétation	113
IX.2.3. Epaisseur d'encrassement	114
IX.2.3.1. Test d'influence	114

IX.2.3.2. Présentation graphique	114
IX.2.3.3. Interprétation	114
IX.2.4 Rugosité	115
IX.2.4.1. Teste d'influence	115
IX.2.4.2. Représentation graphique	115
IX.2.4.3. Interprétation	115
IX.2.5 Le prix du pétrole	116
IX.2.5.1. Test d'influence	116
IX.2.5.2. Représentation graphique	116
IX.2.5.3. Interprétation	116
IX.2.6 Influence du coût logistique	117
IX.2.6.1. Test d'influence	117
IX.2.6.2 Représentation graphique	117
IX.2.6.3 Interprétation	117
IX.2.7. Effet de probabilité de blocage	118
IX.2.7.1. Test d'influence	118
IX.2.7.2 Représentation graphique	118
IX.2.7.3. Interprétation	118
IX.3 Classement des paramètres	118
IX.3.1 Analytiquement	118
IX.3.2 Graphiquement	119
IX.3.3 Analyse	119
Conclusion générale	121

Introduction générale

Les oléoducs sont des systèmes complexes étendus en longueur, destinés au transport massif du pétrole brut par canalisations. Ils ont comme mission d'acheminer des quantités importantes de pétrole brut entre un point source appelé terminal départ (HEH) vers un point de livraison appelé terminal arrivée qui peut être soit un terminal marin (TMB) ou une raffinerie (raffinerie d'Alger).

Toutefois pour assurer le pompage du pétrole brut d'un site à un autre, il est nécessaire de disposer d'une énergie permettant de vaincre les pertes de charge le long de la ligne. Cette énergie est fournie par des stations de pompage disposées le long du tracé.

Les canalisations de transport de pétrole ont la fâcheuse tendance à s'encrasser en fonction du temps et de ce fait provoquer une augmentation des pertes de charge qui se traduisent principalement par une diminution de performances hydrodynamiques et de productivité dus :

- Une diminution du débit de transit du pipeline.
- Une augmentation de la consommation d'énergie.
- Une aggravation des risques de corrosion.

Pour réduire l'impact de ces inconvénients, il y a lieu de recourir à un nettoyage périodique de la ligne. Ces nettoyages sont effectués par envoi périodique d'outils de ramonage à l'intérieur de la canalisation. De nombreux exploitants américains et européens ont adopté une fréquence de l'ordre de quatre nettoyages par année. Cependant, l'introduction d'un corps étranger dans la canalisation est une opération risquée nécessitant un contrôle et une coordination rigoureuse.

Le décideur doit préalablement considérer objectivement :

- Si l'état de la conduite nécessite impérativement l'envoi d'un outil.
- Le moment où cette opération s'avérera la plus utile.
- L'impact économique d'une telle opération.

D'où l'importance cruciale pour un exploitant de définir le choix de l'outil et la périodicité optimale d'envoi d'un racleur de nettoyage, pour répondre à cette problématique notre étude s'articulera autour des points suivants :

Le premier chapitre, a comme objectif la description de la société "DRGB", le réseau de transport et les stations de pompes installées le long de la ligne OB1 22"/24".

Le deuxième chapitre, est consacré aux différentes anomalies qui peuvent affecter et altérer les performances d'un pipeline de transport de pétrole.

Dans le troisième chapitre, nous ferons un descriptif des différents types d'outils disponibles pour procéder à une opération nettoyage en fonction type d'encrassements ainsi de la procédure d'envoi.

Le quatrième chapitre sera réservé aux notions de base du calcul hydraulique et régime de fonctionnement des stations de pompage pour l'évaluation de la chute de performance due à l'encrassement.

Le cinquième chapitre, sera destiné à la représentation des résultats du calcul hydraulique en suivant les lois mentionnées dans le chapitre précédent pour déterminer les paramètres de fonctionnements de la ligne d'OB1 en considérant l'état initial.

Le sixième chapitre, a pour but d'expliquer la procédure à suivre pour l'optimisation de la périodicité de nettoyage en calculant le coût de manque à gagner et de l'opération de nettoyage.

Le septième chapitre, sera consacré à la présentation des résultats correspondant à l'effet de

l'évolution des différents paramètres d'encrassements sur le manque à gagner.

Le huitième chapitre, sera destiné à la déterminer le choix adéquat de l'outil correspondant à notre état d'encrassement.

Le neuvième chapitre, sera réservé au calcul de la périodicité optimale basé sur les résultats obtenus précédemment et à l'étude de l'influence de quelques paramètres pour savoir le temps idéal pour la régler.

Enfin on clôture avec une conclusion générale.

Chapitre I

La ligne d'OB1

I.1- Sonatrach

I.1.1- Aperçue historique – SONATARCH

La Sonatrach est une « Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures » créée le 31 décembre 1963, qui représente un instrument d'intervention de l'état dans le secteur pétrolier aux côtés des compagnies françaises.

C'est la plus importante compagnie d'hydrocarbures en Algérie et en Afrique. Elle intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisations et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés.

La volonté de l'Algérie, de récupérer ses richesses naturelles et d'assurer pleinement le contrôle de leurs exploitations, amena à nationaliser la production des hydrocarbures le 24 février 1971 par la signature d'une ordonnance définissant le cadre d'activité des sociétés étrangères en Algérie.

Au début des années 80, la restructuration de Sonatrach se mit en œuvre, cette étape figure parmi les plus importantes dans le développement de la société. D'autres étapes ont été suivies, toutes aussi importantes, notamment la réorganisation des structures de la société en activités, tout particulièrement les activités aval et amont.

Par ailleurs, après l'ouverture du marché et les nombreux contrats de partenariats avec des compagnies étrangères, américaines notamment, ainsi qu'à l'étranger, Sonatrach a pu asseoir son statut de compagnie pétrolière «solide ».

Aujourd'hui, elle est la première entreprise du continent africain. Elle est classée la 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, la 2ème exportateur de GNL et de GPL et la 3ème exportateur du gaz naturel.

I.1.2- Activités de Sonatrach

I.1.2.1- Activité amont

Elle a pour but d'exploiter les gisements ainsi que le forage et la production des hydrocarbures.



Figure I.1 : Exploitation des gisements.

I.1.2.2- Activité aval

Elle prend en charge le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction de gaz naturel, de séparation de GPL, de raffinage et de gaz industrie.

I.1.2.3 - Activité de commerce

Elle a pour missions l'élaboration et l'application de la stratégie de Sonatrach en matière de commercialisation des hydrocarbures sur le marché intérieur et à l'international par les opérations de trading et de shipping.



Figure I.2: Commerce par voie marine

I.1.2.4- Activité de transport par canalisation

Le transport par canalisation est le moyen le plus simple, le plus sûr et le plus écologique pour transporter le pétrole. L'activité prend en charge l'acheminement des hydrocarbures de pétrole brut, de gaz, de GPL et de condensat, à partir des zones de production vers les zones de stockage, les complexes GNL et GPL, les raffineries, les ports pétroliers ainsi que vers les pays importateurs. Elle constitue le noyau de la chaîne pétrolière du groupe Sonatrach.



Figure I.3 : Canalisation aérienne.

Dans les années 50, juste après la découverte du gisement de Hassi-Messaoud, deux types de transport d'hydrocarbures étaient employés par les entreprises en cette période : l'oléoduc qui reliait Hassi-Messaoud à Touggourt et les wagons-citernes de Touggourt au port de Skikda.

Peu à peu les sociétés pétrolières présentes en Algérie ont investi dans les oléoducs en réalisant l'OB1, canalisation qui relie Haoud-EL-Hamra à Bejaia, et qui l'alimente en pétrole brut. En 1961 le GZ1 a vu le jour ; il alimente le parc d'Arzew en gaz naturel.

Sonatracha repris par la suite la construction d'autres lignes en commençant par l'OZ1 canalisation qui relie HEH à Arzew. De nos jours Sonatrach dispose de plus de 11 000 km de canalisations de transport d'hydrocarbures.

I.1.3- Description du réseau de transport

Le réseau de transport tel qu'il existe actuellement, peut être décomposé en trois parties : cette distinction tient compte du procédé d'utilisation des canalisations.

En examinant ce réseau, on constate que les gisements se trouvent tout à fait au sud du pays et ils représentent le point de départ du réseau. Ensuite vient la région de HEH au centre du réseau, que l'on pourrait assimiler au nœud d'un graphe. Puis arrivent les stations portuaires qui sont la fin du parcours du produit.

Il y a donc :

- Les terminaux sud.
- Le terminal de HEH (centre de Dispatching de l'Hydrocarbure liquide).
- Les terminaux nord.

Pour assurer l'activité de transport par canalisation des hydrocarbures liquides ou gazeux du sud vers le nord du pays, SONATRACH possède 5 régions opérationnelles :

- Région Transport Centre - Béjaia (RTC).
- Région Transport Sud de Haoud El- Hamra (RTS).
- Région Transport d'In Amenas (RTI).
- Région Transport Est -Skikda (RTE).
- Région Transport Ouest Arzew (RTO).

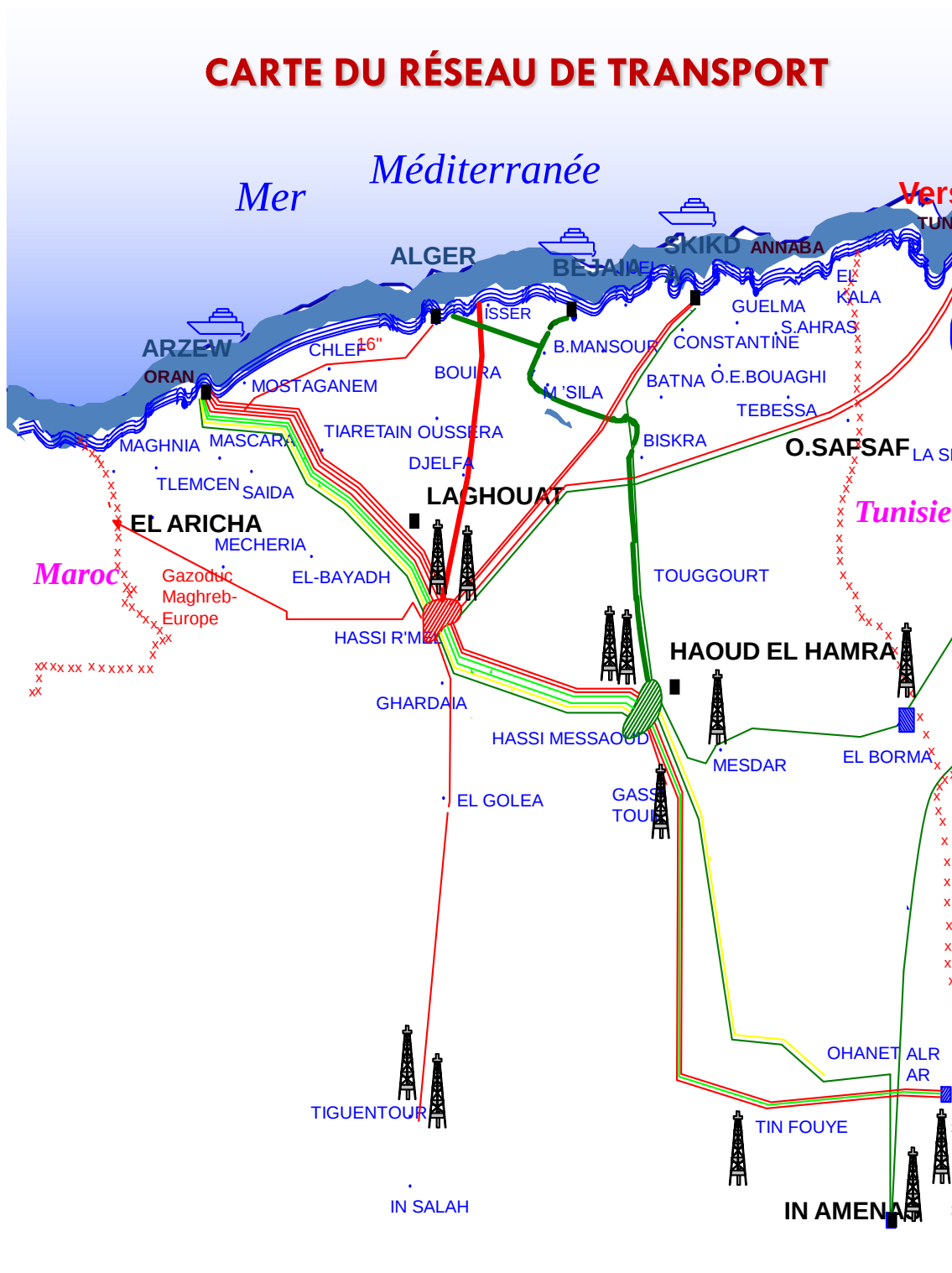


Figure I.4 : Carte du réseau de transport Algérien

I.2- La DRGB

I.2.1- Présentation de la DRGB

La Direction Régionale de Béjaia, située à 2 km de la ville de Béjaia, est l'une des 5 directions régionales de la Sonatrach, qui fait partie de la branche de transport des hydrocarbures par canalisation, du stockage et de la livraison des hydrocarbures liquide et gazeux, elle est rattachée directement à la division exploitation de RTC.

La DRGB s'occupe de la gestion des lignes suivantes :

- L' OB1 24" / 22": HEH - Béjaia.
- L'oléoduc OG120" : Béni Mansour vers la raffinerie d'Alger (Sidi Resine).
- Le gazoduc GG1 42" : HassiR'Mel -Bordj Menail.



Figure I.5: La Direction Régionale de Bejaia

I.2.2-Description de la DRGB

C'est le terminal marin de Bejaïa, il comporte :

I.2.2.1- Les bacs de stockage

I.2.2.1.a- Le terminal nord

- 12 bacs à toit flottants, d'une capacité de 35000 m³. Ils servent pour le stockage de deux produits brut et condensat.
- 1 bac à toit fixe, de 2900 m³ pour récupérer les purges de la gare racleur arrivée et les décharges des soupapes de sécurités.

I.2.2.1.b- Le terminal sud

- Il est composé de 4 bacs de stockage, à toit flottants, d'une capacité de 50 000m³.



Figure I.6: Terminal nord et sud



Figure I.7 : Bac de stockage 4E1

I.2.2.2- Manifolds

Il existe deux manifolds au terminal arrivé : un au nord et l'autre au sud. C'est un ensemble de canalisations et d'accessoires de vannes (Nord : 110 vannes, Sud : 56 vannes.)

Tous les collecteurs du manifold ont un diamètre égal à celui de la ligne de réception, d'aspiration et d'expédition.

I.2.2.3- Une gare racleur

Permet de récupérer les différents racleurs (outil de nettoyage) qui ont été introduit dans le pipeline pour le nettoyage (racleur ordinaire) et aussi la détection des éventuelles anomalies (racleur intelligent).

I.2.2.4- Unités de pompage

Le terminal est composé au total de 10 électropompes placées en parallèles :

- Dans le terminal nord on trouve 07 pompes.
- Dans le terminal sud on trouve 03 pompes.

I.2.2.5- La tour de contrôle

La salle de contrôle est de forme elliptique, assure une surveillance complète sur le parc de stockage, communique avec les navires citernes et rassemble toutes les opérations de contrôle tel que :

- Pression et débit à l'arrivée de la ligne.
- Téléchargement des réservoirs avec affichage atomique.
- Pression dans les conduites de chargement.
- Installation des télécommandes de vannes.



Figure I.8 : Tour de contrôle

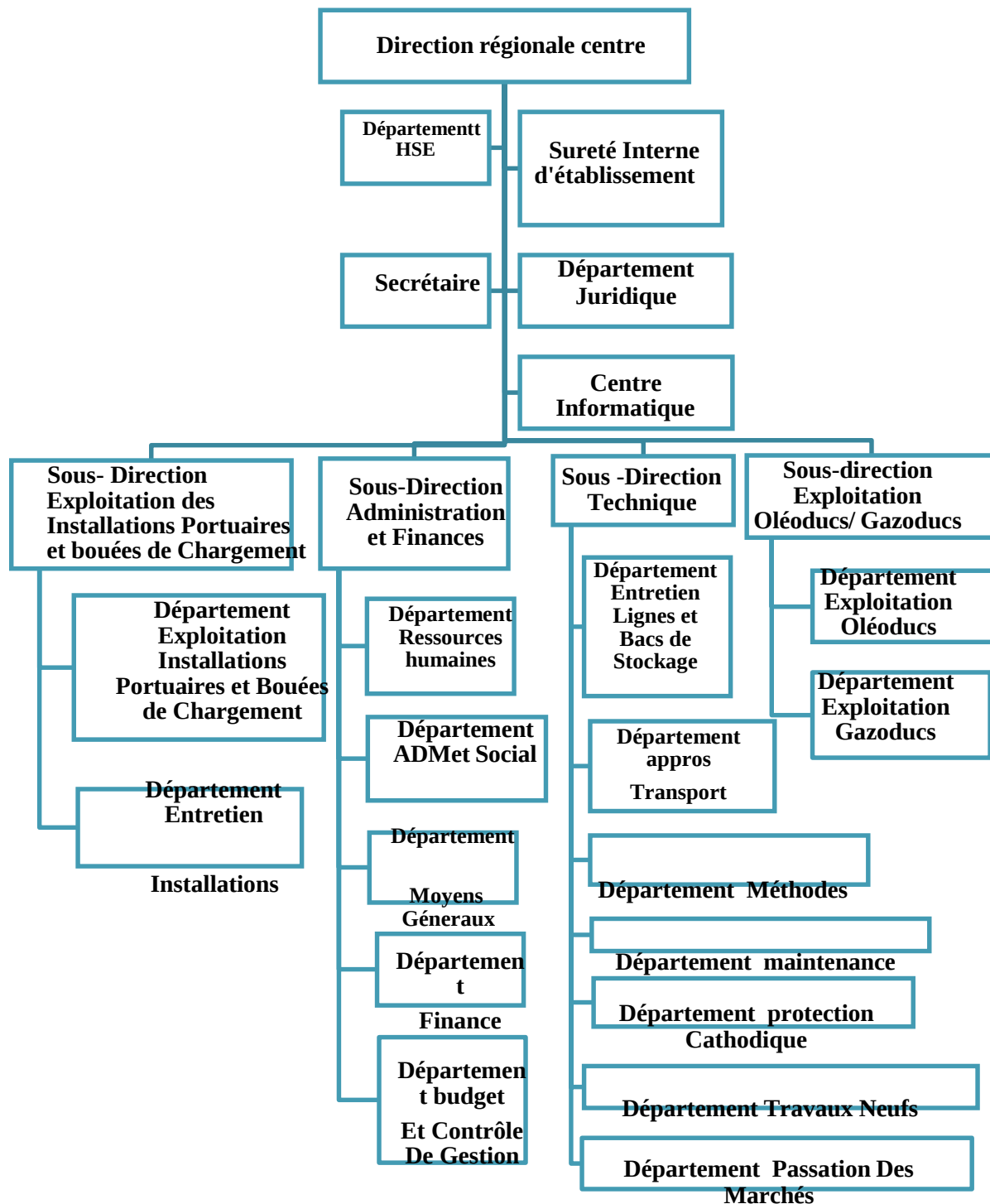
I.2.2.6- Port Pétrolier

Le port est situé à l'avant-port de Bejaia, il est composé de :

- 03 postes de chargement.
- 02 cuves ouvertes pour recevoir le ballast d'une capacité de 12000m³.
- 02 bassins de décantation continue.
- 02 groupes électropompes pour le réseau incendie.
- 01 groupe moto pompe pour le réseau incendie lors d'une coupure d'électricité.

I.2.3- Structure organisationnelle

Cet organigramme représente la forme structurelle de la société indiquant les différents départements qu'ils occupent au sein du siège de la DRGB:



Organigramme I.2.3: Structure de la DRGB

I.3- Description de la ligne OB1

I.3.1- Caractéristiques

Diamètre	24''/22''
Longueur	669,268 km
Épaisseurs	12,7 / 9,52 / 9,0 / 8,73 / 7,92 / 7,13 / 6,35 mm
Nuance d'acier	X42 et X52
Produit transportés	Pétrole Brut et Condensat
PMS design	83
Capacité design (MTA)	14
Mise en service	10 novembre 1959

Tableau I.1 : Caractéristiques de l'OB1

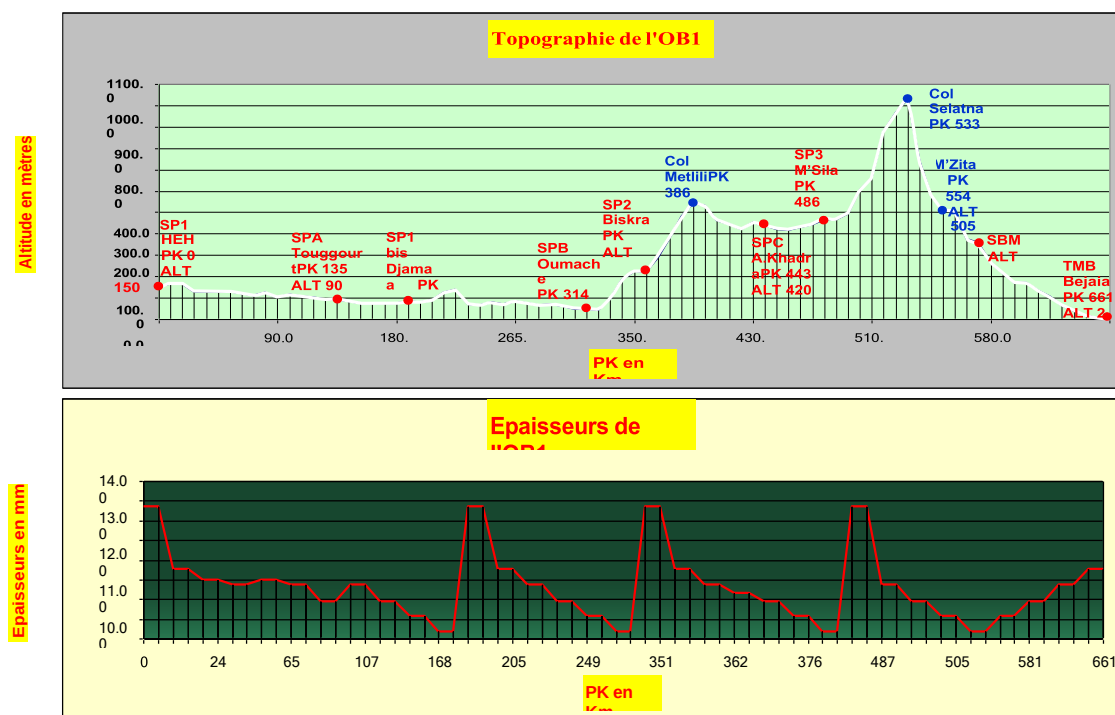


Figure I.9: Les épaisseurs et altitudes d'OB1

I.3.2- L'oléoduc OB1 24" / 22"

C'est le premier pipeline installé en Algérie. Il est fondé le 12 mars 1957 par la CFP et la SNREPAL, et a été mis en service en 1959 avec une capacité de transport de 14 MTA, d'une longueur de 669,268 Km reliant le terminal départ HEH avec le TMB.

Au PK 0 : de l'oléoduc OB1, l'altitude est de 152,477 m, il commence par décroître pour atteindre 45 m d'altitude au PK 316Km, ensuite il s'étend progressivement pour se hisser au point le plus culminant de la ligne appelé point de contrôle qui est caractérisé par une hauteur de 1029,831m au PK 542,519 Km et situé sur le col de SELATNA, c'est à partir de ce point qu'il décroît une deuxième fois pour atteindre le niveau le plus bas le TMB.

Le diamètre du pipeline varie sur deux tronçons à savoir :

I.3.2.1- Le premier tronçon : de HEH au col SELATNA, le pipeline est de 24" de diamètre et d'une longueur de 542,519 km.

I.3.2.2- Le deuxième tronçon : du SELATNA au TMB, le pipeline est de 22" de diamètre et d'une longueur de 126,749km sur ce tronçon l'écoulement devient gravitaire.

Le réseau de transport par canalisation de Bejaïa se compose aussi de :

I.3.2.3- L'oléoduc OG1

Mise en service en 1970, il existe un piquage sur la ligne OB1 à Beni Mansour au PK 542,519 km. Cet oléoduc assure le besoin de la raffinerie d'Alger en pétrole brut, il relie la station de Béni Mansour par le terminal arrivé Sidi Resine avec une longueur totale de 144 Km, un diamètre de 20" et une capacité de transport de 4.1 MTA.

I.3.3- Les stations

La ligne HEH / Béjaïa fonctionnait au départ seulement avec trois stations de pompage pour un débit maximum égal à 1800 m³/h. Plus tard, ils ont construit une quatrième station qui porte le nom SP1Bis à côté de Djamaa, pour permettre l'augmentation du débit jusqu'à 2200m³/h.

Donc la ligne OB1 est constituée de quatre stations de pompage principales :

- SP1 HEH
- SP1 Bis Djamaa
- SP2 Biskra
- SP3 Msila

En 1967, les besoins du pétrole ont augmenté d'où l'obligation de la mise en ligne de quatre stations satellites implantées entre chaque deux station principale : SPA (Touggourt) SPB (Oumach) SPC (Oued El Fid) SPD (Beni Mansour) pour une autre augmentation du débit jusqu'à 2540 m³/h.

Actuellement, l'exploitation de la ligne se fait de 800 m³/h à 1800 m³/h et peut aller jusqu'à 2000 m³/h selon la demande du TMB.

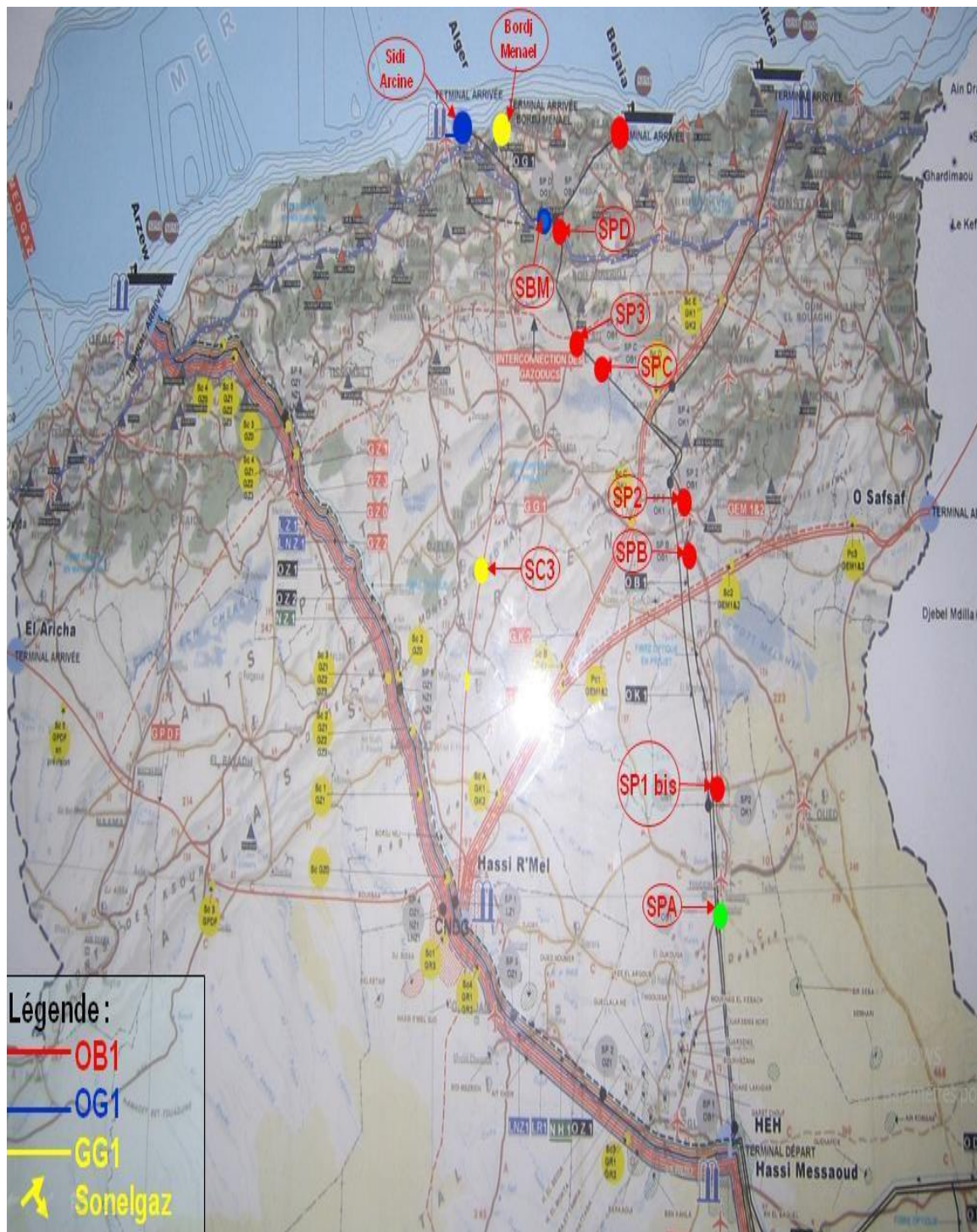


Figure I.10: Carte représentant la ligne OB1

I.3.3.1- Terminal départ SP1

Situation géographique			Pk : 0
			Altitude (m) : 89
TP : Turbopompe Tc : Turbocompresseur EP : Electropompe MP : Motopompe	Turbine ou moteur	Nombre	5 EP
		Constructeur	CEN
		Type	Asynchrone
		Puissance CV	10 000
	Pompe	Nombre	5 pompes
		Constructeur	GUINARD
		Type	Centrifuge
Turboalternateur ou Groupe électrogène		Nombre	1
		Constructeur	SDM O
		Puissance KVA	250
Consommation			Secours

Tableau I.2: Caractéristiques de SP1

I.3.3.2- La station SP1 Bis

Situation géographique			Pk (km) : 189,83
			Altitude (km) : 152,477
TP : Turbopompe Tc : Turbocompresseur EP : Electropompe MP : Motopompe	Turbine ou moteur	Nombre	2 TP
		Constructeur	NuovoPignone
		Type	Turbine à gaz
		Puissance CV	13410.22 5 (10MW)
	Pompe ou compresseur	Nombre	2 pompes
		Constructeur	NuovoPignone
		Type	Centrifuge
Turboalternateur ou Groupe électrogène		Nombre	2 TA
		Constructeur	Solar
		Puissance KVA	(1MW)
Consommation			Secours

Tableau I.3 : Caractéristiques de SP1Bis

I.3.3.3- La station SP2

Situation géographique			Pk (km) : 350,854
			Altitude (m) : 220,11
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	ROSSI GE
		Puissance KVA	630 KVA
Consommation			Secours

Tableau I.4 : Caractéristiques de SP2

I.3.3.4- La station SP3

Situation géographique			Pk (km) : 495,727
			Altitude (m) : 3,329
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	ROSSI GE
		Puissance KVA	630 KVA
Consommation			Secours

Tableau I.5: Caractéristiques du SP3

Une pression minimale de 42 bars est nécessaire pour que le brut gravite le col de SELATNA dont l'altitude est de 1029,831 m. Les pompes sont disposées en parallèle pour garder une pression constante et augmenter le débit qui s'ajoute pour évacuer le maximum, puis il atteint le terminal par écoulement gravitaire. La colonne qui relie SP3 et col de SELATNA doit être toujours pleine sinon on aura la création d'un vide par effet venturi qui va bousier le pipeline.

I.3.3.5- Terminal arrivée

Situation géographique			Pk (km) : 669,268
			Altitude (m): 220,11
TP : Turbopompe Tc : Turbocompresseur EP : Electropompe MP : Motopompe	Turbine ou moteur	Nombre	10 EP
		Constructeur	BREGUET. CEN. BSH. SW
		Type	Asynchrone
		Puissance CV	6137
	Pompe ou compresseur	Nombre	10 pompes
		Constructeur	GUINARD
		Type	Centrifuge
Turboalternateur ou Groupe électrogène		Nombre	1 GE
		Constructeur	PETBOW
		Puissance KVA	165
Consommation			Secours

Tableau I.6 : Caractéristiques du terminal arrivé Béjaia.

- Toutes les stations contiennent des pompes boosters assemblées parallèlement en cas de faible pression qui permettent de fournir la pression d'admission aux pompes principales identiques dans chaque station afin de refouler le brut après.
- Sans oublier la présence des bacs tampons à chaque station dont le rôle est le stockage du brut en cas d'une panne au niveau du pipeline ou bien la surcharge en station de départ et arriver afin de ne pas arrêter la production.

I.3.4- D'autres caractéristiques de fonctionnement

Section	Débit (m ³ /h)	N° de pompe principale	N° de pompe boosté	Position de pompe	Vitesse de rotation (tr/min)
SP1- SP2	800	01	01	En série	2950
	1100	02	02		
	1400	03	02		
SP1- SP1Bis	1800	02	03	En série	2950
	2200	02	04		
SP1Bis- SP2	1800	01	-	En série	3760
	2200	01	-		
SP2-SP3	800	01	01	En série	2950
	1400	02	02		
	1800	03	02		
	2200	04	02		
SP3-TMB	800	01	01	En parallèle	3560
	1400	02	02		
	1800	03	02		
	2200	04	02		

Tableau I.7: Caractéristiques de chaque section

Chapitre II

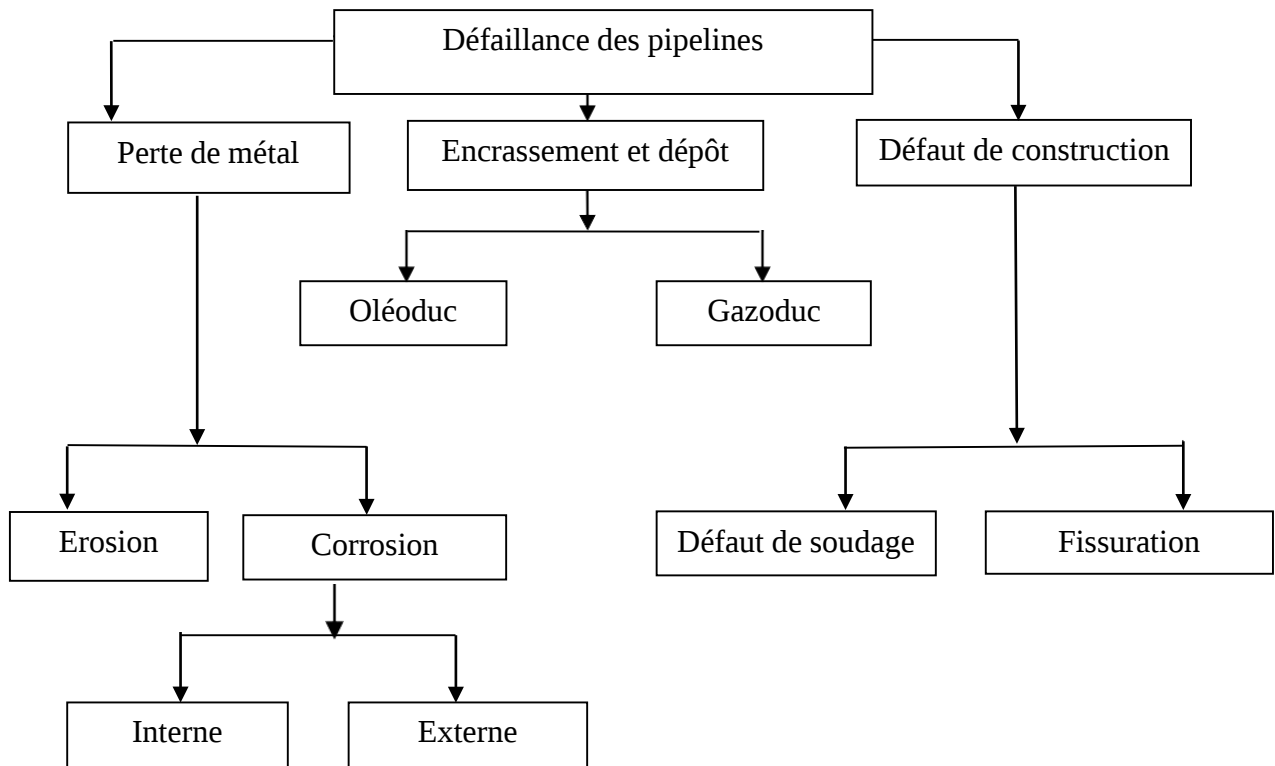
Les anomalies dans les canalisations

Introduction

Après un certain temps des défauts réduisant l'intégrité des tuyaux pourraient apparaître qui rend les conduites non fiables perdant ainsi leurs performances initiales.

II.1- Les types d'anomalies

Dans l'organigramme suivant on fait représenter toutes les anomalies que peuvent subir les canalisations :



Organigramme II.1 : Présentation des anomalies

II.1.1- Perte de métal

II.1.1.1- Corrosion

Elle représente le phénomène de dégradation de métaux en présence d'un agent atmosphérique ou réactif chimique, et peut se développer suivant différents processus (chimique, électrochimique ou bactérienne). Elle peut être dévisée en :

II.1.1.1.a- Corrosion uniforme

Ou corrosion généralisée se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration.



Figure II.1 : Corrosion généralisée

II.1.1.1.b- La corrosion galvanique

Lorsque deux métaux humides sont en contact, l'un des deux se corrode plus rapide que si les métaux étaient séparés, cette augmentation de la vitesse de corrosion s'appelle corrosion galvanique.

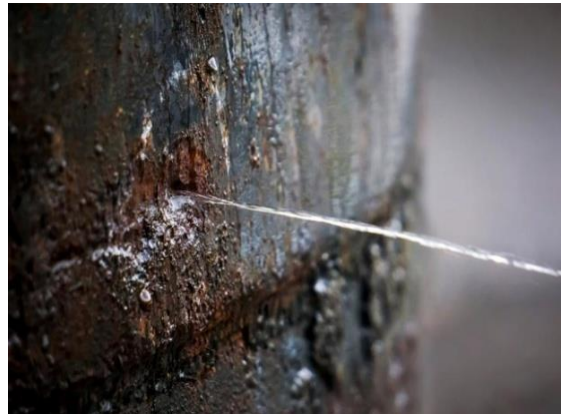


Figure II.2 : Corrosion galvanique

II.1.1.1.c- La corrosion caverneuse

Elle fait référence à la corrosion se produisant dans des espaces occlus tels que des interstices dans lesquels une solution stagnante est piégée et non renouvelée.



Figure II.3 : Corrosion caverneuse

II.1.1.1.d- La corrosion par piqûres

Ou corrosion de type pitting, est une forme extrêmement localisée de corrosion conduisant à la création d'un ou plusieurs petits trous dans le métal.



Figure II.4 : Corrosion par piqûres

II.1.1.1.e- La corrosion inter-granulaire

Elle désigne d'une forme de corrosion dans laquelle un matériau de structure granulaire (comme un acier, par exemple) est affecté principalement au niveau des joints de grains, ces derniers étant sensibles à la corrosion que les grains qui le constituent.



Figure II.5 : Corrosion inter-granulaire

II.1.1.1.f- La corrosion sous contrainte

C'est un résultat de l'action conjuguée d'une contrainte mécanique en tension et d'un milieu environnement agressif vis-à-vis d'un matériau sensible au phénomène.



Figure II.6 : Corrosion sous contrainte

II.1.1.1.g- Corrosion avec érosion

C'est un mode de dégradation qui se caractérise par une perte d'épaisseur des composants métalliques non ou faible allié, cette dégradation s'installe au contact de l'eau ou de la vapeur humide.



Figure II.7 : Corrosion avec érosion

II.1.1.1.h- Corrosion avec frottement

Elle concerne les dommages provoqués par la corrosion au niveau du contact de deux surfaces métalliques en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre.



Figure II.8 : Corrosion avec frottement

Ou bien classée par :

II.1.1.1.i- Corrosion interne

Pertes de métal provoquées le plus souvent par des attaques chimiques de la surface interne de la conduite. Ce type favorise la présence de sulfure d'hydrogène (H_2SO_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) dans les gazoducs, et de bactéries sulfato-réductrices (BSR) pour les oléoducs.



Figure II.9 : Corrosion interne

II.1.1.1.j- Corrosion externe

Pertes de métal provoquées le plus souvent par des phénomènes de type électrochimique et chimique. Les principaux facteurs de ce type de corrosion sont :

- Les défauts dans le revêtement (l'enrobage) de la conduite.
- Protection cathodique insuffisante
- L'agressivité du sol (sol de faible résistivité électrique).



Figure II.10 : Corrosion externe

II.1.1.2- Erosion

Se rencontre principalement dans les conduites de gaz. Les particules solides, sable et produits de corrosion, se déplaçant à la vitesse du gaz "rabotent" la surface interne de la conduite provoquant une réduction de l'épaisseur. Ce phénomène est particulièrement intense au niveau des coudes à faible rayon de courbure.

II.1.2- Défauts de construction

II.1.2.1- La fissuration

Les fissurations sont généralement indécélables à l'œil nu, elles résultent des chocs que peut recevoir les tubes lors de différentes opérations (cintrage...). Donc, il faut avoir le matériel approprié pour déceler ce genre de défauts.

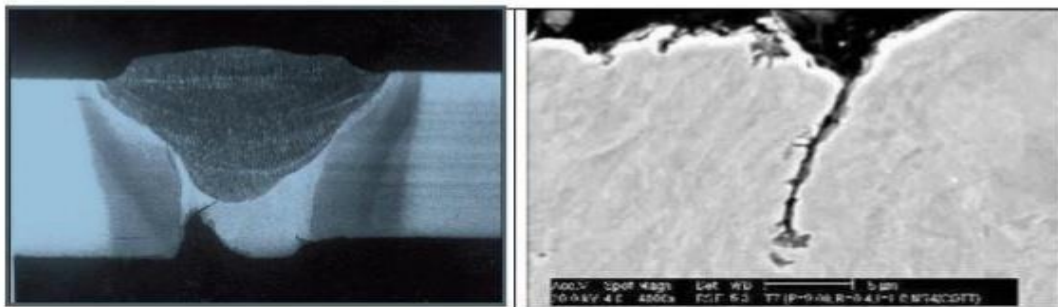


Figure II.11 : Fissure dans des joints soudés

II.1.2.2- Défauts de soudage

C'est une opération délicate, nécessite une habileté assez considérable, car une mauvaise manipulation ou une faible maîtrise de cette dernière, entraîne des joints de soudure pouvant contenir des anomalies.



Figure II.12 : Défaut de soudage

II.1.3- Encrassement et dépôts

II.1.3.1- Cas des gazoducs

II.1.3.1.a- Dépôts de condensat

Sous certaines conditions de pression et température, ils se déposent au niveau des points bas du gazoduc, qui entraîne une diminution de la section.

On utilise le profil de température et de pression pour déterminer l'existence de condensat.

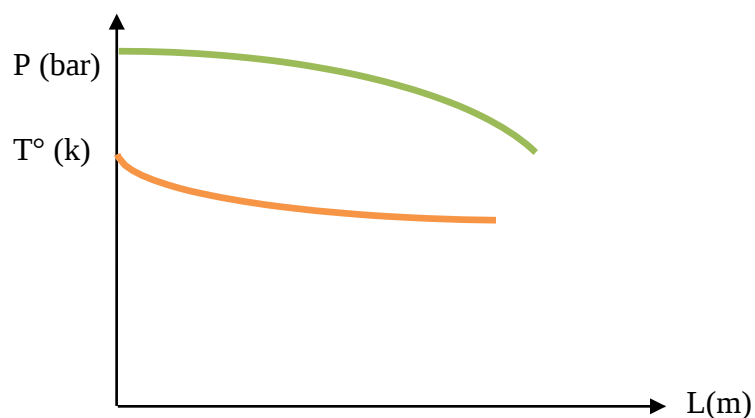


Figure II.13 : Profil de température et pression

II.1.3.1.b- Formation d'hydrates

On aura ce phénomène lorsque le gaz naturel atteint une zone de basse température et de forte pression en présence d'eau, comme il est présenté dans l'enveloppe de phase suivante :

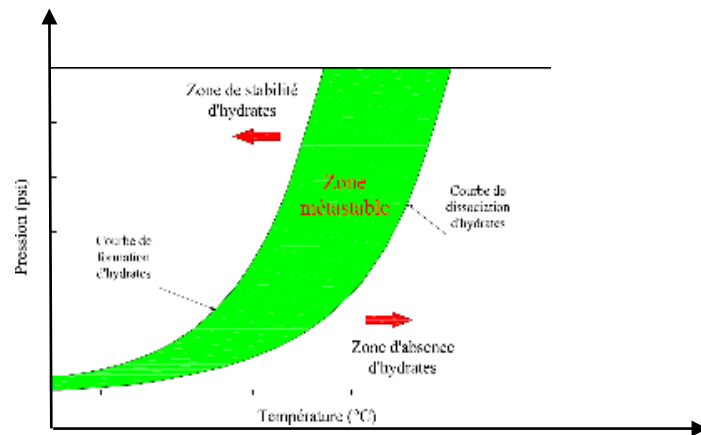


Figure II.14 : Enveloppe de phase pour la formation d'hydrates

II.1.3.1.c- Poudre noire

C'est un composant chimique très dangereux répandu dans les gazoducs partout dans le monde, sa composition dépend du gaz transporté. Comme elle se présente en quantité variable selon la qualité du produit transporté. Le principal danger qu'elle présente est son inflammabilité, surtout à l'état sec.

II.1.3.2- Cas des oléoducs

II.1.3.2.a- Dépôts de paraffines et particules solides

La paraffine et l'asphalte se caractérisent par une température de fusion très élevée, et aussi les particules solides (poussière et grains de sables) qui se collent sur la paroi interne de la conduite représente des dépôts qui sont responsables à la réduction de la section utile de passage (diamètre intérieur) et entraîne l'augmentation de la rugosité interne. L'importance de ce phénomène dépend des caractéristiques du brut transporté (teneur en paraffine et en asphaltes), du mode d'exploitation (débit) et du profil des températures le long de la conduite.

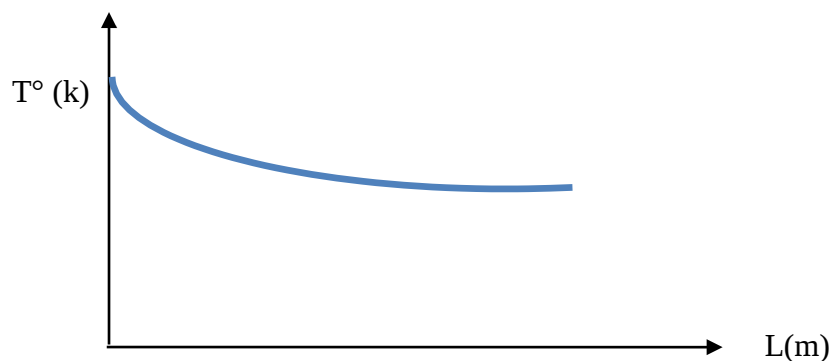


Figure II.15 : Profil de température

II.1.3.2.b- Dépôts d'eau

Le pétrole brut contient toujours une quantité d'eau qui se présente sous forme de gouttelettes de très petits diamètres, elles peuvent s'assembler et former d'autres de diamètre plus grand (phénomène de coalescence) sous certaines conditions d'écoulement en relation avec le nombre de Reynolds.

Ces gouttelettes, en raison de leur poids, peuvent se déposer dans les points bas de la conduite

II.1.3.2.c- Dépôts de boue

Ils se forment par l'association d'eau et les particules solides. La composition des boues déposées peut varier d'un pipeline à l'autre et même le long d'une même conduite. L'analyse de Dean-Stark sert à établir en pourcentage la composition eau-matières solides des boues et les analyses EDX et XRD permettent de donner les caractéristiques chimiques d'échantillons.

II.2- Conséquences

Les défauts dans les conduites provoquent une augmentation des pertes de charges qui entraîne :

- Réduction de la section de passage.
- Une réduction de la capacité de transport de la ligne (un débit inférieur à la valeur nominale).
- Une augmentation des dépenses d'énergie au niveau des stations de pompes.
- Une augmentation du coût de transport.

II. 3- Moyens de lutte contre quelques anomalies

- L'envoi des inhibiteurs de corrosion qui se fixent sur la paroi interne du pipeline.
- Utilisation des biocides pour tuer les bactéries.
- Le revêtement des canalisations.
- La protection cathodique.
- Le placement des séparateurs (filtres à cyclones)
- Le nettoyage des conduites.

Chapitre III

Opération de nettoyage

Introduction

Il est important de nettoyer les canalisations pour éviter le risque de différents accidents (explosion, fissure, fuite, risque d'incendie, dégâts humains ...) qui engendre un impact sur l'économie du pays et de l'entreprise comme sur l'environnement. Cette opération peut être effectuée principalement dans le but de nettoyage, mais aussi peut être envisagée comme une pré-opération avant l'inspection en ligne de la conduite par des outils intelligents. On distingue deux types d'opérations :

III.1- Nettoyage aux produits chimiques

Ce type consiste à propulser le long d'un pipeline une solution de nettoyage formée de nettoyeurs liquides mêlés à un diluant. Il devient nécessaire lorsque les débris et les dépôts adhèrent aux parois au point que le raclage ne puisse à lui seul briser l'accumulation. Il aura pour effet essentiel de rompre et d'amollir le tartre à l'intérieur de la conduite et d'éliminer les dépôts hydrocarbonés (cire, par exemple).

Le grand avantage de ce nettoyage réside dans la capacité d'éliminer les débris en plus grande quantité pour un nombre réduit de passages de racleur, et sans ce type le tartre peut se tasser dans la conduite et empêcher tout passage futur de racleur nettoyeur.

III.2- Nettoyage mécanique

Le raclage consiste à retirer les débris de l'intérieur d'un pipeline traversé par un racleur en circulation forcée. Ce dernier est surdimensionné par rapport au diamètre intérieur de la conduite, ce qui garantit un contact étroit avec la paroi et empêche le fluide de passer entre cette dernière et le racleur (évitement), la figure ci-dessous présente un schéma de ce processus :

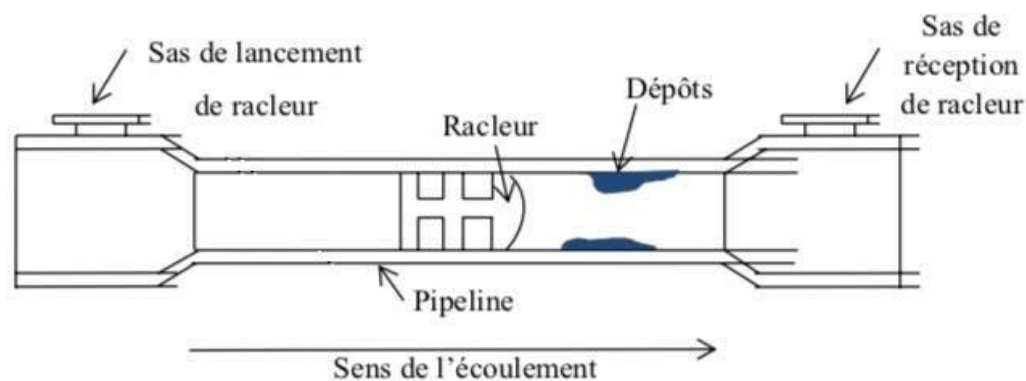


Figure III.1 : Processus de raclage

On raconte que le premier racleur n'aurait été qu'un ballot de paille bardé de barbelés et lancé pour déparaffiner une ligne, maintenant il existe une grande variété sur le marché qui offre plus de 300 types pour traiter les problèmes. On peut les classer suivant plusieurs critères (forme, conception, matériaux, fonction...etc).

III.3- Les types d'outils de nettoyage

On retient cette simple classification suivante :

III.3.1 - Les outils rigides

- Les outils de nettoyages rigides sont composés d'un axe cylindrique (plein ou creuse) le plus souvent en acier (parfois en plastique) sur lequel sont fixés des disques ou des coupelles en caoutchouc synthétique (néoprène, nitrile) ou en polyuréthane. Ces matériaux étant connus par leurs grandes rigidités.
- Le diamètre de disque et des coupelles est légèrement supérieur au diamètre intérieur de la conduite.
- Ces deux aspects permettent un bon contact et une meilleure étanchéité, ce qui est une propriété particulièrement utile pour le nettoyage des dépôts liquides (condensât ou eau stagnante dans les points bas). Pour une plus grande efficacité de nettoyage, ces outils sont parfois munis de brosses métalliques pour les dépôts solides.

On va citer quelques exemples de racleurs à coupelles selon sa fonction :

III.3.1.1- Le racleur de nettoyage

Est équipé de brosses métalliques destinées à supprimer les débris et la rouille.

Les petites tailles (2" à 16") sont équipées d'une brosse métallique circulaire. Les plus grandes tailles sont équipées d'un ensemble de brosses décalées montées sur ressorts.



Figure III.2 : Racleur de nettoyage

III.3.1.2- Le racleur de séparation

Est utilisé pour séparer les différentes matières et pour chasser les éventuelles impuretés. Les coupelles en polyuréthane garantissent une étanchéité maximale.



Figure III.3 : Racleur de séparation

III.3.1.3- Le racleur de calibrage

Est équipé d'une plaque de calibrage pour localiser les bosses et défauts de surface interne de la canalisation.



Figure III.4 : Racleur de calibrage

III.3.1.4- Les racleurs corps acier

Sont disponibles de 6 " à 56 " (modèle à brides). Ils peuvent être équipés de plaque de calibrage, de brosses de nettoyages, de tampon d'arrêt, d'émetteur de positionnement ou d'aimant de ramassage des dépôts de limaille.

III.3.1.5- Le racleur bidirectionnel

Est équipé de disques en polyuréthane et de pare-chocs à ses extrémités, il est opérationnel dans les deux directions. Les disques garantissent une étanchéité et une flexibilité optimale.

Ce racleur peut être équipé de brosses en conservant ses capacités.



Figure III.5 : Racleur bidirectionnel

III.3.2- Les outils élastiques

III.3.2.1- Forme piston (foampig)

Ils ont une forme cylindrique allongée avec une matière en caoutchouc synthétique, polyuréthane solide ou bien en mousse de polyuréthane. Ils sont disponibles sous différentes formes mais l'arrière d'outil possède toujours une forme concave alors que l'avant est profilé. On va citer quelques exemples :

III.3.2.1.a- Racleurs type FP

En mousse de polyester souple, flexible avec plaque de base imperméable à l'eau. Ces racleurs de basse densité supportent des compressions de 50% et possèdent une grande capacité d'absorption.

Application : Pour le séchage des conduites et les nettoyages légers.



Figure III.6 : Racleur type FP

III.3.2.1.b- Racleurs type CC

En mousse de polyuréthane élastique dur muni de bandes en caoutchouc synthétique résistantes à l'usure. Les bandes qui sont placées en croix donnent au racleur un mouvement rotatif dans la canalisation Compression de 10% maxi.

Application : Conçus pour les canalisations à long parcours, des essais hydrostatique et utilisable pour dépasser les coudes à rayon court.



Figure III.7 : Racleur CC

III.3.2.1.c- Racleurs type SA

Recouvert de bandes abrasives hélicoïdales en carborundum.

Application : pour le nettoyage des canalisations rouillées ou le retrait de tout type de dépôt et débris.



Figure III.8 : Racleur SA

III.3.2.1.d- Racleurs type SW

En mousse de polyuréthane élastique dur, à revêtement de brosses métalliques (acier au carbone). Ce type donne un effet de nettoyage maximum par l'action des brosses métalliques qui sont placées vers l'avant. Réalisable avec des brosses inox ou plastiques.

Application : pour le nettoyage intensif des conduites (sédiments, dépôt de rouille...).



Figure III.9 : Racleur type SW

III.3.2.1.e- Racleurs type TW

Recouverts sur la totalité de sa surface de brosses métalliques (acier carbone).

Application : Nettoyage de canalisations rouillées et incrustées d'algues.



Figure III.10 : Racleur type TW

III.3.2.2- Les sphères

Ils sont également appelés boules, caractérisées par un usage très courant pour le nettoyage des dépôts liquides. Composés d'une enveloppe en caoutchouc ou en polyuréthane, leur diamètre est légèrement plus faible que le diamètre intérieur le plus élevé. Les sphères peuvent être en néoprène, en nitrile ou en polyuréthane en fonction des applications (produit, T...)



Figure III.11 : Sphère en mousse

Elles sont pleines de 1.5 " à 4 " et gonflables à l'eau de 4 " à 42"

Application : Utilisées pour la séparation des produits et pour l'évacuation des dépôts liquides et les condensats dans les gazoducs et pour les essais hydrostatiques.

III.3.2.3- Les hybrides

Sont d'un usage peu répandu, ils ont été introduit pour cumuler les avantages des sphères et des outils rigides (étanchéité supérieure et différence de pression minimal). On les trouve par deux formes :

- Une sphère avec une demi-sphère.
- Une sphère avec deux demi-sphères.

III.3.3- Piston à gel

Ils sont assez souvent utilisés en fonction cleaning pour transporter tous les débris d'un pipeline avant commissioning et testing d'une ligne. Le gel présente une viscosité relativement élevée ce qui permet de maintenir les débris en suspension.



Figure III.12 : Piston à gel

Application : pipeline âgé, non nettoyé régulièrement et les pipelines de production (produit non traité).

III.4- Les avantages et inconvénients des racleurs

III.4.1- Les outils rigides

Avantages	Inconvénients
-Une bonne étanchéité -Destinée pour tous types de dépôts. -Utilisation sans arrêt de ligne.	-Difficulté de surmontée les obstacles (coude à faible rayon de courbure, tés non barré...). -Risque de blocage élevé. -Assurer une différence de pression importante de 1 à 2 bar. -L'usure critique est atteinte en moins de 120km (distanteentre 2 stations) donc nécessité de remplacement des coupelles.

Tableau III.1 : Les avantages et les inconvénients des outils rigides

III.4.2- Les outils élastiques

Elastique	Avantages	Inconvénients
Piston	-Peu flexible -Risque de blocage moyen.	-Une étanchéité moyenne par rapport aux outils rigides
Sphère	-Faible risque de blocage -Facile à utiliser -Usure 15 fois faible par rapport aux outils rigides. -Faciliter de surmonter les obstacles -Moins cher -Besoin d'une différence de pression plus faible que les rigides. -Se déplace en deux directions. -Utilisation sans arrêt de ligne.	-Une faible étanchéité
Hybrides	-Accumule avantages des sphères et le piston. -Utilisation sans arrêt de ligne.	-Risque d'éclatement

Tableau III.2 : Les avantages et les inconvénients des outils élastiques

III.4.3- Piston gel

Avantages	Inconvénients
-Fluide visqueux -Ils peuvent transporter de grandes quantités de débris sans risque de blocage -Ils ne posent pas de problème s'il y a changement de diamètre	-Trop cher -Son utilisation demande l'arrêt de la ligne. -Faible étanchéité

Tableau III.3 : Les avantages et l'inconvénient des pistons gels**III.5- Évaluation de l'efficacité des racleurs nettoyeurs**

On peut évaluer la propreté d'un pipeline par quelques moyens, aucun n'est sûr à 100 %, mais il donnera généralement une bonne idée de l'état de propreté :

- On se doit d'évaluer la quantité et la nature des débris retirés au sas de réception du racleur. Avec de l'expérience et une compréhension des paramètres pipeliniers, il est possible d'établir si la quantité retirée est acceptable ou si un nouveau passage s'impose.
- On peut inspecter les parties de canalisation qui ont été enlevées à cause de la corrosion ou d'une dégradation externe.
- On peut échantillonner périodiquement les produits en vue d'un test de numération microbienne.

III.6- Nettoyage des oléoducs et gazoducs

- Les formes de racleurs applicables aux gazoducs et aux oléoducs sont parfois convergentes et certains racleurs peuvent être utilisés dans les deux types de canalisations. Ainsi, un racleur séparateur de même conception peut être employé dans les oléoducs et les gazoducs
- Toutefois, certaines conditions pipelinières peuvent imposer une différenciation des formes, celles-ci étant alors plus applicables à un produit qu'à un autre. Ainsi, un racleur déparaffiner ne sera probablement d'aucune utilité dans un gazoduc et un racleur à grand évitement conçu pour un produit s'écoulant à haute vitesse ne conviendrait sans doute jamais à une canalisation de pétrole brut.

III.7- Préparation d'une opération de nettoyage

Pour préparer une conduite pour l'envoi d'outil de nettoyage, on passe par l'analyse des points suivant :

III.7.1- Objectif de l'opération

- Amélioration des performances hydrodynamique de la ligne par évacuation des dépôts quand ceux-ci provoquent des pertes de charges excessives.
- Accumulation des quantités importante de condensât qu'il y a lieu d'évacuer pour éviter les problèmes d'exploitations liés à ce type de phénomène et les plaintes éventuelle des clients.
- Elimination ou réduction des risques de corrosion interne résultant des accumulations de boue dans les points bas de la canalisation.
- Préparation de la conduite pour une inspection par outil intelligent.

III.7.2- La nature de substance à évacuer

Le choix d'outil est relié à la nature de substance de cette façon :

- Dépôts Liquide (eau) : sphères
- Dépôts liquide ou dépôts liquide + débris (dépôt mouillé) : piston élastique ou outil rigide sans brosse.
- Dépôts durs (solide + paraffine + soudage) : outil rigide avec brosse métallique.

III.7.3- Localisation des zones les plus encrassées

- Dépôts de boue et accumulation d'eau : points bas et profils accidentés.
- Dépôt de paraffine : milieu avec des températures plus basses.
- Débris de corrosion, d'érosion et d'autres particules solides : points bas.

A l'aide de profil au long (augmentation de la pente hydraulique) et la courbe caractéristique de la conduite (chute de pression) on peut préciser ces zones.

L'importance de cette analyse revient sur le choix d'outil et si les tronçons les plus encrassés sont en fin de parcours, il faut porter une attention au phénomène d'usure et de perte étanchéité par l'utilisation des métaux plus durs ou des revêtements.

III.7.4- Estimation de volume à évacuer

Selon la nature de substance on peut estimer ce volume :

- Paraffine : à partir des modèles mathématiques on peut tracer le profil de température-pression ou bien se baser sur le teneur en paraffine.

- Les débris solides : il est crucial d'estimer cette quantité donc on utilise des situations pratique telle que :

- L'âge de pipeline : plus la conduite est âgée, plus le volume devient important.
- Conduite non nettoyé depuis longtemps

On doit porter une attention particulière sur ce paramètre pour éviter le risque de blocage d'outil.

III.7.5- Pression de pousser disponible

Le déplacement d'outil provoque un rabotage de la paroi interne ce qui va créer une augmentation des pertes de charge donc il faut assurer des valeurs de pression de refoulement et PMS suffisantes.

III.7.6- Le débit d'opération

Il s'agit ici de s'assurer que la puissance des installations de pompage (ou de compression) ainsi que les PMS en raison des pertes de charges supplémentaire induites par le déplacement de l'outil et des débris sont suffisants pour des conduits subissant des nettoyages réguliers, l'opération de l'envoi peut être réalisée avec le débit nominal (débit d'exploitation normal). Pour les canalisations n'ayant pas subies de nettoyages réguliers, il est recommandé de choisir des régimes de fonctionnement allégés (débit < débit nominal), autorisant une réserve de puissance. A titre d'exemple, le passage d'une vanne incomplètement ouverte peut nécessiter une différence de pression supérieure de 5 bars.

De plus le blocage de l'outil peut provoquer des coups de béliers se traduisant par des ondes de pression pouvant dépasser les limites PMS. En choisissant des pressions plus basses, on réduit les risques engendrés par ce type de phénomène.

L'outil se déplace globalement à la même vitesse que l'écoulement. L'efficacité de nettoyage et l'usure dépendent également de la vitesse, le choix du régime doit donc tenir compte de la vitesse optimale de déplacement de l'outil recommandé par le fournisseur. Grossièrement, ces vitesses sont comprises entre 1 et 8 m/s (intervalle à préciser selon le fournisseur).

III.7.7- L'influence du diamètre intérieur sur le choix d'outil

Le diamètre de la conduite n'est pas constant tout le long du pipeline, d'autre part l'encrassement crée une augmentation de perte de charge, donc un accroissement de diamètre intérieur pondéré, ce qui influe sur le choix d'outil et ses dimensions.

III.7.8- Distance à parcourir par l'outil

Plus la distance entre le point l'envoi et la récupération de l'outil est grande plus on aura le phénomène d'usure et la perte d'étanchéité.

III.7.9- Rayon de courbure le plus faible

L'outil doit surmonter les obstacles dans la conduite tel que : les coudes qui sont caractérisées par un rayon de courbure minimal de 3D. Certains outils articulés peuvent négocier des rayons égaux à 1,5D, d'autres outils plus souples pourront surmonter des rayons de 0,5D.

III.7.10- Position géodésique des obstacles

Il faut surveillée la position des obstacles (vanne, coude, tés, réduction de diamètre...) lors de passage d'outil. Pour le choix d'outil on prend en considération sa longueur qu'elle doit être inférieure à la distance entre deux obstacles pour éviter le risque de blocage.

III.7.11- Piquage et tés non barrés

Leur but est d'injecter ou récupérer un débit, pour que l'outil se déplace sans coincement il faut soigneusement noter le diamètre de ces obstacles.

III.7.12- Types et dimensions des vannes

Il existe deux types de vannes en ligne : robinet vanne et boisseau sphérique, leur ouverture incomplète crée un risque de blocage d'outil sauf les sphères et les pistons élastique qui peuvent passer le plus normalement avec une pression de déplacement supplémentaire.

III.7.13- Sélection d'outil

Sur le marché il existe plus de 300 types d'outil, d'où sa sélection devient difficile, donc il faut effectuer cette procédure d'élimination :

- L'existence au moins d'un coude inférieur à $1.5D$ donc élimination des outils exigeant au minimum $3D$.
- Garder tous les outils avec une longueur supérieure à la distance séparent deux tés non barrés proximité l'un de l'autre.
- Si on a deux tés non barrés avec un faible rayon de courbure on sélectionne les outils articulés. Cette sélection permis de minimiser le nombre de choix puis on termine par les critères suivants, on choisit l'outil qui :
 - Présente le moins de risque de blocage.
 - Résiste à l'usure avec une bonne étanchéité.
 - Le moins cher (le dernier paramètre qui influe sur le choix de type).

Chapitre IV

Partie théorique, calcul hydraulique d'un oléoduc

Introduction

On détermine le régime de fonctionnement d'OBI, également la détermination des pertes d'énergie par frottement (linéaires et locales) au cours de transport, ainsi que des pompes et leurs puissances, pour un cas d'une conduite propre.

IV.1- La canalisation

IV.1.1- Diamètre et l'épaisseur du pipeline

Le diamètre et l'épaisseur d'une canalisation sont déterminés en fonction du débit, du produit transporté (viscosité, densité), et la puissance de pompage nécessaire tout en respectant le budget de l'investissement qui doit être déterminé dans une étude technico-économique.

IV.1.1.1- L'épaisseur moyenne d'une conduite

Il est déterminé par la formule suivante :

$$\delta_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i * \delta_i)}{L_T} \quad (IV.1.1.1)$$

1.1)

δ_{moy} : Epaisseur moyenne de la conduite en (mm).

δ_i : Epaisseur ponctuelle en (mm).

L_i : Longueur ponctuelle en (mm).

L_T : Longueur totale en (mm).

IV.1.1.2- Le diamètre intérieur pondéré d'une conduite

Il est déterminé par la formule suivante :

$$D_{int} = D_{ext} - 2\delta_{moy} \quad (IV.1.1.2)$$

D_{int} : Diamètre intérieur pondéré la conduite en (mm).

D_{ext} : Diamètre extérieur la conduite en (mm).

δ_{moy} : Epaisseur moyenne de la conduite en (mm).

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

La pression maximale admissible de service (PMS) d'une canalisation peut être définie comme une pression maximale dans les conditions d'exploitation normale que le pipeline peut supporter sans provoquer aucune déformation de métal de la canalisation. Selon la norme Algérienne, la pression maximale admissible de service est définie avec la formule suivante :

$$PMS = \frac{2 * \sigma * \delta_{moy}}{D_{ext}} \quad (IV.1.2.a)$$

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

δ_{moy} : Epaisseur moyenne de la canalisation en (mm).

D_{ext} : Diamètre extérieur nominal en (mm).

σ : Contrainte transversale maximale supportée par le métal.

Selon le règlement Algérien, on distingue les coefficients de sécurité comme suit :

Zones	Liquide		Gaz liquéfié	
	K _e	K _r	K _e	K _r
I	0.675	0.47	0.6	0.36
II	0.75	0.59	0.72	0.55
III	0.82	0.65		

-Les zones I, II et III sont définies comme suit :

- **Zone I** : Comprend les emplacements qui se trouve dans les agglomérations urbaines, ou bien près des locaux isolés à usage des habitations occupant du personnel à poste fixe ou fréquent par le publique.
- **Zone II** : Comprend les emplacements situés dans les zones rurales, les pâturages, les terrains d'agriculture, les forêts et les approches d'agglomérations.
- **Zone III** : Comprend les terrains inhabitées, Sahara et autres régions désertique et les parties du tracé qui sont situées à plus 1km des habitants.

-La pression maximale admissible de service (PMS) est fixée comme étant la pression normale d'exploitation majorée d'une tolérance de 10%.

$$PMS = 1.1 * P_s \quad (IV.1.2.b)$$

PMS : Pression maximale admissible de service en (MPa).

P_s : Pression de service en (MPa).

IV.2- Caractéristiques du produit transporté

Vu le grand nombre des constituants d'un produit chimique, il est très difficile d'établir une loi qui gère son comportement, alors il est indispensable d'étudier les propriétés physico-chimiques de ce produit tel que : la couleur, l'odeur, l'indice de réfraction, la densité, la viscosité et la tension de vapeur. Couramment on utilise ces trois derniers paramètres sur lesquelles sont basés les contrats de vente.

IV.2.1- La densité (d)

La densité du produit pétrolier est définie comme le rapport de la masse volumique du produit sur celle de l'eau à 4°C et une atmosphère. La densité du pétrole brute varie entre 0,7 et 0,9.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} \quad (\text{IV.2.1})$$

d : Densité du produit.

ρ: Masse volumique du produit en (kg/m³).

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

IV.2.2- La viscosité (u)

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

On distingue deux types de viscosités :

- La viscosité dynamique ou absolue (μ) en kg/m s.
- La viscosité cinématique (ν) en m²/s.

La relation entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique est donnée par la formule ci-dessous :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{IV.2.2})$$

u : Viscosité cinématique en (m²/s).

μ : Viscosité dynamique en (kg/m s).

ρ : Masse volumique du produit en (kg/m³).

IV.3- Formules du calcul hydraulique

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

IV.3.1- Débit et vitesse d'écoulement (Q,m)

Il est donné d'habitude en million de tonnes par an (MTA) on considère que le pipeline fonctionne 330 jours /an et le reste (35 jours) consacré à la maintenance et la réparation.

$$Q = S * \omega \quad (\text{IV.3.1.a})$$

$$S = \frac{\pi * D_{int}^2}{4} \quad (IV.3.1.b)$$

$$\omega = \frac{4 * Q}{\pi * D_{int}^2} \quad (IV.3.1.c)$$

Q : le débit de fonctionnement en (m³/s).

S : section interne de conduit en (m²).

m : La vitesse moyenne de fluide en (m/s).

D_{int} : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

IV.3.2- Nombre de Reynolds (Re)

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

$$R_e = \frac{\omega * D_{int}}{\nu} \quad (IV.3.2)$$

Re: Nombre de Reynolds.

m : La vitesse moyenne de fluide en (m/s).

D_{int} : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

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

IV.3.3- Régime d'écoulement d'un fluide

Le régime d'écoulement d'un fluide est défini comme étant la façon de déplacement des particules d'un fluide dans une conduite. On distingue deux régimes d'écoulement :

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

Tableau IV.1 : Régimes d'écoulements

Avec :

$$\varepsilon = 2 * \left(\frac{e}{D_{int}} \right) \quad (IV.3.3.a)$$

$$Re_1 = \frac{59.5}{s_7^8} \quad (IV.3.3.b)$$

$$Re_2 = \frac{665 - (765 * (\log(s)))}{s} \quad (IV.3.3.c)$$

λ : Coefficient de perte de charge.

s : Rugosité relative en (mm).

e : Rugosité absolue en (mm).

2320, Re_{cr1} et Re_{cr2} : Sont nombre de Reynolds critique qui séparent les zones de régimes d'écoulement.

- **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. Il se produit dans la canalisation où la vitesse d'écoulement est faible.

- **Régime turbulent**

Apparaît lorsqu'il y a une 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

On distingue trois zones :

- Zone A : Régime turbulent lisse.
- Zone B : Régime turbulent mixte.
- Zone C : Régime turbulent quadratique.

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

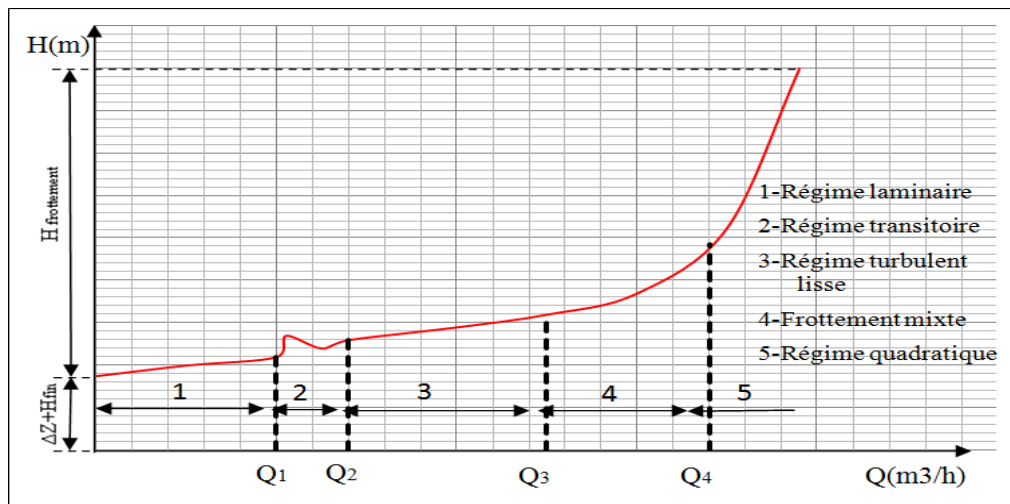


Figure IV.1: Types des régimes d'écoulement

IV.3.4- Les pertes de charge totales (H_T)

IV.3.4.1- Perte de charge linéaire (H_L)

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

$$H_L = \frac{\lambda L_T \omega^2}{2 g D_{int}} \quad (\text{IV.3.4.1.a})$$

Donc:

$$H_L = \frac{8 \lambda L_T Q^2}{g \pi^2 D_{int}^5} \quad (\text{IV.3.4.1.b})$$

H_L : les pertes de charge du frottement en (m).

λ : Coefficient de perte de charge.

L_T : Longueur du tronçon en (m).

Q : Débit de la ligne en (m^3/s).

D_{int} : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

g : Accélération de la pesanteur (9,81 m²/s).

IV.3.4.2- Perte de charge locale (singulière H_s)

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

$$H_s = \sum \xi \frac{\omega^2}{2g} \quad (\text{IV.3.4.2.a})$$

H_s : Les Pertes de charge locale en (m).

ξ : Le Coefficient de perte de charge.

m : La vitesse moyenne de fluide en (m/s).

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

$$H_s = (0.01 \text{ à } 0.02) * H_L \quad (\text{IV.3.4.2.b})$$

IV.3.4.3- Perte de charge totale

Donc les pertes de charge totales (H_T) sont :

$$H_T = 1.02 * H_L \quad (\text{IV.3.4.3.a})$$

$$H_T = 0.084 * \frac{\lambda * L_T * (Q^2)}{D_{int}^5} \quad (\text{IV.3.4.3.b})$$

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

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

$$H_{ref} = H_T + \Delta Z + H_{asp} \quad (\text{IV.3.5})$$

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

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

ΔZ : Différence des hauteurs en (m).

H_T : les Pertes de charges totale en (m).

IV.3.6- Pression hydrostatique

Elle design la force exercée par un liquide, on l'a représenté par la formule suivante :

$$\Delta P = \rho * g * H \quad (\text{IV.3.6})$$

H : Hauteur manométrique (m).

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

ρ : Masse volumique de liquide pompé en (kg/m³).

IV.4- Pente hydraulique (i)

Elle représente la perte de charge par unité de longueur, pour une conduite de diamètre D.

La pente hydraulique est donnée par la formule suivante :

$$i = \frac{H_T}{L_T} = \frac{8.16 * \lambda * Q^2}{g * \pi^2 * D_{int}^5} = \text{tg} (\alpha) \quad (\text{IV.4.1})$$

i : Pente hydraulique.

α : Angle d'inclinaison de la pente par rapporte à l'horizontal en (°).

Donc :

$$H_{ref} = iL_T + \Delta Z + H_{asp} \quad (\text{IV.4.2})$$

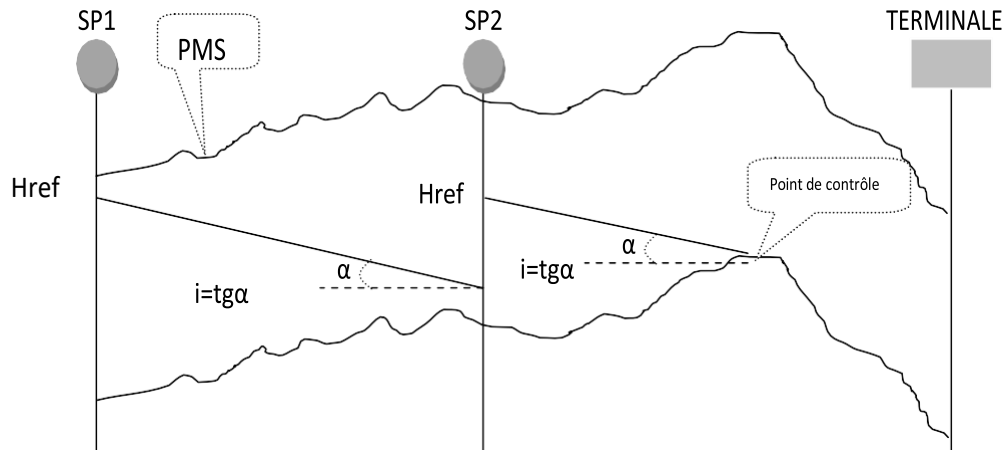


Figure IV.2 : Pente hydraulique

IV.5- Point de contrôle

Le point de contrôle est un point sur le tracé de la conduite où de là le produit s'écoule par gravitation, sur le même profil il peut y avoir plusieurs points de contrôle, pendant l'étude hydraulique il faut faire des calculs en tenant compte uniquement le point de contrôle.

Le schéma suivant représente un tracé avec un point de contrôle :

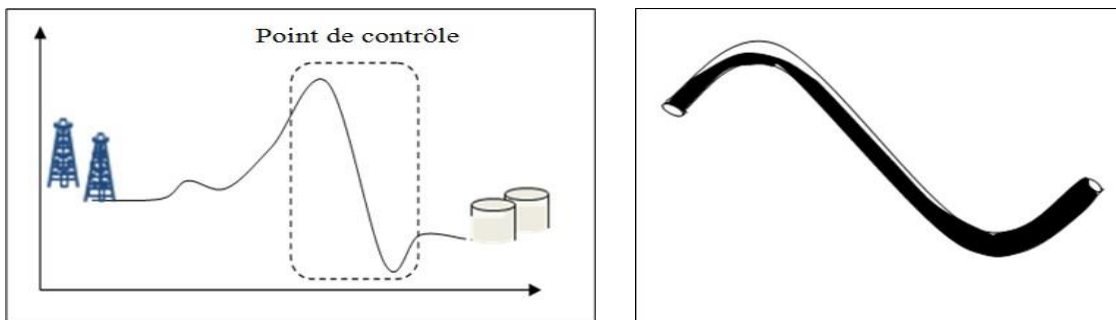


Figure IV.3 : Représentation de point de contrôle

IV.6- Courbe caractéristique du réseau

La courbe caractéristique du réseau est la représentation graphique de la hauteur manométrique totale (H) nécessaire à l'installation en fonction du débit.

$$H = f(Q)$$

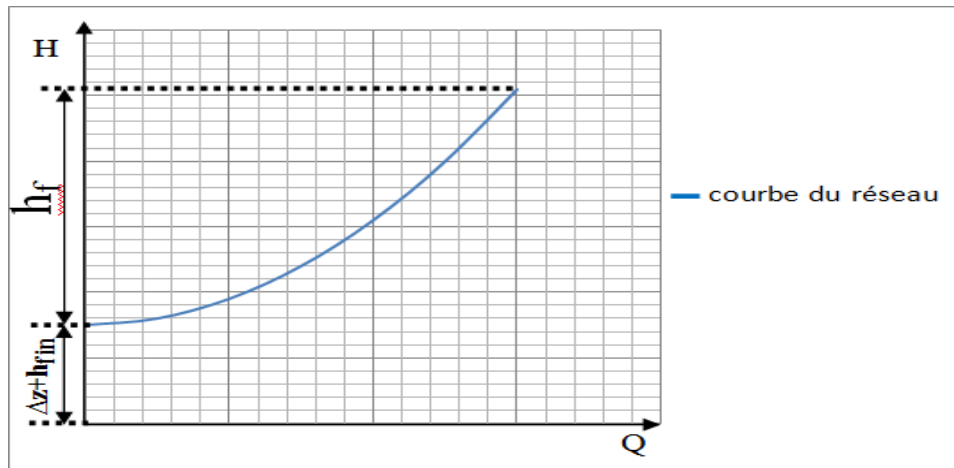


Figure IV.4 : Courbe caractéristique du réseau

IV.7- Les pompes

IV.7.1- Définition

La principale caractéristique de la pompe consiste à convertir l'énergie d'une source de mouvement (le moteur) d'abord en vitesse (ou énergie cinétique) puis en énergie de pression (énergie statique). Le rôle d'une pompe consiste en effet à donner de l'énergie au liquide pompé (énergie transformée ensuite en débit et en hauteur d'élévation) selon les caractéristiques de fabrication de la pompe elle-même et en fonction de besoins spécifiques à l'installation.

Suivant le mode de déplacement des liquides à l'intérieur de la pompe, on classe ces dernières en deux grandes catégories : les pompes volumétriques et les turbopompes, ces dernières sont les plus employées.

Suivant le type de la roue et son mode d'action, on distingue :

- Les pompes centrifuges
- Les pompes hélices
- Les pompes hélico-centrifuges
- Pompe à piston
- Elévatoires à hélices ou vis d'Archimède
- Les pompes rotatives

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe (roues radiales, semi radiales, axial).

Dans notre étude, on s'intéressera aux pompes centrifuges qui sont largement utilisées dans l'industrie des pipelines.

IV.7.2- Ossature et principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

Elle est constituée par :

- **Un distributeur** : Son rôle est de guider le fluide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de la roue, tout en lui assurant une vitesse et une direction convenable.
- **Une roue** : Elle constitue l'organe essentiel de la pompe, en comportant les aubages dont la concavité de la courbure est dirigée vers le sens opposés de la rotation
- **Un diffuseur et volute** : Sa fonction est la collecte du fluide à la sortie de la roue pour l'acheminer vers la section de sortie (section croissante) de la machine.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il achève une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante.

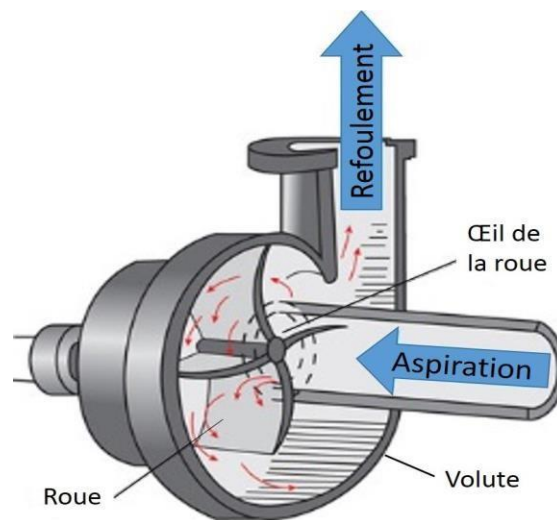


Figure IV.5 : Schéma d'une pompe centrifuge

IV.7.3- Choix de type de pompe

Le choix se fait de façon à :

- Assurer le débit de refoulement et la hauteur manométrique totale.
- Assurer un rendement maximum.
- Vitesse de rotation importante.
- Réduire l'encombrement de façon à répondre à la construction économique.

IV.7.4- Caractéristiques d'une pompe

- Sa vitesse de rotation
- Sa courbe caractéristique, hauteur d'élévation-débit : $H=f(Q)$.
- Son rendement.
- Sa puissance absorbée à l'arbre en différents points de sa courbe caractéristique.
- Sa capacité d'aspiration requise exprimée par son NPSH requis en fonction de débit et de diamètre de la roue.

IV.7.5- Courbe caractéristique de la pompe

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

$$H_p = a - b Q^2 \quad (VI.7.5)$$

Avec :

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

a,b : Constantes qui caractérisent la pompe.

Q : Débit développé par la pompe en (m^3/h).

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

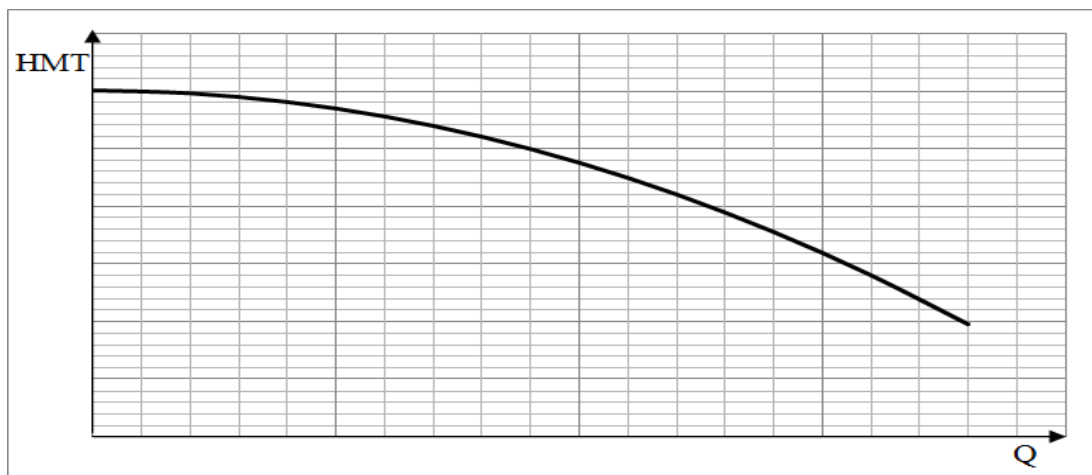


Figure IV.6 : Courbe caractéristique de la pompe

IV.7.6- Rendement de la pompe (η_p)

Le rendement est une grandeur sans dimension caractérisant le rapport entre l'efficacité énergétique d'un système et son efficacité théorique maximale.

On peut l'exprimer comme étant le rapport de la puissance utile communiquée au liquide pompé à la puissance absorbée par la pompe

$$\eta_p = \eta_{\max} * \left[1 - \left(1 - \left(\frac{Q_p}{Q_{\text{nom}}} \right) * \left(\frac{n_{\text{nom}}}{n_p} \right) \right)^2 \right] \quad (\text{IV.7.6})$$

η_p : Rendement de la pompe qui correspond au débit et la hauteur manométrique de la pompe.

Q_p : Le débit de la pompe en (m³/s).

n_p : La vitesse de rotation de la pompe en (tour/min).

Q_{nom} : Le débit nominal de la pompe en (m³/s).

n_{nom} : La vitesse de rotation maximale de la pompe en (tour/min).

$\eta_{\max}$: Le rendement maximal de la pompe qui correspond au débit et hauteur nominal.

IV.7.7- Puissance

IV.7.7.1- Puissance absorbée par la pompe (P_a)

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

$$P_a = \frac{Q * \rho * g * H}{\eta_p} \quad (\text{IV.7.7.1})$$

Avec :

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

Q : Débit en (m³/s).

ρ : Masse volumique de liquide pompé en (kg/m³).

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

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

η_p : Rendement de la pompe.

IV.7.7.2- Puissance exigée par le moteur ou la turbine (P_m)

C'est la puissance mécanique que doit fournir le moteur en tenant compte des pertes au niveau de l'accouplement avec la pompe :

$$P_m = \frac{P_a}{\eta_{\text{acc}}} \quad (\text{IV.7.7.2})$$

P_m : Puissance exigée en (Watt)

η_{acc} : Rendement d'accouplement (généralement 98%)

IV.7.8- Le NPSH

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

IV.7.8.1- NPSH requis (exigé)

Pour chaque pompe, il y a un NPSH minimal au-dessous duquel la cavitation apparaît, c'est ce qu'on appelle le NPSH requis, cette caractéristique est donnée par le constructeur de la machine sous forme d'une courbe en fonction du débit.

IV.7.8.2- NPSH disponible

C'est la valeur du NPSH dont dispose la pompe par les conditions d'installation. Il 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, il est indépendant de la construction de la pompe.

Il doit être toujours supérieur à le NPSH requis comme le montre le schéma suivant :

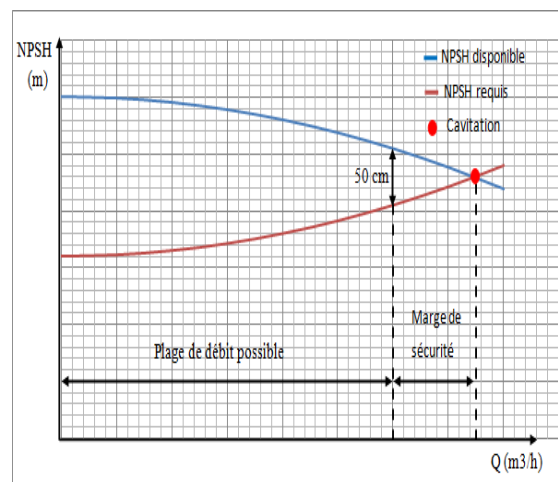


Figure IV.7: Le NPSH requis et disponible d'une pompe

IV.7.9- Assemblage des pompes

IV.7.9.1- Assemblage en série

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

$$H_p = \sum_1^n (a - (b * Q^2)) \quad (IV.7.9.1)$$

Avec :

n : le nombre des pompes en série.

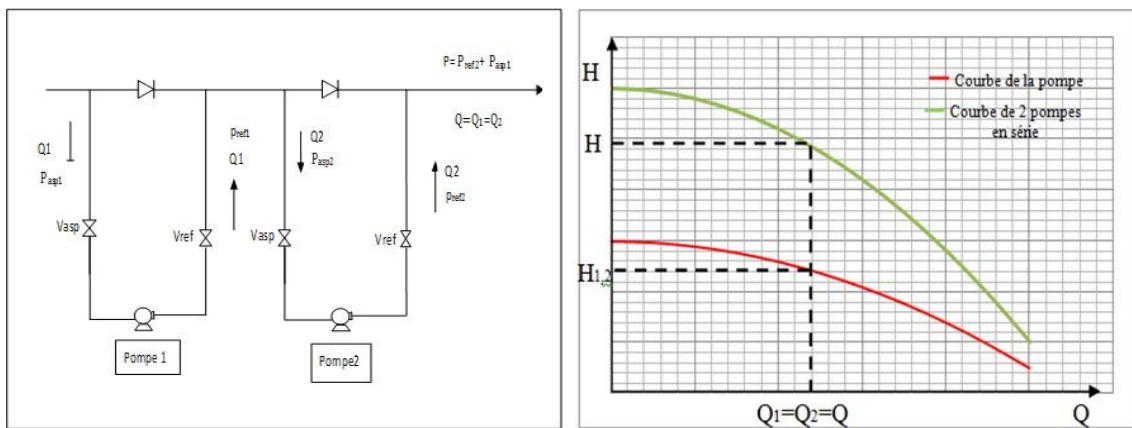


Figure IV.8: Assemblage des pompes en série

IV.7.9.2- Assemblage en parallèle

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

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

$$H_p = (a - (\frac{b}{n^2}) * Q^2) \quad (IV.7.9.2)$$

Avec :

n : le nombre des pompes en parallèle.

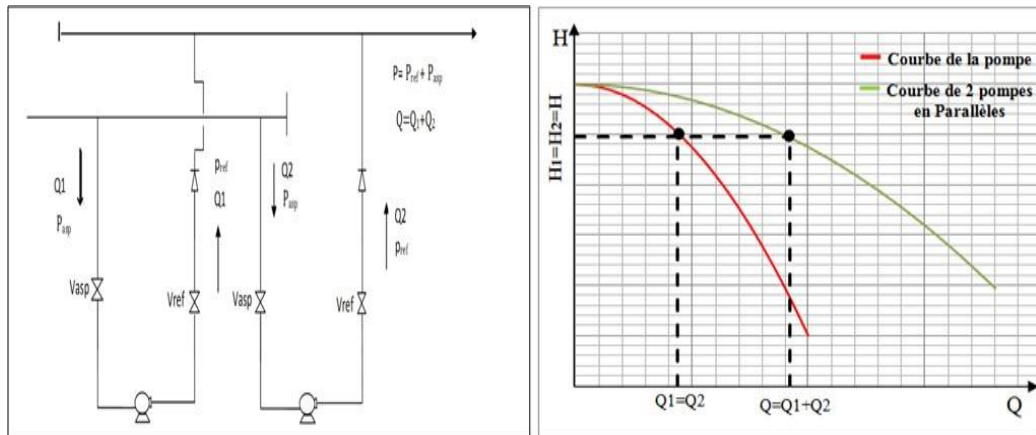


Figure IV.9: Assemblage des pompes en parallèle

IV.7.10- La charge refoulement de station (H_{ref-st})

Représente la charge totale fournie par la station de pompage :

$$H_{ref-st} = H_{al} + \sum_1^k H_{pp} + H_{pb} \quad (IV.7.10)$$

Avec :

H_{al} : La charge manométrique absorbée par les pompes boosters et elle représente aussi la charge d'aspiration de la station exprimée en (m).

H_{pb} : Charges des pompes boosters en (m).

$\sum_1^k H_{pp}$: La somme des charges fournies par les pompes principales en (m)

IV.8- Point de fonctionnement

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

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

$$H_T + \Delta Z + H_{asp} = H_{al} + \sum_1^k H_{pp} + H_{pb} \quad (IV.8)$$

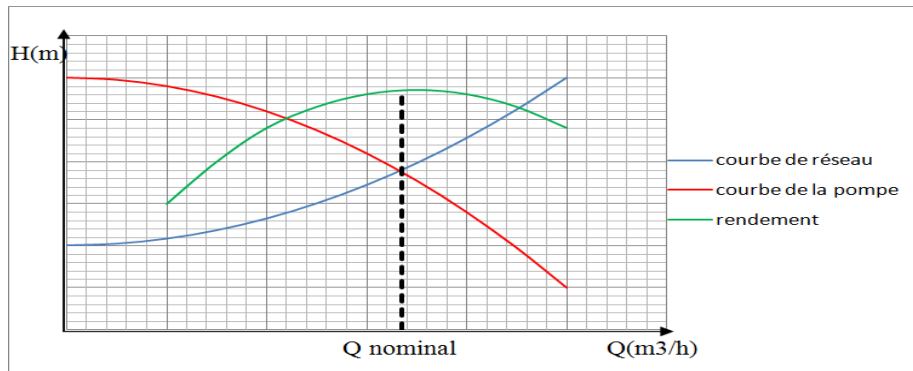


Figure IV.10 : Point de fonctionnement optimal de la pompe

Remarque

Lorsque le point de fonctionnement désiré coïncide avec celui de la pompe, dans ce cas la pompe fonctionne dans les conditions optimales d'utilisation (rendement maximale de la pompe) sinon on sera dans l'obligation de porter des modifications sur les caractéristiques de la pompe ou sur la conduite de refoulement.

IV.9- Adaptation des pompes sur le réseau

- Réduction du temps de pompage.
- Le vannage.
- Régulation par rognage de roue de la pompe.
- Régulation par construction d'une looping.
- Régulation par variation de la vitesse de rotation de la pompe.
- Régulation de nombre de pompe dans la station.

IV.9.1-La variation de vitesse de rotation

Cette méthode consiste à faire varier la vitesse de rotation, à cet effet on cherche une vitesse n_2 .

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \text{ et } \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{H_{p1}}{H_{p2}}} \quad (IV.9.1)$$

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

Q_1, Q_2 : Débit avant et après la réduction.

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

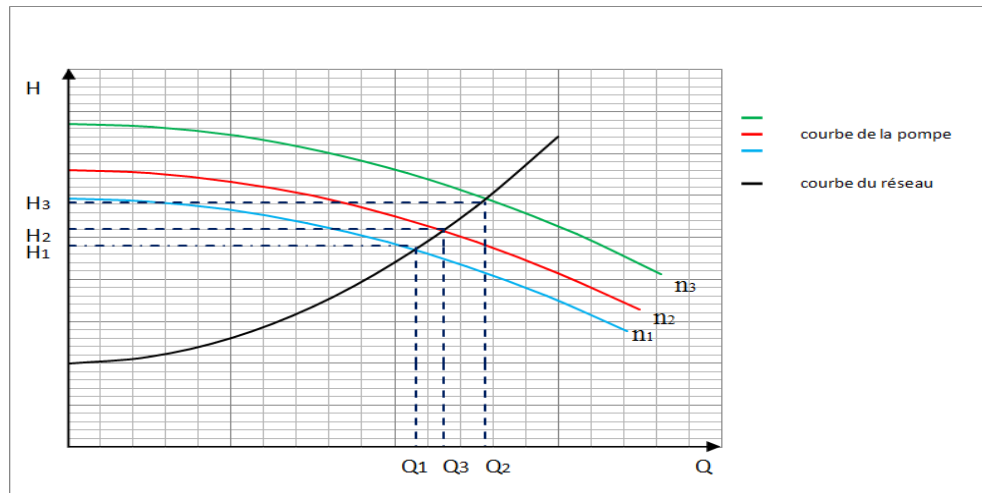


Figure IV.11 : Courbe iso vitesse d'une pompe centrifuge

IV.9.2- Nombre de pompe

Cette méthode est la plus simple, elle consiste à diminuer ou augmenter le nombre de pompe à mettre en fonctionnement selon le besoin.

Chapitre v

Analyse hydraulique de l'oléoduc OB1

Introduction

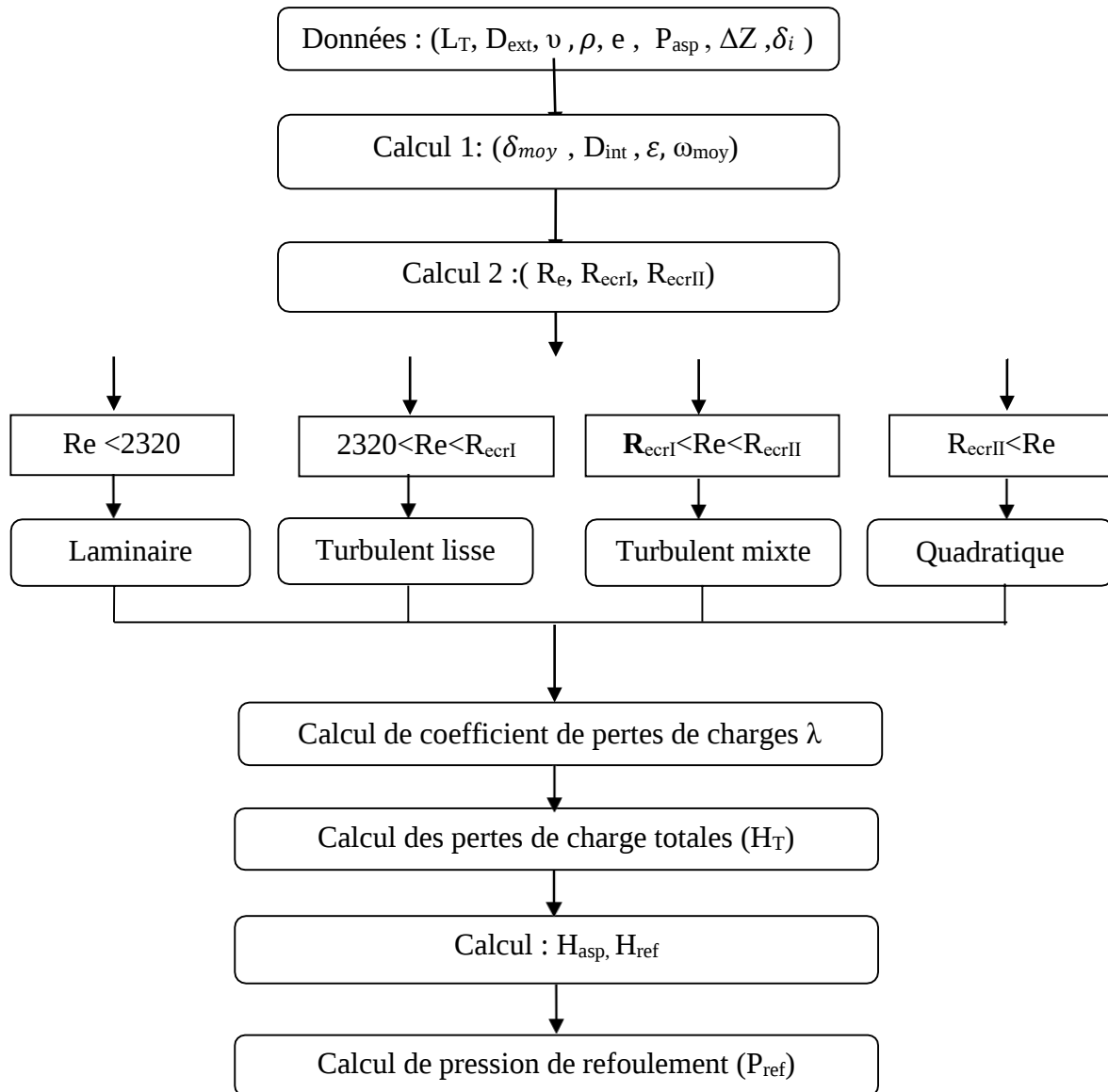
Dans ce chapitre nous traiterons l'analyse hydraulique de l'oléoduc OB1 de SP1 jusqu'au Col de Selatna constituant un point de contrôle sur le tracé. Au-delà de ce point l'écoulement se poursuivra gravitaire jusqu'au (TMB).

V.1- SP1-Selatna**V.1.1- La pression de refoulement exigée**

Les stations de l'OB1 doivent fournir une pression suffisante pour assurer le débit recommandé par le TMB, ces pressions fournies par les stations de pompage permettront de vaincre la dénivelé de la ligne, les pertes de charges linéaires dues au frottement et les pertes de charge locales au niveau de différents équipements de la ligne (vannes de sectionnement, clapets anti retour...)

V.1.1.1- Organigramme de calcul hydraulique

Cet organigramme est un récapitulatif du déroulement des étapes de calcul à suivre. L'objectif est de calculer la perte de charge dans les différents tronçons pour le débit transporté et de définir la charge de refoulement des différentes stations de pompage permettant de vaincre cette perte de charge et d'assurer un charge finale pour éviter tout risque de cavitation ainsi que les paramètres à mettre en œuvre pour obtenir cette charge tels que : nombre de pompe, vitesse de rotation etc...



Organigramme V.1.1.1: Les étapes du calcul hydraulique

V.1.1.2- Régime de fonctionnement

On détermine dans ce qui suit la nature du régime d'écoulement qui s'établit dans les tronçons entre les stations de l'OB1 pour un débit $Q=1800\text{m}^3/\text{h}$

V.1.1.2.a- Données des tronçons entre les stations de pompage :

Le tableau suivant représente les données de base pour déterminer les différents paramètres nécessaires dans notre calcul :

Paramètres	Symboles et unités	Tronçons entre stations de pompage			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Diamètre extérieur	D_{ext} (mm)	609,6	609,6	609,6	609,6
La longueur	L_T (m)	189829,00	161024,58	144871,00	46786,75
Différence d'altitude	ΔZ (m)	-63,48	131,214	233,265	576,40
Viscosité	ν (m ² /s)	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003
Masse volumique	ρ (kg/m ³)	820	820	820	820
Rugosité	e (mm)	0.045	0.045	0.045	0.045
Pression d'aspiration	P_{asp} (bar)	10	1	1	1

Tableau V.1 : Données du calcul**V.1.1.2.b- Résultats numériques**

Les tableaux suivants présentent les résultats de calcul hydraulique d'OB1, en suivant l'organigramme et les différentes équations citées dans le chapitre IV :

Paramètres	Symboles et unités	Formule	Tronçons entre stations de pompage			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Epaisseur moyen	$\delta_{moy}(mm)$	(IV.1.1.1)	7,9405	7,2019	6,7401	6,9741
Diamètre intérieur	$D_{int}(mm)$	(IV.1.1.2)	593,7194	595,1962	596,1199	595,6517
Vitesse moyenne	$\omega_{moy}(m/s)$	(IV.3.1.c)	1.8004	1,7984	1,7928	1,7956
Rugosité relative	ε	(IV.3.3.a)	0,0001516	0,0001512	0,0001510	0,0001511
Reynolds	Re	(IV.3.2)	356314 ,3767	356792, 2621	356239,4253	356519, 4045
Reynolds critique 1	R_{ecrI}	(IV.3.3.b)	1 378 717,05	1382638,27	1385090,735	1383847,685
Reynolds critique 2	R_{ecrII}	(IV.3.3.c)	23 661639	23725973	23766205	23745813

Tableau V.2 : Détermination de régime de fonctionnement**V.1.1.2.c- Interprétation**

D'après les résultats le régime d'écoulement est tube lisse.

V.1.1.3- Calcul de perte de charge dans les lignes

D'après le résultat précédent, notre régime d'écoulement est un régime turbulent hydrauliquement lisse ce qui donne :

Paramètres	Symbole et unité	Formule	Tronçons entre stations de pompage			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Coefficient de perte de charge	λ (*10 ⁻²)	Formule de Blasius	1.2950	1.2946	1.2951	1.2948
Les pertes de charge totale	H _T (m)	(IV.3.4.3)	697,7636	588,8692	525,9074	170,4792

Tableau V.3: Calcul des pertes de charge totales

V.1.1.4- Calcul de pression exigée

Après le calcul des pertes de charges, on va calculer la pression exigée :

Symbole et unité	Formule	Tronçons entre stations de pompage			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
H _{asp} (m)	(IV.3.6)	124,3131	12,4313	12,4313	12,4313
H _{ref} exigée (m)	(IV.3.5)	763,2865	732,5145	771,6037	759,3145
P _{ref} exigée (bar)	(IV.3.6)	61,4003	58,9249	62,0693	61,0808

Tableau V.4 : Calcul de pression de refoulement exigée

V.1.2- La pente hydraulique

Pour tracer la pente hydraulique sur le profil au long on détermine sa valeur en utilisant la formule (VI.4.1) :

Paramètre	Symbole et unité	Tronçons entre stations de pompage			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
La pente hydraulique	i (*10 ⁻³)	3,6757	3.6570	3.6302	3.6473

Tableau V.5: Calcul de la pente hydraulique

V.1.2.1- Représentation graphique

On peut exprimer les résultats de calcul précédents sous forme graphique comme suit :

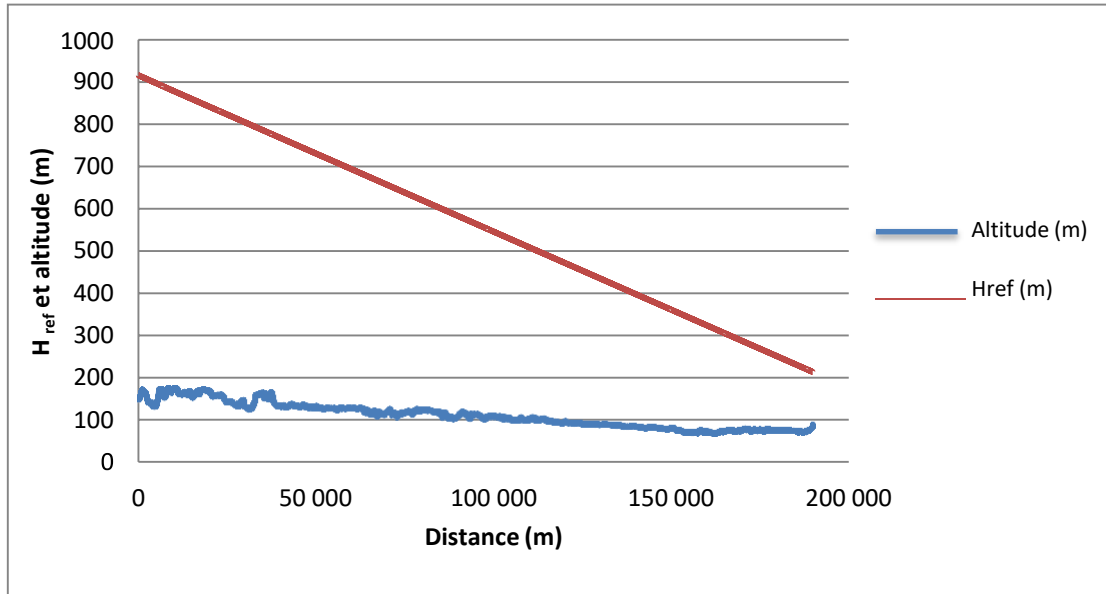


Figure V.1: Pente hydraulique de SP1-SP1bis

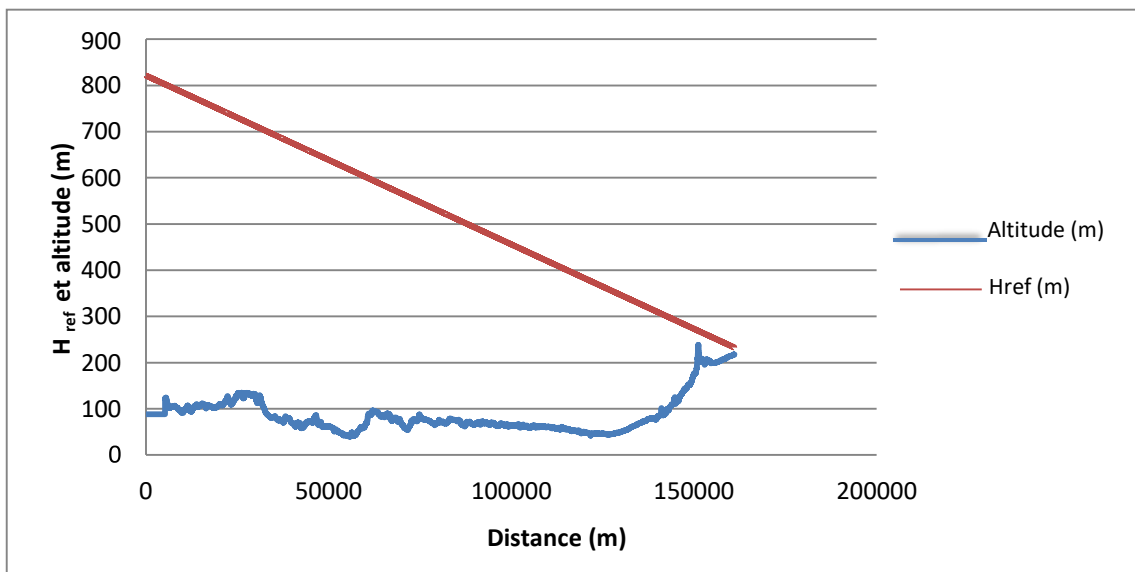


Figure V.2: Pente hydraulique de SP1Bis-SP2

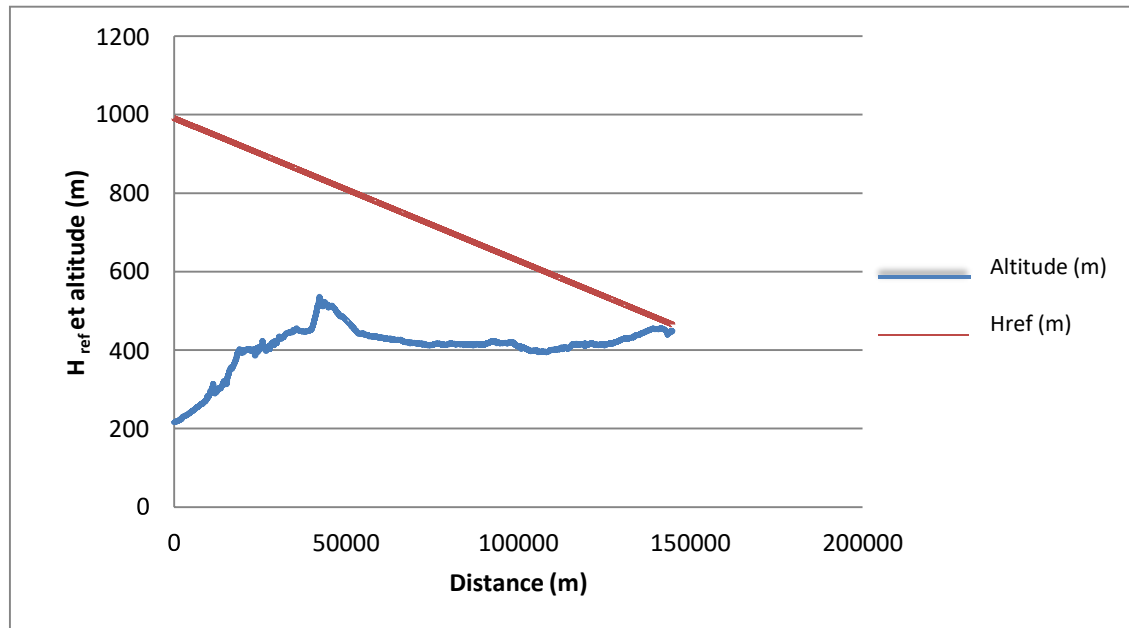


Figure V.3: Pente hydraulique de SP2-SP3

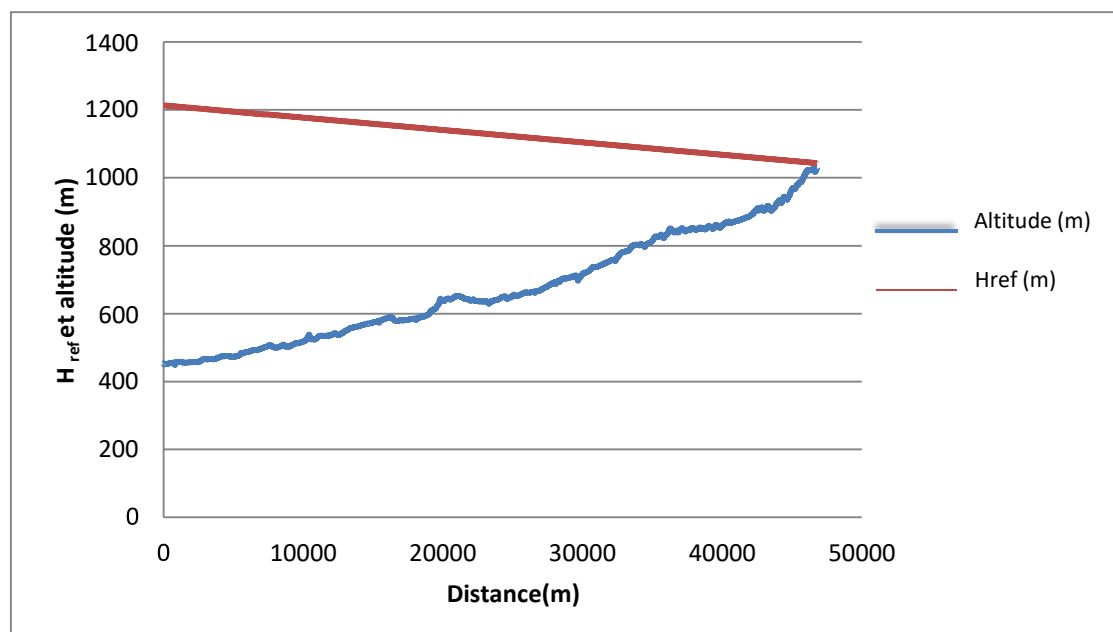


Figure V.4: Pente hydraulique de SP3-Selatna

V.1.3- La courbe caractéristique de la conduite

On représente le résultat de calcul de la charge de refoulement en fonction du débit sous forme de courbe caractéristique de conduite :

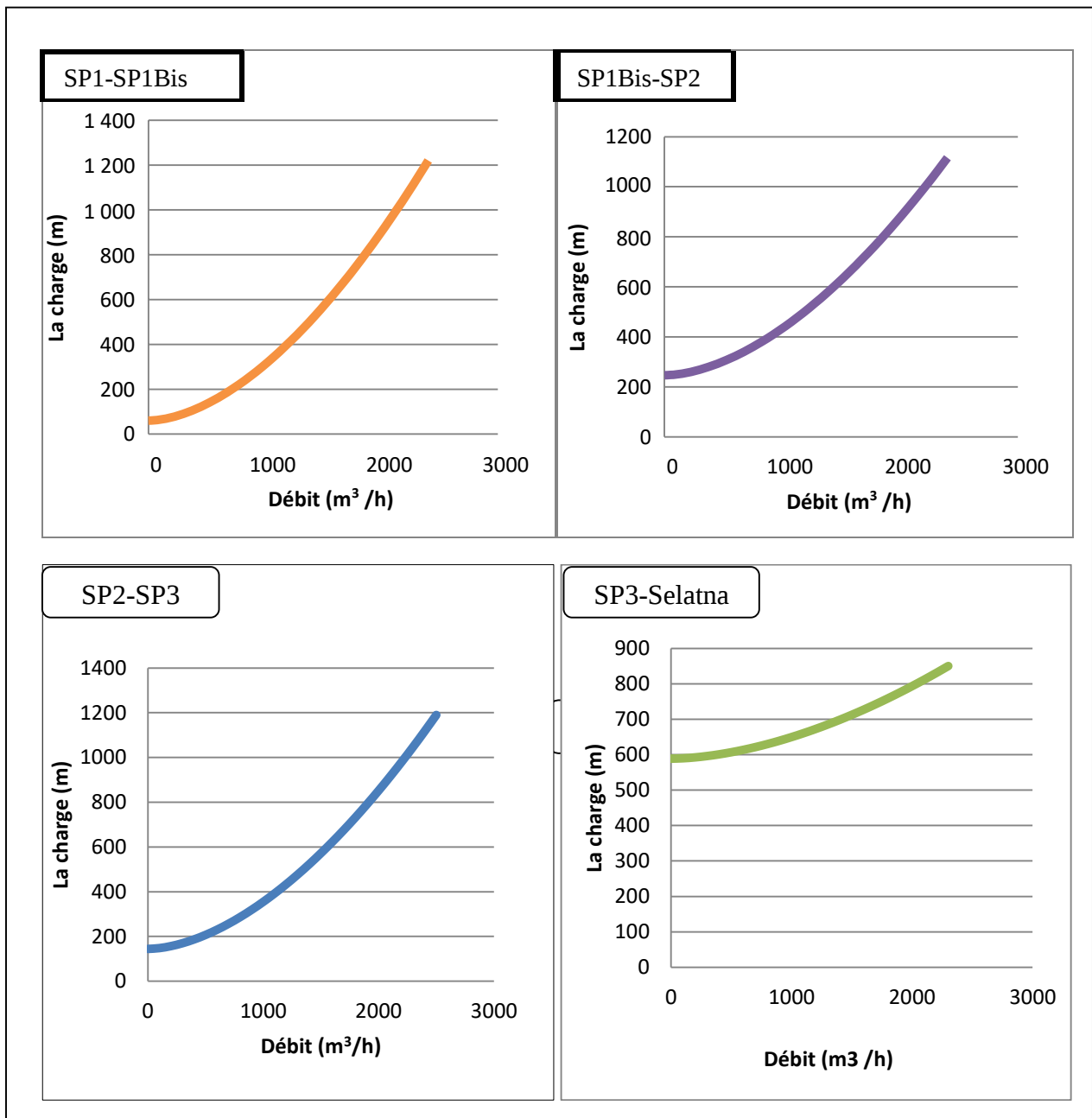


Figure V.5: Courbes caractéristiques de la conduite

V.1.4- Calcul de la charge de refoulement de la station (H_{ref-st})

V.1.4.1- Charge manométrique des pompes principales et booster

Pour calculer cette charge il faut d'abord déterminer les coefficients 'a' et 'b' caractérisant les courbes des pompes (annexe).

V.1.4.1.a- Modélisation des courbes caractéristiques des pompes

Sur la base d'un ensemble de points caractérisé par leurs coordonnées (Hp,Q) obtenues par lecture sur le graphe de la caractéristique H,Q de la pompe, une modélisation par régression linéaire a été établie de manière à déterminer les coefficient du modèle de type $H_p = a - bQ^2$.

Les points obtenus sont récapitulés dans le tableau :

Débit (m ³ /h)	Les stations de pompages						
	SP1		SP1Bis	SP2		SP3	
	Hpp (m)	Hpb (m)	Hpp (m)	Hpp (m)	Hpb (m)	Hpp (m)	Hpb (m)
0	294	41	1158	317	109	860	109
300	293,5	35,2	1152	313	97	820	97
600	290,5	32,6	1146,5	308	82,5	848	82,5
900	288	31,1	1136	300	71		71
1200	283	29	1125	293	59		59
1500	275	23	1110	284			
1800	265	18	1080	270			

Tableau V.6: Points obtenues par la lecture graphique des courbes caractéristiques des pompes

V.1.4.1.b- Statistique de la régression linéaire :

Ce travail a été réalisé sous Excel

Statistiques de la régression	
Coefficient de détermination multiple	0,98919797
Coefficient de détermination R ²	0,97851263
Coefficient de détermination R ²	0,97757839
Erreur-type	2,96645643
Observations	25
ANALYSE DE VARIANCE	
Coefficients	
Constante	296,303639
Variable X 1	-1,0716E-05

Tableau V.7 : Détermination des coefficients par la méthode de la régression linéaire

On a pu obtenir les coefficients indiqués sur le tableau :

Pompes	Coefficients	Les stations de pompages			
		SP1	SP1Bis	SP2	SP3
Principale	a	296,3036	1168,8727	313,6143	993,8947
	b	-1,0716E-05	-3,6058E-05	-1,3538E-05	-0,00036083
Booster	a	36,6645	/	99,4201	99,4201
	b	-6,1771E-06	/	-3,0694E-05	-3,0694E-05

Tableau V.8 : Coefficients des modèles mathématiques des caractéristiques des pompes

De la modélisation des courbes caractéristiques H,Q des pompes centrifuges, nous pouvons maintenant calculer la hauteur manométrique des pompes principales et boosters ainsi que celles des stations de pompage en utilisant des formules :

-En série (IV.7.9.1)

-En parallèle (IV.7.9.2)

Remarque

Les pompes principales dans la station SP3 fonctionne avec un débit nominal de (600m³/h).

Station	Pompes boosters			Pompes principales			
	k	Assemblage	H _{pb}	n	Assemblage	H _{pp}	H _{st}
SP1	2	Parallèle	31.6589	3	Série	261,5679	784,7037
SP1BIS	0	/	/	1	Série	1051,9937	1051 ,9937
SP2	2	Parallèle	74,5472	3	Série	269,7320	809,1959
SP3	2	Parallèle	74,5472	3	Parallèle	/	863,9393

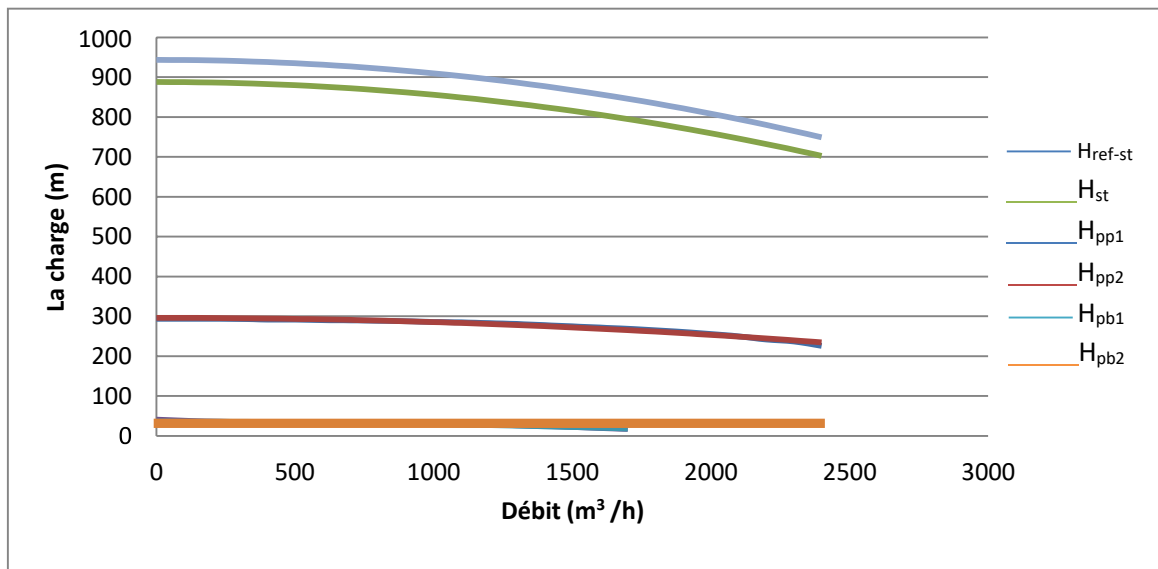
Tableau V.9 : Calcul de la hauteur manométrique

Maintenant on peut déterminer la charge sommaire pour chaque station à partir de la formule (IV.7.10) :

Symboles et unités	Les stations de pompages			
	SP1	SP1Bis	SP2	SP3
P_{al} (bar)	1.5	10	1	1
H_{al} (m)	18,647	124,3132	12,43132	12,43132
H_{ref-st} (m)	835,0095	1176,3069	896,1744	950,9178

Tableau V.10 : Calcul de la charge refoulement**V.1.4.2- Représentation graphique**

On représente le résultat de calcul de la charge sommaire en fonction de débit sous forme de courbes caractéristiques suivantes :

**Figure V.6** : Construction de la caractéristique sommaire de la station de SP1

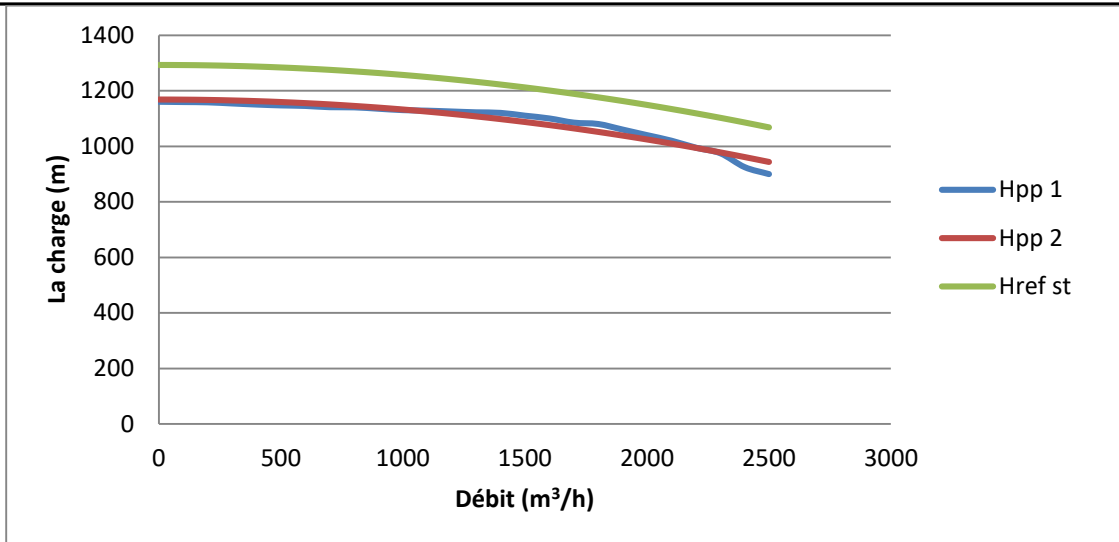


Figure V.7:Construction de la caractéristique sommaire de la station de SP1Bis

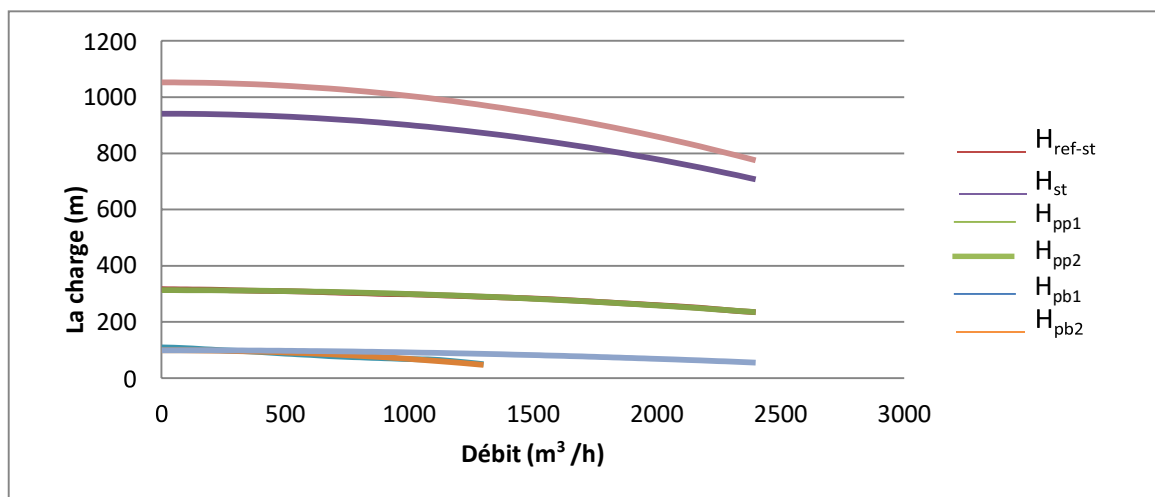


Figure V.8 : Construction de la caractéristique sommaire de la station de SP2

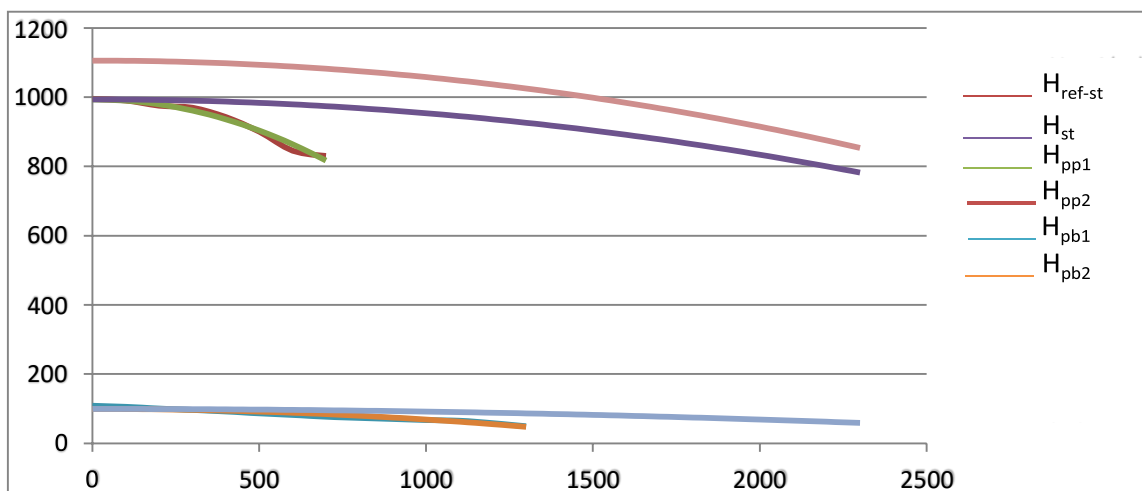


Figure V.9 : Construction de la caractéristique sommaire de la station de SP3

V.1.4.3- Le point de fonctionnement

D'après le résultat obtenu dans les calculs de la charge de refoulement et celle de la charge sommaire et la formule (IV.8) on obtient les courbes suivantes :

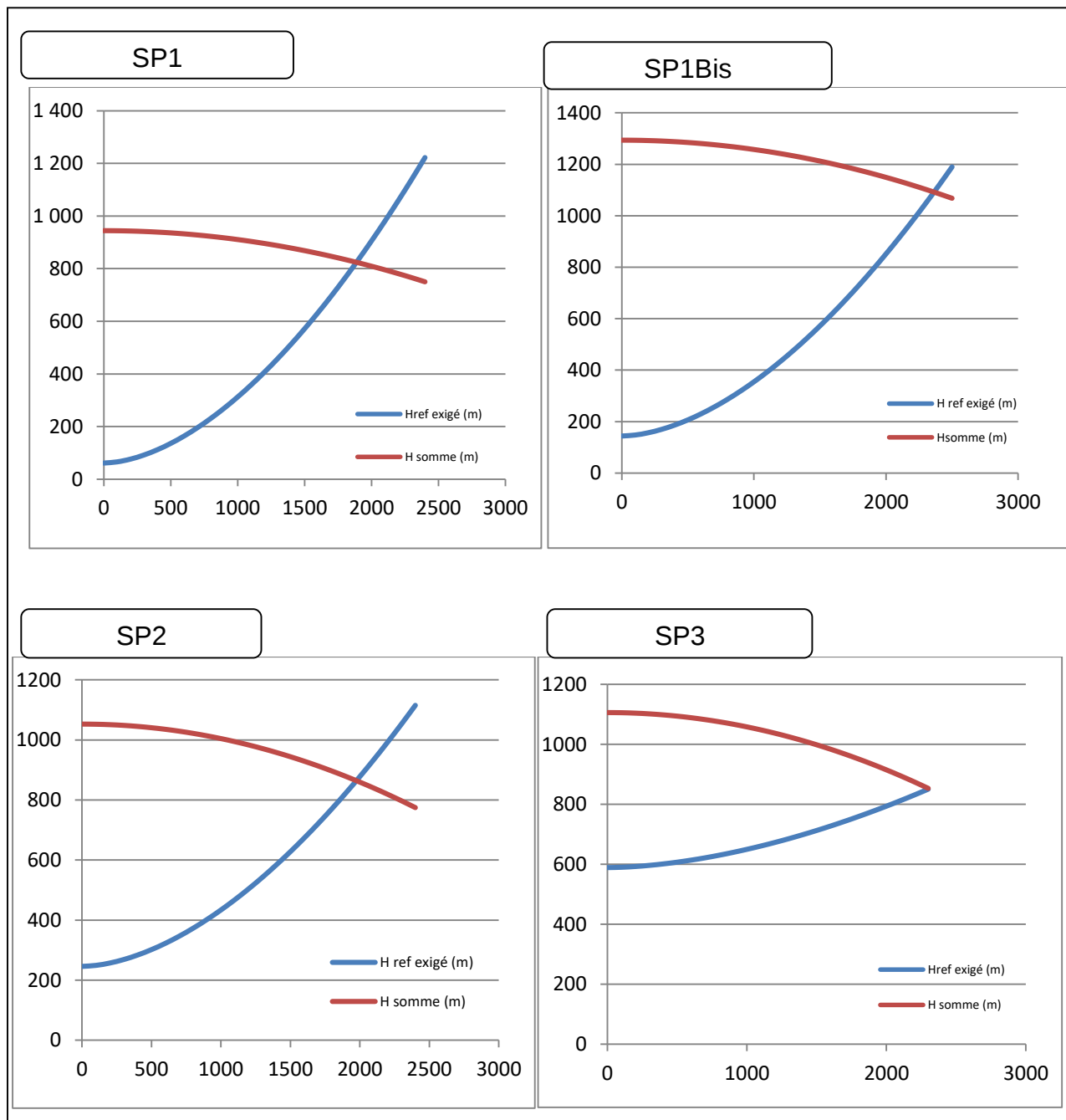


Figure IV.4 : Représentation graphique du point de fonctionnement.

Le tableau suivant définit le débit correspondant au point d'intersection (graphiquement) :

Les stations de pompages	Débit (m ³ /h)
SP1	1900
SP1Bis	2300
SP2	1900
SP3	2200

Tableau IV.11 : Débit correspondant au point d'intersection

IV.1.4.4- Interprétation des résultats

On analysant les résultats du calcul hydraulique, on peut conclure que la charge de refoulements exigés (pour chaque station) afin d'acheminer le brut jusqu'au Col de Selatna pour un débit de 1800 m³/h est inférieure à la charge disponible. Nous remarquons que dans ces conditions que la charge disponible peut véhiculer des débits supérieurs à 1800 m³/h comme mentionné dans le tableau des points de fonctionnement. Donc on sera dans l'obligation de diminuer cette charge dans notre cas par une méthode de la régulation en diminuant la vitesse de rotation.

$$H_{ref\ station} > H_{ref\ exigée\ par\ la\ conduite}$$

IV.1.4.5- Régulation de la vitesse de rotation

Dans notre système, il est conseillé d'adapter cette méthode car c'est la plus utilisée pour modifier le débit.

Dans ce cas de régulation on définira le nouveau coefficient (a_1) de la pompe pour avoir des charges refoulées par les stations qui coïncident avec les pressions exigées en modifiant la vitesse de rotation des pompes.

Pour commencer il faut d'abord déterminer la valeur de H'_{st} qu'il faut exiger pour laquelle :

$$H_{ref} = H_{pb} + H_{al} + H'_{st}$$

Le tableau suivant récapitulera les résultats du calcul avec la formule suivante (IV.9.1) :

Paramètres	Symbole et unité	Tronçons entre stations de pompage			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Charge sommaire des pp	$\sum H_{pp}'$ (m)	708,294	608,2013	684,4097	672,336
Charge unitaire de pp	H_{pp}' (m)	230,0982	607,972407	228,1366	224,1120
Vitesse de rotation nominale	n_1 (tour/min)	2950	3760	2950	3560
Vitesse de rotation réduite	n_2 (tour/min)	2802,6956	2858,9395	2712,9235	3140,52
Coefficients	a_1	267,4514	675,7739	265,3353	773,47
Nouvelle charge de la pompe	H_{pp}'' (m)	236,098	608,2013	228,2084	672,3360
Nouvelle charge de la station	H_{st}'' (m)	708,294	608,2013	684,6252	672,3360
Charge de refoulement disponible	H_{ref-st}' (m)	763 ,2865	732,5145	771,6037	759,3145

Tableau V.12: Régulation de la vitesse de rotation des pompes

Après avoir déterminé les nouvelles vitesses de rotation des pompes principales au niveau des stations de pompage on a obtenu les résultats qui correspondent à la charge de refoulement exigé :

$$H_{ref-st}' = H_{ref} \text{ exigé}$$

IV.1.4.6- Nouveau point de fonctionnement après régulation

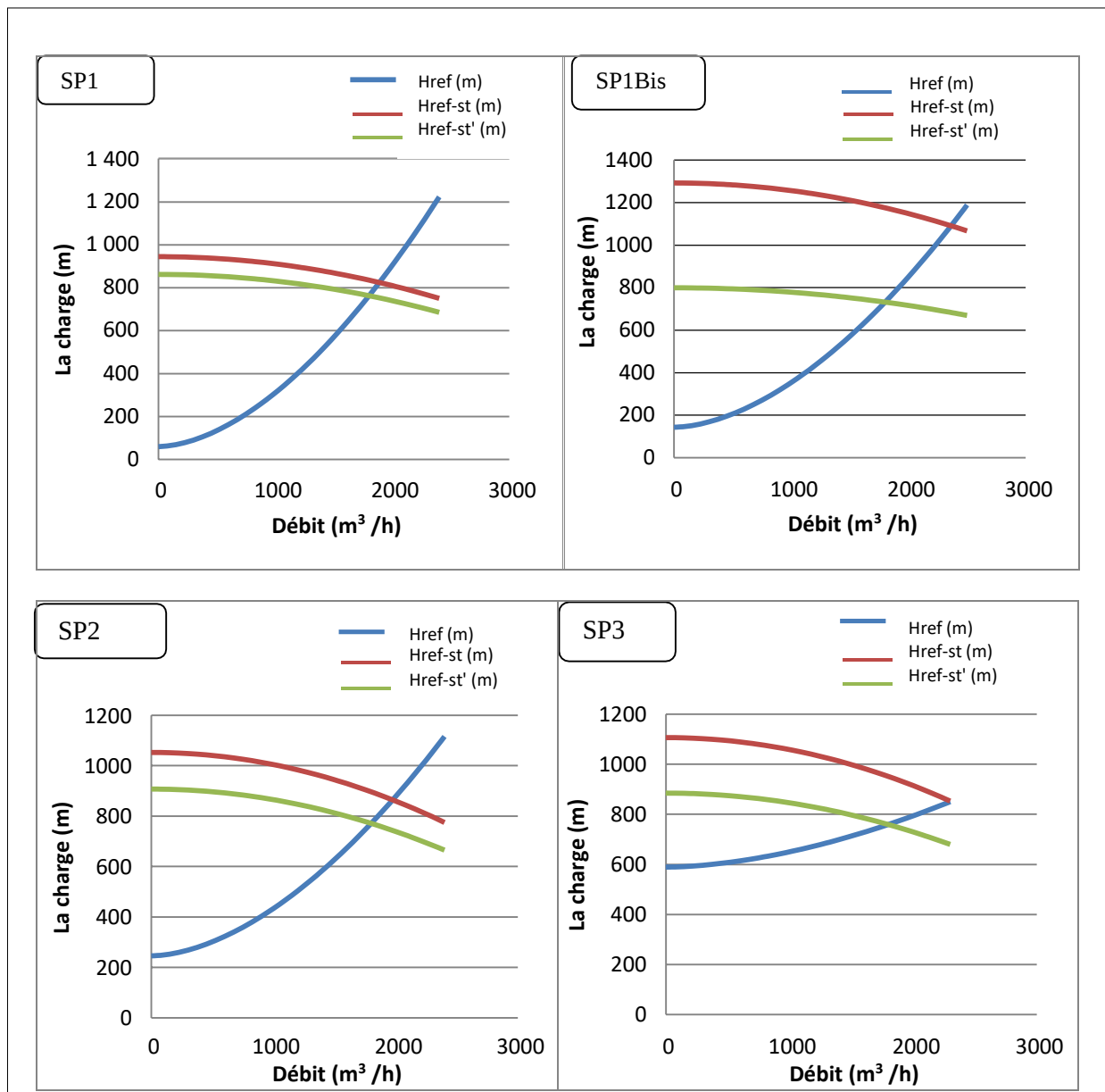


Figure V.11 : Représentation graphique du nouveau point de fonctionnement

V.1.5- Rendement et puissance

V.1.5.1- Calcul

On termine notre calcul dans cette partie par les résultats du régime de fonctionnement des stations mentionnés dans le tableau :

Paramètres	Symboles et unités	Formule	Les stations de pompages			
			SP1-SP1BIS	SP1BIS-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Débit nominal	Q_{nom} (m ³ /s)	/	2080	2200	2170	600
Rendement max	η_{max}	/	86	82,5	85,5	79,7
Rendement de pompe	η_p	(IV.7.6)	0,8532	0,8202	0,8468	0,6738
Puissance absorbé par pompe	P_a (KWatt)	(IV.7.7.1)	1108,996	2983,1688	1084 ,190 1	1337,8317
Puissance exigé par le moteur ou la turbine	P_m (KWatt)	(IV.7.7.2)	1131,629	3044,0498	1106,316 4	1365 ,134
Puissance max de moteur ou turbine	$P_m max$ (KWatt)	/	7360	9869,926	1480,488 3	1579,1874

Tableau V.13: Calcul de rendement et puissance de la pompe

V.1.5.2- Interprétation des résultats

- Pour les stations de SP1, SP2 et SP3 la puissance du moteur qui correspond au débit désirer (1800 m³/h) est inférieure à la puissance disponible maximale de ce dernier.
- De même pour le cas de la turbine pour la station SP1Bis, sa puissance est inférieure à la puissance disponible maximale.

V.2- SP3-TMB

Sur le tronçon SP3-TMB nous avons deux types d'écoulement forcé jusqu'au col de Selatna ensuite gravitaire jusqu'à TMB, pour cette partie entre le col de Selatna et TMB le calcul sera consacré à la détermination de la pente hydraulique et du point de contrôle :

V.2.1- Données des calculs

Paramètres	Symbole et unité	Selatna-TMB
Diamètre extérieur	D_{ext} (mm)	558,8
La longueur	L_T (m)	126749,07
Différence d'altitude	ΔZ (m)	-1026,502
Viscosité	ν (m ² /s)	0,000003
Masse volumique	ρ (kg/m ³)	820
Rugosité	e (mm)	0,045
Pression d'aspiration	P_{asp} (bar)	1

Tableau V.14 : Données de base de la section (Selatna-TMB)**V.2.2- Régime de fonctionnement**

On déterminera le régime pour le même débit 1800 (m³/h).

En suivant la même procédure de calcul que précédemment, les résultats sont mentionnés ci-dessous :

Paramètres	Symbole et unités	Formule	Selatna- TMB
L'épaisseur moyenne	δ_{moy} (mm)	(IV. 1 .1.1)	7,9329
Diamètre intérieur moyen	D_{int} (mm)	(IV. 1 .1.2)	542,9341
La vitesse moyenne	ω_{moy} (m/s)	(III.3.1.c)	2,1612
La rugosité relative	ϵ	(IV.3.3.a)	0,0001658
Le rynolds	Re	(IV. 3.2)	391136,61
Le rynolds critique 1	Re_{crI}	(IV.3.3.b)	1244783,0676
Le rynolds critique 2	Re_{crII}	(IV.3.3.c)	21230418,7981
Le régime	/	/	Tube lisse
Coefficient de perte de charge	λ	Formule de Blasius	0,01265

Tableau V.15 : Détermination du régime de fonctionnement (Selatna-TMB)

V.2.3- Point de contrôle

Le point de control doit être déterminé graphiquement :

Il faut tracer des lignes parallèles à la pente ' i ' qu'on doit calculer en utilisant la formule (IV.4.1) à partir du point d'arrivée (TMB) jusqu'à l'intersection avec le profil et on fera de même à partir de chaque sommet, le dernier sommet à partir duquel la pente hydraulique ne croise plus le profil en long alors ce sommet constituera une point de contrôle sur le profil:

Paramètres	Symbole et unité	Résultat
La pente hydraulique	i	0,005656

Tableau V.16 : Calcul de pente i (Selatna-TMB)

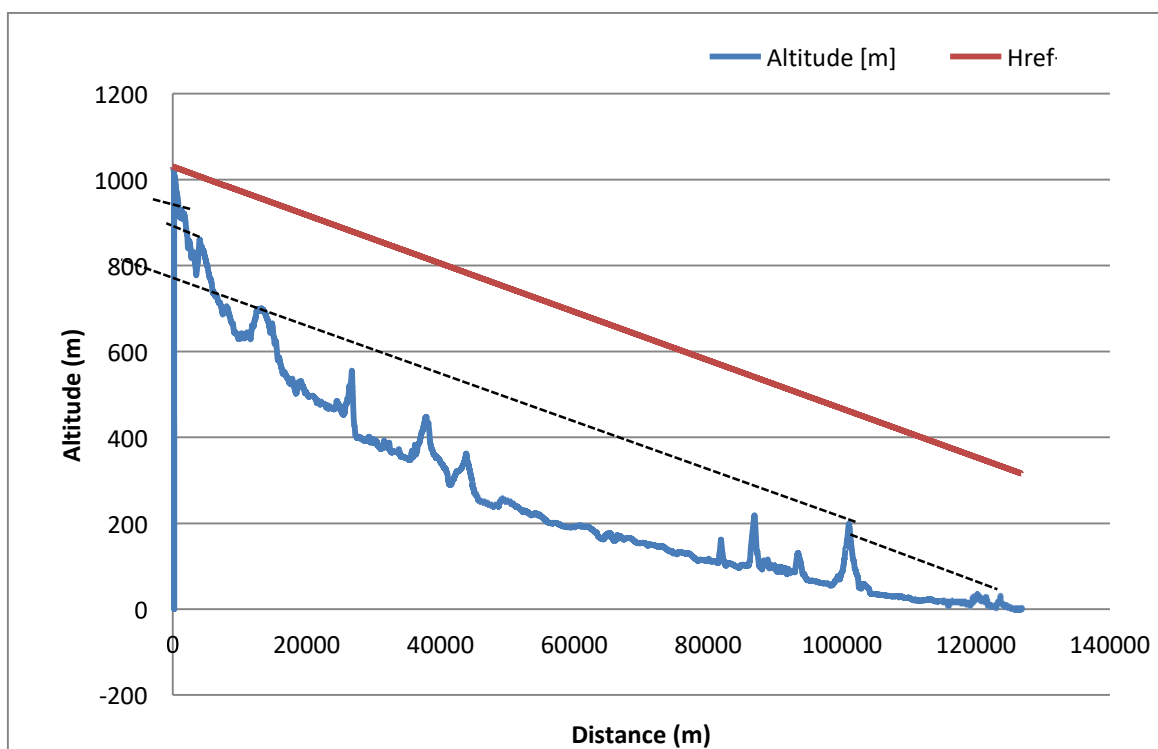


Figure V.12 : Détermination du point de contrôle de la section Selatna-TMB

V.2.4- Interprétation des résultats

On constate qu'effectivement, il existe un point de control dans cette partie de la ligne qui est situé au PK : 542 519,73m d'une altitude de : 1029,831m, et de ce point l'écoulement sera gravitaire jusqu'au terminal.

Chapitre VI

Modèle d'évaluation de la périodicité optimale de nettoyage

Introduction

Le nettoyage périodique des canalisations d'hydrocarbures est une action fondamentale des techniques modernes de maintenance des pipelines.

Ce pendant l'envoi d'un outil ne doit jamais être considéré comme une opération de routine, donc le décideur doit d'abord considérer objectivement :

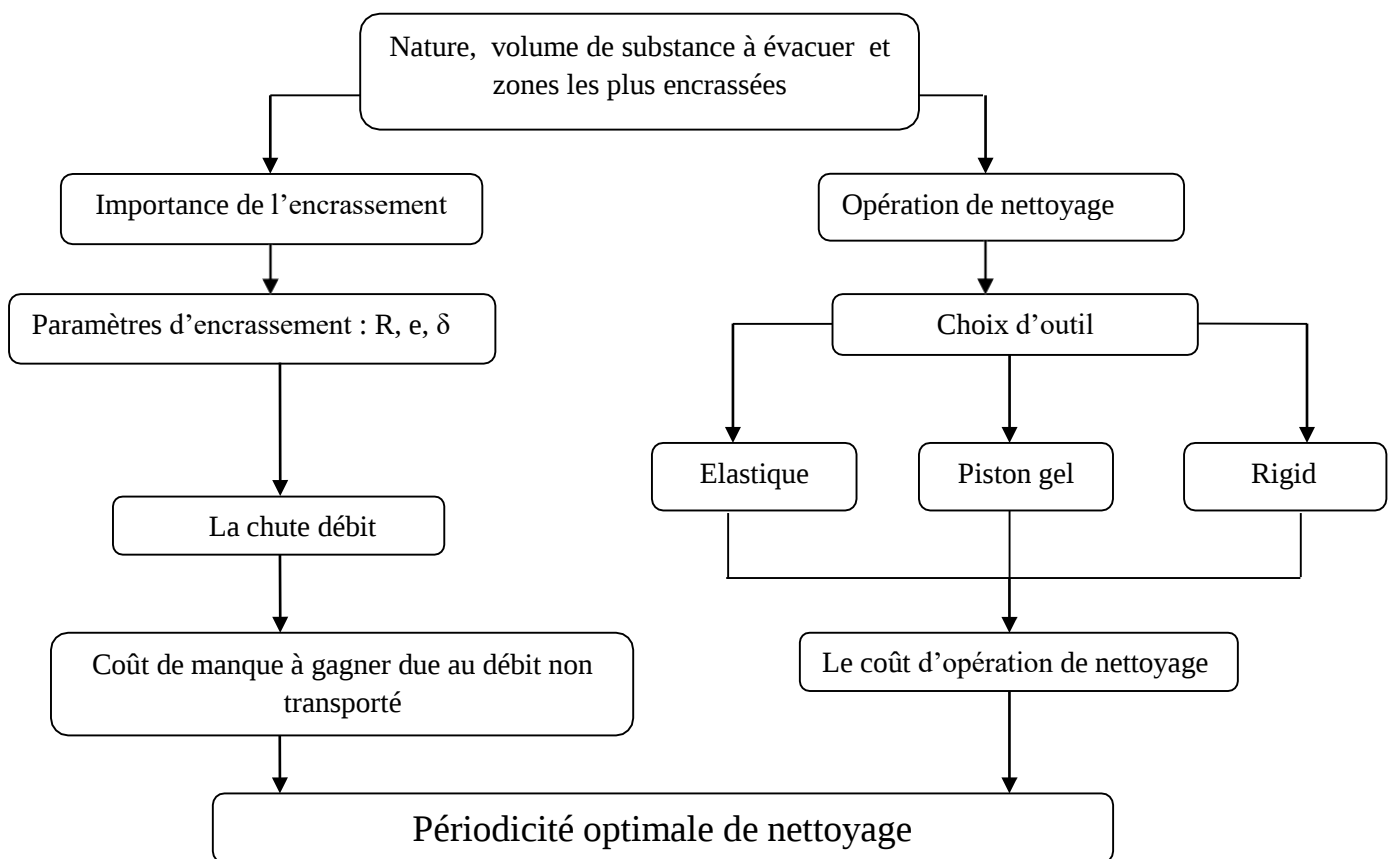
- Si l'état de la conduite nécessite impérativement l'envoi d'outil.
- L'impact économique d'une telle opération.
- Le coût de nettoyage correspond au coût du manque à gagner

VI.1- Objectif de l'étude :

Notre étude consiste à optimiser la périodicité de nettoyage d'OB1 qui consiste à déterminer le moment le plus adéquat pour procéder à cette opération. Cette période est le moment où les coûts des manques à gagner provoqués par la chute de débit due aux phénomènes d'encrassement coïncident avec les coûts d'une opération de nettoyage.

VI.2- Organigramme d'optimisation de la périodicité :

Pour pouvoir réaliser notre objectif on suivra la démarche présentée dans l'organigramme ci-dessous :



Organigramme VI.2 : Optimisation de la périodicité.

VI.3- Encrassement d'un oléoduc**VI.3.1- Paramètres caractéristiques de l'encrassement**

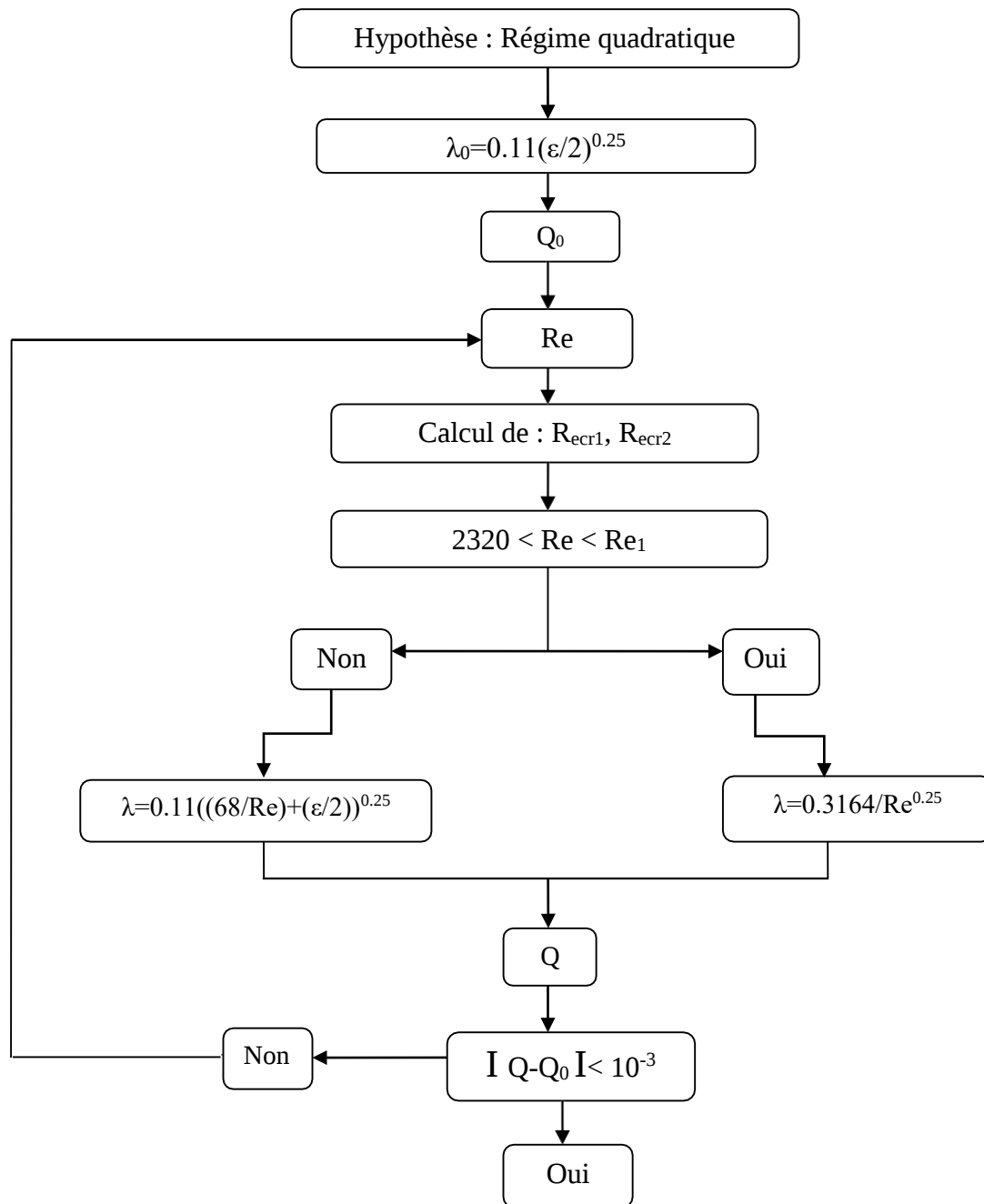
L'encrassement d'un pipeline entraîne avec le temps une altération de la performance hydrodynamique de la conduite caractérisé principalement par une chute de débit et une diminution de la productivité de la ligne. L'encrassement d'un pipeline dépend principalement de la nature du produit transporté, elle peut se matérialiser en fonction du type de substance présente dans le pétrole sous forme de dépôts mous ou solides sur la paroi interne de la conduite affectant des longueurs plus ou moins importantes en fonction des conditions d'exploitation en terme de pression, température, tel que les dépôts de paraffine, asphaltène, les sels qui accentuent les pertes de charge répartie ou linéaire, dans notre travail l'influence de ce type d'encrassement sera caractérisé par une diminution de la section de passage (diminution du diamètre intérieur) et une augmentation de la rugosité. Pour ce qui concerne les dépôts dans les points bas de la conduite ils seront d'autant plus importants que le profil est accidenté ces lieux sont des zones favorables pour les accumulations eaux et « des particules de tous genres poussières, débris de corrosion etc... » Réduisant localement la section de passage entraînant une augmentation des pertes de charge locale, dans cette étude ce type de dépôt sera considéré comme des singularités entraînant une augmentation des pertes de charge singulières. Par conséquent, Les paramètres essentiels caractérisant l'importance de l'encrassement est son impact sur la productivité de la ligne sont :

- La longueur encrassée accentuant les pertes de charge répartie.
- L'épaisseur des dépôts sur la paroi diminuant la section de passage et augmente par la même occasion les pertes de charge linéaires.
- La rugosité vue que la surface des dépôts est irrégulière pouvant entraîner également une élévation des pertes de charge longitudinale.
- Résistance aux points bas accentuant les pertes de charge locale R.

VI.3.2- Analyse hydraulique et évaluation de la baisse de débit engendré par l'encrassement

Dans le but de l'évaluation de l'impact de l'encrassement sur la chute de débit on adoptera les formules citées dans le chapitre IV, en suivant l'organigramme ci-dessous :

VI.3.2.1- Organigramme de calcul du débit en présence d'un pipeline encrassé.



Organigramme VI.3.2.1: Détermination du débit correspondant à un pipeline encrassé

VI.3.2.2- Formule du débit

Pour le calcul du débit on utilisera la formule suivante :

$$H_{ref} = H_{ref\ station}$$

Donc :

$$Q_2 = \sqrt{\frac{H_{ref-st} - H_{asp} - \Delta Z}{\frac{8((R_1 * L_1 * \lambda_1) + (R_2 * L_2 * \lambda_2))}{\pi^2 * D_{int2}^5 * g}}} \quad (VI.3.2.2)$$

Avec :

Q₂ : Le débit avec conduite encrassé en (m³/s).

H_{ref-st}, H_{asp} : Représente respectivement la charge refoulement station, d'aspiration en (m).

ΔZ : Altitude en (m).

R₁, R₂ : Sont respectivement, résistances locales tenant compte uniquement des singularités sur le tronçon 1, et les résistances locales tenant des singularités et des dépôts d'eaux et débris dans les points bas sur le tronçon 2.

λ₁, λ₂ : Respectivement coefficient de perte de charge pour le tronçon non affecté et affecté par l'encrassement.

L₁ : La longueur non encrassée en (m).

L₂ : La longueur encrassée en (m)

D_{int2} : Diamètre intérieur tenant compte de la réduction de la section de passage due à l'encrassement de la conduite en (m)

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

Remarque

La procédure de calcul permettra de définir le nouveau débit de l'oléoduc en tenant compte de l'encrassement et de déduire par la même le niveau de réduction de la capacité de transit tout en établissant le nouveau régime de fonctionnement des stations de pompage.

VI.3.3- Détermination du débit non transporté

C'est la différence entre le débit transporté avant et après encrassement, exprimant la capacité non transporté, donné par cette formule :

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (VI.3.3)$$

ΔQ : Débit non transporté en (m³/h).

Q₁ : Le débit initial du pipeline en (m³/h).

Q₂ : Le débit transporté avec conduite encrassée en (m³/h)

VI.3.4- Coût du manque à gagner

Le prix du pétrole est exprimé en \$/baril donc il faudra convertir le volume non transporté du m³ en baril pour pouvoir déterminer le manque à gagner :

$$C_m = \Delta Q * P_b \quad (\text{VI.3.4})$$

C_m : Le coût total du manque à gagner en (\$).

P_b : Prix de baril de pétrole en (\$).

VI.4- Opération de nettoyage**VI.4.1- Choix de l'outil**

La nature et le volume des substances à évacuer et la localisation des zones encrassées sont autant de paramètres servant au choix de l'outil le plus adéquat.

Les outils de nettoyage se différencient principalement par la nature de leur matériau, leur fonction, leur forme ainsi que leur conception on distingue alors:

VI.4.1.1- Outil rigide et piston élastique

Ils se caractérisent par plusieurs paramètres qu'on doit définir :

VI.4.1.1.a- Le coefficient de design (K_d)

Exprime le rapport entre le diamètre d'outil et celui de la conduite :

$$K_d > 0.95 \quad (\text{VI.4.1.1.a})$$

Avec :

VI.4.1.1.b- Le coefficient de glissé (C_d)

Dans le cas où nous modélisons le racleur comme une capsule on utilise l'équation de (Kosugi) suivante :

$$C_d = \frac{4 * K_d^4}{(1 - K_d^2)^2} \quad (\text{VI.4.1.1.b})$$

VI.4.1.1.c- La surface de conduite (A)

Est représentée par la formule qui suit :

$$A = \pi * \left(\left(\frac{D_{int}}{2} \right)^2 \right) \quad (\text{VI.4.1.1.c})$$

D_{int} : Diamètre intérieur de la conduite en (m).

A : Section interne de la conduite en (m²).

VI.4.1.1.d- La force de trainée (F_d)

C'est une force créée par le flux de déplacement exprimée en newton par cette formule :

$$F_d = A * C_d \quad (\text{VI.4.1.1.d})$$

VI.4.1.1.e- La force de frottement (F_f)

Exprime le frottement causé par le contact entre le racleur et la paroi interne du pipeline. Cette force est égale en grandeur à F_d mais opposée en direction.

$$F_f = F_d \quad (\text{VI.4.1.1.e})$$

VI.4.1.1.f- La force radiale (N)

La somme totale (scalaire) de la force normale du racleur exercée sur la conduite dans la direction radiale.

$$N = \frac{F_d}{\eta} \quad (\text{VI.4.1.1.f})$$

η : Coefficient de frottement.

N : Force axiale en (N).

VI.4.1.1.g- Différence de vitesse (V_d)

C'est la différence entre la vitesse d'écoulement et la vitesse de déplacement de l'outil :

$$V_d = \sqrt{\frac{2 * N * \eta}{C_d * \rho * A}} \quad (\text{VI.4.1.1.g})$$

ρ : La masse volumique en (Kg/m^3).

V_d : Différence de vitesse en (m/s).

VI.4.1.1.h- Vitesse de déplacement d'outil (V_p)

Cette vitesse est inférieure à celle d'écoulement et cette différence est exprimée en (m/s) par :

$$V_p = V - V_d \quad (\text{VI.4.1.1.h})$$

V : Vitesse d'écoulement (m/s).

VI.4.1.1.i- Différence de pressions nécessaire au déplacement de l'outil

C'est la différence de pression nécessaire pour assurer son déplacement :

$$\Delta P = \frac{(C_d \times \rho \times V^2)}{2} \quad (VI.4.1.1.i)$$

ΔP : différence de pressions en (N/m²).

VI.4.1.2- Outil de type sphère

Pour éviter un phénomène d'usure important, et pour assurer une bonne efficacité de nettoyage il faut définir le diamètre de la sphère après le gonflage par cette formule :

$$D_s = \beta * \frac{\sum_{i=1}^n D_{int} * L_i}{L_T} \quad (VI.4.1.2)$$

D_s : Diamètre de la sphère en (mm).

$\beta = 1.03$ à 1.07 , suivant l'expérience acquise.

D_{int} : Diamètre intérieur du tronçon i (mm).

L_i : Longueur de tronçon i en (m).

L_T : Longueur totale à nettoyer en (m).

VI.4.1.2.a- Surface de contact de la sphère

L'efficacité du nettoyage dépend en grande partie de la surface de contact entre la sphère et la paroi interne de la conduite, et cette dernière dépend également l'importance du phénomène d'usure ainsi que la vitesse de déplacement de l'outil et les pertes de charge. La surface de contact dépend de diamètre de la sphère après gonflage D_s .

Dans ce contexte, il est possible d'utiliser les relations suivantes:

$$\text{Si } D_s < 1.05 D_{int} : \quad S_c = 0.94 \sqrt{D_s(D_s - D_{int})} \quad (VI.4.1.2.a1)$$

$$\text{Si } D_s \geq 1.05 D_{int} : \quad S_c = D_s \frac{2 - (1 - \sqrt{1 - \xi^2})(\xi^2 - \sqrt{1 - \xi^2})}{4.5\xi} \quad (VI.4.1.2.a2)$$

$$\xi = D / D_s \quad (VI.4.1.2.a3)$$

S_c : surface de contact en (m²).

D_s : Diamètre de la sphère après gonflage en (m).

D_{int} : Diamètre interne du conduit en (m).

VI.4.1.2.b- Chute de pression nécessaire au déplacement de la sphère

La chute de pression pour maintenir le mouvement de la sphère dans la conduite dépend du diamètre d'outil après gonflage, de diamètre de la conduite (en fin de compte de la surface de contact sphère-paroi) ainsi que de l'état de surface. On recommande la relation suivante pour déterminer ce paramètre:

$$H_p = K \frac{S_c}{D_{int}} \quad (\text{VI.4.1.2.b})$$

Avec :

S_c : surface de contact sphère-paroi en (m²).

D_{int} : diamètre intérieur de la conduite (m).

Pour les oléoducs de, diamètre supérieur ou égale à 500mm :

$$k=4.60 \quad (\text{VI.4.1.2.b}_1)$$

Dans le cas général (pour tout diamètre):

$$k = (11.7 D_i) - (6.18 D_i^2) - 0.36 \quad (\text{VI.3.1.2.b}_2)$$

VI.4.1.2.c- Vitesse de déplacement de la sphère

La vitesse de déplacement de la sphère dans le liquide à l'intérieur d'une conduite peut être déterminée par cette relation :

$$V_s = \frac{(0.008 * Q_2)}{D_{ext}^2} * 0.44704 \quad (\text{VI.2.4})$$

V_s : Vitesse de déplacement (m/s).

Q₂ : Débit avec une conduite encrassée en (barils/jour).

D_{ext} : Diamètre extérieur en pouce.

VI.4.2- Opération d'envoi de l'outil

VI.4.2.1- Baisse de débit due à l'envoi de l'outil

La chute de débit causé par l'envoi d'outil, engendre une différence par rapport au débit avant son introduction dans la conduite donné par cette formule :

$$\Delta Q' = Q_1 - Q_2' \quad (\text{VI.4.2.1})$$

Avec :

ΔQ' : différence de débit en (m³/h).

Q₁ : Le débit avant l'envoi d'outil en (m³/h).

Q₂' : Le débit après l'envoi d'outil en (m³/h).

VI.4.2.2- Le temps de transit d'outil (t)

Exprime la durée nécessaire pour que l'outil travers la longueur de la conduite en (S) par la formule suivante

$$t = \frac{L_T}{V_d} \quad (\text{VI.4.2.2})$$

Avec :

L_T : La longueur totale du tronçon à nettoyer en (m).

VI.4.2.3- La quantité non transporté (Q_n)

La quantité non transporté est obtenue en déterminant le débit non transporté due à la perte de charge supplémentaire induite par le déplacement de l'outil pendant toute la durée de transit dans la conduite.

$$Q_n = \Delta Q' * t \quad (\text{VI.4.2.3})$$

Avec :

$\Delta Q'$: La différence de débit causé par l'envoi d'outil en (m^3/h).

Q_n : la quantité non transporté en (m^3).

VI.4.2.4- Le coût du manque à gagner due à la quantité non transportée

Ce coût s'exprime par la formule suivante :

$$C_1 = Q_n * P_r \quad (\text{VI.4.2.4})$$

Avec :

C_1 : Coût du manque à gagner due la quantité non transporté en (\$).

Q_n : La quantité non transportée convertie en (baril).

P_b : Prix du baril de pétrole en (\$/baril).

VI.4.2.5- Risque de blocage de l'outil de nettoyage

L'outil de nettoyage n'est pas à l'abri d'un blocage à l'intérieur de la conduite au cours de son déplacement qui peut être due à plusieurs facteurs, à un encrassement important aux obstacles qu'il peut rencontrer sur son parcours (coude, vanne incomplètement ouverte, té), mais ce risque dépend également du type d'outil de nettoyage.

VI.4.2.5.a- Quantité non transportée due à un blocage de l'outil

Le blocage de l'outil peut engendrer un arrêt de ligne jusqu'à ce qu'il soit retrouvé et récupérer. Ce qui se traduit par des quantités non livrées pendant toute cette durée, ce qui engendre un manque à gagner supplémentaire provoqué par cette situation.

On peut déterminer cette quantité non livrée par la formule suivante :

$$Q_p = Q_2' * t_b \quad (\text{VI.4.2.5.a})$$

Avec :

Q_p : Quantité non livrée pendant la durée de blocage (m³)

Q₂' : Débit du pipeline avec envoi de l'outil en (m³/h).

t_b : La durée de récupération d'outil en (h).

VI.4.3.5.b- Coût du risque de blocage

Le coût d'un risque de blocage peut être évalué par l'expression suivante :

$$C_2 = Q_p * P_b * \gamma_l \quad (\text{VI.4.3.5.b})$$

C₂ : Coût due au blocage d'outil en (\$).

γ_l : probabilité d'un blocage de l'outil.

VI.4.2.6- Le nombre minimal de passage d'outil

Le nombre de passage peut être hautement variable et dépendra de l'état d'encrassement de la conduite, une canalisation propre n'aura à être raclée qu'une fois la confirmation de son état d'encrassement par les paramètres de fonctionnement par contre une conduite transportant un fluide ayant une forte charge d'éléments favorisant les dépôts pourrait exiger des douzaines de passages et même plus pour être entièrement propre.

VI.4.3- Coût d'une opération de nettoyage(C_n)

Le coût d'une opération de nettoyage est un coût composé englobant plusieurs volets principalement le coût logistique et le coût de l'opération d'envoi de l'outil.

Coût de nettoyage (C _n)	=	Le coût d'envoi d'outil
		+
		Le coût de logistique

VI.4.3.1- Coût l'opération d'envoi de l'outil (C_e)

Représente l'ensemble des coûts du aux manques à gagner provoqué par la différence de pression nécessaire au déplacement de l'outil entraînant une baisse de capacité de transport associé au le coût due au risque de blocage se traduisant par un arrêt de la ligne.

VI.4.3.2- Coûts logistiques (C_l)**VI.4.3.2.a- Coût des Moyens humains**

- Responsable de l'opération de nettoyage.
- Agent de sécurité.
- Mécaniciens.
- Grutier.
- Chauffeur pour camion.
- Electricien.
- Manœuvres.

VI.4.3.2.b- Moyens matériels

- Véhicules tout terrain avec moyens de communication.
- Grue par station.
- Camion plateau pour le transport du matériel (racleurs... etc.)
- Joints de culasse gare racleur.
- Outil

VI.5- Optimisation de la périodicité de nettoyage

La périodicité de nettoyage d'une conduite dépend principalement de la capacité de la canalisation à former des dépôts que ce soit sur la paroi interne qu'aux niveaux des points bas en fonction de la nature des substances contenues dans le produit. Un nettoyage fréquent avec une périodicité coûte sur un pipeline s'encrassant faiblement et n'altérant pas les performances hydrodynamiques de la ligne ne produisant qu'un manque à gagner minime devant le coût d'une opération de nettoyage, dans de telles conditions une opération d'envoi de l'outil ne sera pas justifier. Par contre sur une de s'encrasser rapidement ou les performances hydrodynamiques de la ligne seront rapidement altérées avec une périodicité de nettoyage longue entrainera un coût des manques à gagner important devant le coût de nettoyage. Dans ces conditions, la tâche qui incombe à l'opérateur est de déterminer la période optimal ou l'opération de nettoyage sera la plus adéquate.

Comme illustré dans le graphe la périodicité optimale est obtenue par le point d'intersection du coût d'une opération de nettoyage et le coût des manques à gagner

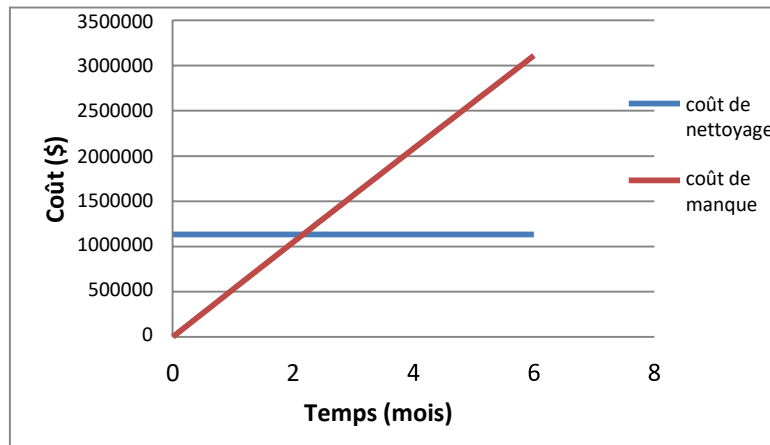


Figure VI.1: Définition graphique de la périodicité de nettoyage.

Comme on le voit bien dans le graphe, le coût de nettoyage est une valeur constante, par contre le coût des manques à gagner évolue linéairement avec le temps avec l'évolution des paramètres d'encrassement, donc pour déterminer analytiquement la périodicité optimale on calcule d'abord la pente " i " comme suit :

$$i = \frac{C_{m2} - C_{m1}}{(t_2 - t_1)} \quad (\text{VI.5.2.a})$$

Avec :

i : Pente d'évolution du coût des manques à gagner.

C_{m1} , C_{m2} : Coûts de manques à gagner respectivement pour le premier et le deuxième mois en (\$).

$t_2 - t_1$: Exprime la période en (mois).

L'évolution du coût des manques à gagner en fonction du temps est obtenue par l'expression suivante

$$C_m = i * T \quad (\text{VI.5.2.b})$$

La périodicité optimale est atteinte lorsque le coût des manques à gagner croise le coût de l'opération de nettoyage :

$$C_m = C_n \quad (\text{VI.5.2.c})$$

$$T = \frac{C_n}{i} \quad (\text{VI.5.2.d})$$

T :Périodicité optimale de nettoyage (mois).

C_n : Coût de l'opération de nettoyage (\$).

Chapitre VII

Simulation du phénomène d'encrassement dans l'OB1

Introduction

Dans cette partie du travail, nous allons mettre en application la méthode de calcul du coût des manques à gagner due à l'encrassement, dont la démarche a été présentée dans le chapitre précédent pour le tronçon de l'OB1 où l'écoulement est forcé entre SP1 et le col de Selatna. Cette étude sera menée pour une période de 6 mois en considérant un baril de pétrole vendu sur le marché à 100 \$.

VII.1- Nature de substance à évacuer

Pour déterminer la nature des substances susceptibles d'être évacuées il faut analyser les paramètres suivants :

VII.1.1- Caractéristiques du produit transporté

En général, les pétroles bruts diffèrent les uns des autres par leurs compositions chimiques après traitement, ces pétroles peuvent contenir une certaine teneur en eau, sel, soufre, azote, sédiment, paraffine etc...répondant à des spécifications de transport.

Dans notre cas la composition chimique de pétrole transporté par l'OB1 est la suivante :

Composition	Pourcentage %
Sel dissoute en eau	0.00275
Paraffine	Trace
Eau et sédiments	0.02
Souffre	0.0032

Tableau VII.1 : Composition chimique de brut

Pour certaines impuretés ou débris absents dans la composition chimique du pétrole au départ peuvent être produits à l'intérieur de la canalisation par des phénomènes divers tels que la corrosion qui peut être chimique ou bactérienne et l'érosion.

VII.1.2- Analyse de composition :

L'analyse de la composition chimique du pétrole permet d'émettre certaines hypothèses sur le type d'encrassement auquel le pipeline est exposé:

- La teneur en paraffine y est très faible et le profil de température élevé : ces conditions ne sont pas favorables pour des dépôts de paraffines(dépôts durs).
- Présence d'eau: possibilité d'accumulation de dépôts liquides dans les points bas.
- Présence d'autres impuretés : peut favoriser des dépôts peu durs.

- La présence d'eau avec imputés peuvent contribuer à la formation de dépôts de boue.

VII.2- Le volume d'effluents à évacuer

Les mécanismes favorisant les dépôts que ce soit liquide (dépôts d'eau) dans les points bas ou de dépôts mous ou durs sur la paroi interne de la conduite dépend pour beaucoup du régime d'écoulement.

D'après les résultats d'analyse de la composition chimique et le mode d'exploitation du pipeline on peut conclure que :

- Volume des dépôts de paraffine est négligeable.
- Volume des dépôts liquides peut être moyen.
- Volume des particules solides (débris, souffre...) faible.

VII.3- Hypothèse sur l'évolution du phénomène d'encrassement

VII.3.1- Evolution des paramètres d'encrassement

Pour simuler l'évolution des manques à gagner causée par le phénomène d'encrassement qui peut être du soit des dépôts sur la paroi de la conduite ou des dépôts dans les points bas, nous allons agir sur les paramètres suivant :

- Faire évoluer l'épaisseur des dépôts sur la paroi de 0.02 mm/mois
- Faire évoluer de la rugosité de 10 microns / mois

Ces deux points nous permettrons de simuler un dépôt sur la paroi de la conduite se traduisant par une réduction de la section de passage sur longueur donnée dans notre cas on estimera que la moitié du tronçon étudié est affecté par cette encrassement.

- Faire croître les résistances singulières de 0.15% pour simuler des dépôts d'eau ou débris dans les points bas.

VII.3.2- Calcul hydraulique et régime de fonctionnement du pipeline OB1 en tenant compte de l'encrassement

VII.3.2.1- Données prises en compte dans ce calcul

Les données permettant de tenir compte de l'encrassement sont présentées dans le tableau suivant :

Paramètres	Symboles et unités	Tronçons considérés			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
La longueur encrassée	L_2 (m)	94914,5	80512,291	72435,5	23393,375
Epaisseur de conduite	δ_2 (mm)	8,0605	7,3219	6,86006	7,0941
Diamètre intérieur	D_{int2} (mm)	593,4790	594,9562	595,8799	595,4117
Rugosité relative (* (10^{-4}))	ε_1 (mm)	3,5384	3,5296	3,5242	3,5270
Reynolds frontière 1	Re_{cr1}	1378717	1382638	1385090	1383847
Reynolds frontière 2	Re_{cr2}	23661639	23725973	23766204	23745813

Tableau VI.2 : Données du calcul hydraulique.

VII.3.2.2- Les résultats de calcul :

Dans les conditions considérées, nous allons déterminer le nouveau débit de transit par la méthode des approximations successives mentionnée dans l'organigramme (VI.3.2.1) ainsi que les paramètres de fonctionnement des stations de pompage. Dans le tableau suivant nous présentons un extrait du calcul itératif du régime de fonctionnement entre les stations SP1-SP1Bis

SP1-SP1Bis	Régime	$\lambda_1 \cdot (10^{-2})$	$\lambda_2 \cdot (10^{-2})$	Q_2 (m ³ /S)	Q_2 (m ³ /h)	Re
Hypothèse	Quadratique	1,0264	1,2686	0,5291	1904,6831	378397,6263
1 ^{ère} itération	Tube lisse	1,2757	1,2757	0,5019	1806,8718	358965,7428
2 ^{ème} itération	Tube lisse	1,2926	1,2926	0,4986	1795,0040	356607,9983
3 ^{ème} itération	Tube lisse	1,2948	1,2948	0,4982	1793,5260	356458,4630

Tableau VII.3: Nouveau débit entre SP1-SP1bis en tenant compte des conditions d'encrassement.

On effectue un calcul similaire pour les autres tronçons, les résultats obtenus au bout de 3 itérations sont les suivants :

Stations	Régime	$\lambda_1 \cdot (10^{-2})$	$\lambda_2 \cdot (10^{-2})$	Q_2 (m ³ /s)	Q_2 (m ³ /h)	Re
SP1Bis-SP2	Tube lisse	1,2565	1,2565	0,4982	1793,5333	355574,8375
SP2-SP3	Tube lisse	1,2960	1,2960	0,4982	1793,5379	355024,5678
SP3-Selatna	Tube lisse	1,2958	1,2958	0,4982	1793,5355	355303,2471

Tableau VII.4: Régime d'écoulement dans les différents tronçons.

VII.3.2.3- Interprétation :

On remarque que le nouveau débit tenant compte de l'encrassement est similaire pour tous les tronçons.

VII.3.2.4- Les pertes de charge totales

L'évolution d'encrassement au cours de la durée d'étude crée un changement sur les pertes de charge de la manière suivante :

Paramètres	Symbole et unité	Les stations de pompages			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Les pertes de charge totales	H_T (m)	700,7592	587,4544	524.6455	170.0699

Tableau VII.5 : Calcul des pertes de charge totales

VII.3.3- Définition du point de fonctionnement des stations de pompage

VII.3.3.1- Calcul de la charge de refoulement station

Pour la déterminer on suit le tableau suivant:

Paramètres	Symboles et unités	Les stations de pompages			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Charge pompes boosters	H_{pb} (m)	31,697	/	74,7365	74,7365
Charge pompes principale	$\sum H_{pp}$ (m)	713.7023	608.7158	685.4726	673.1057
La charge de refoulement station	$H_{ref\ station}$ (m)	764.0463	733.029	772.6403	760.2735

Tableau VII.6 : Calcul de la charge de refoulement station

VII.3.3.2- Interprétation :

Pour le débit obtenu, dans toutes les stations la charge $H_{\text{ref station}}$ est supérieure à la charge de refoulement exigée (utilisée pour obtenir le nouveau débit après encrassement exprimée dans le chapitre V) donc il est nécessaire d'effectuer une régulation en baissant la vitesse de rotation.

Le nouveau débit a créé une augmentation de la charge de refoulement de station (par rapport à celle de conduite propre) donc des dépenses supplémentaire.

VII.3.3.3-Détermination de la nouvelle charge de refoulement station

L'adaptation de la charge effectuée par la méthode de régulation de la vitesse de rotation des pompes, qui nous permet d'obtenir les résultats suivants :

Paramètres	Symbole et unité	Les stations de pompages			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
La vitesse de rotation	n (tour/min)	2810.4558	2857.7311	2711.3961	3139.5846
Coefficient a	/	268.9345	675.2028	264.9342	773.0093
Charge pompes principales	$\sum H_{pp}$ (m)	712.9426	608.2013	684.436	672.2569
Charge refoulement station	$H_{\text{ref station}}$ (m)	763.2865	732.5145	771.6037	759.3145

Tableau VII.7 : Calcul de la nouvelle charge de refoulement station

VII.3.3.4-Représentation graphique

On va comparer graphiquement le point de fonctionnement avant et après encrassement :

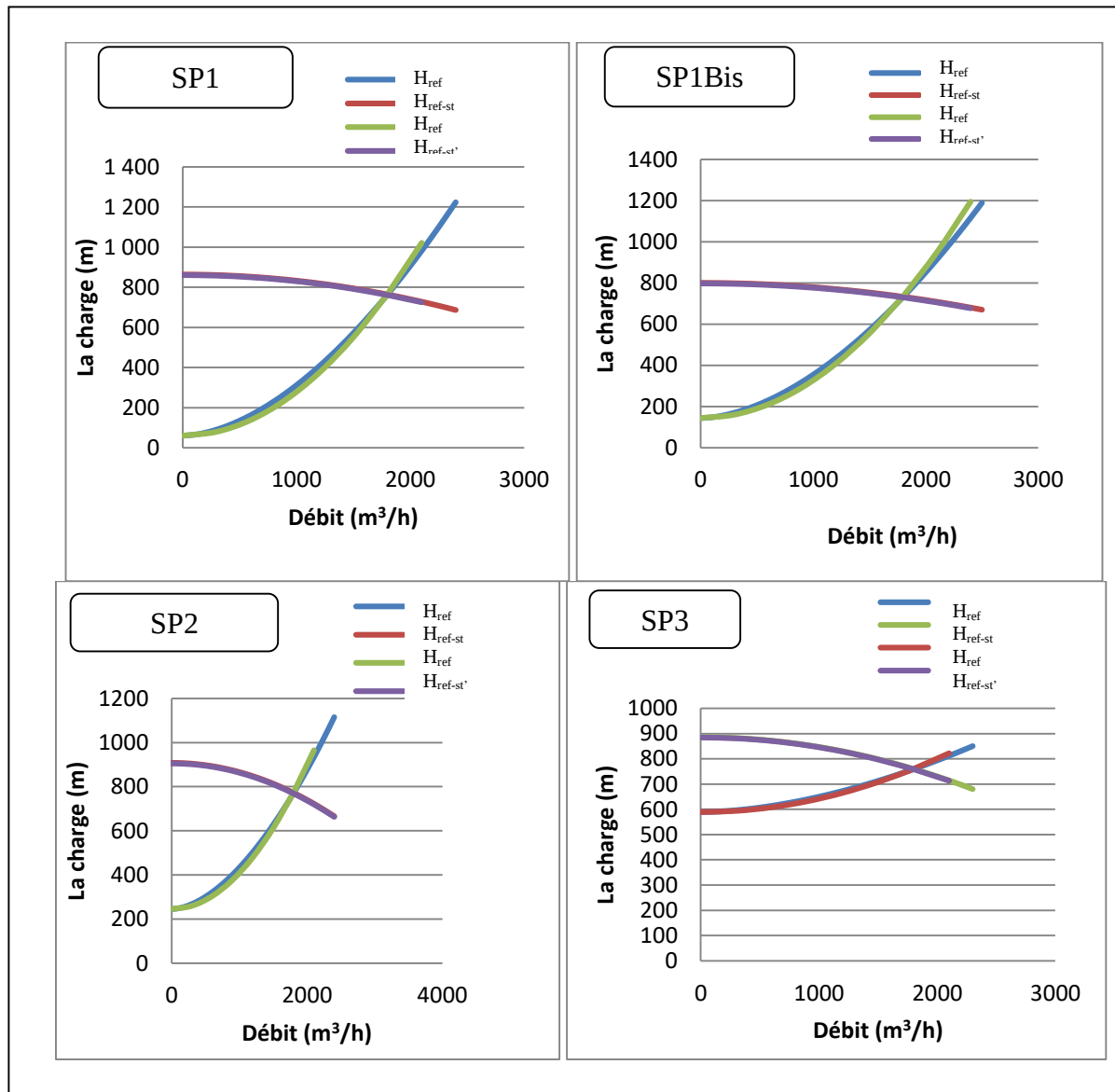


Figure VII.1 : présentation graphique du point de fonctionnement

VII 3.3.5-Interprétation :

Graphiquement, on n'a pas pu voir la déference de coefficient a.

VII.3.4- Caractéristiques de la pompe

VII.3.4.1- Détermination du rendement et de la puissance absorbée des pompes

En terminant notre calcul de régime de fonctionnement en tenant compte de l'encrassement par les calculs suivants :

Paramètres	Symbole et unité	Les stations de pompages			
		SP1	SP1Bis	SP2	SP3
Rendement	η_p	0,8522	0,8206	0,8408	0,6749
Puissance absorbée	$P_a(\text{Watt})$	1117,5142	2969,1359	1087,5239	428,38
Puissance exigée au moteur	$P_m(\text{KWatt})$	1140,3206	3029,7306	1109,5974	437,1276
Puissance max de moteur ou turbine	$P_m \text{ max}(\text{KWatt})$	7360	9869,926	1480,4883	1579,1874

Tableau VII.8 : Le nouveau rendement et puissance

VII.3.4.2- Interprétation :

La diminution de débit a créé une réduction de puissance qui reste toujours inférieure au seuil.

VII.3.5- Calcul des manques à gagner

VII.3.5.1- Calcul de coût

Le calcul précédent a été réalisé pour différents niveaux d'encrassement de manière à évaluer le niveau de réduction de débit et son impact sur le coût du manque à gagner estimé en dollars

SP1-SP1Bis				
Mois	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{h}$	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{mois}$	$\Delta Q \text{ barils/mois}$	Coût dollars
1	1,1619	836,5998	5262,2126	526221.2580
2	2,3160	1667,5281	10488,7515	1048875.1478
3	3,4640	2494,0766	15687,7417	1568774.1703
4	4,6070	3317,0692	20864,3653	2086437.5330
5	5,7459	4137,0653	26022,1407	2602214.0671
6	6,8812	4954,4629	31163,5718	3116357.1768

Tableau VII.9 : Calcul de l'évolution de coût du manque à gagner sur le 1^{er} tronçon.

SP1Bis- SP2				
Mois	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{h}$	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{mois}$	$\Delta Q \text{ barils/mois}$	Coût dollars
1	1,1611	835,9820	5258,3265	525832,6506
2	2,3143	1666,2931	10480,9837	1048098,3747
3	3,4614	2492,2252	15676,0967	1567609,6706
4	4,6036	3314,6021	20848,8474	2084884,7435
5	5,7416	4133,9832	26002,7542	2600275,4231
6	6,8761	4950,7665	31140,3211	3114032,1116

Tableau VII.10 : Calcul de l'évolution de coût du manque à gagner sur le 2^{ème} tronçon.

SP2-SP3				
Mois	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{h}$	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{mois}$	$\Delta Q \text{ barils/mois}$	Coût dollars
1	1,1606	835,5972	5255,9065	525590,6502
2	2,3132	1665,5241	10476,1465	1047614,6488
3	3,4598	2491,0723	15668,8449	1566884,4925
4	4,6015	3313,0658	20839,1839	2083918,3851
5	5,7390	4132,0638	25990,6816	2599068,1552
6	6,8729	4948,4646	31125,8420	3112584,2043

Tableau VII.11 : Calcul de l'évolution de coût du manque à gagner sur le 3^{ème} tronçon

SP3-Slatna				
Mois	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{h}$	$\Delta Q \text{ m}^3/\text{mois}$	$\Delta Q \text{ barils/mois}$	Coût dollars
1	1,1608	835,7921	5257,1321	525713
2	2,3138	1665,9136	10478,5963	1047860
3	3,4606	2491,6562	15672,5175	1567252
4	4,6026	3313,8439	20844,0779	2084408
5	5,7403	4133,0359	25996,7957	2599680
6	6,8745	4949,6303	31133,1748	3113317

Tableau VII.12 : Calcul de l'évolution de coût du manque à gagner sur le 4^{ème} tronçon.

VII.4.5.2-Représentation graphique du coût du manque à gagner

On représente l'évolution du coût du manque à gagner par ces graphes :

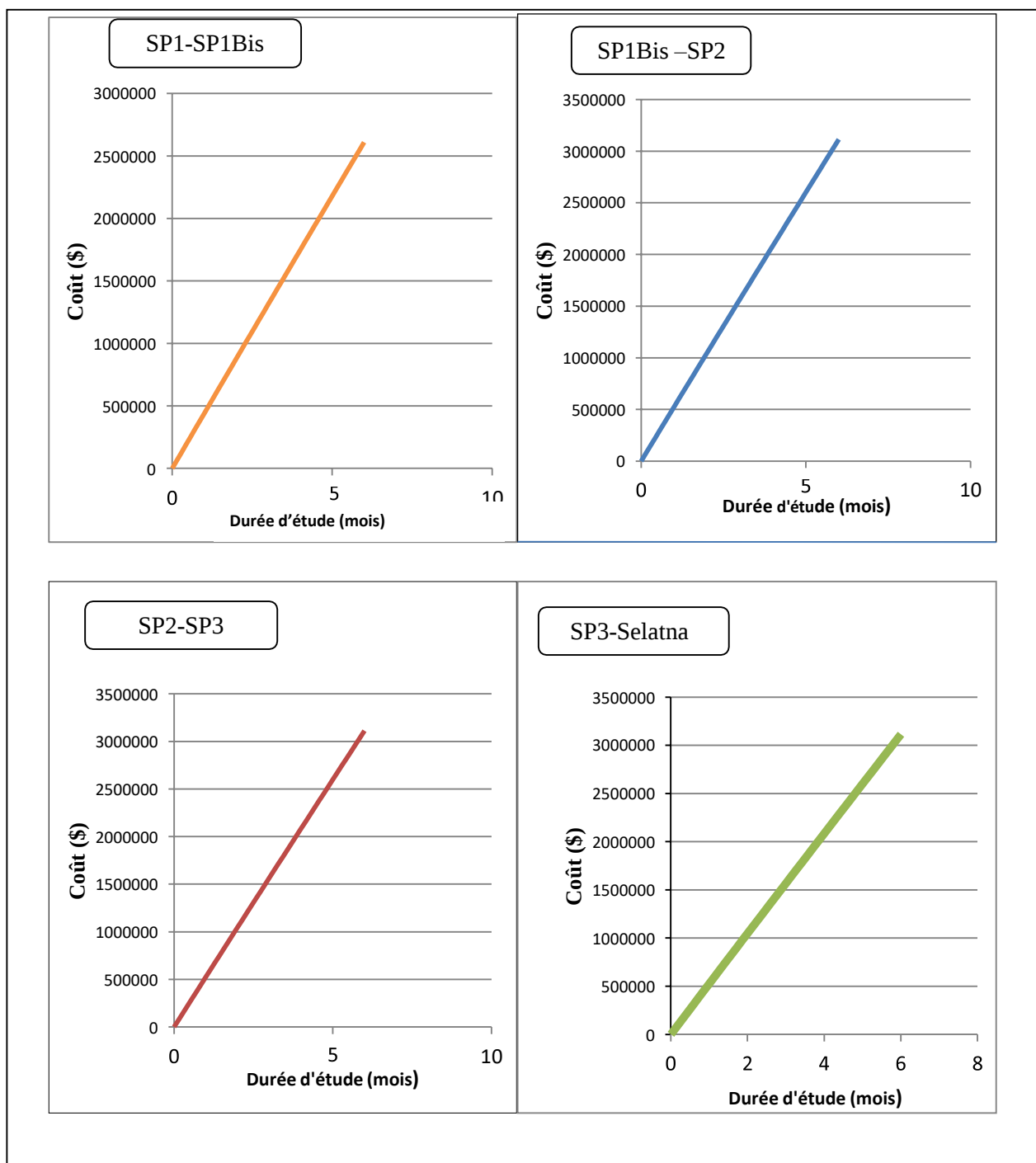


Figure VII.2 : Représentation d'évolution du coût

VII.4.6- Interprétation : L'analyse de l'évolution de l'encrassement durant une période de 6 mois, entraîne une augmentation de manque à gagner d'une moyenne de $823,5726 \text{ m}^3/\text{mois}$ (similaire pour toutes les stations) qui est suivit par un accroissement de coût du manque à gagner de 519 milles dollars par mois.

Chapitre VIII

Choix de l'outil de nettoyage adéquat

Introduction

La détermination de la périodicité optimale de nettoyage ne dépend pas uniquement de l'encrassement de la ligne mais également du choix du type d'outil utilisé. Nous allons dans cette partie du travail analysé l'impact de choix de l'outil sur le coût d'opération de nettoyage. Dans cette analyse, nous adopterons la même procédure de calcul citée dans le chapitre VI, considérant que l'envoi d'outil sera réalisé après une période d'observation d'encrassement de six mois avec un prix du baril à 100 \$.

Nous admettrons également que l'outil accumule des dépôts lors de son déplacement le long de son parcours et que la zone la plus encrassée se situe en fin de tronçon

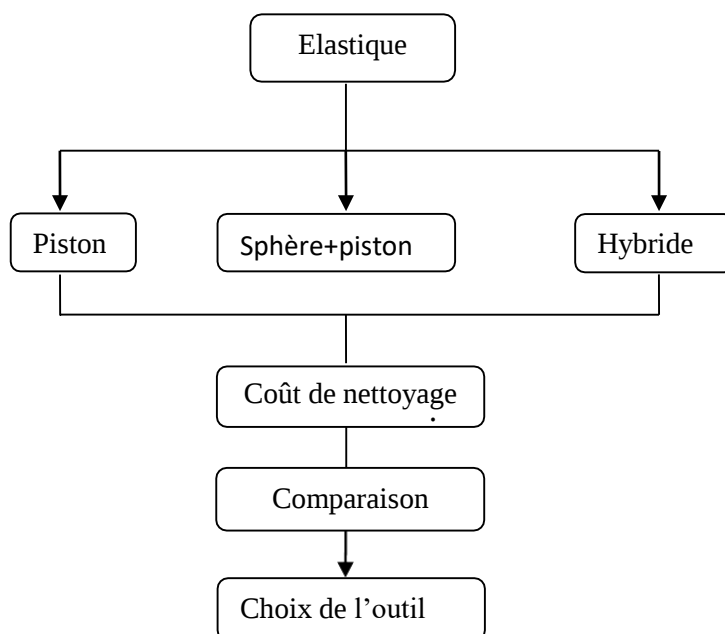
VIII.1- Choix d'outil

Après avoir déterminé la nature et le volume de substances à évacuer (chapitre VII) et déterminer la zone la plus encrassée, ces paramètres nous permettront d'avoir une idée sur le choix du type l'outil le mieux adapté pour l'opération de nettoyage.

La sélection de l'outil se fera alors selon les critères suivants :

- Absence de paraffine (dépôt dur) : élimination des outils rigides.
- Produit non chargé (peu de débris) : élimination des pistons gels.
- Présence des dépôts d'eau : utilisation des outils destinés pour l'évacuation des effluents liquides.
- Qu'il soit capable de parcourir de longues distances, en conservant ces performances à savoir son étanchéité le long du tronçon à traiter et d'évacuer les dépôts.

Suivant ces critères on conclue que les outils de nettoyage élastique sont les mieux adaptés pour la ligne d'OB1, mis à part les sphères qui ne sont pas destinées à l'évacuation des particules solides. La question qui se pose alors est : Quel est l'outil élastique qui permet d'obtenir la meilleure périodicité ? Pour répondre à cette question on considèrera l'organigramme suivant :



Organigramme VIII.1 : Détermination de l'outil adéquat

VIII.2- L'envoi d'un outil élastique sous forme de piston

VIII.2.1- Les caractéristiques d'outil

On peut déterminer les caractéristiques de l'outil suivant sa forme :

- Coefficient de frottement $p = 0.4$
- Coefficient de design $k_d = 0.94$

D'où le coefficient de glissé $C_d = 552,7296$ (d'après la formule (VI.4.1.1.b))

Les résultats de calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Formules	Symbole et unité	Tronçon traité			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Surface de conduite	(VI.4.1.1.c)	A (m ²)	0,2767	0,2780	0,2789	0.2785
La force de trainée	(VI.4.1.1.d)	F _d (N)	152,9481	153,7102	154,1877	153,9456
La force radiale	(VI.4.1.1.f)	N (N)	382,3704	384,2755	385.4692	384,8640
Différence de vitesses	(VI.4.1.1.g)	V _d (m ² /s)	0.0494	0,0493	0.0493	0.0494
Différence de pressions	(VI.4.1.1.i)	ΔP (bar)	0.0054	0.0053	0.0052	0.0050
Différence de charge pour le déplacement	Chapitre IV (IV.3.6)	H _p (m)	0. 0686	0.0685	0.0685	0. 0687

Tableau VIII.1 : La charge nécessaire au déplacement d'outil

VIII.2.2- Régime d'écoulement

Il faut déterminer à nouveau les paramètres du régime d'écoulement en tenant compte de la présence et du déplacement de l'outil dans la conduite. Pour cela on adoptera les étapes de l'organigramme (VI.3.2.1).

Paramètres	Symbole et unité	Tronçon traité			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Reynolds frontière1'	Recr1'	1378717	1382638	1358090	1383847
Reynolds frontière2'	Recr2'	23661639	23725973	23766204	23745813

Tableau VIII.2: Reynolds de frontières

SP1-SP1Bis	Régime	$\lambda_1 * (10^{-2})$	$Q_2' \text{ (m}^3/\text{S)}$	$Q_2' \text{ (m}^3/\text{h)}$	Re
Hypothèse	Quadratique	1,0264	0.5291	1904.5899	401357,8627
1 ^{ère} itération	Tube lisse	1,2557	0.5019	1806.7723	362682,7429
2 ^{ème} itération	Tube lisse	1,2993	0.4986	1794.9038	358116,1297
3 ^{ème} itération	Tube lisse	1,2933	0.4982	1793.4257	357563,7302

Tableau VIII.3: Les itérations de débit de la 1^{ère} station

On fait les mêmes calculs pour les autres tronçons, après 3 itérations on obtient :

Stations	Régime	$\lambda_1 * (10^{-2})$	$Q_2' \text{ (m}^3/\text{S)}$	$Q_2' \text{ (m}^3/\text{h)}$	Re
SP1Bis-SP2	Tube lisse	1,2942	0.4982	1793.4137	356674,2179
SP2-SP3	Tube lisse	1,2947	0.4982	1793.4260	356120,6301
SP3-Selatna	Tube lisse	1,2947	0.4981	1793.1278	356439,7151

Tableau VIII.4: Les résultats de débit pour les autres des stations

VIII.2.3- Coût du débit non transporté

La charge supplémentaire H_p induite par le déplacement de l'outil entraîne une chute de débit, cette réduction ne sera ressentie que pendant la période de transit de l'outil ce qui va engendrer un coût supplémentaire à l'opération de nettoyage. Ce coût est mentionné dans le tableau suivant:

Paramètres	Symboles et unités	Formules	Tronçon traité			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Chute de débit	$\Delta Q'$ (m ³ /h)	(VI.4.2.1)	0.1006	0.12006	0.1344	0.4047
Vitesse d'outil	V_p (m/s)	(VI.4.1.1.h)	1.7579	1,7489	1.7434	1.7462
Temps de transit	t (h)	(VI.4.2.2)	29.9954	26,5077	23,0822	7,7032
Quantité non transporté	en (m ³)	(VI.4.2.3)	3.0190	3,1818	3,1032	3,1177
	en (barils)		18.9900	20,0182	19,5139	19,6104
Coût du manque à gagner	C1 (\$)	(VI.4.2.4)	1899.0021	2001.8945	1951,9021	1961,043

Tableau VIII.5 : Le coût de chute de débit dû à l'envoi d'outil

VIII.2.4- Risque de blocage

Dans toute opération d'envoi de racleur il existe toujours une probabilité de blocage que nous considérerons pour notre cas de 3%, on calcule le coût engendré par ce dernier comme on l'a déterminé dans ce tableau :

VIII.2.5- Le coût d'envoi d'outil

On exprime le coût total créé par l'envoi d'outil

Paramètres	Symbole et unité	Formules	Tronçon traité			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP2-SP3
Quantité non transporté	Q_p (m ³)	(VI.3.2.5.a)	1296.2207	1296.2083	1296.1989	1295.9966
Coût de risque de blocage	C_2 (\$)	(VI.3.2.5.b)	815322.8165	815315.0135	815309.1209	815181.3525

Tableau VIII.6 : Le coût du risque de blocage

Paramètres	Symboles et unités	Tronçon traité			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Coût d'envoi d'outil	C_e (\$)	817221.5468	817261.9038	817216.023	817142,9016

Tableau VIII.7 : Le coût de l'envoi de l'outil

VIII.2.6- Le coût d'opération de nettoyage

Pour obtenir le coût total de l'opération de nettoyage, on rajoute au coût calculé précédemment, un coût logistique (moyens humains et matériels), qui est évalué avec un coefficient 0.25 \$/m:

Paramètres	Symboles et unités	Tronçon traité			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Coût logistique	C_l (\$)	47457,25	40256,1454	36217,75	11696,6857
Coût d'opération de nettoyage(\$)	C_n (\$)	864679,0686	857573.0493	853478.7731	858839,589

Tableau VIII.8 : Le coût de l'opération de nettoyage

VIII.3- L'envoi de deux outils élastiques

C'est une opération de nettoyage qui consiste à envoyer une sphère avant de l'envoi d'un piston.

VIII.3.1- 1ère étape : L'envoi de sphère

On envoie les sphères qui sont utilisées pour éliminer les dépôts liquides.

VIII.3.1.1- La charge de déplacement d'outil

Les sphères nécessitent une différence de pression pour son déplacement, on la calcule ainsi

Paramètres	Symbole et unité	Formules	Tronçon traité			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Diamètre de sphère	Ds (mm)	(VI.4.1.2)	627.8716	627.8732	627.8741	627.8743
Surface de contact	Sc (mm ²)	(VI.4.1.2.a)	136.4414	134.6432	132.7287	133.7039
La charge de déplacement	Hs (mm)	(VI.4.1.2.b)	1.9181	1.8979	1.86915	1.8839

Tableau VIII.9 : Calcul de la charge de déplacement d'outil**Remarque :**

Pour notre cas (OB1) le diamètre intérieur de la conduite est supérieur à 500 mm donc on prend le coefficient $k = 4.60$.

VIII.3.1.2-Coût de la chute de débit

On calcule la chute de débit pour déterminer son coût en suivant les étapes ci-dessous :

Paramètres	Symbole et unité	Tronçon traité			
		SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Manque de débit	$\Delta Q'$ (m ³ /h)	0.0028	0.003316	0.003658	0.01137
Temps transitoire	t (h)	31.2474	26.5059	23.8469	7.7015
Quantité non transporté	Qn (m ³)	0.0878	0.08790	0.08722	0.08757
Coût du manque à gagner	C ₁ (\$)	55.2225	55.2893	54.8645	55.0833

Tableau VIII.10 : coût du manque à gagner du a la présence de l'outil dans la conduite

VIII.3.1.3- Coût d'opération de nettoyage

Les sphères se caractérisent par une nature flexible permettant d'avoir l'avantage d'une probabilité de blocage faible qu'on estime à 0,5%.

Paramètres	Tronçon traité			
	SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Quantité non transporté	216.0484	216.0487	216.0488	216.0478
Coût du risque de blocage	135894.5212	135894.6478	135894.7294	135894.0906
Coût d'envoi d'outil	135949.7437	135949.9371	135949.5894	135949.1738
Coût des moyens	47457.2545	40256.1465	36217.7554	11696.688
Coût d'opération de nettoyage	183406.9937	176206.0826	172167.3394	147645.8613

Tableau VIII.11 : Calcul du coût d'opération de nettoyage

VIII.3.1.4- Interprétation

La chute de débit crée après l'envoi de sphère est très faible à cause de sa charge nécessaire à son déplacement qui est minime.

VIII.3.2- 2eme étape : l'envoi de piston

En utilisant la même démarche de calcul présentée dans le premier cas, on obtient :

VIII.3.2.1- Coût de la chute de débit

Le coût de la chute de débit causé par l'envoi du piston est similaire au le même que celui de 1^{er} cas étudié.

VIII.3.2.2- Coût d'opération de netto

La probabilité de blocage diminue par rapport au premier cas à cause du passage initial de la sphère (2%)

Paramètres	Tronçon traité			
	SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Coût de risque de blocage	543548.5443	543543.3424	543539.4139	543454.5725
Coût d'envoi d'outil	545447.5465	545545.2326	545491.3161	545396.1784
Coût des moyens	47457.2545	40256.1465	36217.7554	11696.688
Coût de l'opération de nettoyage	592904.7965	585801.3781	581709.0661	557092.8659

Tableau VIII.12 : Calcul du coût de l'opération de nettoyage**VIII.3.2.2- Le coût total d'opération de nettoyage**

Exprime la somme des coûts de l'opération de nettoyage effectué par la sphère et le piston.

Paramètres	Tronçon traité			
	SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
Coût total de l'opération de nettoyage	776308.7902	762007.4607	753876.4055	704738.7278

Tableau VIII.13 : Calcul du coût total de l'opération de nettoyage**VIII.4- L'envoi d'un hybride**

Pour notre cas, l'hybride est constitué d'une sphère et deux demi-sphères (assure une meilleure étanchéité) en contre partie la charge nécessaire au déplacement représente deux fois la charge nécessaire au déplacement d'une sphère, et sa probabilité de blocage prend une valeur proche de celle d'un piston envoyé seule (2,5%).

VIII.4.1- Coût de l'opération de nettoyage

Pour le calcul de coût de la chute de débit on suit les mêmes étapes citées dans le cas d'une sphère.

Pour les autres coûts, on suit les étapes du premiers cas (piston) :

Paramètres	Tronçon traité			
	SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
La chute de débit	0.005403	0.0066325	0.007315	0.02274
Coût de manque du manque à gagner	106,1938	110.5789	109.7292	110.1657
Coût de risque de blocage	679471.6271	679471.9875	679472.2443	679466.1617
Coût d'envoi de l'outil	679577,821	679582.5694	679581.9735	679576.3291
Coût des moyens	47457.2545	40256.1465	36217.7554	11696.688
Coût de l'opération de nettoyage	727035.0709	719838.7119	715799.7254	691273.0166

Tableau VIII.14 : Calcul du coût d'opération de nettoyage par un hybride

VIII.5- Interprétation

- La différence de vitesse est petite donc l'outil se déplace avec une vitesse proche de celle d'écoulement ($V_p < V_{moy}$).
- Le chute de débit est plus élevé dans le tronçon SP3-Selatna par rapport aux autres tronçons causé par l'importance de la différence d'altitudes mais son coût du manque à gagner est faible ce qui est du à longueur parcourue qui est moins importante traduisant par une durée de transit plus faible.
- Le coût de l'opération de nettoyage prend des valeurs assez proches pour la plupart des tronçons avec une valeur plus importante sur le premier tronçon causée par la longueur qui est plus grande (coût des moyens).

VIII.6- Conclusion

D'après les résultats obtenues on peut conclure que pour tous les tronçons le choix se portera sur le même type d'outil.

VIII.7- Comparaison

D'après la conclusion, on peut réaliser notre comparaison en analysant un des tronçons, pour cela on a choisi le tronçon SP1-SP1Bis. La comparaison est faite par rapport aux coûts d'une opération de nettoyage, les avantages et les inconvénients :

VIII.7.1- Coût d'une opération de nettoyage

Dans ce tableau, on va classer les outils élastiques selon son coût d'opération de nettoyage :

Classement	Outil	Coût de nettoyage
1	Hybride	727035,0709
2	Sphère +piston	776308,7902
3	Piston	864679,0686

Tableau VIII.15 : Comparaison de coût de nettoyage

VIII.7.1.1- Représentation graphique

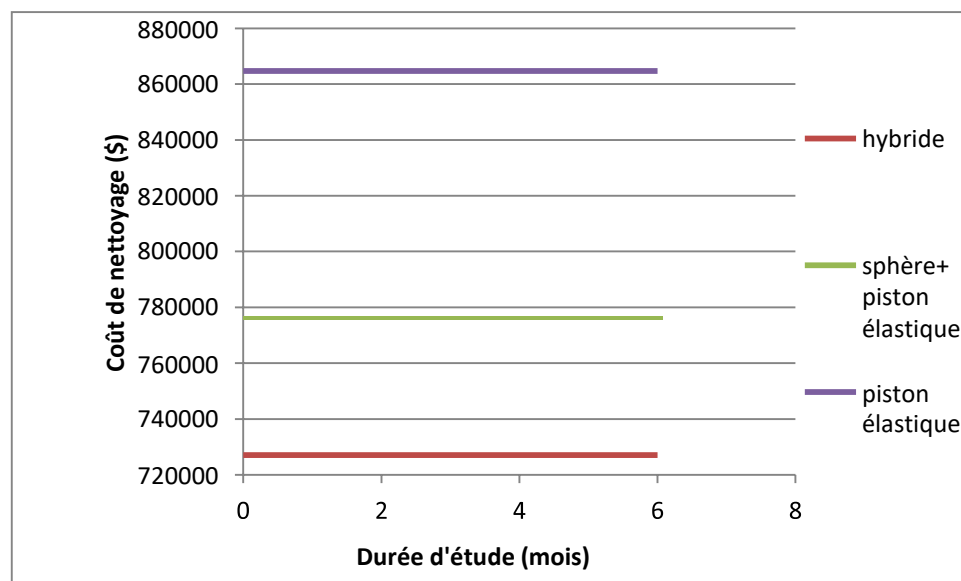


Figure VIII.1 : Présentation graphique de coût de nettoyage de chaque outil

VIII.7.2- Les avantages et les inconvénients

Outils	Inconvénients	Avantages
Hybride	-Peu adapté pour l'élimination des débris	-Elimine une grande quantité des dépôts liquide (sphère) et peu dur (étanchéité) -Un très faible risque de blocage
Sphère+ piston	-Plus de frais (envoi de sphère)	-Risque de blocage moyen -Elimine une grande quantité des dépôts liquide et peu dur
Piston	-Risque de blocage plus élevé	-meilleure étanchéité

Tableau VIII.16 : Avantages et inconvénients des outils élastiques

VIII.7.3- Conclusion

D'après les résultats :

- **Hybride** : est éliminé pour son inconvénient malgré son coût de nettoyage le plus faible
- **Piston** : est éliminé car son risque de blocage entraîne un coût d'opération de nettoyage important.
- **Piston + sphère** : En comparant entre les inconvénients de tous les outils cités en dessus, on peut conclure que ce choix est le plus adapté pour leur avantage d'éliminer tous les dépôts de la ligne d'OB1 malgré les frais supplémentaire entraînés par cet envoi.

D'après le catalogue des outils de nettoyage on peut rajouter le choix du racleur de type CC (pour les longues distances).

Chapitre IX

Analyse des paramètres agissant sur la périodicité optimale de nettoyage

Introduction

Après avoir évalué l'état d'encrassement et procédé au choix de l'outil le plus adéquat qui consiste à l'envoi d'un train d'outil composé d'une sphère suivi d'un piston élastique. Dans cette dernière partie, on procèdera au calcul la périodicité optimale d'une opération de nettoyage.

IX.1- Périodicité optimale d'envoi d'un outil de nettoyage

IX.1.1- Graphiquement

On l'a définie par le point d'intersection du coût du manque à gagner, et du coût total d'une opération de nettoyage comme illustré sur le graphe :

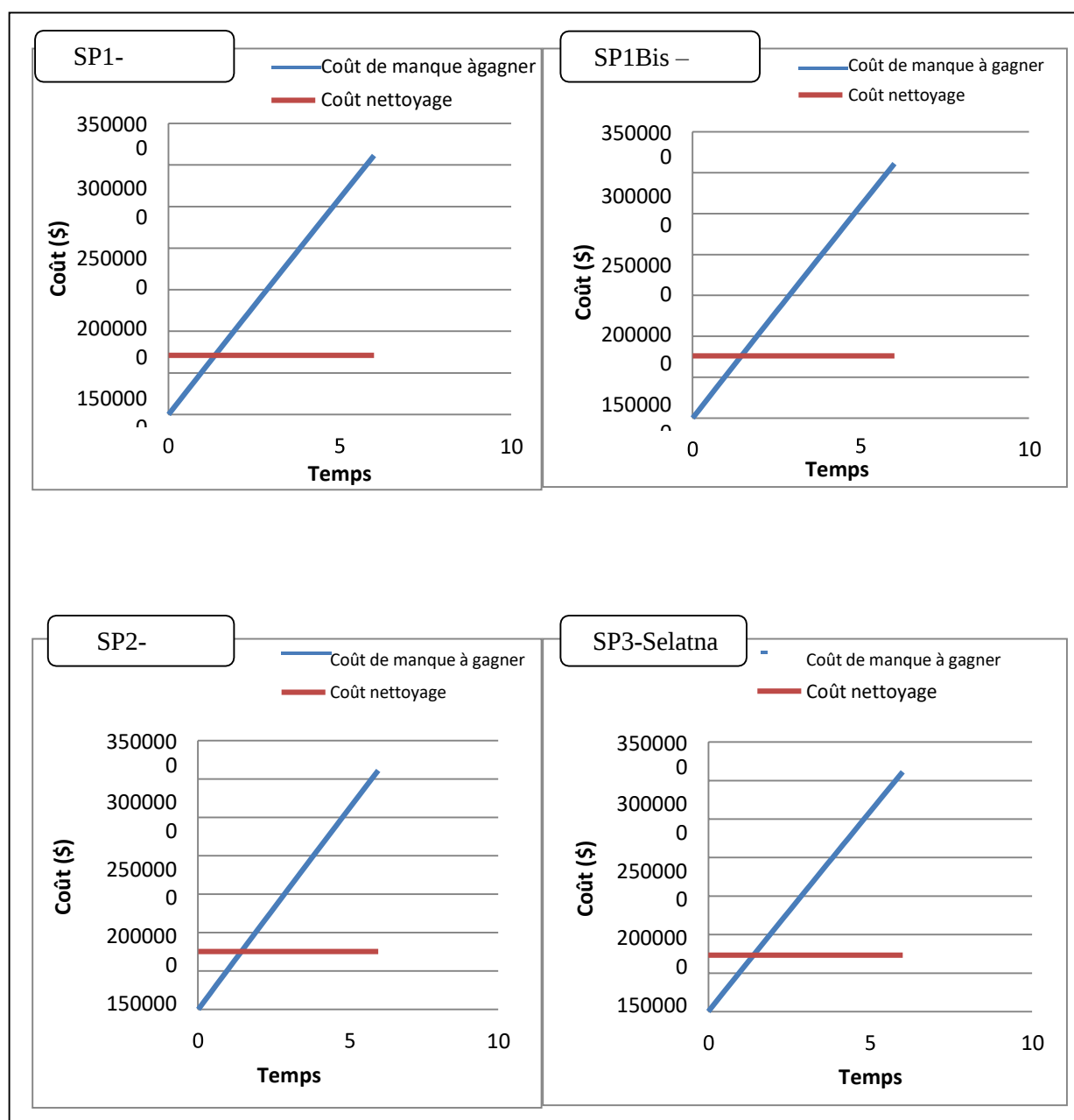


Figure IX.1 : Présentation graphique de la périodicité

IX.1.2- Analytiquement

Les résultats sont présentés sur le tableau suivant :

Paramètres	Symbole et unité	Formules	Tronçon a traité			
			SP1-SP1Bis	SP1Bis-SP2	SP2-SP3	SP3-Selatna
La pente	i	(VI.5.2.a)	522653,8897	522265,7241	525591	525829,8697
La périodicité	T (mois)	(VI.5.2.b)	1,4853	1,4590	1,43434	1,340240957

Tableau XI.1 : Périodicité de nettoyage

IX.1.3- Conclusion

D'après les résultats obtenus, on peut constater que tous les tronçons ont une périodicité de nettoyage pratiquement semblable de 4 fois pendant la durée d'étude.

IX.2- Analyse des paramètres influents sur la périodicité de nettoyage

Dans cette étude nous allons procéder à l'analyse des paramètres qui influent sur la périodicité de manière à déterminer le plus impactant et ceux nécessitant une surveillance.

Les paramètres à analyser sont les suivants :

1. La longueur encrassée (L)
2. Résistance due aux dépôts dans les points bas (R)
3. La rugosité (ϵ)
4. L'épaisseur d'encrassement (δ).
5. Prix du pétrole. (P).
6. Effet du coût des moyens logistiques (M).
7. Effet d'un risque de blocage (RB).

Pour pouvoir définir l'influence de chacun de ces paramètres sur la périodicité de nettoyage, on fait varier à chaque fois l'un d'entre eux en considérant un accroissement de 25% tout en fixant les autres, en utilisant l'outil de nettoyage choisi.

Paramètres	L (m)	R	ϵ (mm)	δ (mm)	P (\$)	M	RB	
Valeur initiale	94914,5	1.5%	0.01	0.02	100	0.25	sphère	piston
							0.005	0.02

Tableau IX.2 : Les valeurs initiales des différents paramètres

Remarque

L'analyse des paramètres sera réalisée sur le premier tronçon de l'OB1 SP1-SP1Bis

IX.2.1 - Effet de la longueur encrassée**IX.2.1.1- Test d'influence**

Cas	Longueur non encrassé (m)	Longueur encrassé (m)	Période	
			Mois	Jour
1	166100,375	23728,625	3.12	94
2	142371,75	47457,25	2.28	68
3	118643,125	71185,875	1.80	54

Tableau IX.3 : Influence de la longueur sur la périodicité

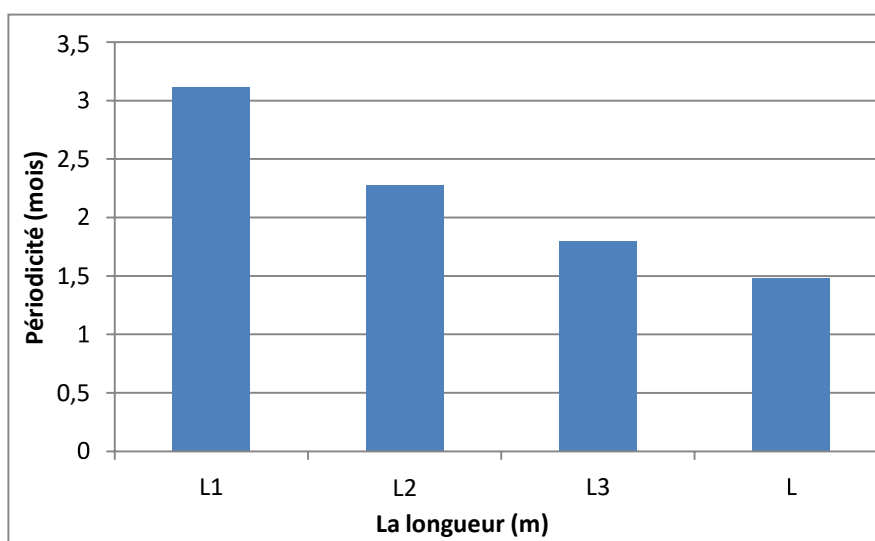
IX.2.1.2- Présentation graphique

Figure IX.2: Présentation graphique de l'influence de la longueur encrassée

IX.2.1.3- Interprétation

En analysant les résultats, on constate qu'une augmentation de longueur encrassée (23,7km) entraîne une diminution de la période d'une moyenne de 16 jours une augmentation de la périodicité.

IX.2.2- Résistance du aux dépôts dans les points bas R

IX.2.2.1- Test d'influence

Cas	Résistance du aux dépôts dans les points bas R	Période	
		Mois	Jour
1	0.0375	2.97	89
2	0.075	2.23	67
3	0.1125	1.78	53

Tableau IX.4 : Influence des résistances dus aux dépôts dans les points bas sur la périodicité

IX.2.2.2- Représentation graphique

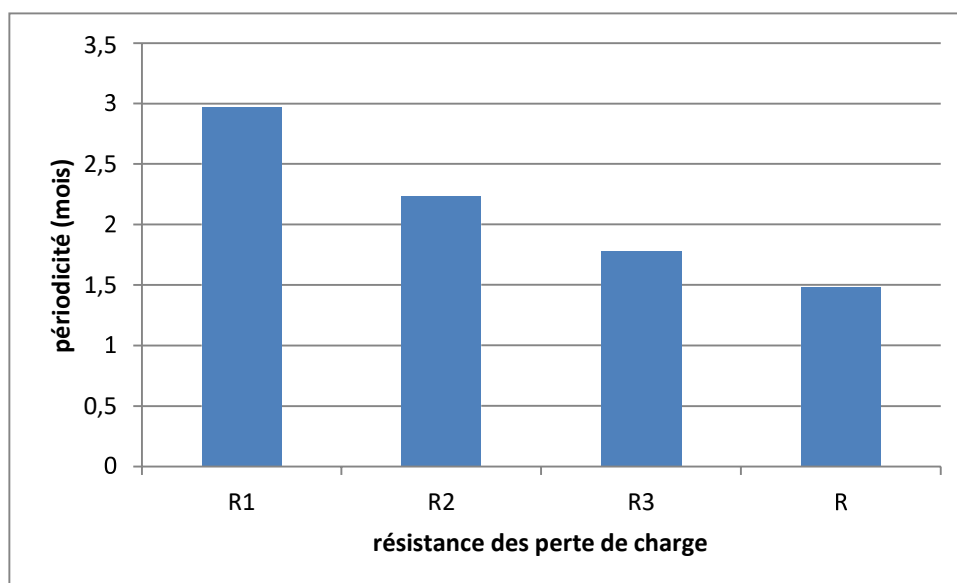


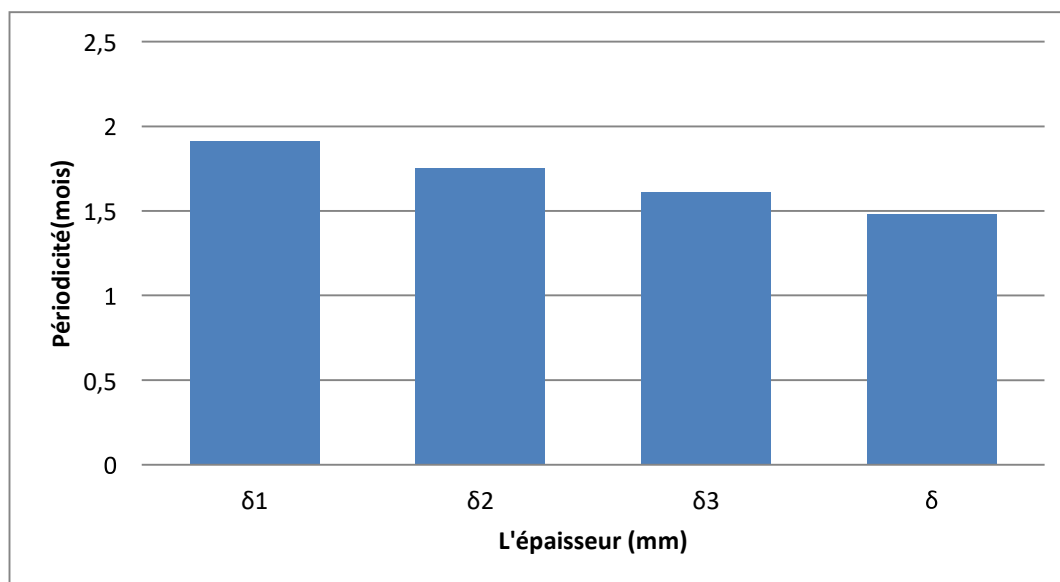
Figure IX.3 : Présentation graphique de l'Influence de la résistance de perte de charge

IX.2.2.3- Interprétation

L'augmentation des dépôts dans les points bas provoque une augmentation de la périodicité et une diminution de la période d'une moyenne de 14 jours.

IX.2.3- Epaisseur d'encrassement**IX.2.3.1- Test d'influence**

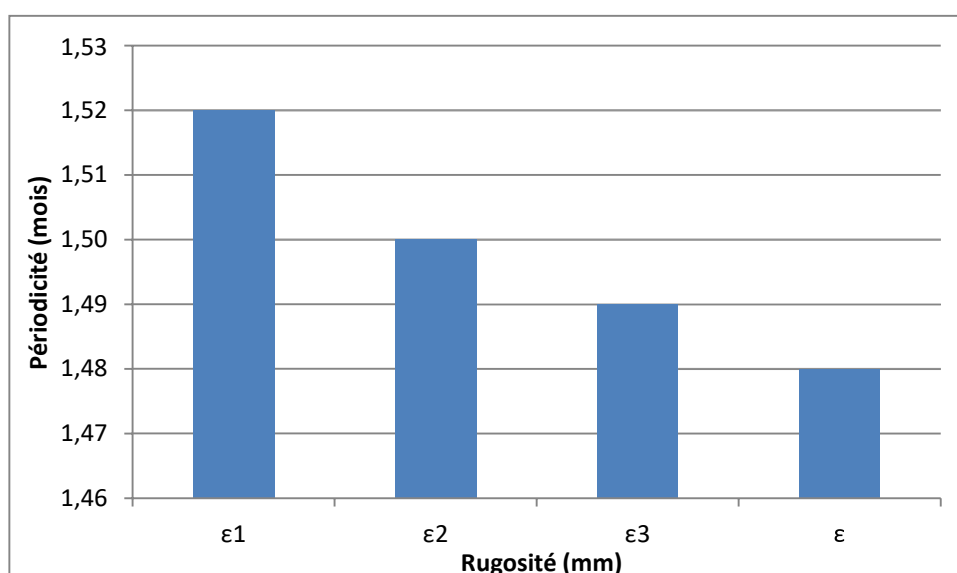
Cas	Epaisseur (mm)	Période	
		Mois	Jour
1	0,005	1.91	57
2	0,01	1.75	52
3	0,015	1.61	48

Tableau IX.5 : Influence d'épaisseur d'encrassement sur la périodicité**IX.2.3.2- Présentation graphique****Figure IX.4: Présentation graphique de l'influence d'épaisseur d'encrassement****IX.2.3.3- Interprétation**

L'augmentation de l'épaisseur d'encrassement entraîne une légère augmentation de la périodicité. L'influence de l'épaisseur d'encrassement sur la périodicité est très faible, à cause de la faible quantité de dépôts des particules solides (4 jours)

IX.2.4- Rugosité**IX.2.4.1- Teste d'influence**

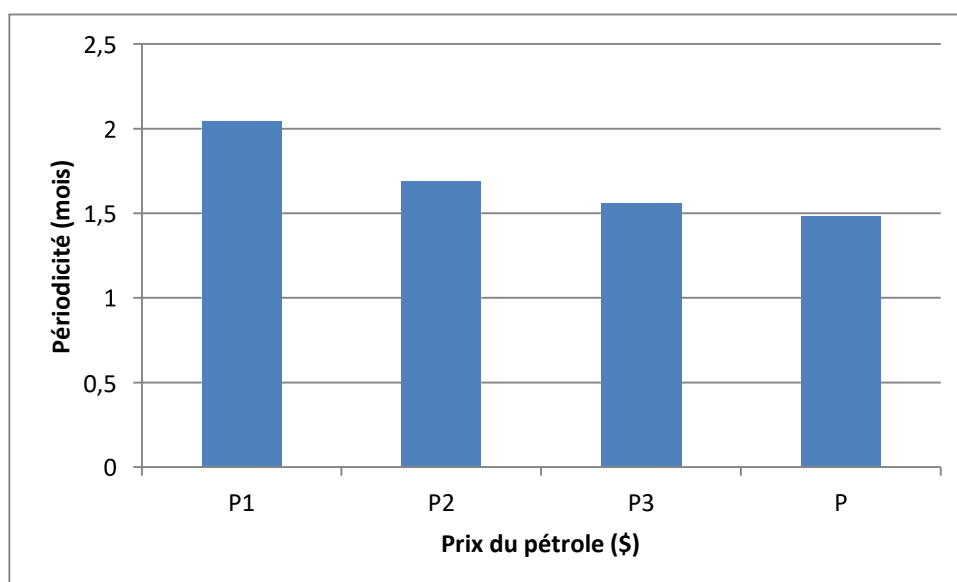
Cas	Rugosité (mm)	Période	
		Mois	Jour
1	0,0025	1.52	45.6
2	0,005	1.5	45.2
3	0,0075	1.49	45

Tableau IX.6 : Influence de rugosité sur la périodicité**IX.2.4.2- Représentation graphique****Figure IX.5: Présentation graphique de l'Influence de la rugosité****IX.2.4.3- Interprétation**

On peut conclure qu'il n'y a aucune influence de la rugosité sur la périodicité étant donnée que le régime d'écoulement est tube lisse.

IX.2.5- Le prix du pétrole**IX.2.5.1- Test d'influence**

Cas	Prix du pétrole (\$)	Période	
		Mois	Jour
1	25	2.04	61
2	50	1.69	51
3	75	1.56	47

Tableau IX.7: Influence du prix du pétrole sur la périodicité**IX.2.5.2- Représentation graphique****Figure IX.6:** Présentation graphique de l'influence de prix du pétrole**IX.2.5.3- Interprétation**

L'augmentation de prix de pétrole entraîne une augmentation de la périodicité de nettoyage avec une diminution de la période de 5 jours.

IX.2.6- Influence du coût logistique

IX.2.6.1- Test d'influence

Cas	coefficient de coût (\$)	Périodicité	
		Mois	Jour
M1	0.0625	1.3672	41
M2	0.125	1.4126	42
M3	0.1875	1.4580	44

Tableau IX.8 : Influence du coût logistique sur la périodicité

IX.2.6.2- Représentation graphique

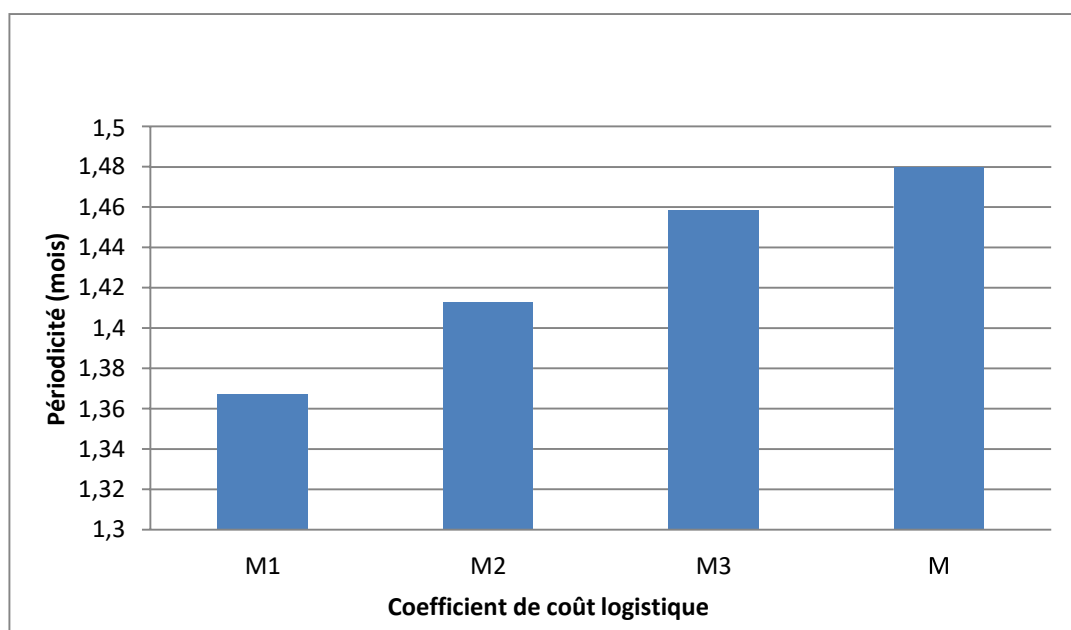


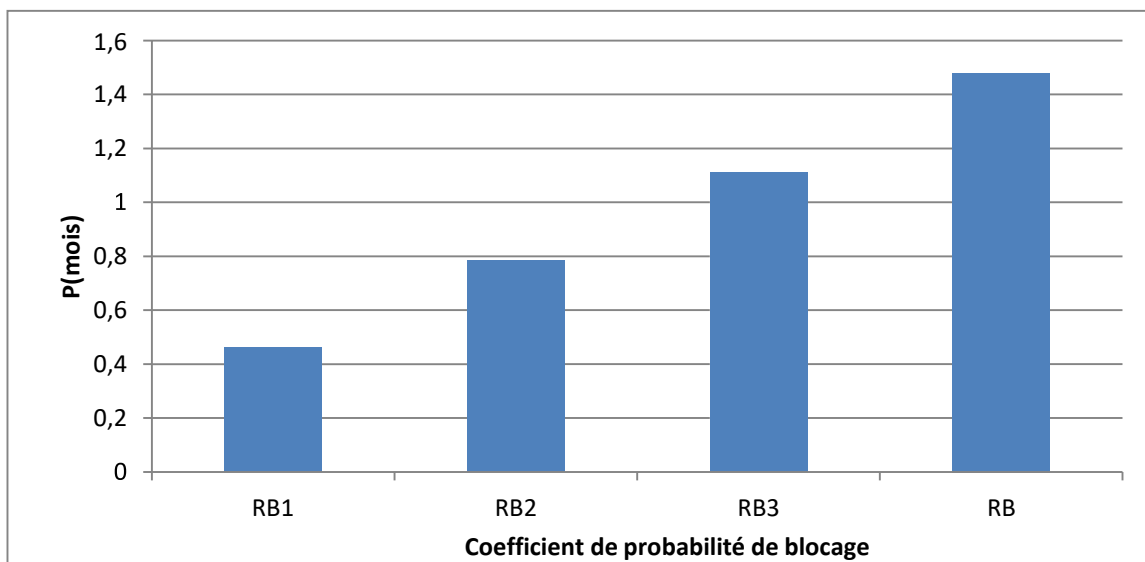
Figure IX. 7: Présentation graphique de l'influence du coût logistique

IX.2.6.3- Interprétation

Plus le coût logistique augmente plus la périodicité diminue et la période augmente.

IX.2.7- Effet de la probabilité de**blocageIX.2.7.1-Test d'influence**

Cas	Risque de blocage	Périodicité	
		Mois	Jour
1	25%	0,4605	13
2	50%	0.7854	24
3	75%	1.1104	34

Tableau IX.9 : Influence du risque de blocage sur la périodicité**IX.2.7.2- Représentation graphique****Figure IX.8 : l'Influence de risque de blocages sur la périodicité****IX.2.7.3- Interprétation**

L'augmentation de la probabilité de blocage entraîne une augmentation de la période de 11 jours et une diminution de la périodicité.

IX.3-Classement des paramètres**IX.3.1- Analytiquement**

On va classer ces paramètres suivants les résultats obtenus :

Classement	Paramètres	Jours
1	Longueur (m)	16
2	Coefficient R	14
3	Risque de blocage	11
4	Le prix (\$)	5
5	L'épaisseur (mm)	4
6	coût des moyen(\$)	1
7	Rugosité (mm)	0.4

Tableau IX.10 : Classement des paramètres selon leurs influences sur la période.

IX.3.2- Graphiquement

Le classement des paramètres est représenté graphiquement dans la figure suivante :

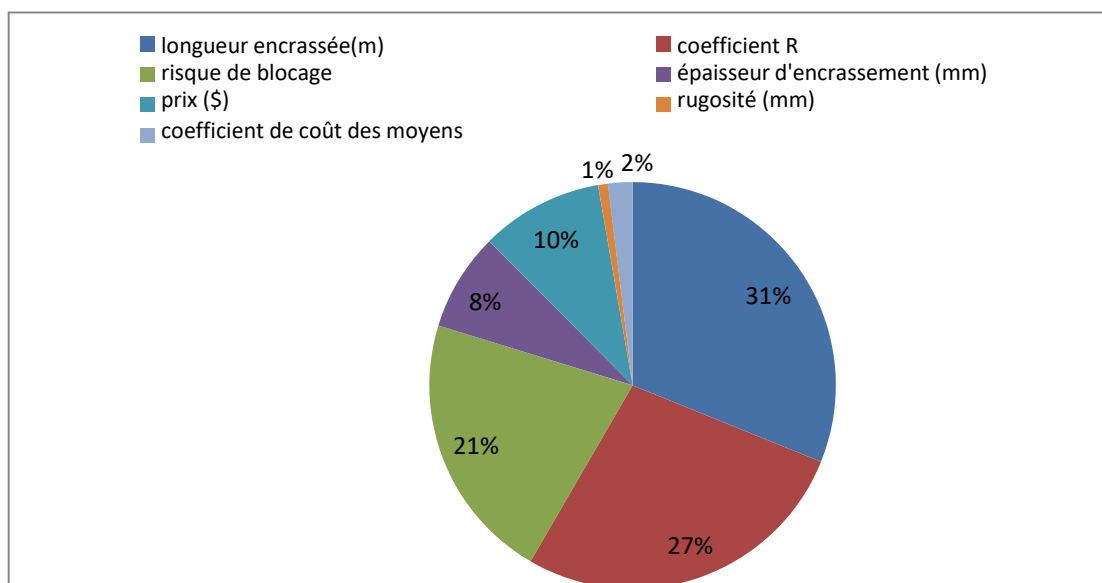


Figure IX.9 : Représentation graphique de la comparaison

IX.3.3- Analyse

- **Encrassement** : Chaque augmentation de ces facteurs entraîne une augmentation de la périodicité avec une diminution de la période de nettoyage.
 - La résistance dans les points bas : représente la grande accumulation des dépôts liquides d'où son influence importante.
 - L'épaisseur : quantité faible de particules solides d'où un impact faible mais associé à

la longueur elle devient cruciale.

- La longueur encrassée : ajoutant les particules solides aux accumulations des dépôts liquides, son impact devient plus important que celui de la résistance.
- La rugosité : n'a pas d'influence vu que le régime d'écoulement est turbulent hydrauliquement lisse.
- **Nettoyage:** Relation proportionnelle entre ces coefficients et la période :
- L'influence de risque de blocage est important comparer au coût logistique qui paraît négligeable.
- **Prix de pétrole :** influe sur le coût du manque à gagner et de nettoyage en même temps

Conclusion générale

Comme nous l'avons ci bien vu dans cette étude l'encrassement des pipelines affecte considérablement les performances hydrodynamiques par une réduction de la productivité de la ligne et contribue à l'augmentation du coût de transport qui peut être préjudiciable dans un environnement fortement concurrentiel. Dans ce contexte, le nettoyage des pipelines devient une opération importante et nécessaire pour garantir une exploitation rationnelle de ce type de structure.

Cependant, une opération de nettoyage ne doit pas être prise à la légère, vue qu'on n'a jamais à l'abri d'un risque de blocage, d'où l'importance pour toute exploitant de définir deux paramètres cruciaux à savoir le choix du type d'outil le plus adéquat et la périodicité optimale pour procéder à cette intervention. C'est dans cet objectif, et pour répondre à cette attente que nous avons réalisé cette étude.

Pour mettre en évidence l'impact de ce type d'altération sur le fonctionnement nominal d'un pipeline et pouvoir par la suite définir la période optimale d'envoi du racleur, nous avons réalisé dans notre étude dans un premier temps une analyse hydraulique et un calcul de régime de fonctionnement des stations de pompage de l'oléoduc OB1 en considérant la conduite propre dépourvue d'encrassement avec un débit de transit $1800\text{m}^3/\text{h}$, ce qui a permis de définir le point de fonctionnement déterminant les paramètres d'exploitations (charge de refoulement, vitesse de rotation) des pompes aux niveaux des différentes stations suite à une modélisation des courbes caractéristiques des pompes centrifuges.

L'encrassement des pipelines étant un phénomène dynamique évoluant dans le temps, selon différents mécanismes en fonction de la nature des substances présente dans le pétrole. Par conséquent. Nous avons procédé en premier lieu à l'analyse de la composition chimique de pétrole pompé pour pouvoir déterminer les produits pouvant se déposées dans la conduite. Sur ce une simulation d'un encrassement tenant compte de ces substances évoluant dans le temps a été réalisée sur une période de 6 mois de manière à analyser l'impact de ces dépôts sur l'écoulement et le régime de fonctionnement des stations de pompage en terme de manque à gagner due à la chute débit et des coûts de transport supplémentaires induits.

Les résultats obtenus ont servi à la préparation d'une opération de nettoyage en termes de choix du type d'outil et de la périodicité optimale d'envoi. Pour ce qui concerne le type d'outil le choix doit se porté sur celui dont l'efficacité est la plus appréciable avec un risque de blocage réduit tenant compte de la nature des substances à évacuer et de la position des zones affectées.

En se basant sur les types de substances a éliminé, la position des zones encrassées et les caractéristiques du pipeline, les outils les mieux adaptés pour ce cas de figures sont les outils élastiques. Les sphères n'étant utilisées que pour l'élimination des dépôts liquides ne permettent pas un nettoyage efficace d'où le choix doit s'orienté vers un outil élastique sous forme de piston après l'envoi de sphère pour le nettoyage des tronçons de l'OB1 entre SP1-Slatna.

Pour ce qui concerne le tronçon de (SP3-TMB) l'outil a envoyé doit être plus résistant par un choix de matériaux plus durs de manière à ce que le phénomène d'usure n'hypothèque l'opération de nettoyage par une perte d'étanchéité vue l'importance de longueur de ce tronçon.

Dans la dernière étape de notre travail, suite au choix de l'outil nettoyage le plus adéquat nous avons établi un modèle permettant d'aider les exploitants à évaluer la périodicité optimale d'envoi de l'outil qui correspond au moment où le coût du manque à gagner est égale au coût d'une opération de nettoyage, donc ni avant ni après. En fin une analyse des paramètres caractérisant l'encrassement a été réalisée de manière à définir le quel est le plus impactant.

De cette analyse on a pu conclure que les paramètres qui agissent le plus sur les conditions d'écoulement sont la longueur et l'épaisseur des dépôts dans la zone encrassée qui pousse dans le sens d'augmentation les pertes de charge répartie. De fait, ces zones nécessiteront une surveillance accrue.

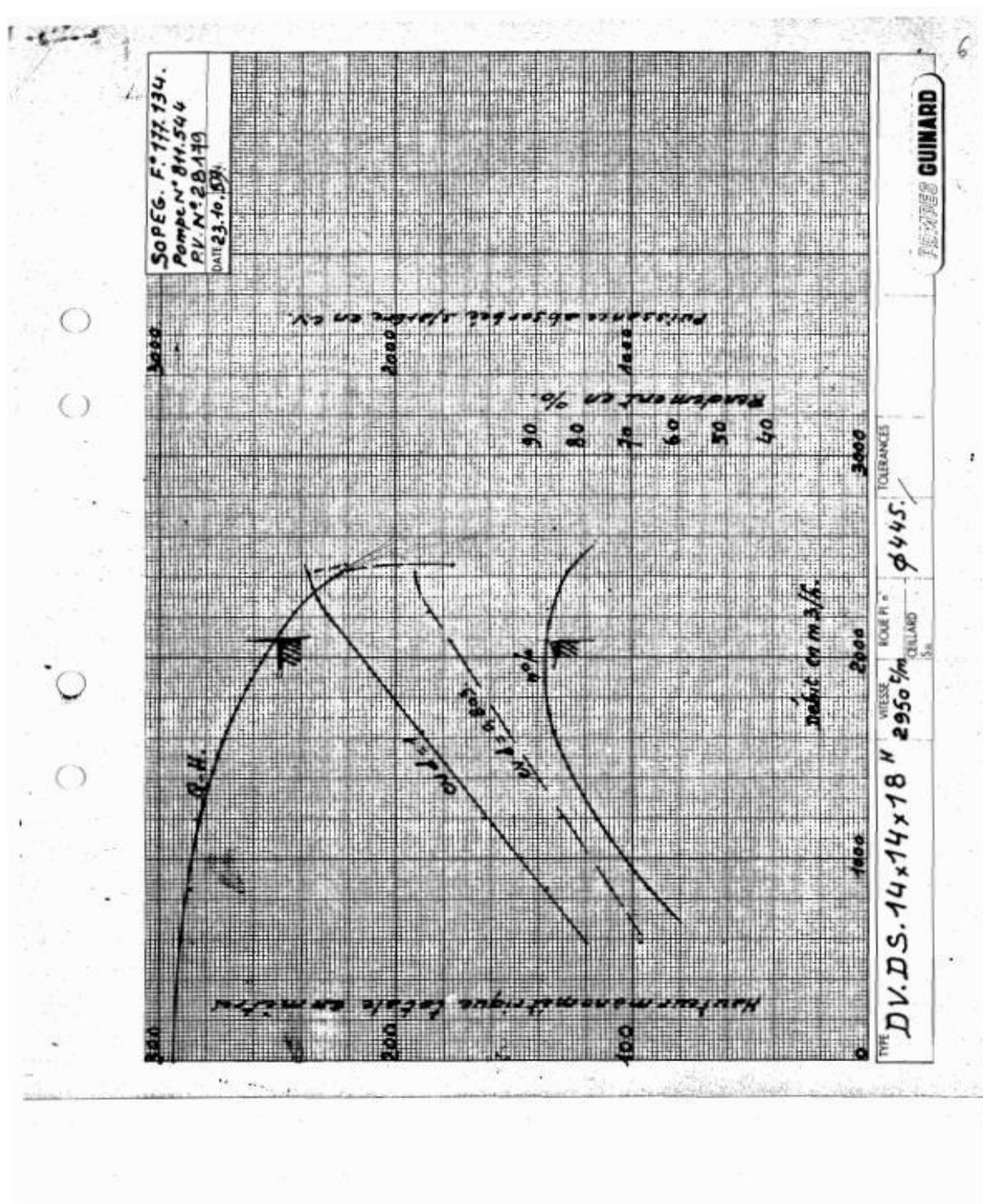
Références bibliographiques

- Document de groupe SONATRACH DRG Béjaia (chapitre I)
- Mémoire de fin d'étude en 2018 par BENZEMA Massinisa et LAKHZOUM Abdeldjalil: Analyse des résultats d'inspection de la ligne d'OB1 (2009) par la norme B31G modifiée avec estimation des conditions d'exploitation actuelles. (chapitre II)
- Rapport final septembre 2015:Nettoyage des pipelines en vue de la cessation de leur exploitation - Tamer Crosby, Desiree Joe, Amanda Prefontaine et HaralamposTsaprailis AlbertaInnovates – Technology Futures. (chapitre III)
- Manuel de formation cours EXP-PR-RP100 Total : le raclage. (chapitre III)
- Mémoire de Master option : valorisation des ressources minérales thème : Analyse et caractérisation de pétrole brut
- Mémoire de fin d'étude en 2010 par ATMANE Mourad et BELMESSOUS Ahmed : Récupération d'un racleur coincé dans une conduite (chapitre VI)

Annexes

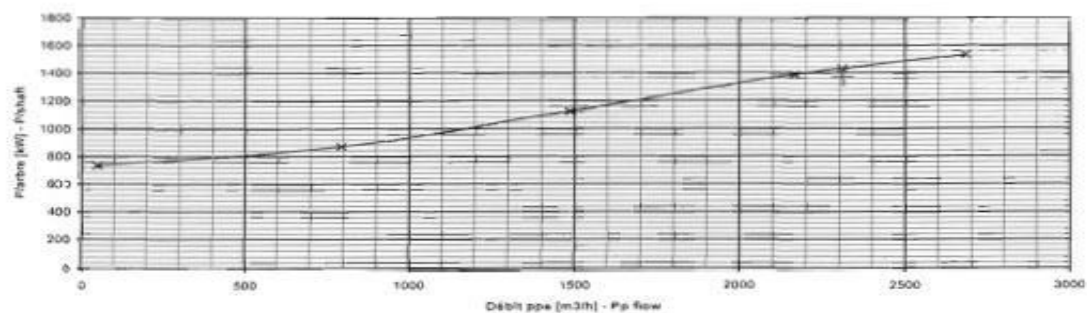
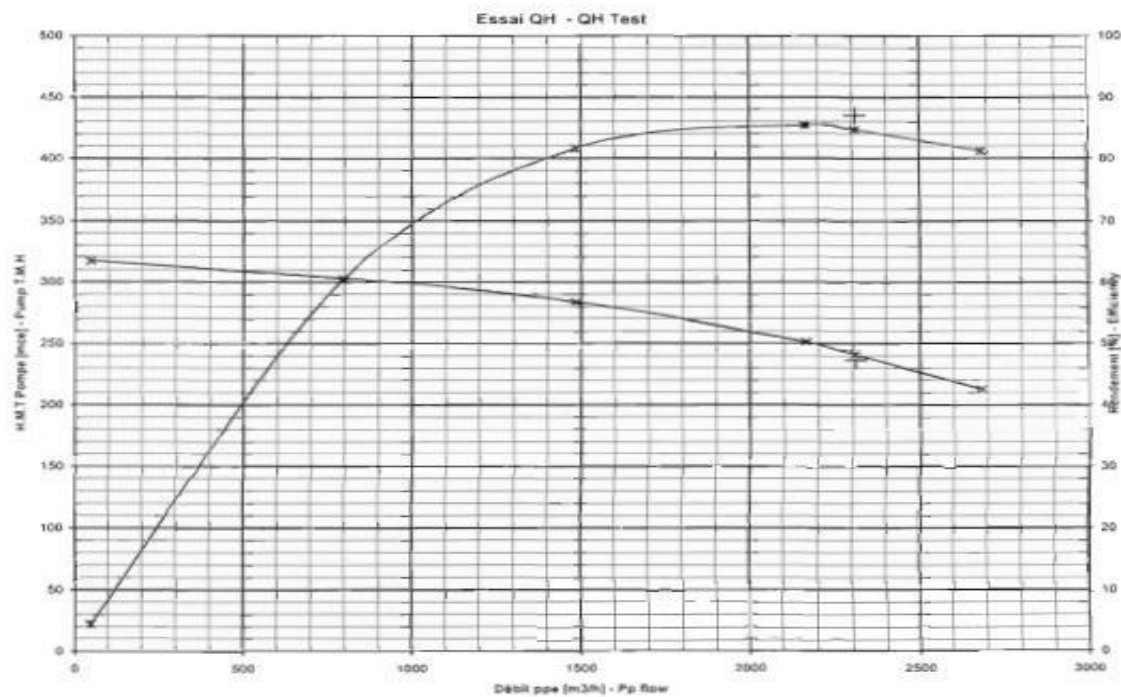
Les figures représentent les courbes caractéristiques des pompes principales des stations de pompages de la ligne d'OB1 :

- SP1



- SP2

PROCES VERBAL D'ESSAI TEST REPORT				GUINARD PUMPS TEXTRON FLUID HANDLING PRODUCTS
Essai : 1701 Test	N° Projet P-000245 N° Projet	N° Cde : 1600078 Factory N°	Page : 3 13 Page	
Pompe Type : DVDS 14.14.18 / 16t. Pump Type	Repère : P.201 B Item	Retouche N° : Modification N°		



- SP3

Curve n° P301-a

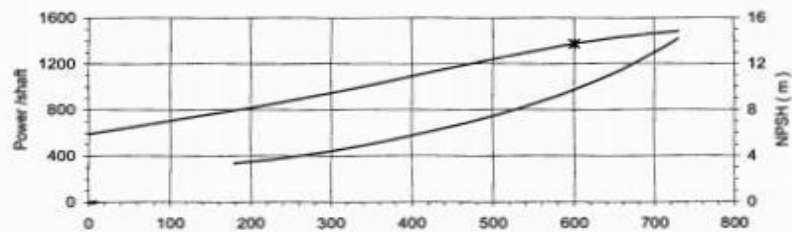
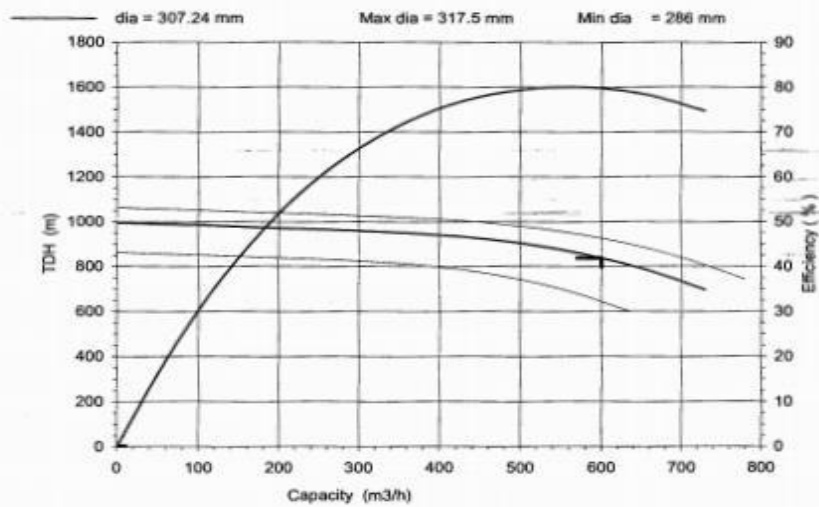
ema

11-24-05



DVMX 6x8x11 E - 5 St

Capacity	=	600	m ³ /h	Speed	=	3560	rpm	Visco	=	3	Cst
TDH	=	838	m	NPSH	=	9.72	m	d	=	0.8	
Eff %	=	79.7		Power (*)	=	1375.00	kw				



Impeller D6 : M100273-24256/7

Volute F100439/115322

Eye 125 x 2 / 142 cm2

clearance API

base 456797

618639 / 3

GD / TNC 95-30a

France : Annecy David Brown Guinard Pumps S.A.S 39, Avenue du Pont de Tassat BP 435 - 74020 Annecy cedex
Tel : +33 (0) 4 50 05 56 00 Fax : +33 (0) 4 50 05 58 80

- Méthode de détermination des paramètres d'encrassements :

- Expérimentalement :

- On peut exprimer réellement la longueur en comparant le profil de pression et le profil tracer à l'aide des capteurs de pression pour trouver la longueur totale encrassée qui somme les petites longueurs où on observe des chutes de pression.
- Pour l'épaisseur et la rugosité, on peut les déterminer selon la nature et le volume de substance à évacuer.

- Le cas le plus défavorable :

La méthode citée précédemment pour les deux derniers paramètres est loin d'être efficace car on ne peut point déterminer leurs seuils et leurs évolutions au fil de temps.

Donc, on s'applique sur un cas plus défavorable pour trouver expérimentalement le nouveau débit après l'encrassement d'une conduite de la ligne d'OB1 qui a subi un nettoyage avec un outil rigide pour évacuer tout types de dépôts avec une quantité importante en comparant la nature et le volume à évacuer de ce cas avec notre cas réel.

En suivant cette démarche on détermine les paramètres d'encrassement qui correspondent :

- L'évolution d'épaisseur d'encrassement :

On peut la déterminer à l'aide des capteurs qui détecte la variation de diamètre donc l'épaisseur.

- L'évolution de résistance des pertes de charge :

• Calcul de résistance :

Elle consiste à utiliser les formules de calcul de H_{ref} (IV. 3.5) et celle de H_T (IV.3.4.3)

$$R' = \frac{(H_{ref} - H_{asp} - \Delta Z) * \pi^2 * g * D^5}{8 * \lambda^F * L * Q^{F2}}$$

• Calcul de Lambda :

On le détermine par la formule de Reynolds en utilisant les résultats précédents, on trouve :

$$Re = \frac{4 * Q'}{P * D_{int}}$$

Puis en détermine le régime de fonctionnement qui nous permet de calculer le nouveau coefficient de perte de charge λ' (tableau de régime de fonctionnement chapitre IV)

D'après les résultats :

$$R_e = (R' - R)/t_e$$

Avec

R, R' : la résistante de perte de charge avant et après encrassement.

t_e : le temps qui sépare deux opérations de nettoyage : entre la première utilisation de conduite et l'opération de nettoyage en (mois).

-L'évolution de la rugosité :

- **Le régime frottement mixte ou quadratique :**

On peut la calculer par les formules citée dans le chapitre IV.

- **Le régime tube lisse :**

On mesure la rugosité à l'aide d'un rugosimètre par le principe d'un point qui se déplace sur une longueur définie sur la surface à mesurer et mesure le déplacement de capteur en fonction des régularités de surface.