

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

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



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

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

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-Transport et distribution des hydrocarbures

Présenté par :

BOUSSEFIANE Aicha

THEME

Etude hydraulique des Systèmes de Chargement Onshore-Offshore des Navires-Citernes
« Sonatrach, Bejaia »

Soutenu publiquement le 23 / 06 / 2024

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
Président de jury	YOUNSI Karim	MCA	UMBB
Examineur	BOUHAFS Smail	MMA	UMBB
Examineur	TIKOBAINI Mourad	MMA	UMBB
Encadreur	MEZIANE Akila	MCB	UMBB



*Je tiens tout d'abord à remercier **Dieu, le Tout-Puissant**, qui m'a donné la force et l'aide nécessaires pour réaliser ce modeste travail.*

*Je tiens également à remercier particulièrement ma promotrice, Mme **MEZIANE Akila**, pour son encadrement d'une rare précision, ses conseils toujours très justes, et pour son soutien tant scientifique qu'humain au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Mes sincères remerciements vont également aux **enseignants du département Transport et équipements des hydrocarbures**.*

*J'associe ce travail à **ma famille**, à qui je le dédie. Sans leur présence et leurs encouragements permanents, je n'aurais jamais atteint mes objectifs.*

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail; qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et de mon respect.

BOUSSEFIANE AICHA



اهداء

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا على البدء والختام

(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

ارى مرحلتي الدراسية قد شارفت على الانتهاء بالفعل، بعد تعب ومشقة دامت سنين في سبيل الحلم والعلم حملت في طياتها أمنيات الليالي، وأصبح عنائي اليوم للعين قرة، ها أنا اليوم أقف على عتبة تخرجي أقطف ثمار تعبتي وأرفع قبعتي بكل فخر، فاللهم لك الحمد قبل أن ترضى ولك الحمد اذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا، لأنك وفقنتني على إتمام هذا النجاح وتحقيق حلمي

وبكل حب اهدي ثمرة نجاحي وتخرجي

إلى الذي زين إسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، داعمي الأول في مسيرتي و سندي و قوتي و ملاذي بعد الله فخري و اعتزازي (أبي الحبيب) متعها الله بالصحة والعافية

إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها، إلى نبراس أبيامي و وهج حياتي إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني إلى بسملة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي داعمي الأول ووجهتي التي استمد منها القوة أمي الحبيبة) متعها الله بالصحة والعافية)

إلى شموع البيت و نورها براعمي الصغار (عبد الكريم ، أمينة ، ياسين)

إلى ملائكة رزقني الله بهن لا عرف من خلالهن طعم الحياة الجميلة ، تلك الملائكة التي غيرن مفاهيم الحب و الصداقة و السند في حياتي (هديل و أمينة) جعلني و اياكن من الباريات

واخيرا من قال أنا لها " نالها " وأنا لها إن أبنت رغما عنها أتيت بها، ما كنت لأفعل دون توفيق من الله ها هو اليوم العظيم هذا اليوم الذي أجريت سنوات دراستي شاقة حاملة بها حتى توالى بمنه وكرمه الفرحه فالحمد لله الذي ما تيقنت به خيرا وأملا إلا وأغرقني سرورا وفرحا ينسيني مشقني

عائشة

RESUME

Ce travail, réalisé en collaboration avec la Direction Régionale de Bejaïa et le Département de Transport des Hydrocarbures de la Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie de Boumerdès, est divisé en deux parties : théorique et pratique.

La partie théorique comporte trois chapitres : le premier présente la direction TRC, dans le deuxième on a fait une description des systèmes de chargement Onshore et Offshore, en détaillant leurs installations et fonctionnement, et enfin, le troisième traite les pompes, leurs assemblages et ainsi on a étudié les modes du calcul hydraulique.

La partie pratique se consacre d'abord à l'analyse hydraulique des systèmes de chargement, puis au fonctionnement des stations de pompage nord et sud selon différents assemblages, et en fin, on a terminé notre travail par une conclusion générale.

ABSTRACT

This work, carried out in collaboration with the regional directorate of Béjaïa and the department of hydrocarbon transport at the faculty of hydrocarbons and chemistry of Boumerdès, is divided into two parts: theoretical and practical.

The theoretical part consists of three chapters: the first presents the TRC, the second describes the onshore and offshore loading systems, detailing their installations and operations, and the third deals with pumps, their assemblies, and the study of hydraulic calculation methods.

The practical part is first dedicated to the hydraulic analysis of the loading systems, then to the operation of the northern and southern pumping stations according to different assemblies, and finally, we concluded our work with a general conclusion.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Pose du problème	2

CHAPITRE I : Présentation de la TRC

I.1. Sonatrach	3
I.1.1. Historique – SONATARCH	3
I.1.2. Principales activités	4
I.1.3. Description du réseau de transport	5
I.2. Direction régionale de Bejaia DRGB	8
I.2.1. Situation géographique de la DRGB	9
I.2.2. Organigramme de la DRGB	9
I.2.3. Description du terminal marin de BEJAIA	12

CHAPITRE II : Description des systèmes de chargement onshore-offshore

II.1. Introduction	16
II.2. Système de chargement Onshore (Bras de chargement)	16
II.2.1. Parcs de stockage	16
II.2.2. Collecteurs des réservoirs	17
II.2.3. Ensemble de robinetterie	18
II.2.4. Station de pompage	18
II.2.5. Le port pétrolier	20
II.2.5.1. Les appointements	20
II.2.5.2. Poste N°3	20
II.2.5.3. Poste N° 2	21
II.2.5.4. Caractéristiques techniques de ces deux postes	21
II.2.5.5. Fiche technique des lignes de chargement 3x32''	22
II.2.6. Description des bras de chargement	22
II.2.6.1. Caractéristiques d'un bras	23
II.2.6.2. Principaux éléments constitutifs d'un bras	23
II.2.6.3. Commande d'un bras	24
II.2.6.4. Principe de fonctionnement	26
II.2.6.5. Vidange d'un bras	26
II.2.7. La station de déballastage	27
II.3. Système de chargement offshore (SPM)	27
II.3.1. Description du projet	27
II.3.2. Base de conception	27
II.3.3. Description du sea-line	28
II.3.3.1. La station de pompage	28
II.3.3.2. Comptage des hydrocarbures	29
II.3.3.3. Description générale d'unité de comptage de TM Bejaia	30
II.3.4. Lignes d'exploitation	31
II.3.5. Équipement offshore	32

II.3.5.1. Description générale.....	32
II.3.5.2. Tuyauterie PLEM.....	33
II.3.5.3. La Bouée SPM	33
II.3.6. Fonctionnement du procédé	37
II.3.7. Système de contrôle du procédé.....	37
II.3.8. Les pétroliers	37
II.3.8.1. Les différents types de pétroliers	38
II.3.8.2. La procédure de chargement d'un navire.....	40
II.4. Conclusion.....	41

CHAPITRE III : Généralité sur les pompes et calcul hydraulique

III.1. Introduction.....	42
III.2. Généralités sur les pompes.....	42
III.2.1. Définition	42
III.2.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	42
III.2.3. Caractéristiques générales d'une pompe.....	43
III.2.3.1. Hauteur manométrique $H_{mt}(Q_v)$	43
III.2.3.2. Rendement de la pompe (η_p)	44
III.2.3.3. La puissance	44
III.2.3.4. Le NPSH	45
III.2.4. Assemblage des pompes	46
III.2.4.1. Assemblage en série.....	46
III.2.4.2. Assemblage en parallèle	47
III.2.5. Point de fonctionnement	49
III.3. Ecoulement des fluides dans un conduit.....	49
III.3.1. Les Caractéristiques du produit transporté	49
III.3.2. Vitesse d'écoulement.....	50
III.3.3. Nombre de Reynolds (Re)	50
III.3.4. Equation de Bernoulli	51
III.4. Les pertes de charge totales (HT)	51
III.4.1. Perte de charge linéaire (HL).....	51
III.4.2. Perte de charge Singulières (HS)	55
III.4.2.1. Les coudes.....	55
III.4.2.2. Les vannes.....	58
III.4.2.3. Les raccords	59
III.5. La charge refoulement	60
III.6. Conclusion	61

CHAPITRE IV : Calcul hydraulique pour les deux systemes de chargement

IV.1. Introduction.....	62
IV.2. Le poste de chargement N°3.....	62
IV.2.1. Données et caractéristique des calculs.....	62
IV.2.2. Calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de $2500\text{m}^3/\text{h}$	62
IV.2.3. Calcul des pertes de charge singulière pour un débit de $2500\text{m}^3/\text{h}$	64
IV.2.4. Calcul les pertes de charge linéaires et singulières pour différents cas de débit	67

IV.2.5. Calcul la hauteur et la pression de refoulement pour différents cas de débit	68
IV.2.6. Courbe caractéristique de réseau de poste N°3.....	69
IV.3. Le poste de chargement N°2.....	69
IV.3.1. Données et caractéristique des calculs	69
IV.3.2. Calcul des pertes de charge linéaires et singulières pour différents cas de débit	69
IV.3.3. Calcul la hauteur et la pression de refoulement pour différents cas de débit	71
IV.3.4. Courbe caractéristique de réseau poste N°2	72
IV.4. Modélisation des courbes caractéristiques des pompes de terminal nord	72
IV.4.1. Statistique de la régression linéaire	73
IV.4.2. Courbes Caractéristiques des pompes	74
IV.5. Assemblage des pompes	74
IV.6. Calcul énergétique de l'expédition	77
IV.7. La bouée de chargement	79
IV.7.1. Données et caractéristiques des calculs.....	79
IV.7.2. Calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 2500m ³ /h.....	79
IV.7.3. Calcul des pertes de charge linéaire pour différents cas de débit.	82
IV.7.4. Calcul des pertes de charge singulière pour un débit de 2500m ³ /h.....	84
IV.7.5. Calcul la Hauteur et la pression de refoulement pour différents cas de débit	85
IV.7.6. Courbe caractéristique de réseau bouée de chargement	86
IV.8. Modélisation des courbes caractéristiques des pompes de terminal sud	86
IV.8.1. Statistique de la régression linéaire	86
IV.8.2. Courbe caractéristique des pompes	87
IV.9. Assemblage des pompes	87
IV.10. Calcul énergétique de l'expédition	88
IV.11. Calcul les pertes de charge des vannes de régulation de débit	89
Conclusion générale	
References bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure I.1 : Structure organisationnelle de l'Entreprise SONATRACH	5
Figure I.2 : Carte du réseau de transport Algérien	6
Figure I.3: Chaîne de transport par canalisation de Sonatrach.	7
Figure I.4: Répartition du réseau en exploitation	8
Figure I.5: Organigramme de la DRGB	9
Figure I.6: Organisation du département exploitation liquide.....	11
Figure I.7: Carte satellitaire du terminal nord et sud de la DRGB	12
Figure II.1: Schéma de Principe installations du Terminal Marin Nord	19
Figure II.2: Le port pétrolier.....	20
Figure II.3: Éléments constitutifs d'un bras de chargement	23
Figure II.4: Bras manuel.....	25
Figure II.5: Bras à commande hydraulique	26
Figure II.6: Pompe d'exportation à Bejaia	28
Figure II.7: Schéma de Principe installation du Terminal Marin Sud.....	29
Figure II.8: Diagramme de l'unité de comptage et de l'étalon	30
Figure II.9: Flexibles sous bouée et flexible flottants	32
Figure II.10: Schéma de PLEM.....	33
Figure II.11: Diagramme de la bouée CALM	35
Figure II.12: Classification des pétroliers	39
Figure III.1: Schéma explicatif de la pompe	43
Figure III.2: Courbe caractéristique d'une pompe	43
Figure III.3: Courbe évaluation de NPSH en fonction du débit Q_v	46
Figure III.4: Schéma et Courbe caractéristique des pompes en série	47
Figure III.5: Courbe caractéristique des pompes différentes en série.....	47
Figure III.6: Schéma et Courbe caractéristique des pompes en parallèle	48
Figure III.7: Courbe caractéristique des pompes différentes en parallèle.....	48
Figure III.8: Point de fonctionnement d'une pompe.....	49
Figure III.9: Les différents types des vannes	59
Figure III.10: Les valeurs du coefficient ζ dans les raccords en fonction de rapport de surface et l'angle	60
Figure IV.1 : Courbe caractéristique de réseau poste N°3	69
Figure IV.2 : Courbe caractéristique de réseau poste N°2	72
Figure IV.3 : Courbes caractéristiques des pompes	74
Figure IV.4 : Courbes caractéristiques des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau poste N°3	76
Figure IV.5 : Courbes caractéristiques des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau poste N°2	76
Figure IV.6 : Courbe caractéristique de réseau bouée de chargement	86
Figure IV.7 : Courbe caractéristique des pompes terminal sud.....	87
Figure IV.8 : Courbe caractéristique des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau bouée.....	88
Figure IV.9 : Courbes caractéristiques des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau avec l'effet des vannes de régulation de débit.....	90

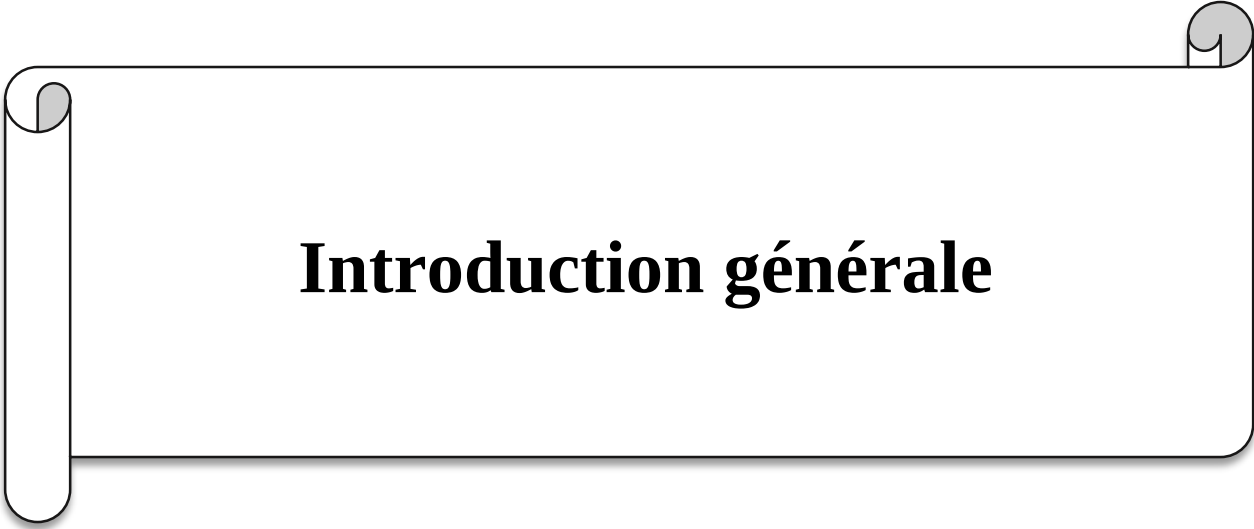
Liste des tableaux

Tableau I.1: Réseau en exploitation	8
Tableau II.1: Caractéristiques techniques des postes de chargement	21
Tableau II.2: Fiche techniques des linges de chargement.....	22
Tableau II.3: Caractéristiques d'un bras	23
Tableau II.4: Condition extrêmes et de survie de bouée sans pétrolier	36
Tableau II.5: Conditions d'exploitation de bouée avec un pétrolier amarré	36
Tableau III.1: Corrélation de calcul de coefficient de perte de charge	52
Tableau III.2: Corrélation de calcul λ pour différent régime	54
Tableau III.3: Détermination de A_1	56
Tableau III.4 : Détermination de B_1	56
Tableau III.5 : Détermination de C_1	56
Tableau III.6: Détermination de K et K_{Re}	57
Tableau III.7 : Détermination de K et K_{Re} si $R/D > 1,5$	57
Tableau III.8 : Détermination de C_1	57
Tableau III.9 : Détermination de A et ζ_M	58
Tableau III.10: Détermination de K et K_{Re}	58
Tableau IV.1: Données du calcul	62
Tableau IV.2: Les coefficients des pertes de charge pour les coudes	65
Tableau IV.3 : Les valeurs de ζ en fonction de l'angle de fermeture.....	65
Tableau IV.4: Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différents débits pour le tronçon L1 de poste N°3	67
Tableau IV.5: Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différentes débit pour le tronçon L2 de poste N°3	68
Tableau IV.6: Résultats de calcul de la charge et la pression de refoulement pour différentes débit poste N°3.....	68
Tableau IV.7: Données du calcul	69
Tableau IV.8: Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différentes débit pour le tronçon L1 de poste N°2	70
Tableau IV.9: Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différentes débit pour le tronçon L2 de poste N°2	71
Tableau IV.10: Résultats de calcul de la charge et la pression de refoulement pour différentes débit poste N°2.....	71
Tableau IV.11: Points obtenues par la lecture graphique des courbes caractéristiques des pompes	72
Tableau IV.12: Les coefficients a et b par la méthode de la régression linéaire pour les pompes (MNOP)	73
Tableau IV.13: Coefficients des modèles mathématiques des caractéristiques des pompes	73
Tableau IV.14: Différents régimes de fonctionnement pour un H constante.....	75
Tableau IV.15: Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour le poste N°3	78
Tableau IV.16: Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour le poste N° 2	78
Tableau IV.17: Données des calculs	79
Tableau IV.18: Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de $2500\text{m}^3/\text{h}$	82

Tableau IV.19: Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 5000m ³ /h	82
Tableau IV.20: Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 75000m ³ /h	83
Tableau IV.21: Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 10000m ³ /h	83
Tableau IV.22: Résultats de calcul de la charge et la pression de refoulement pour différentes débits pour la bouée de chargement	85
Tableau IV.23: Points obtenues par la lecture graphique de courbe caractéristique des pompes	86
Tableau IV.24: Les coefficients a et b par la méthode de la régression linéaire pour les pompes (YZ).....	86
Tableau IV.25: Différents régimes de fonctionnement pour un H constante.....	87
Tableau IV.26: Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour la bouée de chargement.....	88
Tableau IV.27: Les pertes de charge et la pression de la vanne de régulation de débit.....	89
Tableau IV.28: Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour la bouée de chargement avec l'effet des vannes de régulation de débit.....	90

Liste des abréviations

API : American Petroleum Institute “Institut américain de pétrole”
ASTM : American Society of Testing Material
BSW : Basic Sediment and Water
BT : Basse Tension
CALM : Catenary Anchor Leg Mooring “amarrage à chaîne caténaire”
DRGB : Direction Régionale de Bejaia
DWT : Dead Weight Tons “Poids à vide en tonnes”
EPB : Entreprise Portuaire de Bejaia
ESDV : Emergency Shut Down Valve “Vanne d’arrêt d’urgence”
GNL : Gaz Naturel liquéfié
GPL : Gaz de pétrole liquéfié
HEH : Haoud-El-Hamra
HPU : Hydraulic Power Unit “unité de puissance hydraulique”
HT : Haute Tension
MOV : Vanne motorisée
MT : Moyenne Tension
MTA : Millions de tonnes par An
NAFTAL : Société de la Commercialisation et la Distribution des Produits Pétroliers
(NPSH) disp : Hauteur pratique de charge absolue disponible
(NPSH) req : Hauteur pratique de charge absolue requise
NPSH : Hauteur pratique de charge absolue
PCS : Process control system “Système de contrôle du procédé”
PDV : Pressure Differential Valve “Vanne de pression différentielle”
PLEM : Pipeline End Manifold “collecteur d’extrémité de canalisation”
PSV : Soupape de Sûreté
QC/DC : Quick Connect /Disconnect Couplers
SH/COM : Sonatrach commerciale
SONATRACH : Société National de transport et commercialisation des hydrocarbures
SPM : Single point mooring “Amarrage sur point unique”
STH : Société de gestion et l’exploitation des terminaux marins à hydrocarbures
TM : Terminal Marin
TM : Tonnes Métriques
TMB : Terminal Marin de Bejaia
Tpl : Tonnes de Port en Lourd
TRC : Transport par Canalisation
TVR : Tension de Vapeur Reid
ULCC : Ultra Large Crude Carriers
VLCC : Very Large Crude Carriers



Introduction générale

Introduction générale

Les hydrocarbures sont la principale source d'énergie consommée dans le monde. Cette matière première satisfait encore plus de 30% de la demande énergétique mondiale. L'inégale répartition des réserves dans le monde implique des flux très importants entre les zones de production et de consommation.

Une fois découvert, collecté, traité et stocké dans les terminaux de chargement, le brut doit être transporté par un moyen quelconque vers les lieux de consommation. Pour se faire on a recours le plus souvent à des réseaux d'oléoducs. Or un autre moyen de transport du brut est celui du transport maritime.

Le transport maritime a gardé sa prééminence dans le transport de marchandises, car sur les longues distances, il reste, pour des charges importantes, le plus économique, parfois le seul disponible. Il participe aujourd'hui aux transports de carburants et de gaz.

Sonatrach, comme toutes autres entreprises, cherche toujours à améliorer toutes ces activités sans exception. Le transport maritime fait partie de ces activités donc elle est obligée de l'améliorer et comme le transport maritime est devenu indispensable dans l'industrie mondiale, pour cela la Sonatrach essayer toujours d'améliorer ces activités. Trois ports pétroliers sont fonctionnels en Algérie : Arzew, Bejaïa et Skikda. Ces derniers disposent d'infrastructures portuaires suffisamment adéquates (quais, postes de chargement, parc de stockage ...) permettant la réalisation des opérations commerciales de chargements des navires.

Pour permettre le chargement de cargaison à bord d'un navire, plusieurs systèmes sont utilisés. Parmi eux, il y a le système de chargement onshore, réalisé à l'aide de bras de chargement depuis la terre ferme, ainsi que le système offshore utilisant des SPM (Single Point Mooring). Ces deux méthodes ont pour objectif de charger le pétrole ou le condensat dans les navires en vue de leur transport à travers le monde.

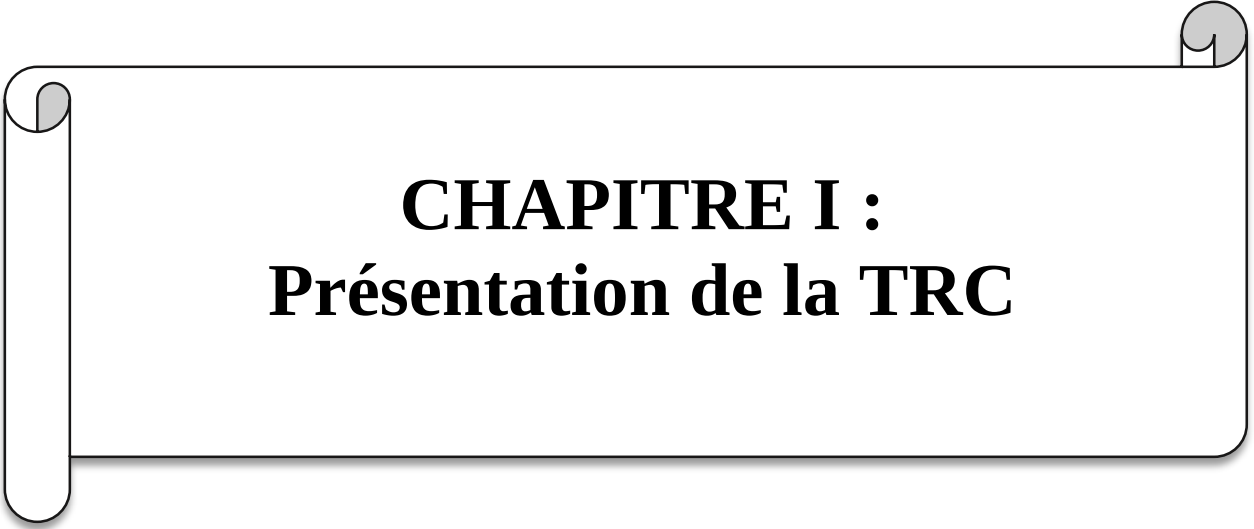
Le chargement de navire s'est beaucoup amélioré depuis quelques décennies, les navires peuvent désormais charger en pleine mer même dans des mauvaises conditions météorologiques, toute fois les opérations restent dangereuses et les risques peuvent survenir durant les différentes phases du chargement d'où l'importance d'une connaissance détaillée de certains paramètres pour mieux exploiter les installations.

L'objectif de notre travail est de faire une étude sur les deux systèmes de chargement du pétrole brut au niveau du terminal marin de Bejaia, et à fin de mener à bien notre travail, nous avons structuré notre mémoire en plusieurs chapitres qui contiennent les éléments nécessaires à notre étude.

Pose du problème

Pour le chargement de navire-citerne, un certain nombre de paramètres doivent être conciliés et soigneusement étudiés avant de procéder aux opérations. Sonatrach dispose d'un système de chargement onshore (postes du port pétrolier) et un système de chargement offshore (bouée CALM en haute mer).

Notre travail consiste à examiner deux systèmes de chargement afin d'évaluer leurs performances et de déterminer les paramètres d'exploitation pour divers régimes de fonctionnement des stations de pompage. Cette analyse inclut également la détermination des puissances pour les pompes et les moteurs dans différents assemblages.



CHAPITRE I :

Présentation de la TRC

I.1. Sonatrach

I.1.1. Historique – SONATRACH

La Sonatrach est une « Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures », qui a été créée le 31 décembre 1963. Son objectif initial était de transporter les hydrocarbures algériens du sud (HEH) vers les ports du nord pour les commercialiser. Cette création visait à garantir un contrôle total sur la richesse de l'Algérie, l'exploitation étant alors principalement assurée par des sociétés françaises.

C'est la plus importante compagnie d'hydrocarbures en Algérie et en Afrique. Cela implique l'exploration, la production, le transport par pipeline et la commercialisation des hydrocarbures. Le réseau de transport de SONATRACH s'étend sur tout le territoire national avec 28 canalisations reliant le sud au nord et acheminant la quasi-totalité des types d'hydrocarbures non raffinés.

La volonté de l'Algérie de récupérer ses richesses naturelles et d'assurer un contrôle total de leur exploitation a conduit à la nationalisation de la production des hydrocarbures le 24 février 1971. Cette décision s'est traduite par la signature d'une ordonnance définissant le cadre d'activité des sociétés étrangères en Algérie.

Au début des années 1980, la restructuration de Sonatrach a été entreprise. Cette étape est l'une des étapes les plus importantes du développement social. D'autres étapes tout aussi importantes ont suivi, notamment la réorganisation des structures de la société en activités, en particulier les activités aval et amont.

Par ailleurs, après l'ouverture du marché et la signature de nombreux contrats de partenariat avec des sociétés étrangères, notamment américaines, ainsi qu'avec des sociétés étrangères, Sonatrach a pu asseoir son statut comme société pétrolière « solide ».

Aujourd'hui, Sonatrach est une entreprise leader sur le continent africain. Elle se classe au 12ème rang des sociétés pétrolières mondiales, au deuxième rang parmi les exportateurs de GNL et de GPL et au troisième rang parmi les exportateurs de gaz naturel.

Dans le but d'assurer une meilleure efficacité organisationnelle et économique, Sonatrach a été divisée en 18 entreprises nationales, dont NAFTAL, ENIP, ENAC, NAFTEC, etc. Les activités de base de SONATRACH ont été définies en 1992 afin d'atteindre ses objectifs nationaux et de consolider ses positions internationales.

I.1.2. Principales activités

Pour réaliser ces objectifs stratégiques l'entreprise fut entre autres organisée en quatre activités qui sont les suivantes :

a) Activité Amont

L'activité Amont est l'une des activités essentielles de Sonatrach. C'est cette branche qui s'occupe du développement des puits et de leur exploitation, qu'il s'agisse de pétrole ou de gaz. Elle prend en charge la recherche, l'exploration et la production des hydrocarbures. Elle se localise dans le sud de l'Algérie, c'est là où se trouvent la grande majorité des gisements du pays.

b) Activité Aval

L'activité Aval a pour missions essentielles : exploitation des installations existantes de liquéfaction de gaz naturel et de séparation de GPL, de raffinage, de pétrochimie et de gaz industriels (hélium et azote). Elle se charge ainsi du traitement des hydrocarbures pour obtenir les différents carburants utilisés, les huiles etc., ainsi que des études et du développement de nouvelles technologies.

c) Activité commercialisation

Sonatrach est le responsable de la vente des hydrocarbures algériens sur le marché national et international. En Algérie, elle assure l'approvisionnement du gaz, GPL, essence et gasoil, et fixe les prix. À l'international, elle vend les sur plus d'hydrocarbures, négocie les contrats et les prix, et promeut les produits algériens.

L'objectif est de maximiser les profits, diversifier les marchés et renforcer la compétitivité de Sonatrach.

d) Activité de transport par canalisation

L'activité Transport par Canalisations (TRC) est le noyau autour duquel Sonatrach s'est construite dès sa création en 1963. Cette activité est un élément central de la chaîne de valeur hydrocarbures de l'entreprise. Elle prend en charge l'acheminement des hydrocarbures, à savoir le pétrole brut, le gaz naturel, le GPL et le condensat. Le transport s'effectue depuis les zones de production vers les zones de stockage, les complexes GNL et GPL, les raffineries, les ports pétroliers et enfin vers les pays importateurs.

Le TRC s'affirme comme le moyen le plus simple, le plus sûr et le plus écologique pour transporter le pétrole.

On peut les représenter de la manière suivante :



Figure I.1 : Structure organisationnelle de l'Entreprise SONATRACH.

I.1.3. Description du réseau de transport

Le réseau de transport actuel peut être divisé en trois parties : cette distinction tient compte du procédé d'utilisation des canalisations. En examinant le réseau, nous avons constaté que ces gisements sont situés à l'extrême sud du pays et qu'ils représentent le point de départ du réseau. Ensuite vient la région de HEH dans le 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 dispose de 7 régions opérationnelles :

- Région Transport Centre - Bejaïa (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) ;
- Gazoduc Espagne (par Mostaganem) (GPDF) ;
- Gazoduc Italie (par El Kala) (GEM).

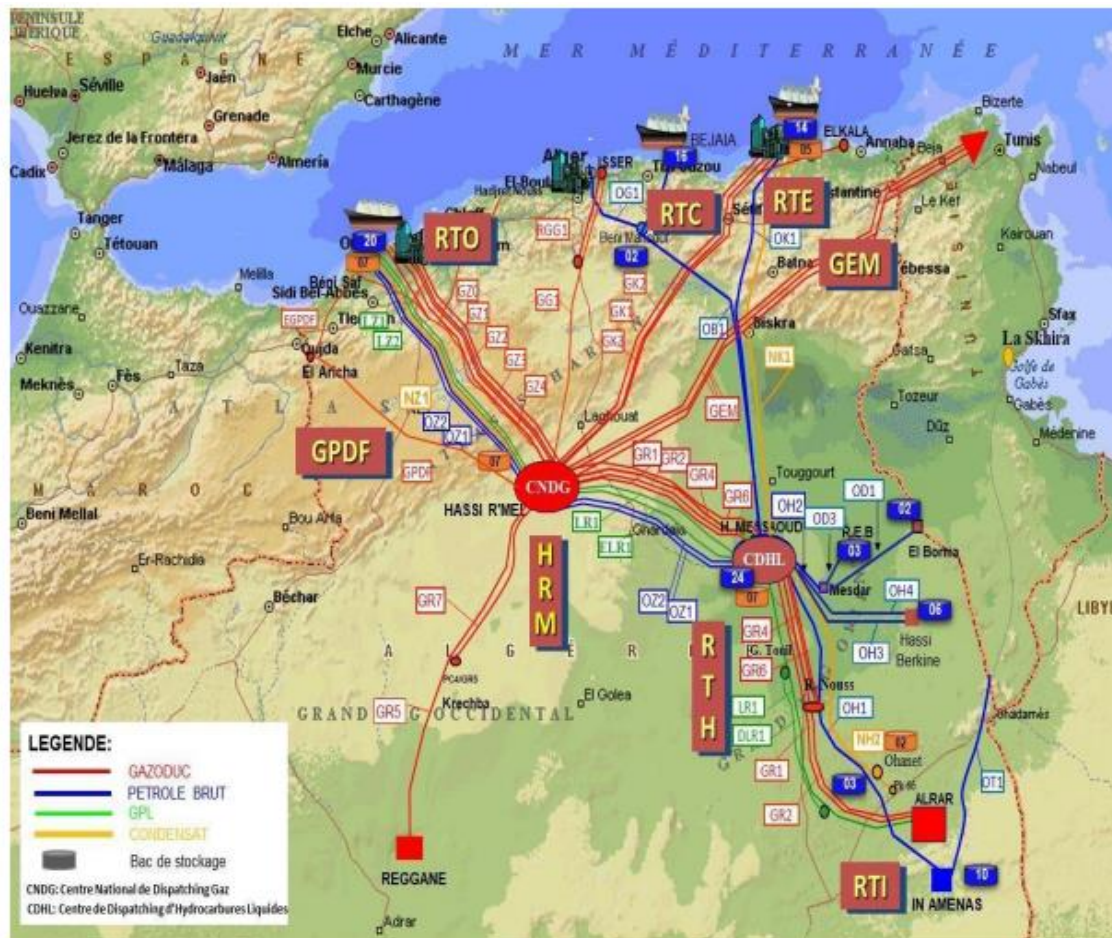


Figure I.2: Carte du réseau de transport Algérien.

Le transport par canalisations est une étape charnière dans la chaîne des hydrocarbures. Ses missions consistent à définir, réaliser, exploiter, maintenir et faire évoluer le réseau de canalisations et les ouvrages pour répondre aux besoins de Sonatrach dans les meilleures conditions d'économie, de sécurité, de qualité et de respect de l'environnement.

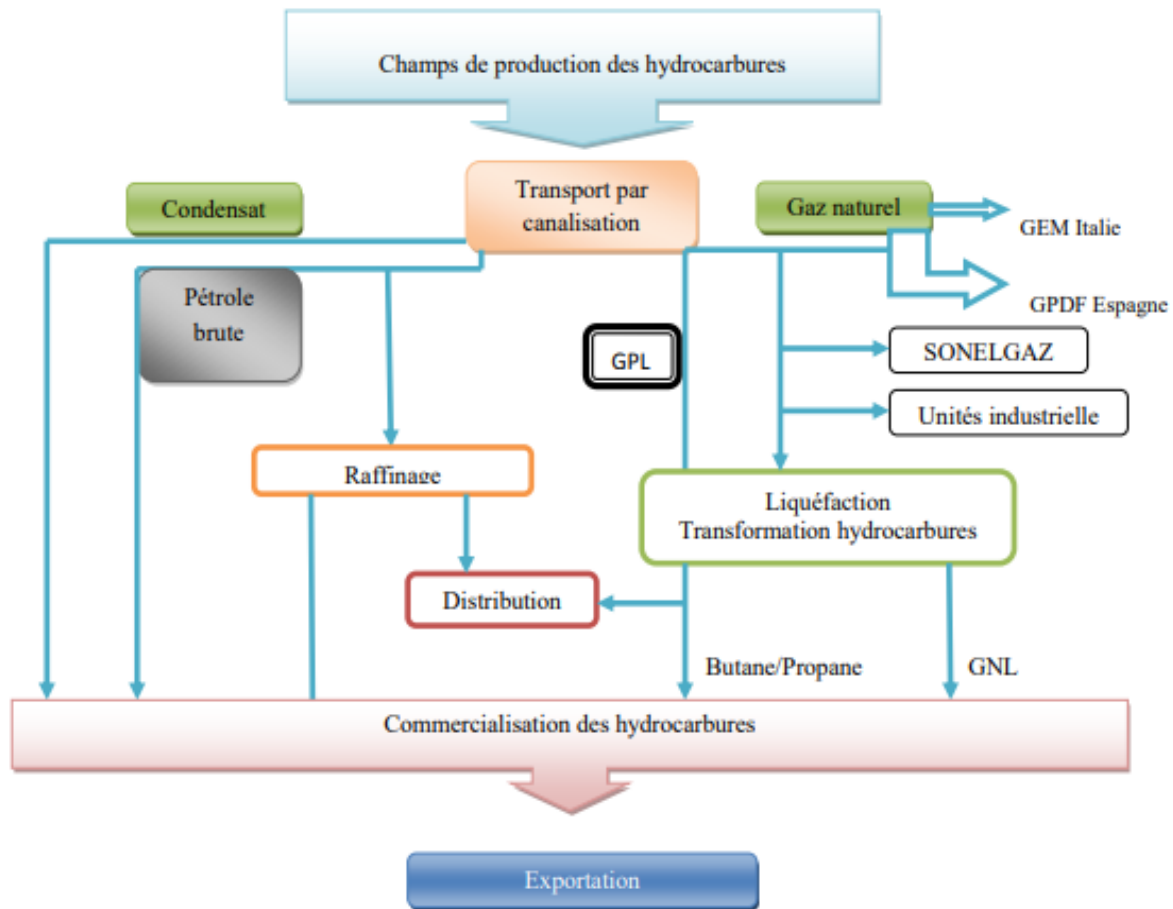


Figure I.3 : Chaîne de transport par canalisation de Sonatrach.

➤ Patrimoine actuel

- Une capacité de transport de 348 MTEP (Millions de Tonnes Equivalent Pétrole) ;
- 21 Systèmes de transport par canalisation d'une longueur totale de près de 18 722 km ;
- 82 Stations de pompage et de compression ;
- 121 Bacs de stockage d'une capacité utile de près de 3 090 465 TM (Tonnes Métriques) ;
- 03 Directions opérationnelles de maintenance ;
- 03 Bases régionales d'intervention (HEH – Barika – SP6/Tiaret) ;
- 01 Centre National de Dispatching Gaz (CNDG) ;
- 01 Centre de Dispatching des Hydrocarbures Liquides (CDHL) ;
- 01 Centre de Stockage et Transfert des Fluides (CSTF).

➤ Réseau de transport en exploitation

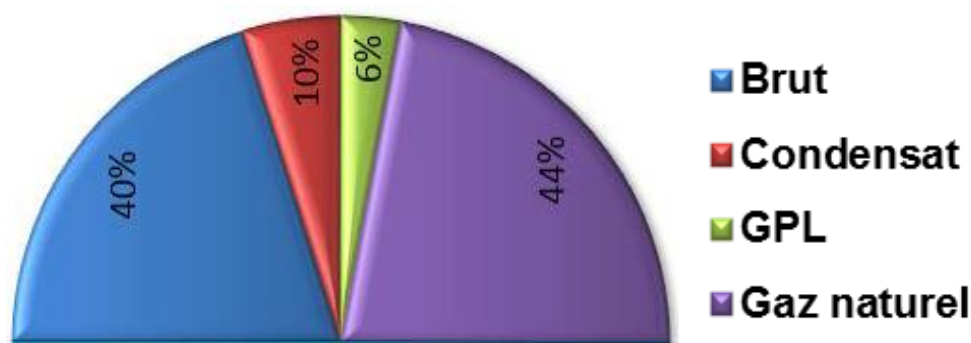
Le tableau suivant donne le réseau de transport en exploitation de Sonatrach :

Tableau I.1: Réseau en exploitation.

Nombre de STC	21
Longueur (km)	18722
Nombre de stations	82
Capacité totale (MTEP / AN)	348
Capacité nord (MTEP / AN)	244
Bacs de stockage	121

STC : Systèmes de Transport par Canalisation.

Voici une figure qui montre la répartition du réseau en exploitation :



TRC : 348 METP / AN

Figure I.4 : Répartition du réseau en exploitation.

I.2. Direction régionale de Bejaia DRGB

La DRGB est l'une des sept directions régionales opérationnelles de transport par canalisations d'hydrocarbures. 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–Bejaia ;
- L'oléoduc OG1-20'' :Béni Mansour vers la raffinerie d'Alger(SidiResine) ;
- Le gazoduc GG1-42": Hassi R'Mel-Bordj Menail.

I.2.1. Situation géographique de la DRGB

Elle est située au nord de Bejaïa (arrière-port) et à l'entrée de la ville, dans la zone industrielle. Elle s'étend sur une superficie d'environ 596 601 m².

Elle compte environ 480 travailleurs répartis sur 11 sites géographiques. Sa mission opérationnelle principale consiste, entre autres, en le transport, la réception, le stockage et l'expédition du brut et le transport du gaz naturel.

I.2.2. Organigramme de la DRGB

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

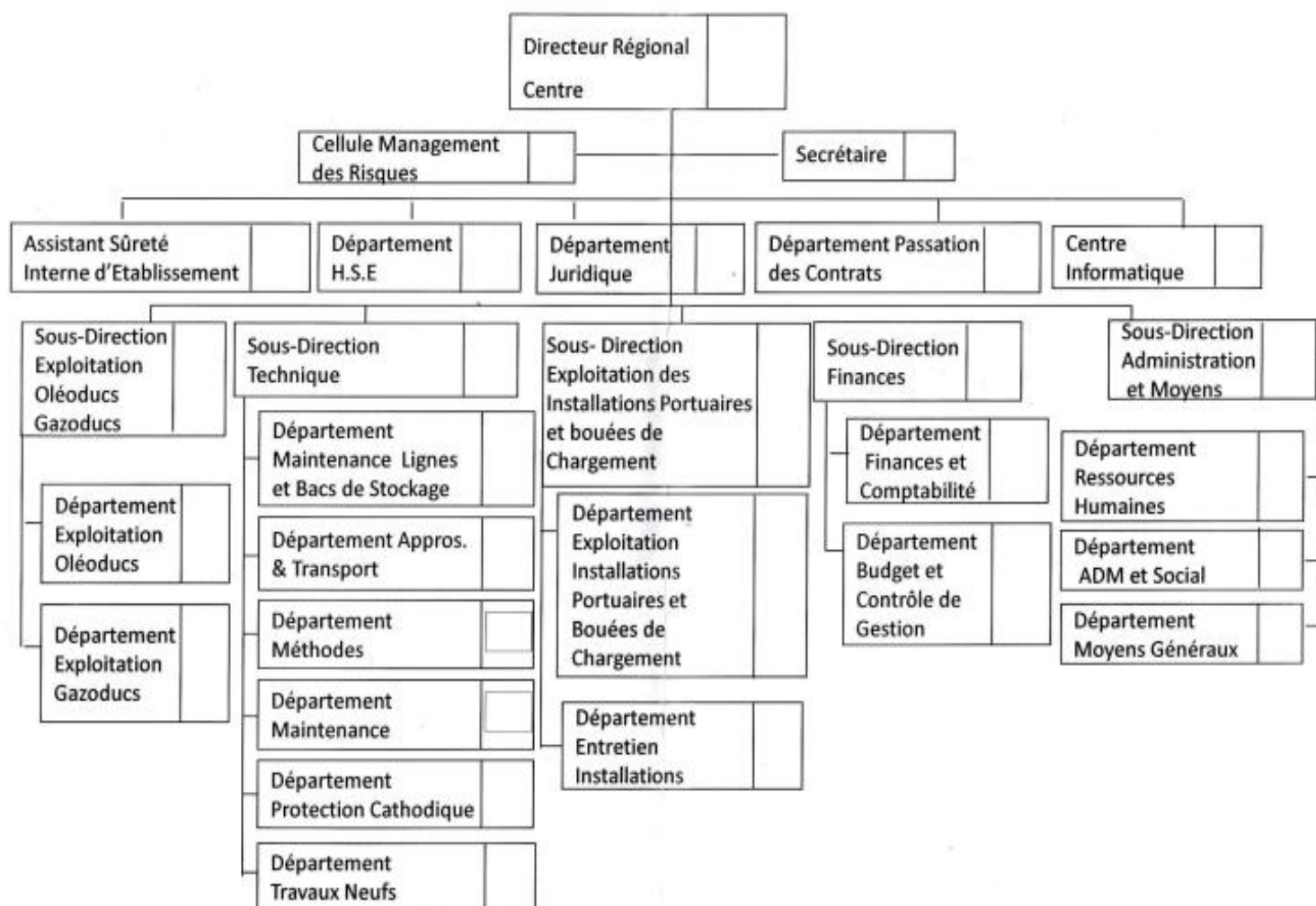


Figure I.5 : Organigramme de la DRGB.

- **Description de l'organigramme de la DRGB**

La DRGB est composée de cinq sous-directions qui sont elles-mêmes décomposées en départements que nous présenterons ci-dessous :

A. Sous-direction Exploitation Oléoducs/Gazoducs : Elle est chargée de l'exploitation des installations de la région. La mission de ses différents départements est d'organiser les programmes de transport du pétrole brut et du gaz dans les meilleures conditions de sécurité et de coût.

B. Sous-direction Technique : Elle se compose de six (06) départements :

- **Département Maintenance des lignes et des bacs de stockage :** Sa mission est la maintenance des canalisations endommagées, l'intervention en cas de fuite de brut, l'entretien des bacs et tous travaux nécessitant des opérations de soudure.
- **Département Approvisionnement et Transport :** Ce département alimente la DRGB en matériel nécessaire à son fonctionnement. Il gère les achats, les magasins de stock de pièces de rechange et assure le transport du personnel.
- **Département Méthodes :** Son rôle principal est de constituer, de gérer et de mettre à jour une banque de données constituée de fiches techniques et de dossiers historiques des machines tournantes et des équipements de production en général.
- **Département Maintenance :** Sa mission principale est de veiller au maintien en bon état de marche des installations techniques de la région.
- **Département Protection des ouvrages :** Sa mission est la protection contre la corrosion par l'utilisation de méthodes comme la protection cathodique.
- **Département Travaux neufs :** Il est responsable de l'étude et du suivi des projets d'investissement de la DRGB dans les différents domaines industriels et du génie civil.

C. Sous-direction Exploitation des Installations Portuaires et des Bouées de Chargement
En raison de sa position géographique, la DRGB a été créée pour la gestion et l'exploitation du port pétrolier en vue de l'exportation des hydrocarbures.

D. Sous-direction Finances

- **Département Finance et Comptabilité :** Il prend en charge la gestion comptable et financière de la DRGB.
- **Département Budget et Contrôle de Gestion :** Son rôle est de préparer les budgets d'investissement et d'exploitation en collaboration avec les structures concernées et d'en assurer le suivi.

E. Sous-direction Administration et Moyens

- **Département Ressources Humaines :** Il a pour rôle la recherche et l'acquisition du potentiel humain, sa formation et son développement qualitatif.

- **Département Administration et Social** : Ce département veille au respect des lois en vigueur qui régissent les relations de travail et gère le personnel de la DRGB en ce qui concerne les paies et les dossiers de carrière.
- **Département Moyens Généraux** : Ce département fournit le soutien logistique à l'entreprise.

- **Département exploitation –liquide**

Le département exploitation liquide de la RTC assure l'exploitation de l'oléoduc (OB1) pour le transport du pétrole brut à partir de HEH vers le terminal marin de Bejaia et garantit les contrats de vente de pétrole brut dans les délais impartis. La figure ci-dessous montre l'organisation de ce département.

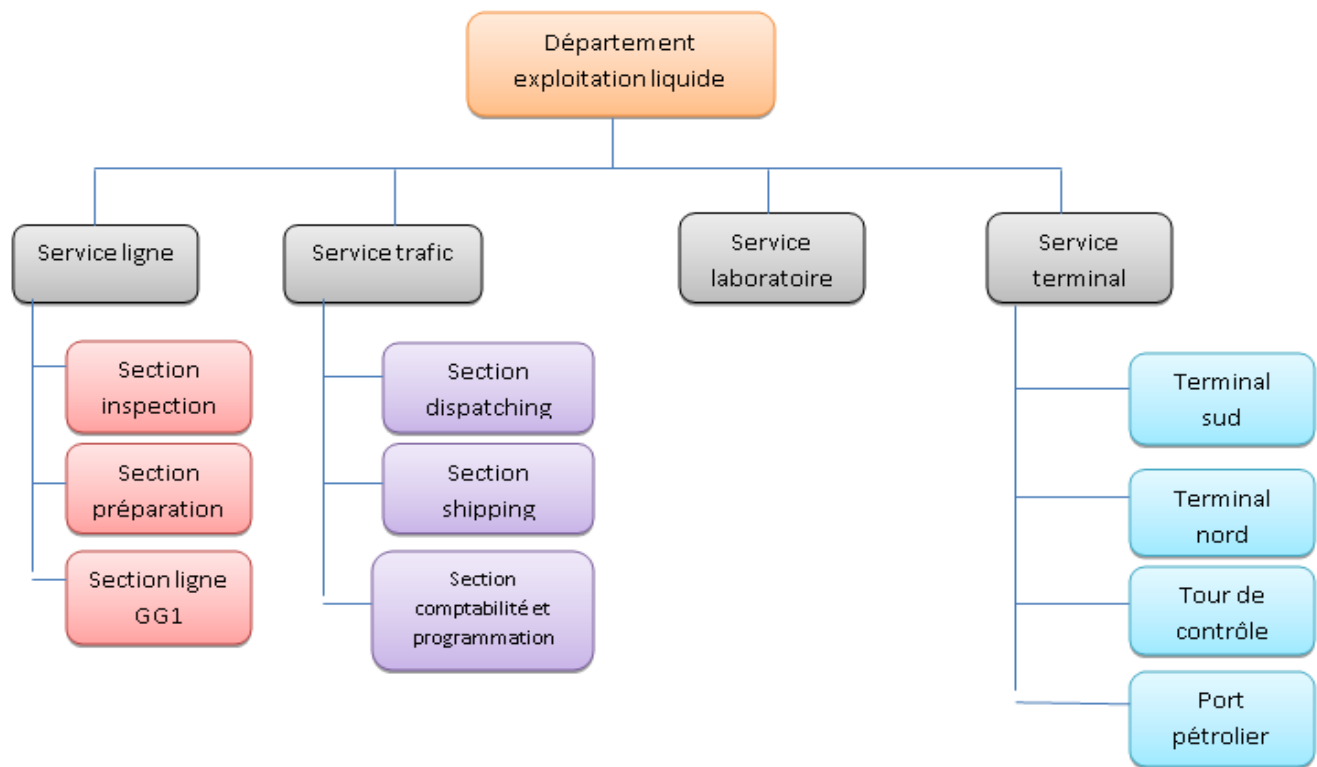


Figure I.6: Organisation du département exploitation liquide.

A) Service Ligne : Contient trois sections :

- **Section Inspection** : Son rôle est l'inspection et le contrôle des pipelines ainsi que leurs installations auxiliaires.

- **Section Préparation** : Le rôle de cette section est la préparation des documents et des dossiers concernant les pipelines. Elle est chargée de l'étude ainsi que de l'engineering des installations de transport pour une exploitation optimale.
 - **Section Ligne GG1** : Cette section se charge de l'exploitation du gazoduc Hassi R'mel-Isser. Le rôle de ce gazoduc est d'alimenter la région centre du pays en gaz naturel.
- B) Service Trafic** : Son rôle essentiel est la surveillance et l'acheminement du fluide jusqu'aux terminaux. Il s'occupe également de la coordination du fonctionnement des stations de pompage. Ce service contient trois sections :
- **Section Dispatching** : Cette section s'occupe du réglage du débit du produit envoyé vers le parc de stockage de Bejaia ainsi que de la supervision des paramètres d'exploitation.
 - **Section Shipping** : A partir d'un planning élaboré par la direction commerciale, cette section prépare les dossiers des clients pour la transaction commerciale et le chargement des tankers.
 - **Section Comptabilité** : Comptabilité du produit réceptionné, stocké et expédié.
- C) Service Laboratoire** : Ce service contrôle la qualité du produit réceptionné au Terminal marin. Il effectue des tests sur la densité, la teneur en sel et en soufre, la pression, la recherche de sédiments et la teneur en eau. Ce service est très important, puisque les résultats des analyses effectuées sur le brut définiront sa qualité et son prix.
- D) Service Terminal** : Le rôle de ce service est la gestion et l'exploitation des installations composant les deux terminaux, nord et sud, ainsi que la tour de contrôle, et le port pétrolier de Bejaia.

I.2.3. Description du terminal marin de BEJAIA

Le terminal marin de Bejaïa, il est divisé en deux parties : Terminal nord et sud



Figure I.7: Carte satellitaire du terminal nord et sud de la DRGB.

- **Les bacs de stockage**

A) Le terminal nord : On y trouve

- 12 bacs à toits flottants, d'une capacité de 35 000m³, d'un volume utile de 27 500m³ et un stock mort de 5000m³ chacun, d'un diamètre nominal de 56m, d'une hauteur cylindrique totale de 14,4m.
- 01 bac de purge à toit fixe de 2900m³ pour recevoir les résidus de la gare racleur arrivée et les décharges des soupapes de sécurité, il sert également à récupérer les purges des collecteurs et du manifold.

B) Le terminal sud

Il comprend 4 bacs de stockage, à toit flottants d'une capacité de 50 000m³, d'un volume utile de 41 000m³ et un stock mort de 5000m³ chacun, d'un diamètre nominal de 66,75m, et d'une hauteur totale de 14,65m.

Les réservoirs subissent des opérations de transfert d'un bac à un autre de la même unité ou d'une autre unité, les purges d'eau, le jaugeage, la prise de température, etc.

- **La gare racleur**

La gare racleur arrivée à un diamètre de 32'' destinée pour la réception du racleur dans le cas du nettoyage intérieur de pipe ou d'un outil intelligent lors d'une inspection en ligne. Cette gare est liée au bac de détente pour recevoir ses résidus.

En général, les stations de pompage disposent deux gares racleurs, l'une pour le départ et l'autre pour l'arrivée. A TMB, il n'y a qu'une seule arrivée, ce qui est tout à fait logique car il s'agit d'un terminal et non d'une station intermédiaire.

- **Les soupapes principales**

Elles sont destinées à assurer la sécurité des collecteurs et de la ligne en cas de surpression. Elles évacuent le produit à l'intérieur d'une conduite qui est reliée à 4Y1.

- **Manifold**

Il existe, deux manifolds (un au nord et l'autre au sud) au terminal arrivé. Le manifold est un ensemble de canalisations, vannes et accessoires qui constituent le poste d'aiguillage de la station de pompage et qui comprennent les différentes installations annexes, filtration, comptage, etc.

Le manifold proprement dit, est un système qui est constitué principalement de 4 groupes de collecteurs (collecteurs départ, collecteurs arrivée, collecteurs aspiration et refoulement pompes).

C'est une sorte de « matrice » de tuyauteries superposées les unes sur les autres de manière orthogonale et qui sont reliées entre elles par le nombre de vannes motorisées nécessaires, et parfois de vannes manuelles afin d'assurer avec souplesse les opérations d'exploitation.

Cette géométrie et disposition ingénieuse du manifold le destinent à assurer par différentes combinaisons tous les mouvements du produit - c'est à dire :

- Réception par pipeline ; venant de SP3 ;
- Remplissage et vidange sélective des groupes de bacs ;
- Transfert d'un groupe de réservoirs à un autre par transvasement ;
- Expéditions vers le port marin et bouée.

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

- **Unités de pompage**

Le terminal est constitué d'un total de 10 électropompes disposées en parallèle :

- Sept (7) unités de pompage pour le terminal nord ;
- Trois (3) unités de pompage pour le terminal sud.

- **La tour de contrôle**

Dans la tour de contrôle se trouvent les tables de contrôle des terminaux nord et sud. Cette salle assure une surveillance complète du parc de stockage, permet de communiquer avec les pétroliers et regroupe toutes les opérations de contrôle. Par exemple :

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

- **La salle électrique**

La salle électrique se compose de trois chambres : haute tension, moyenne tension et basse tension. C'est à partir d'ici que tous les équipements électriques de l'installation TMB sont alimentés en énergie électrique.

Étant donné que ces salles sont pleines de disjoncteurs de circuits et que ceux-ci sont des moyens manuels pour mettre sous tension ou hors tension les circuits, seuls des techniciens d'électricité qualifiés doivent manœuvrer les disjoncteurs de circuits HT et MT. Les opérateurs ne peuvent manœuvrer que les disjoncteurs de circuit BT.

- **Système anti-incendie**

Composé d'un circuit d'eau de plusieurs centaines de mètres de longueur, le réseau d'incendie est doté de bornes d'incendie de raccordement (hydrants) uniformément réparties. Ce circuit est alimenté à partir de deux bassins d'une capacité de 8 000 et 600 m³.

Il existe également d'autres moyens de lutte contre l'incendie, répartis en trois catégories :

- A. **Moyens portatifs** : extincteurs à main, chariots tractés.
- B. **Moyens mobiles** : véhicules de lutte contre l'incendie, groupes motopompes, générateurs de mousse et épandeurs de poudre.
- C. **Moyens fixes** : rampes d'arrosage, générateurs de mousse et épandeurs de poudre.

- **Port Pétrolier**

Le port de Bejaia, situé à l'avant-port, se compose des éléments suivants :

- 03 postes de chargement ;
- 02 cuves ouvertes d'une capacité de 12000m³ pour recevoir le ballast ;
- 02 bassins de décantation ;
- 02 groupes électropompes pour le réseau incendie ;
- 01 groupe motopompe pour le réseau incendie en cas de coupure d'électricité.

CHAPITRE II :
Description des systèmes de chargement
Onshore-Offshore

II.1. Introduction

Le transport maritime des hydrocarbures est un pilier fondamental de l'économie mondiale et du fonctionnement de la société moderne. Parmi les étapes cruciales de ce processus, le chargement du pétrole dans les navires revêt une importance capitale. De quelle manière le pétrole est-il acheminé vers un navire et comment s'effectue le chargement de ce dernier ?

Afin de répondre à cette question, nous nous concentrons dans ce chapitre sur le système de chargement de pétrole au terminal marin de Bejaia. Ce terminal est un exemple concret illustrant les différentes étapes et technologies employées pour acheminer le pétrole des bacs de stockage aux navires.

II.2. Système de chargement Onshore (Bras de chargement)

II.2.1. Parcs de stockage

➤ Généralités sur les bacs

Le bac se présente comme un cylindre vertical, dont la paroi est constituée de plusieurs tôles d'acier cylindriques, appelées viroles. Ces viroles sont assemblées par soudure, alternant les unes avec les autres pour créer une structure solide et étanche. Elles constituent la partie principale du bac, que l'on nomme également la robe.

Le deuxième élément principal du bac est le toit : En général, on emploie les réservoirs à toit flottants lorsqu'on veut réduire au maximum les pertes par évaporation et le risque d'incendie. C'est un toit à « Double-Deck », qui assure une haute flottabilité. En effet, un toit flottant étant en contact direct avec le produit stocké. Ce toit présente plusieurs avantages :

- Il réduit au maximum les pertes par évaporation causées par les variations de température ;
- Les hydrocarbures ne peuvent pas prendre feu, parce qu'ils ne sont pas en contact avec l'air ;
- Au cours du remplissage d'un réservoir, il n'y a pas de pertes par évaporation, parce qu'il n'existe pas d'espace vide entre le toit et le niveau du liquide où les vapeurs s'accumulent.

➤ Les accessoires des bacs de Bejaïa

A. Sur la robe :

- 2 trous d'homme ;
- 1 agitateur ;
- 1 tubulure de purge ;
- 1 échelle ;
- 1 porte d'homme ;
- 1 plateforme ;

- Tuyauterie d'eau d'incendie ;
- Accessoires d'entrée et de sortie.

B. Sur le toit : On trouve :

- Un trou d'homme ;
- 31 trous d'homme de caisson ;
- 56 supports tubulaires et télescopiques pour repos du toit sur le fond ;
- 1 Soupape automatique, 2 soupapes mécaniques, 1 soupape hydraulique ;
- Une échelle roulante articulée suivant, le mouvement du toit ;
- Un dispositif de guidage du toit ;
- Un évent avec couvercle arrête flamme ;
- Une tubulure de trop plein de drainage ;
- Trois tubulures de jauge ;
- Joint d'étanchéité.

➤ **Les joints**

Les joints utilisés sont :

- Des Joints métalliques pour les bacs du terminal marin Nord ;
- Des Joints souples tubulaires de type Horton pour les bacs du terminal marin sud.

II.2.2. Collecteurs des réservoirs

Les collecteurs de réservoirs à partir de chaque parc de stockage sont reliés à des manifolds d'aspiration de 42'' qui s'étendent jusqu'au collecteur d'aspiration de la station de pompage. Le manifold d'aspiration du parc de stockage nord est connecté à six (6) collecteurs de réservoirs de 28''. Chaque collecteur du parc de stockage nord est relié à deux réservoirs. Cinq (5) collecteurs de réservoirs de 32'' sont raccordés au manifold d'aspiration du parc de stockage sud. Quatre (4) collecteurs de réservoirs dans le parc de stockage sud sont chacun reliés à un réservoir. Un nouveau collecteur de 32'' est destiné à un futur bac.

Le manifold d'aspiration du parc de stockage nord est de 48'' au niveau des raccordements, qui se réduit à 42'' en amont de la vanne d'isolement.

Une soupape de sûreté est installée sur chaque manifold d'aspiration du parc de stockage afin de détendre la pression due à la dilatation thermique du produit lorsque la ligne est statique.

Des vannes d'isolement sont prévues sur chaque manifold d'aspiration en amont de la ligne d'admission. La vanne d'isolement du manifold d'aspiration du parc de stockage nord est une vanne motorisée. La vanne d'isolement du manifold d'aspiration du parc de stockage sud est une vanne pneumatique conçue pour se fermer automatiquement en cas de panne de courant.

II.2.3. Ensemble de robinetterie

Le circuit de transfert à l'arrivée du pipeline comporte deux vannes manuelles qui permettent d'évacuer le produit vers l'un des bacs du TM Nord (L2) ou du TM Sud (L4). Le manifold comporte également des vannes manuelles de transfert pour le collecteur K (KA, KB, KC, KD, KE, KF, KM, KN).

Toutes les autres vannes du manifold, ainsi que celles des pieds des bacs, sont équipées d'un moteur électrique asynchrone à vitesse fixe. Elles sont commandées à distance depuis la tour de contrôle, mais en cas de problème, elles peuvent être commandées sur place, soit par le moteur électrique, soit manuellement.

Dans le terminal marin nord, on trouve :

- 06 vannes de ligne et chaque ligne est connectée à deux bacs ;
- 06 vannes pour chaque pompe ;
- 01 vanne pour chaque pied du réservoir.

Pour le terminal marin sud, nous pouvons faire la même analyse pour la disposition des vannes, à leur codage et à leur fonctionnement. Ainsi, les caractéristiques et les informations trouvées concernant ce terminal sont :

- 04 vannes de ligne connectée à chaque réservoir ;
- 04 vannes pour chaque pompe ;
- 01 vanne de pied de bac pour chaque réservoir.

Toutes les vannes sont uniformément de 20" , sauf celles qui correspondent aux pompes de petites dimensions qui sont de 15" et 16".

Un système de protection est également en place, constitué d'une vanne de sectionnement et de soupapes de décharge tarées à 14 kgf/cm², 27 kgf/cm² et 83 kgf/cm², qui protègent le système contre les surpressions.

En cas de fausses manœuvres, l'écoulement s'effectuera vers le bac de purge (4Y1).

II.2.4. Station de pompage

La station de pompage transporte le pétrole brut des 16 bacs existants vers les parcs de stockage nord et sud. Les bacs sont reliés à la station de pompage par les collecteurs des bacs et les manifolds d'aspiration de chaque parc de stockage.

Deux catégories de pompes sont principalement présentes au Terminal Nord de Bejaïa :

1. Sept groupes électropompes (M, N, O, P, R, S, T) installées en parallèle et entraînées par des moteurs électriques, dont :
 - Quatre pompes à grand débit ;
 - Deux pompes à moyen débit ;
 - Une pompe à faible débit.

Les expéditions s'effectuent via les trois collecteurs de refoulement des pompes, également appelés "manifold départ", qui relient les trois postes de chargement situés au port. L'installation dispose de tous les équipements auxiliaires nécessaires pour assurer une exploitation efficace, souple et sûre du terminal de Bejaïa. Ces auxiliaires comprennent, entre autres, le filtre d'entrée des pompes, les vannes d'aspiration et de refoulement, le circuit de recyclage, le circuit de purge et l'instrumentation de sécurité des pompes (température, pression et vibrations).

2. Trois pompes auxiliaires de capacités successives de $250\text{m}^3/\text{h}$, $20\text{m}^3/\text{h}$ et de $7\text{m}^3/\text{h}$ permettent le transfert entre le bac 4Y1 de détente et les autres bacs de stockage. Elles sont utilisées aussi pour l'assèchement des bacs.

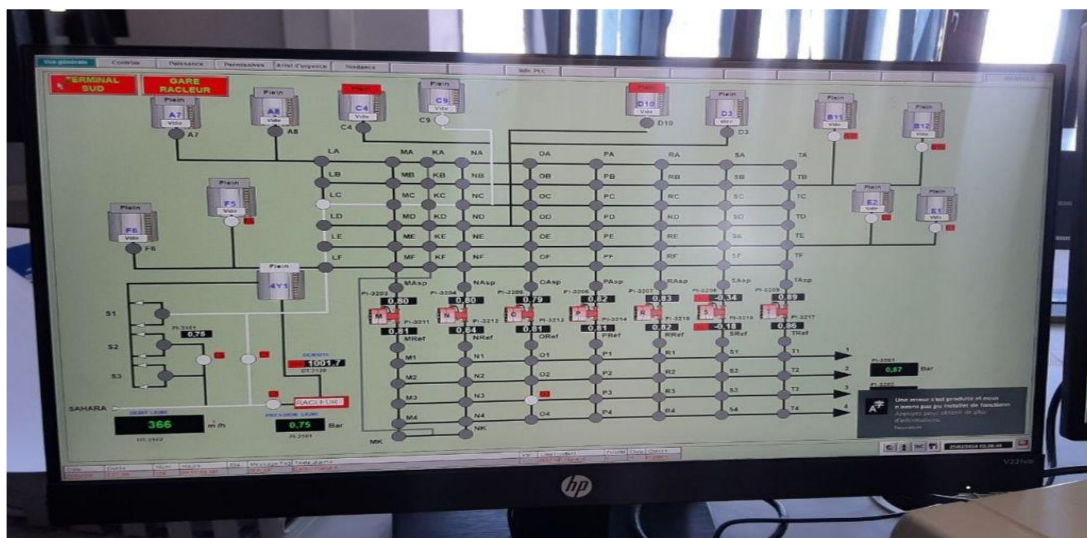
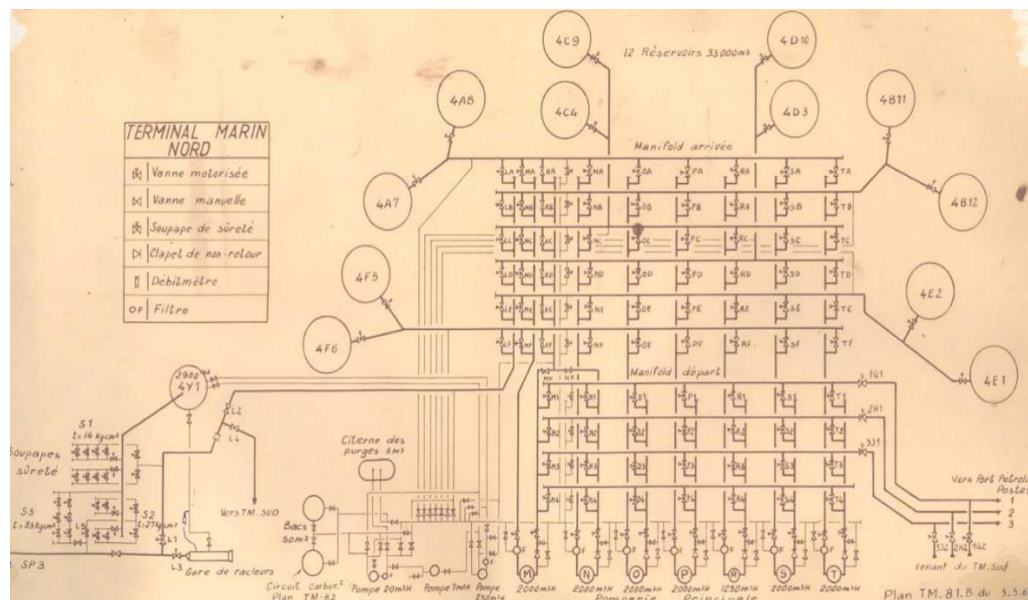


Figure II.1: Schéma de Principe installation du Terminal Marin Nord.

II.2.5. Le port pétrolier

Pour le chargement des tankers, le TMB possède un port pétrolier équipé des installations nécessaires à cette opération. Il comporte un appontement simple et un appontement double, trois postes de chargement et une station de déballastage.

II.2.5.1. Les appontements

Les appontements regroupent essentiellement, en plus de l'infrastructure de génie civil, un système de lutte anti-incendie et un ensemble de tuyauteries, d'électropompes et des vannes permettant de mettre en service les différents circuits de chargement. L'élément final de ce circuit est un dispositif appelé le bras de chargement.

- Le premier appontement est relié au poste N°1 et il n'est pas utilisé parce qu'il est cédé à NAFTAL ;
- Le deuxième appontement est relié aux postes N°2 et N°3.

L'expédition du produit vers le port se fait par l'intermédiaire de deux canalisations de 32'' qui aboutissent aux postes 2 et 3.



Figure II.2 : Le port pétrolier.

II.2.5.2. Poste N°3

On trouve dans ce poste :

- Quatre bras de chargement d'un diamètre de 12'' commandés à terre à partir de manette et sont conçus d'une manière à pouvoir pivoter jusqu'à une limite de sécurité déclenchant une alarme obligeant le détachement immédiat des bras de chargement et l'évacuation du produit ;
- Une citerne de 9m³ reliée au poste équipée d'une pompe avec un clapet de non-retour pour la vidange ;
- Quatre électrovannes et d'un jeu de vannes actionnées par les opérateurs avant et après le

chargement ;

- Un puisard pour la récupération des eaux de pluie et de produit récupéré dans les bras de chargement, lorsque le poste est en arrêt ;
- Une pompe qui permet d'aspirer le contenu du puisard, pour le refouler par l'intermédiaire d'un circuit de canalisation d'un diamètre de 16'' qui débouche dans le bac 5Y1. Ce circuit a pour fonction principale de récupérer le ballast présent dans le réservoir du navire.

II.2.5.3. Poste N° 2

Ce poste est équipé de la même installation que le poste 3 avec une légère différence :

- Trois bras de chargement de 16'' récemment installés ;
- Une nouvelle tuyauterie ;
- Salle de commande.

Les deux postes sont équipés d'un manomètre de pression qui est en surveillance permanente au cours du chargement.

II.2.5.4. Caractéristiques techniques de ces deux postes

Tableau II.1: Caractéristiques techniques des postes de chargement.

Désignation	Poste2	Poste3
Longueur max du bateau (m)	260	260
Tirant d'eau max(m)	12,5	13
Tonnage max(TM)	85000	90000
Produits exportés	Brut	Brut

Le post N°1 peut accueillir des navires d'une capacité maximale de 50 000 tonnes et d'un tirant d'eau maximum de 11,5 mètres. Il est équipé d'une grue avec 4 flexibles de 10'' et est utilisé pour le transport de gasoil.

II.2.5.5. Fiche technique des lignes de chargement 3x32''

Tableau II.2 : Fiche techniques des lings de chargement.

Lignes	3x32''
Produit transporté	Pétrole brut (Lignes N° 2 et 3) Gas-oil (Ligne N°1)
Longueur (km)	Ligne N°1 : 4,5 Km, cédée à NAFTAL Ligne N°2 : 4513Km Ligne N°3 : 4493 Km
Epaisseur du tube (mm)	7,92
Nuance d'acier	X42
Profondeur de pose	1,10 à 1,20 m
Type d'enrobage	Brai de houille
Année de mise en service	1959
PMS (Design)	20 bars
Vitesse max du produit (m/s)	3.21
Capacité Design	17 MTA
Protection cathodique	Protection par courant imposé
Constructeur	SOPEG

II.2.6. Description des bras de chargement

Les installations portuaires de chargement et de déchargement de produits pétroliers, chimiques et de gaz liquéfiés sont essentiellement constituées de bras « marine ».

Un bras de chargement comprend différentes tuyauteries articulées telles que des raccords à chemins de roulement interchangeables, des coupleurs hydrauliques de connexion et de déconnexion rapide QC/DC (Quick Connect / Disconnect Couplers), un coupleur manuel Quikcon, un dispositif de déconnexion d'urgence ERS (Emergency Release System), un système de contrôle par microprocesseur (PMS : Position Monitoring System), des lignes de retour vapeur, et bien d'autres encore. Ces dispositifs assurent une protection renforcée de l'installation.

II.2.6.1. Caractéristiques d'un bras

Tableau II.3: Caractéristiques d'un bras.

	Caractéristiques
Nature du bras	– Produit à transférer (corrosivité) – Température du produit (de -200°C à $+300^{\circ}\text{C}$)
Longueur du bras	– Tonnage des navires – Variation du niveau de l'eau – Longueur de 10 à 35m
Diamètre du bras	– Débit de produit à transférer $200\text{ m}^3/\text{h}$ à $8000\text{ m}^3/\text{h}$ – Diamètre de 6'' à 24''

II.2.6.2. Principaux éléments constitutifs d'un bras

Le bras est fixé sur une structure mécano-soudée appelée embase, qui assure la stabilité du bras et le passage du fluide entre les installations fixes et la tuyauterie articulée. On utilise un ensemble de contrepoids pour assurer l'équilibre de la tuyauterie articulée dans toutes ses positions.

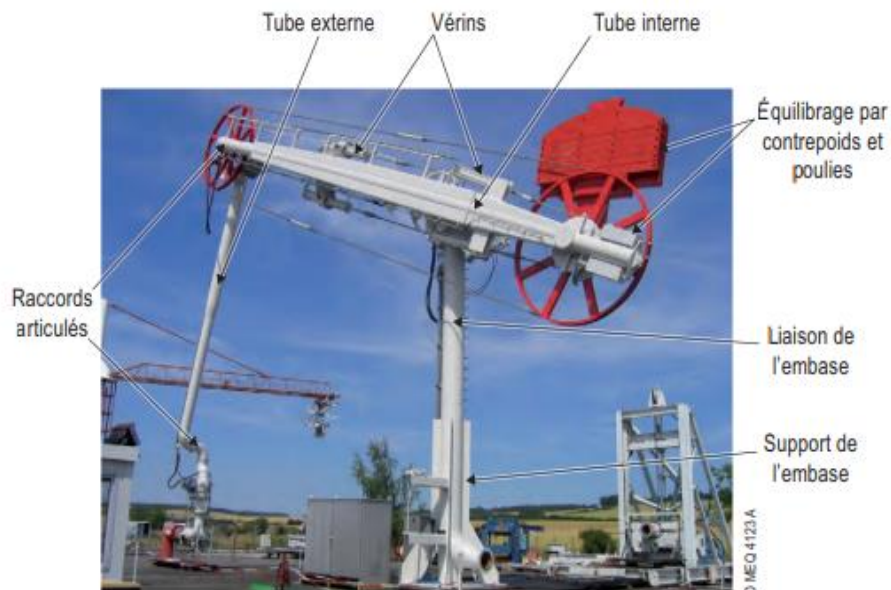


Figure II.3 : Éléments constitutifs d'un bras de chargement.

A. Embase autoporteuse : Elle remplit deux fonctions :

- **Support :** Le supportage, la hauteur et l'épaisseur du tube de l'embase sont déterminés par :
 - Le poids du bras ;
 - Le poids du produit dans le bras ;
 - Les efforts additionnels (séisme, houle, glace, ...) ;
 - Les efforts dus au vent.
- **Liaison :** Facilite le passage du fluide entre les tuyauteries terrestres et la tuyauterie articulée du bras (tubes internes et externes).

B. Tuyauterie articulée : éléments reliés entre eux et à l'embase par des raccords articulés. Une fois que le bras est connecté, elle permet de suivre le déplacement du navire citerne à l'intérieur de la zone de débatement :

- La partie de tuyauterie reliée à l'embase est le tube interne ;
- La partie de tuyauterie connectée au navire est le tube externe.

C. Équilibrage : réalisé de telle sorte que le bras soit équilibré à vide dans toutes les positions (pour une valeur de vitesse de vent déterminée), sans intervention d'aucune force mécanique extérieure. Deux techniques d'équilibrage sont possibles :

- Par contrepoids et poulies ;
- Par un système de pantographes.

D. Dispositif permettant la commande manuelle ou hydraulique du bras (Vérins pour commande hydraulique).

II.2.6.3. Commande d'un bras

- Pour les bras de petite dimension (diamètre de 6'', 8'', 10'' et de longueur maximale de 10-12 m) la manœuvre des bras peut être manuelle ou hydraulique ;
- Pour les bras plus importants (diamètre $\geq 10''$ et longueur ≥ 12 m) la manœuvre est nécessairement hydraulique (effectuée au moyen de vérins hydrauliques pour les bras).

A) Commande manuelle

La manœuvre du bras est effectuée manuellement à l'aide d'une corde ou d'un câble.

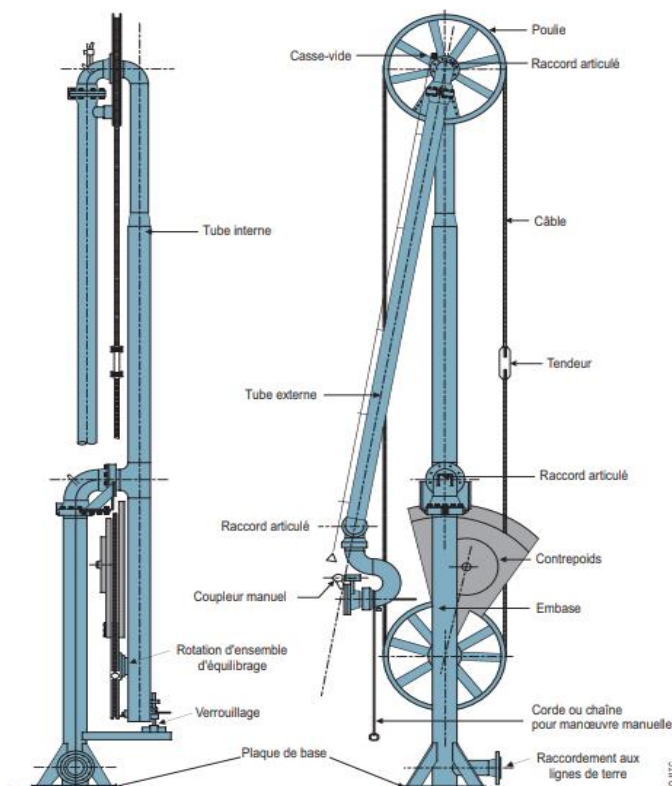


Figure II.4 : Bras manuel.

B) Commande hydraulique

Le bras se manœuvre à distance au moyen d'une commande hydraulique.

Avantages :

- Gain de temps ;
- Opérations plus faciles ;
- Meilleure sécurité, les commandes étant situées hors zone dangereuse.

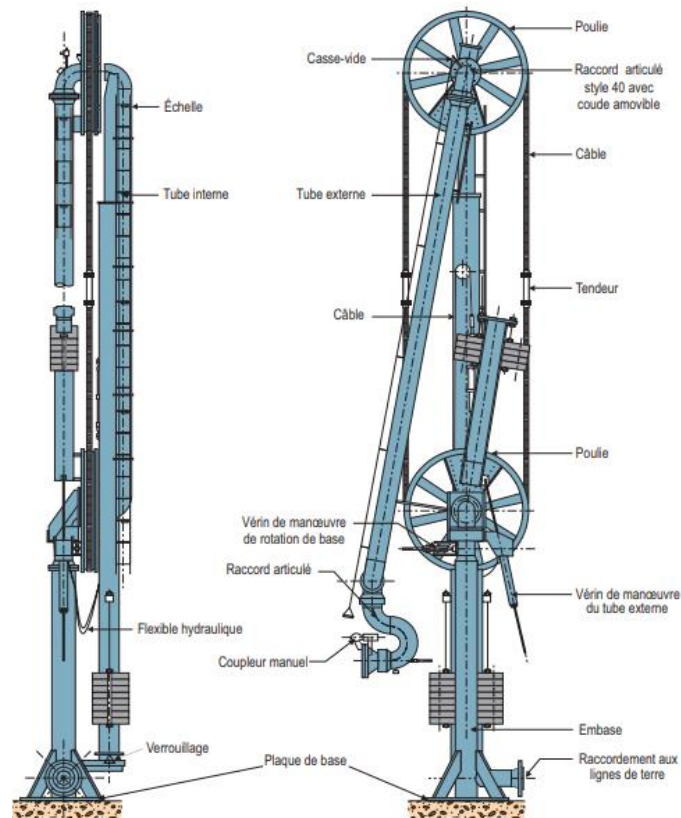


Figure II.5 : Bras à commande hydraulique.

II.2.6.4. Principe de fonctionnement

La manœuvre complète du bras dans la zone de débattement prévue est réalisée à l'aide d'un système électro hydraulique. Ce système permet le mouvement vertical des éléments internes et externes et également le mouvement de rotation horizontal de l'ensemble.

Le pupitre de commande est équipé d'un commutateur de sélection permettant la manœuvre individuelle de chaque bras. Avec ce dispositif, on utilise un bras unique à la fois pour éviter tout incident. Après sélection, chaque levier de commande disposé sur le pupitre permet d'actionner un des trois vérins à double effet, réalisant ainsi tous les mouvements du bras à l'intérieur de la zone de débattement prévue.

Le raccordement du bras au navire étant effectué, l'opérateur met les commandes de ce bras en position « neutre » ce qui a pour effet de mettre en intercommunication les vérins, permettant ainsi le libre mouvement des bras par rapport au navire dans les limites de la zone.

II.2.6.5. Vidange d'un bras

Il existe plusieurs options pour vider un bras avant de le déconnecter :

- Injection d'azote placée au point haut du bras :

- Dans le tube externe le liquide est chassé vers le navire ;
 - Dans le tube interne de l'embase le liquide est chassé côté terre.
- Renvoi du produit dans le navire : Le produit contenu dans le tube interne de l'embase est aspiré par une pompe installée au pied du bras, puis refoulé par l'intermédiaire d'une ligne de petit diamètre (1 1/2") dans le tube externe.

II.2.7. La station de déballastage

Elle est située du côté Est du port et représente la majorité de sa surface et est constituée de :

- Trois grandes cuves dont deux d'entre elles, le 5Y1 et 5Y2 d'une capacité de 12000 m³. Elles sont destinées à la récupération des eaux de ballast. Le troisième cuve (Mory) d'une capacité de 2530m³ est allouée par NAFTAL et destinée à la récupération des sloops ;
- Deux bassins de décantation B1 et B2 d'une capacité de 2100m³ chacun destinés au traitement des eaux de ballast par décantation naturelle.

II.3. Système de chargement offshore (SPM)

II.3.1. Description du projet

Dans le cadre de l'augmentation de la capacité d'exportation des hydrocarbures et du condensât, le Maître de l'ouvrage, SONATRACH, a entrepris la construction de cinq postes de chargement en mer situés au niveau de trois zones séparées :

- Deux ouvrages situés à ARZEW ;
- Un ouvrage situé à BEJAIA ;
- Deux ouvrages situés à SKIKDA.

Le terme "ouvrage" désigne un terminal de chargement en mer avec une station de pompage, des canalisations aussi bien en mer qu'à terre, un système de protection cathodique et toute autre installation nécessaire pour l'exploitation du terminal de chargement, Selon le cahier des charges, les spécifications techniques contractuelles et les bonnes pratiques d'ingénierie.

II.3.2. Base de conception

L'installation d'exportation de Bejaia a été développée pour charger un seul pétrolier, amarré à une bouée CALM, avec un débit maximal de 10.000 m³ /h. Le produit à transférer est du pétrole brut ou du condensât à partir de bacs situés dans les parcs de stockage nord et sud du terminal de Bejaia.

II.3.3. Description du sea-line

II.3.3.1. La station de pompage

La station de pompage se situe au terminal sud avec un collecteur d'aspiration de 42". Elle est composée de :

- Trois (3) lignes d'aspiration de 36" vers les pompes de chargement d'exportation, des lignes de refoulement de 30" se regroupent dans un collecteur de refoulement de 42", une ligne de dérivation du débit minimum de 12" venant du collecteur de refoulement vers le collecteur d'aspiration, équipée d'un clapet de non-retour et d'une boucle de réglage du débit.
- Trois (3) pompes de chargement verticales avec des filtres d'aspiration et des vannes de refoulement et d'aspiration motorisées, Le débit maximal de chargement de la bouée est de 10.000 m³ /h dans ce cas 2 pompes fonctionnent et l'autre est en réserve.
- Une ligne de recyclage de 16" pour rincer la station de pompage vers le collecteur de pétrole brut à l'admission du parc de stockage nord, Cette ligne est isolée par deux (2) vannes motorisées et est équipée d'une boucle de réglage de débit et d'un clapet de non-retour.
- Des lignes de drainage provenant des éléments de la station de pompage et des unités de comptage sont reliées au bac de drainage via ses collecteurs. Ce bac est un réservoir enterré horizontalement doté d'une échelle d'accès et d'un trou d'homme. Le fond du réservoir se situe à 5,5 mètres sous le sol et a une capacité de stockage de 28,4 m³.
- Deux (2) lignes d'exportation de 42" pour le pétrole brut et le condensat sortant du collecteur de refoulement de la station de pompage dont chacune est composée d'une vanne de pression différentielle PDV et d'une vanne d'arrêt d'urgence ESDV.

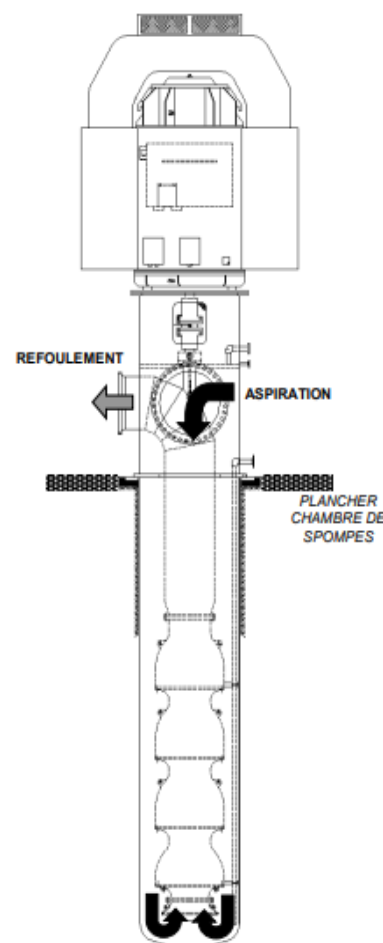


Figure II.6: Pompe d'exportation à Bejaia.

Chaque pompe est équipée de soupapes thermiques PSV sur la ligne d'aspiration et de refoulement, ainsi que sur la ligne de débit minimum et sur la ligne de recyclage. Ces soupapes dégagent la pression causée par la dilatation thermique du produit lorsque la station de pompage est statique. Elles sont réglées pour être actionnées à 17 bar du côté d'aspiration et à 39 bar du côté du refoulement de la pompe.

A la sortie de la station de pompage et juste à l'entrée en mer se trouvent deux vannes d'isolement motorisées à boisseau sphérique, appelées vannes de plage, l'une pour le brut et l'autre pour le condensat.

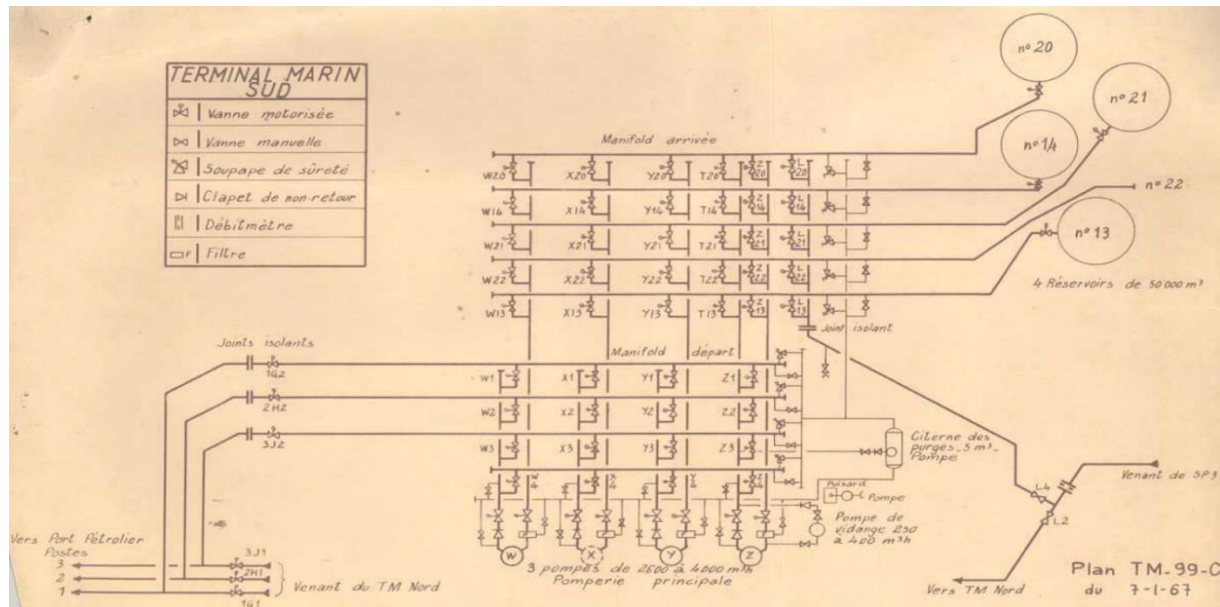


Figure II.7: Schéma de Principe installation du Terminal Marin Sud.

II.3.3.2. Comptage des hydrocarbures

Le comptage joue un rôle essentiel dans l'industrie des hydrocarbures, car il permet de surveiller de manière permanente diverses données telles que la quantité d'hydrocarbures entrant et sortant, ainsi que la pression et la température auxquelles ils se trouvent.

La technologie du comptage offre une grande variété d'équipements dont le fonctionnement est basé sur différents principes physiques. Le choix d'un type de comptage par rapport à un autre dépend de :

- Des objectifs recherchés par l'opération ;
- Des aspects économiques liés aux coûts des différents procédés ;
- Des conditions de site, principalement les limites d'emploi (la température, la pression, type de fluide ...etc.).

A) Objectifs principaux du comptage

- Objectif transactionnel

Le but du comptage transactionnel est la comptabilisation et la facturation des quantités d'hydrocarbures livrées aux clients ou en transit.

- Objectif d'exploitation

La connaissance de la valeur du débit est un paramètre essentiel dans la conduite et la gestion opérationnelle de toute installation technique, notamment les réseaux de pipelines, tels que la répartition du débit entre différentes branches d'un réseau.

B) Type de comptage

➤ Comptage statique :

Le comptage statique est une technique qui permet de déterminer la masse statique totale des hydrocarbures, ainsi que d'autres paramètres, lorsque le produit est au repos dans les réservoirs de stockage.

➤ Comptage dynamique :

Le comptage dynamique consiste à mesurer les différentes données du pétrole telles que la pression, la température et le débit durant son écoulement ou lors de l'opération de chargement.

II.3.3.3. Description générale d'unité de comptage de TM Bejaia

L'installation d'exportation de Bejaia comprend 02 unités de comptage avec des boucles d'étalonnage dédiées (pétrole brut et condensat).

Une unité de comptage est composée d'un collecteur d'admission de 42'', de cinq (5) lignes de comptage de 12'' et d'un collecteur de sortie de 42''. Chaque ligne de comptage est dotée d'un raccordement de 16'' vers une ligne de branchement de l'étalon de 20''. La ligne de branchement de l'étalon arrive jusqu'à la soupape de dérivation à quatre voies de l'étalon. La ligne de retour de l'étalon de 16'' quitte la soupape de dérivation et se relie au collecteur de sortie de 42'' sur l'unité de comptage.

La figure suivante est un diagramme des composants de l'unité de comptage et de l'étalon.

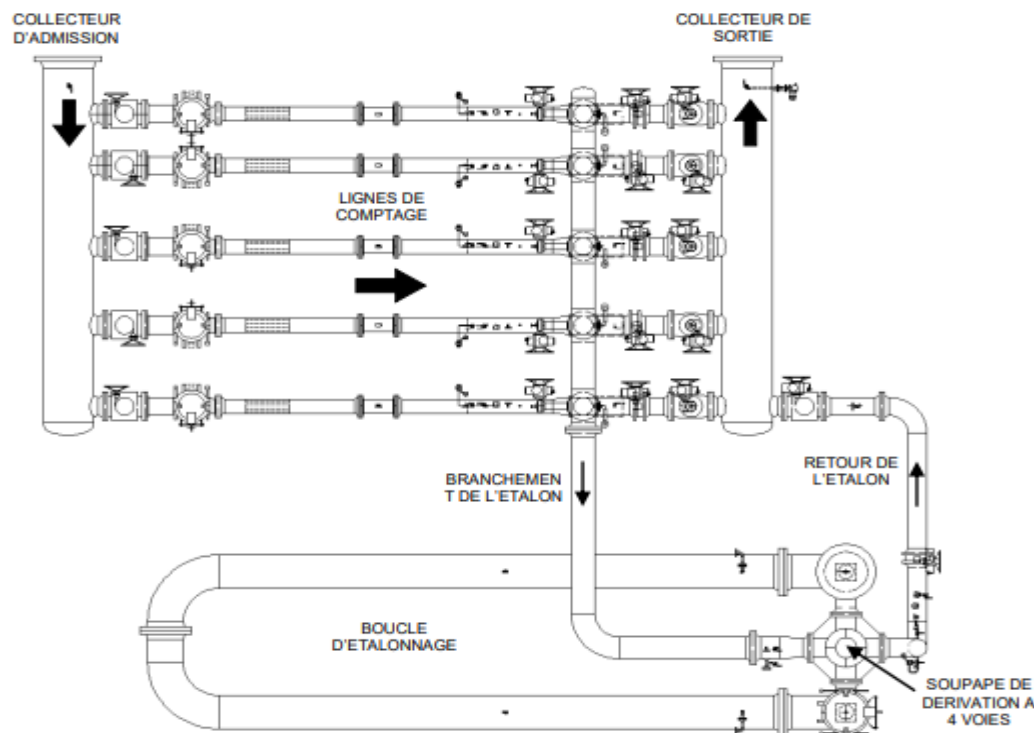


Figure II.8 : Diagramme de l'unité de comptage et de l'étalon.

A) Lignes de comptage

Au cours de l'opération d'exportation, quatre (4) lignes de comptage sont opérationnelles à un débit maximum de 10 000 m³ /h. La boucle d'étalonnage à un débit minimal de 2500 m³ /h, est équivalente à une ligne de comptage.

Chaque ligne de comptage est composée d'une vanne à boisseau sphérique d'isolement de 16" et d'un filtre d'admission, suivis d'une section de stabilisation de 12" vers le compteur à turbine. Cette section de stabilisation réduit la turbulence au fur et à mesure que le pétrole pénètre dans le compteur à turbine.

Une soupape PSV est installée sur chaque ligne de comptage, et une autre sur la ligne de retour de l'étalon, pour empêcher la surpression de la tuyauterie causée par la dilatation thermique du produit lorsque la ligne de comptage ou l'étalon est isolé(e).

B) Station d'échantillonnage

Une station d'échantillonnage est installée sur le collecteur de sortie de 42" de l'unité de comptage pour profiter des conditions de turbulence se produisant dans le collecteur. L'effet de mélange causé par la turbulence permet d'obtenir un échantillon très représentatif du produit expédié.

Le système d'échantillonnage automatique est conçu pour prélever des échantillons proportionnels au débit d'écoulement du produit passant à travers le système ou en fonction d'un délai réglable.

Au cours des opérations de pompage, le système remplit automatiquement un (1) des deux (2) récipients échantillon de cinq (5) gallons d'environ 20 litres. Ce dernier est envoyé au laboratoire pour le traitement. Un élément de commande électronique et une électrovanne à deux voies sont installés sur la ligne d'échantillonnage. L'élément de commande actionne l'électrovanne au besoin pour remplir le récipient en fonction du volume de chargement introduit dans le système de contrôle PCS.

II.3.4. Lignes d'exploitation

Les lignes d'exportation de 42" trouvent leur point de départ en aval des vannes ESDV de la station de pompage. Chaque ligne est dédiée au produit reçu à partir de son unité de comptage respective. Les lignes sont installées principalement en souterrain vers le manifold d'extrémité des canalisations en mer (PLEM). Les lignes à terre sont d'environ 540 m de long à partir de la vanne ESDV vers la ligne de la plage. Les lignes en mer s'étendent sur environ 7.6 km vers le PLEM. Les tracés des lignes sont basés sur les facteurs suivants :

- Emplacement de la bouée CALM et du système d'ancrage ;
- Circulation de navires et opérations marines ;
- Installation en mer ;

- Lignes existantes, câbles et autres obstacles ;
- Obstructions et zones dangereuses ;
- Risques de dommages causés à l'environnement.

Des vannes d'isolement sont installées à proximité de la traversée des lignes à la plage pour assurer un isolement des lignes à cet endroit. Ces vannes motorisées, connues sous le nom de « vannes MOVs de plage » sont installées en surface au niveau de la ligne de plage. Elles sont des vannes à boisseau sphérique et peuvent être actionnées à distance à partir du système de contrôle PCS ou à l'aide des boutons poussoirs locaux.

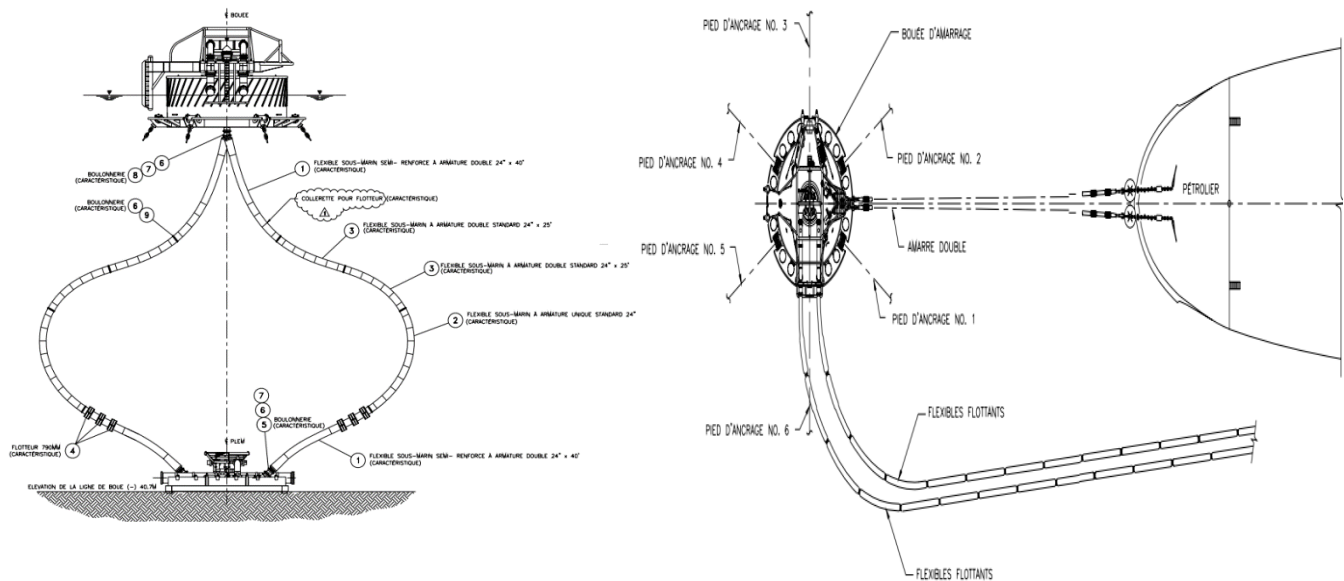


Figure II.9: Flexibles sous bouée et flexible flottants.

II.3.5. Équipement offshore

II.3.5.1. Description générale

Les deux lignes en mer de 42" à partir des vannes MOVs de plage aboutissent au manifold d'extrémité des lignes (PLEM), sur le fond marin. L'écoulement venant d'une ligne est dirigé vers la bouée CALM par la mise en ligne des vannes à l'intérieur du PLEM.

Deux chaînes de flexibles de 24" sous la bouée sont reliées à la tuyauterie du puits central de la bouée. Celui-ci mène vers la tête d'injection en ligne qui est reliée à la table tournante et à la tuyauterie de décharge à la mer. À partir de ce dernier, deux chaînes de flexibles flottants de 24" se réduisent à 16" via des flexibles de transition et sont reliées aux flexibles de rails/extrémités flottants qui servent à lier la bouée au manifold du pétrolier pendant les opérations de chargement.

II.3.5.2. Tuyauterie PLEM

On appelle PLEM le collecteur de fin de canalisation qui est posé sur le fond marin et conduit le produit des canalisations offshore jusqu'aux flexibles sous-marins. Il est constitué de deux conduites de diamètre 42'' pour connexions aux canalisations offshore, Chaque collecteur dispose de deux lignes secondaires de 24''. Les lignes secondaires venant du collecteur de 42'' se regroupent en deux tubulures de chargement de 24'' avec des brides pour les raccordements des flexibles sous la bouée. On installe des vannes à boisseau sphérique avec une manœuvre hydraulique marche/arrêt dans chaque ligne secondaire de 24''.

Une ligne de raccordement de 12'' est prévue à des fins de maintenance afin de permettre d'effectuer le rinçage des flexibles sans pénétrer les lignes. La vanne à boisseau sphérique de 12'' est normalement fermée.

Le produit est acheminé vers la flexible sous-bouée en ouvrant les deux vannes associées au collecteur actif des lignes et en fermant les deux vannes du collecteur en arrêt. Les vannes de marche/arrêt sont actionnées par pression hydraulique à partir de l'unité de puissance hydraulique (HPU) sur la bouée.

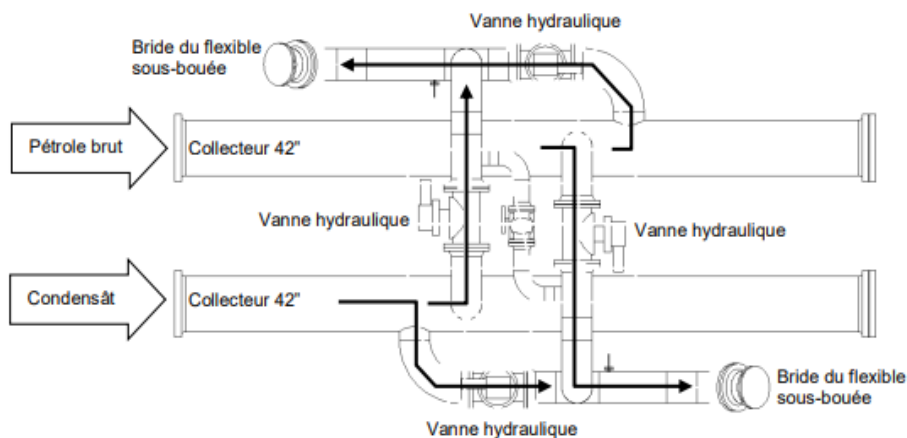


Figure II.10 : Schéma de PLEM.

II.3.5.3. La Bouée SPM

La bouée SPM est un point d'amarrage pour les pétroliers qui viennent à Bejaia et le point de sortie du pétrole à exporter ; elle comprend une section fixe, une section tournante et une tête de production à pivot central.

Chaque tubulure de chargement de 24'' à partir du PLEM est reliée à la bouée CALM via un flexible sous-marin fixée aux deux lignes d'admission de la bouée de 24''. Une vanne papillon manuelle (vanne du puits central) est installée dans chaque ligne d'admission. Ces deux lignes convergent en un tronçon fixe au fond de la tête d'injection en ligne de 36''. La tête d'injection suit le mouvement de la table tournante à 360°. Elle supporte deux lignes de chargement de 24''

équipées de vannes papillon (vannes de table tournante) afin de permettre la fermeture de la tête d'injection et le rinçage à partir du pétrolier amarré.

La bouée est équipée d'un système de protection contre les surpressions (coup de bélier) afin d'empêcher la pression excessive dans la tuyauterie de transfert due à une éventuelle fermeture accidentel d'une vanne.

Un réservoir de décharge de 70m³ est construit sur la bouée pour récupérer tout produit s'échappant des fuites.

A) Construction de la bouée

La bouée est composée d'une structure en acier fabriquée et soudée, avec une structure de "caisson" en anneaux très rigide incorporée dans le puits central supérieur pour la fixation du palier principal de la table tournante. Une jupe de protection est prévue autour de la partie inférieure de la coque de la bouée. La coque de la bouée et la jupe ont respectivement des diamètres extérieurs de 12,5 mètres et 16,5 mètres.

L'intérieur de la bouée est divisé en douze compartiments étanches séparés, six compartiments internes et six compartiments externes, pour assurer la stabilité. Chacun des six compartiments internes est équipé d'un trou d'homme à boulons. Les six compartiments externes sont accessibles par des trous d'homme à boulons à partir des compartiments internes. Un compartiment interne abrite l'unité de puissance hydraulique et le système de contrôle qui actionne les vannes du PLEM, et le compartiment interne opposé abrite le système de protection contre les surpressions (coup de bélier). Le contrepoids est ajouté à l'intérieur des compartiments internes pour compenser l'effet de renversement du poids provenant du système hydraulique/de contrôle et de protection contre les surpressions. Tous les compartiments sont dotés d'évents et de tubes de sonde correctement identifiés, ainsi que d'échelles requises pour entrer et sortir en toute sécurité.

La bouée supporte la table tournante, la tête d'injection en ligne, les équipements accessoires et les aides de navigation. La table tournante est supportée sur le sommet de la bouée par des roulements à trois rangées de billes permettant une rotation complète et libre. Cette capacité de rotation permet au navire amarré à la bouée de se positionner selon le vent prédominant, les courants et les conditions des vagues afin de minimiser les forces d'amarrage. L'ensemble des aussières d'amarrage est fixé à l'ensemble de bride d'amarrage qui est attaché à la table tournante. Les débarcadères, le cadre tendeur de la chaîne d'encre et l'ensemble cadre de levage/carters anti-cordage sont incorporés dans la conception de la table tournante.

La figure suivante représente le diagramme de la bouée :

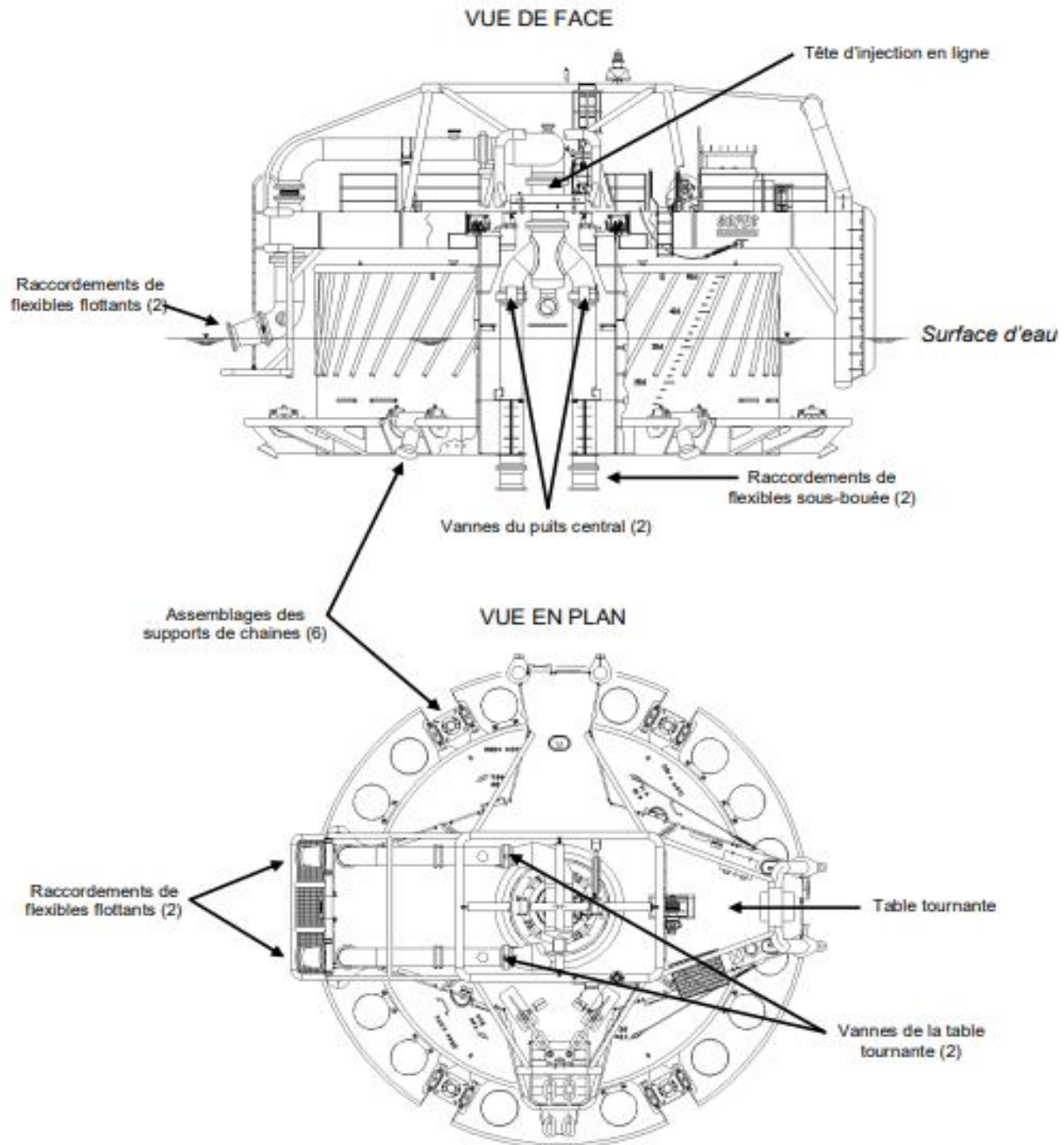


Figure II.11: Diagramme de la bouée CALM.

B) Emplacement de la bouée SPM-Bejaia

La bouée de chargement off-shore est placée à 7 kilomètres au large du port. Elle est utilisée dans le cas de la réception d'un navire pétrolier de grande capacité allant de 80 000 à 320 000 tonnes métriques, ce qui rend impossible l'accès au port pétrolier. Cela peut avoir lieu même dans des conditions climatiques très sévères.

La bouée du système SPM-bejaa possède les coordonnées suivantes :

Latitude 36° 44' 51" N
Longitude 05° 09' 38" W

Est (m) 692,883.64
Nord (m) 4,069,027.52

- La Quantités chargées de la SPM-Bejaia depuis sa mise en service à ce jour est de :
36 182 400 TM
- Le nombre de Navire citerne amarré à la SPM de Bejaia est de 291 dont 34 VLCC.

C) Critères de conception

➤ Conditions extrêmes et de survie

La bouée CALM, sans pétrolier amarré, est conçue pour les conditions environnementales suivantes :

Tableau II.4 : Condition extrêmes et de survie de bouée sans pétrolier.

	Environnement extrême (période de récurrence de 100 ans)	Environnement de survie
Hauteur significative des vagues	7,80 m	12,5 m
Période spectral de pointe	13.9s	16,0 s
Vitesse du vent	26,0 m/s	
Vitesse des courants de surface	0,82 m/s	

➤ Limites de conditions d'exploitation

La bouée CALM est conçue pour exploitation avec un pétrolier de 320 000 tonnes de poids en lourd (maximum) amarré.

Conditions d'exploitation maximales avec un pétrolier amarré :

Tableau II.5 : Conditions d'exploitation de bouée avec un pétrolier amarré.

Hauteur significative des vagues	2,50 m
Période spectral de pointe	7,91 s
Vitesse du vent	14,84 m/s
Vitesse des courants de surface	0,58 m/s

II.3.6. Fonctionnement du procédé

La station de pompage transporte du pétrole brut et du condensât à partir des 16 bacs existants aux deux parcs de stockage (nord et sud). Seul un produit est transféré à la fois.

Le transfert du produit commence avec une seule pompe à un débit de “démarrage “ bas de $1000\text{m}^3/\text{h}$, le débit peut alors être augmenté au débit maximum de $10\,000\text{m}^3/\text{h}$ sur demande faite par le personnel autorisé de pétroliers, une deuxième pompe d'exportation est démarrée automatiquement lorsque le débit de demande dépasse la capacité d'une seule pompe.

Le produit d'exportation sélectionné s'écoule à partir du collecteur au refoulement de la pompe vers une unité de comptage dédié, dont le système de contrôle surveille le débit de transfert en se basant sur un signal de consigne provenant du système de contrôle PCS et introduit par l'opérateur. Le système de contrôle du comptage répartit le débit motorisé.

Les lignes d'exportation de 42'' transportent le produit à partir de l'unité de comptage sélectionnée vers le PLEM situé sur le fond marin. Les deux lignes en mer sont reliées aux deux collecteurs dans le PLEM. Le produit provenant de l'une des lignes est acheminé à partir du PLEM vers la bouée à travers deux flexibles de 24'' sous la bouée, le produit s'écoule alors à partir de la bouée vers le navire-citerne à travers des flexibles flottants de chargement de 24'' à 16''.

A la fin du transfert, la deuxième pompe est arrêtée et le débit est réduit à un débit de

“ Fin de chargement “ jusqu'à l'achèvement du transfert.

II.3.7. Système de contrôle du procédé

Le système de contrôle du procédé (PCS) assure un contrôle et une surveillance continus des équipements au sein de l'installation d'exportation. Il permet également l'acquisition des données et les fonctions de commande à l'aide de trois systèmes de contrôle comprenant :

- Un système de contrôle du procédé Siemens : utilisé pour l'exploitation de la station de pompage et des utilités et la surveillance du parc de stockage ;
- Un système de contrôle du comptage Sybervisor : utilisé pour les opérations de comptage ;
- Un système de contrôle par télémétrie en mer : utilisé pour l'exploitation des vannes du PLEM et de la bouée CALM.

II.3.8. Les pétroliers

Les pétroliers sont des navires citernes qui transportent du pétrole et ses dérivés, tels que l'essence. Pour les plus grands d'entre eux, on les appelle aussi « tankers » ou « supertankers ».

Dans le cas du transport d'autres fluides, les navires ont des appellations spécifiques, comme :

- Les méthaniers qui transportent le gaz naturel liquéfié(GNL) ;
- Les chimiquiers qui transportent des produits chimiques.

II.3.8.1. Les différents types de pétroliers

Les tankers sont classés selon leur capacité de transport en tonnes de brut. 1000 tonnes de brut, représentent la quantité transportée par 40 camion-citerne. On peut aussi exprimer cette capacité en (tpl ou DWT pour « deadweight tons » en anglais), ce qui correspond au chargement maximum du navire.

- Les « Handy max » sont capables de transporter entre 38 000 et 49 999 tpl ;
- Les « Pana max » sont entre 50 000 et 74 999 tpl. Ce nom désigne à la capacité maximale initialement imposée aux pétroliers pour circuler via le canal de Panama (largeur maximale du navire de 32,3 m) ;
- Les « Afra max » sont entre 75 000 et 119 999 tpl. En général, ils sont utilisés pour les trafics régionaux ;
- Les « Suez max » sont de 120 000 à 199 999 tpl. Ils sont nommés ainsi en raison de la capacité maximale des navires qui peuvent traverser le canal de Suez, la voie maritime la plus rapide pour le transport de pétrole entre la péninsule arabique et l'Europe ;
- Les VLCC (pour « Very Large Crude Carriers ») sont à partir de 200 000 tpl et jusqu'à 349 999 tpl ;
- Les ULCC (pour « Ultra Large Crude Carriers ») sont au-dessus de 350 000 tpl. Ces pétroliers représentent l'une des plus grandes structures mobiles construites par l'homme.

Navires pétroliers Classification par taille



Source : AIE

Figure II.12 : Classification des pétroliers.

Les VLCC et les ULCC sont les transporteurs des océans. Ces supertankers ont été conçus pour réduire les coûts de transport du pétrole brut. Toutefois, il convient de noter que l'utilisation des ULCC est limitée, en partie en raison de leur taille : il peut parfois être difficile de les faire entrer dans les ports ou de les accoster pour le déchargement.

Le pétrole est transporté dans la coque du navire, qui est divisée en compartiments qui forment plusieurs citernes indépendantes séparées par des cloisons pour pouvoir transporter différents produits. Ces citernes sont couvertes d'une peinture spéciale afin d'éviter la corrosion ou la contamination des cargaisons. Les pétroliers possèdent également des citernes spécialement conçues pour le transport des eaux de ballast. Ces citernes à ballast ne contiennent jamais de cargaison et permettent d'embarquer de l'eau afin que le navire reste manœuvrant lorsqu'il est à vide.

Historiquement, les pétroliers ont été d'abord des « simples coque ». Chaque navire aujourd'hui construit est entouré d'une seconde tôle séparée de la coque externe du navire par un vide suffisamment large (double coque).

Ainsi, si un accident crée un trou dans la tôle externe, la « seconde coque » n'est pas affectée et évite toute pollution. En cas de collision à grande vitesse, cependant, ce système peut malheureusement ne pas être suffisant pour éviter à coup sûr une marée noire.

II.3.8.2. La procédure de chargement d'un navire

a) Préparation de la cargaison selon le programme établi par SH/COM

La division commercialisation programme pour chaque port pétrolier (Arzew, Bejaïa, Skikda) des navires pour leurs chargements, en envoyant des plannings dans le but de faire préparer la cargaison par les exploitants du terminal dans les bonnes conditions. Et pour cela, les exploitants doivent suivre les procédures suivantes :

- Sélectionner les réservoirs destinés à l'exportation ;
- Décantation et purge de ces réservoirs ;
- Choix du poste de chargement selon les caractéristiques du navire, disponibilité des installations.

b) Demande de mise à quai du navire citerne

Lorsque toutes les conditions de chargements sont réunies une demande de mise à quai du navire est adressée à l'autorité du port (EPB) par le biais du prestataire de SONATRACH en l'occurrence STH qui procédera à l'amarrage du navire au poste désigné.

c) La constitution douane de la cargaison

Cette opération est effectuée 2 heures au minimum et 48 heures au maximum avant le début du chargement en présence d'un agent des douanes et d'un représentant du client. Elle comprend les étapes suivantes :

- Prélèvement d'un échantillon représentatif de 9 litres destiné au laboratoire pour la mesure de (la TVR, BSW, densité, salinité, teneur en soufre...) ;
- Prise de la température moyenne ;
- Mesure de la hauteur du produit (jauge quantité) ;
- Recherche d'eau à la pâte détectrice sur les trois trous du toit du réservoir.

Tous ces éléments permettent de calculer le volume à 15° des quantités à expédier en utilisant la table de reconversion ASTM (American Society of Testing Material).

d) Communiquer les résultats de ces mesures au service shipping

Le service shipping a pour rôle d'assurer le chargement des tankers et d'établir tous les documents nécessaires.

e) Préparation du dossier de chargement

Le dossier de chargement est composé de :

- Constitution douane ;
- Quantité d'eau purgée ;
- Certificat de quantité ;
- Mouvement des réservoirs sur N/C ;
- Rapport de chargement.

f) Préparation de l'installation de chargement avant le lancement des pompes

Avant le lancement du chargement, le responsable du port doit communiquer le chef de la tour de contrôle pour avoir les informations suivantes :

- L'heure de début et de fin d'amarrage ;
- Nombre de bras de chargement branché ;
- L'heure de fin de branchement ;
- Début et fin d'inspection des tanks ;
- Ouverture des vannes de chargement à quai et à bord ;
- Débit de déplacement de la ligne ;
- Choix du mode d'arrêt chargement (stop terre ou stop bord).

g) Procéder à la chasse de ligne

La chasse de ligne consiste à évacuer le produit existant déjà dans la ligne à l'intérieur du tanker.

h) Lancement des pompes de chargement

Généralement le chargement s'effectue avec 3 pompes choisies en fonction du débit désiré.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé l'installation d'exportation de pétrole brut à Bejaia, en expliquant les deux systèmes de chargement, à savoir le système onshore et le système offshore.

La connaissance profonde de l'installation nous permet de faire une étude très enrichie sur les deux systèmes afin de mieux l'exploiter et d'élucider certains paramètres méconnaissables et de prévenir d'éventuels risques qui peuvent survenir lors du chargement.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both with rounded ends and a slight shadow effect.

CHAPITRE III

Généralité sur les pompes et calcul hydraulique

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur les concepts fondamentaux des pompes et du calcul hydraulique, en particulier sur la détermination des pertes d'énergie dues au frottement, qu'elles soient linéaires ou locales.

Ce projet nous amène à présenter les définitions suivantes, qui seront utilisées lors de notre travail futur.

III.2. Généralités sur les pompes

III.2.1. Définition

La principale caractéristique de la pompe consiste à convertir l'énergie d'une source de mouvement " moteur " d'abord en vitesse " énergie cinétique " puis en énergie de pression "énergie statique". Effectivement, le rôle d'une pompe est de 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.

Devant la grande diversité de situations possibles, on trouve un grand nombre de machines que l'on peut classer en deux grands groupes :

- Les pompes volumétriques :
 - Les pompes alternatives (à piston, à membrane,) ;
 - Les pompes rotatives (à vis, à engrenage, à palettes, hélicoïdales, péristaltiques,).
- Les turbopompes sont toutes rotatives :
 - Les pompes centrifuges ;
 - Les pompes à hélice ;
 - Les pompes hélico centrifuge.

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire du fluide 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.

III.2.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

C'est une machine à passage radial. Le fluide aspirée dans une tubulaire entre dans la roue axialement. Elle est dérivée dans une direction radiale et rencontre les aubes. A la sortie périphérique de la roue, un espace annulaire plat permet de transformer l'énergie cinétique en pression, en réduisant la vitesse absolue à la sortie de la roue, puis le courant se rassemble dans une volute en forme d'escargot. La volute se comporte comme collecteur des filets pour les ramener à une bride de sortie constituant le raccordement à la tuyauterie de refoulement.

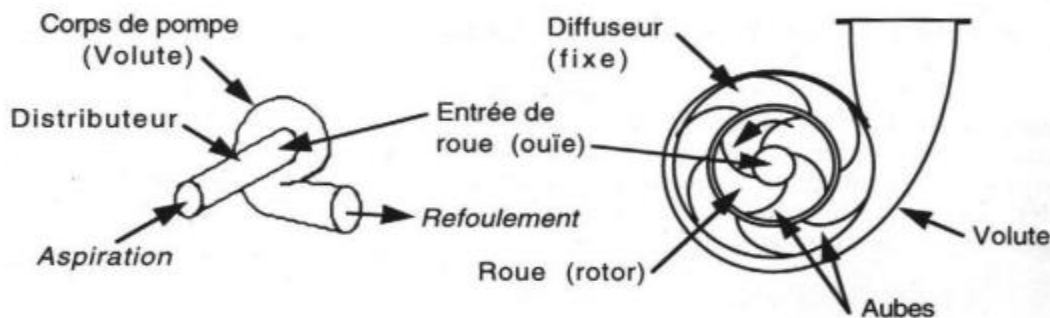


Figure III.1 : Schéma explicatif de la pompe.

III.2.3. Caractéristiques générales d'une pompe

Les performances d'une pompe sont exprimées par les grandeurs suivantes :

III.2.3.1. Hauteur manométrique $H_{mt}(Q_v)$

La hauteur manométrique d'une pompe est définie comme l'énergie fournie par la pompe à l'unité de poids du liquide qui la traverse. Si (H_{TR}) la charge totale du fluide à l'orifice de refoulement et (H_{TA}) est la charge totale du fluide à l'orifice d'aspiration, la hauteur manométrique de la pompe est :

$$H_{mt} = H_{TA} - H_{TR} \quad (\text{III.1})$$

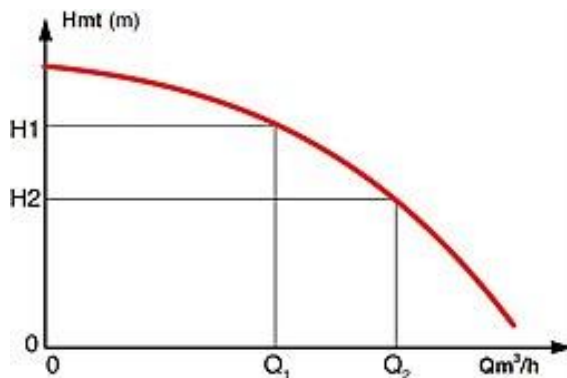


Figure III.2 : Courbe caractéristique d'une pompe.

Où on peut tracer la courbe ci-dessus selon la loi suivant :

$$H_{mt} = a - bQ^2 \quad (\text{III.2})$$

a, b : Constantes qui caractérisent la pompe.

III.2.3.2. 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 " P_u " (puissance hydraulique) communiquée au liquide pompé à la puissance absorbée " P_a " par la pompe (en bout d'arbre) ou par le groupe (aux bornes du moteur).

$$\eta_p = \eta_{\max} \times \left[1 - \left(1 - \left(\frac{Q_p}{Q_{\text{nom}}} \right) \times \left(\frac{n_{\text{nom}}}{n_p} \right) \right)^2 \right] \quad (\text{III.3})$$

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 (m^3/s) ;

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

Q_{nom} : Le débit nominal de la pompe en (m^3/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.

III.2.3.3. La puissance

➤ Puissance utile par la pompe (P_u)

C'est la puissance appliquée au fluide pour remplir les conditions de débit du réseau, est donnée par la relation suivant :

$$P_u = \rho g H Q \quad (\text{III.4})$$

P_u : Puissance utile de la pompe en (Watt) ;

Q : Débit en (m^3/s) ;

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

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

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

➤ 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 :

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_p} \quad (\text{III.5})$$

P_a : Puissance absorbée de la pompe en (Watt) ;

η_p : Rendement de la pompe.

➤ **Puissance utile par le moteur ou la turbine (P_{mu})**

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

$$P_{mu} = \frac{P_a}{\eta_{acc}} \quad (III.6)$$

P_{mu} : Puissance utile en (Watt) ;

η_{acc} : Rendement d'accouplement (généralement 0.9).

➤ **Puissance absorbée par le moteur ou la turbine (P_{ma})**

La puissance absorbée par un moteur électrique est l'énergie électrique consommée par le moteur pour fonctionner et entraîner une charge.

$$P_{ma} = UI\sqrt{3} \cos \theta \quad (III.7)$$

P_{ma} : la puissance absorbée par le moteur électrique (W) ;

V : la tension d'alimentation (V) ;

I : le courant absorbé par le moteur (A) ;

$\sqrt{3}$: Une constante nécessaire pour les systèmes triphasés ;

$\cos(\phi)$: le facteur de puissance du moteur.

III.2.3.4. 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 afin d'assurer le bon fonctionnement de la pompe, c'est-à-dire de maintenir une pression supérieure à la pression de vapeur saturante en tout point du fluide. Dans l'étude des systèmes avec pompe, on définit deux types du NPSH, le NPSH requis et le NPSH disponible.

➤ **NPSH requis (exigé)**

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

➤ **NPSH (disponible)**

La valeur du NPSH est déterminée par les conditions d'installation de la pompe. Il dépend donc des conditions d'installation et d'exploitation qui sont : la pression, la température, le diamètre, la nature du liquide, la hauteur géométrique, et la forme des conduites, il est indépendant de la construction de la pompe.

$$(NPSH)_{disp} = \frac{P_{entrée} - P_v}{\rho g} \quad (III.8)$$

Pour un bon fonctionnement d'une pompe à l'aspiration et pour éviter le phénomène de cavitation, il faut que :

$$(NPSH)_{disp} > (NPSH)_{req}$$

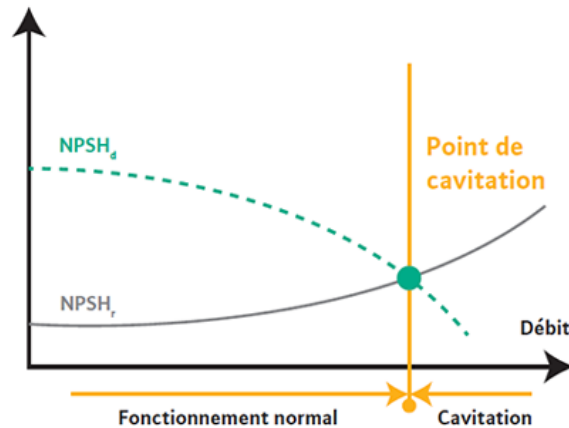


Figure III.3: Courbe évaluation de NPSH en fonction du débit Q_v .

III.2.4. Assemblage des pompes

III.2.4.1. 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.

➤ Pour des pompes identiques

Pour construire la courbe de plusieurs pompes en série, on retiendra que la mise en fonctionnement d'une 2ème pompe en série permet de doubler la hauteur.

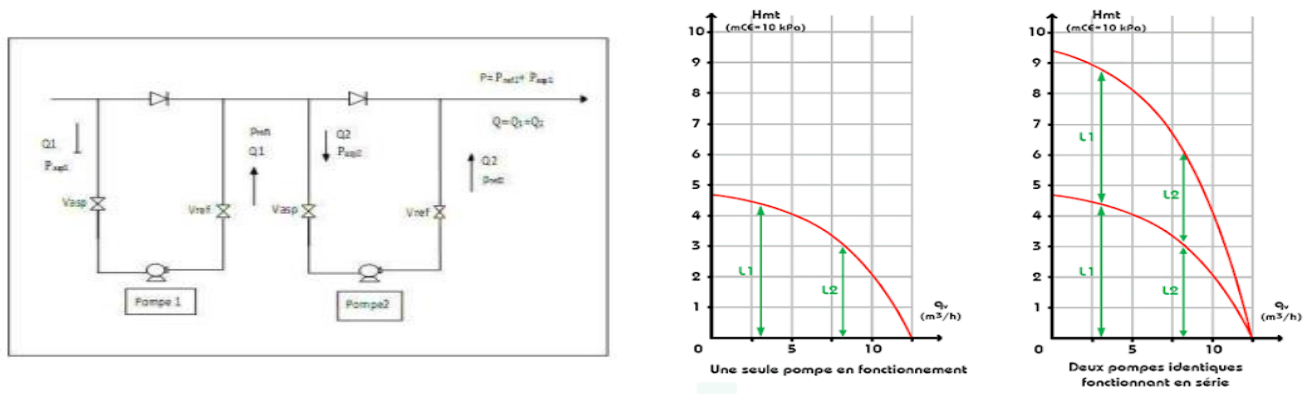


Figure III.4: Schéma et Courbe caractéristique des pompes en série.

➤ Pour des pompes différentes

La courbe caractéristique résultante est la somme des hauteurs des deux pompes à un débit donné. Pour un débit donné, on additionne simplement la hauteur de la pompe 1 à celui de la deuxième pompe.

$$H_{mt1} = a_1 - b_1 Q^2 \quad H_{mt2} = a_2 - b_2 Q^2$$

$$H_{MT} = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i Q^2 \quad (\text{III.9})$$

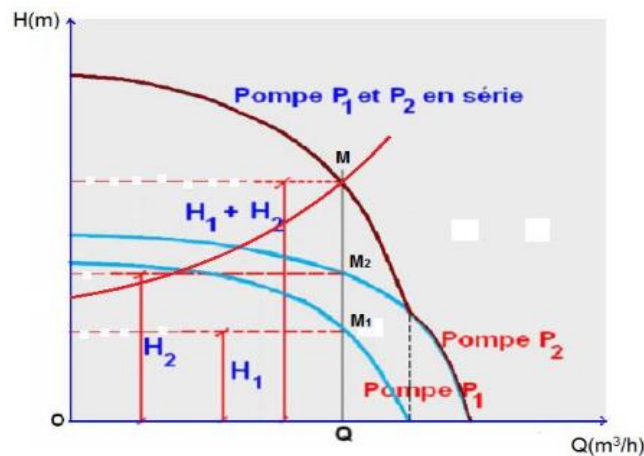


Figure III.5: Courbe caractéristique des pompes différentes en série.

III.2.4.2. Assemblage en parallèle

Dans l'assemblage deux pompes en parallèle, la hauteur manométrique reste inchangée et les débits s'ajoutent.

➤ Pour des pompes identiques

Pour tracer ou construire la courbe caractéristique de couplage, on retiendra que la mise en route d'une 2^{ème} pompe en parallèle permet de doubler le débit.

$$H_T = H_{mt1} = H_{mt2} = a - b \left(\frac{Q_{\text{ligne}}}{K} \right)^2 = a - b Q_{\text{pompe}}^2 \quad (\text{III.10})$$

$$Q_{\text{ligne}} = K Q_{pp} \quad (\text{III.11})$$

K : est le nombre des pompes.

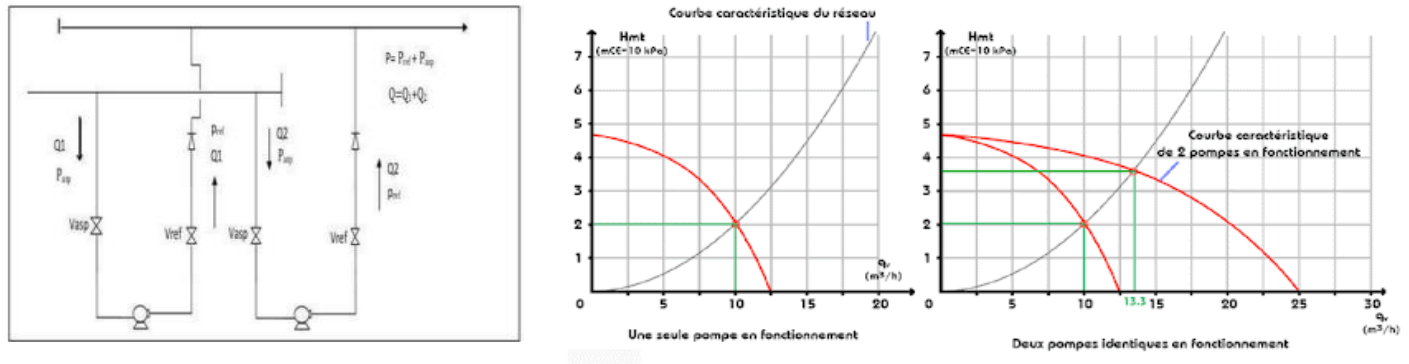


Figure III.6 : Schéma et courbe caractéristique des pompes en parallèle.

➤ Pour des pompes différentes

La courbe caractéristique résultante est la somme des débits des deux pompes à une hauteur donnée. Pour une hauteur donnée, on additionne simplement le débit de la pompe (1) à celui de la deuxième pompe.

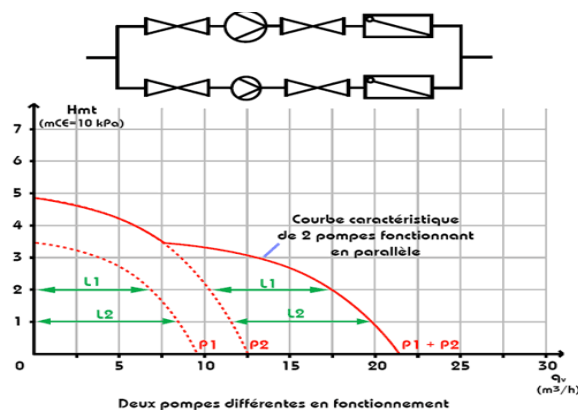


Figure III.7: Courbe caractéristique des pompes différentes en parallèle.

$$H_{mt1} = a_1 - b_1 Q^2 \quad H_{mt2} = a_2 - b_2 Q^2 \quad H_{mt1} = H_{mt2}$$

Le débit minimum de fonctionnement de système est Q^* donc ;

$$a_1 = a_2 - b_2 Q^{*2}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{a_1 - a_2}{b_2}} \quad (\text{III.12})$$

- Si $Q < Q^*$ le fonctionnement se fera avec la pompe 2 ;
- Si $Q > Q^*$ le fonctionnement se fera avec les deux pompes.

III.2.5. Point de fonctionnement

Le point de fonctionnement d'une pompe indique le débit qu'elle est capable de fournir pour une hauteur donnée. La hauteur est égale aux pertes de charge du circuit sur lequel la pompe est installée. Il représente le point d'intersection entre la courbe caractéristique de la pompe et celle du réseau.

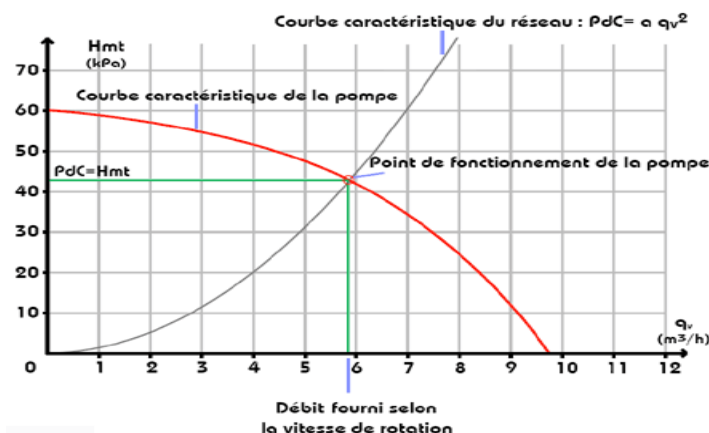


Figure III.8 : Point de fonctionnement d'une pompe.

III.3. Ecoulement des fluides dans un conduit

III.3.1. Les 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 physicochimiques de ce produit tel que : la couleur, l'odeur, l'indice de réfraction, la densité, la viscosité et la tension de vapeur. Ces trois derniers paramètres sont généralement utilisés pour établir le contrat de vente.

➤ 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 1 atmosphère. La densité du pétrole brute varie entre 0,7 et 0,9.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}} \quad (\text{III.13})$$

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).

➤ Viscosité des fluides

La viscosité d'un fluide est causée par les forces de frottement qui empêchent le 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 et la viscosité cinématique (ν) en m² /s.

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{III.14})$$

ν : Viscosité cinématique en (m² /s) ;

μ : Viscosité dynamique en (kg/m s) ;

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

➤ Rugosité

La rugosité correspond à la notion habituelle de présence plus ou moins importante d'une aspérité sur une surface. On constate que lorsque la rugosité d'une conduite augmente, les frottements seront plus importants et donc la perte de charge augmentera. Donc, la perte de charge est en fonction du matériau de la conduite.

➤ Rugosité absolue : qui est la hauteur moyenne des aspérités de la paroi ;

➤ Rugosité relative : qui est le rapport de la rugosité absolue au diamètre de la tuyère, exprimée en (mm).

III.3.2. Vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement d'un fluide quelconque est déterminée par la relation suivante :

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{4Q_v}{\pi D_{int}^2} \quad (\text{III.15})$$

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

Q : Débit volumique véhiculé dans la conduite, en (m³/s) ;

S : section interne du conduit en (m²) ;

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

III.3.3. Nombre de Reynolds (Re)

Le nombre de Reynolds (Re) est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il a été mis en évidence en 1883 par « Osborne Reynolds ». Il représente le rapport entre les forces

d'inertie et les forces visqueuses. Il caractérise le régime d'écoulement d'un fluide et selon sa valeur on distingue le type d'écoulement. Il est défini de la manière suivante :

$$Re = \frac{V \times D_{int}}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_{int}}{\mu} \quad (III.16)$$

Re : Nombre de Reynolds ;

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

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

ν : Viscosité cinématique du produit en (m² /s) ;

μ : Viscosité dynamique en (kg/m s).

On distingue :

- Re < 2320 Ecoulement laminaire ;
- 2320 < Re < 3200 Ecoulement transitoire ;
- Re > 3200 Ecoulement turbulent.

III.3.4. Equation de Bernoulli

Le théorème de Bernoulli généralisé permet d'exprimer la conservation de l'énergie entre deux points A et B d'un système hydraulique, c'est-à-dire que la somme des diverses formes d'énergies (potentiel, cinétique et énergie de pression) représente la somme des différentes pertes de charge. La relation de Bernoulli s'écrit sous la forme :

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g Z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g Z_2 \quad (III.17)$$

III.4. Les pertes de charge totales (HT)

III.4.1. Perte de charge linéaire (HL)

C'est la perte de pression due au frottement du liquide avec la paroi intérieure de la canalisation durant un écoulement de fluide. La formule du calcul des pertes de charge est donnée comme suite :

$$H_L = \frac{\lambda L_T V^2}{2g D_{int}} = \frac{8 \lambda L_T Q^2}{g \pi^2 D_{int}^5} \quad (III.18)$$

$$P_L = \frac{\lambda L_T \rho V^2}{2 D_{int}} \quad (III.19)$$

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

P_L : Perte de charge exprimée en Pascal (Pa) ;

λ : Coefficient de perte de charge ;

L_T : Longueur du tronçon en (m) ;

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

Q : Débit de la ligne en (m³ /s) ;

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

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

➤ **Coefficient de Perte de charge linéaire**

Plusieurs corrélations sont proposées pour le calcul du coefficient de perte de charges (λ). Elles dépendent essentiellement du régime d'écoulement et des propriétés rhéologiques des fluides.

- Cas d'un écoulement laminaire $Re < 2320$

En régime laminaire (ou poiseuille), le coefficient de perte de charge (λ) est déterminé à partir des équations fondamentales de la mécanique des fluides. Il a pour valeur :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (\text{III.20})$$

Cette relation montre que (λ) est uniquement en fonction du nombre de Reynolds (Re).

- Cas d'un écoulement turbulent $Re > 3200$

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

Tableau III.1: Corrélation de calcul du coefficient de perte de charge.

Auteur	Corrélation	Condition d'utilisation
Haaland	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1.8 \times \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} \right]$	$Re > 3200$
Swamee-Jain	$\lambda = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right] \right)^2}$	
Serghides	$\lambda = \left(A - \frac{(B-A)^2}{C-2B+A} \right)^{-2}$	
Blench	$\lambda = 0.790 \sqrt{\frac{\varepsilon}{D}}$	$Re > 10^5$ Turbulent rugueux

Avec :

$$A = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{12}{\text{Re}} \right) \quad B = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51A}{\text{Re}} \right) \quad C = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51B}{\text{Re}} \right)$$

ε : La rugosité absolue ;

D : Diamètre interne.

En régime turbulent, certains auteurs précisent le champ d'application des formules précédentes, en fonction du produit $\text{Re}^*(\varepsilon/D)$ caractérisant la rugosité des conduites.

Tableau III.2:Corrélation de calcul λ pour différent régime.

Auteur	Corrélation	Condition d'utilisation
Pour conduite lisse		
Blasius	$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$	$\text{Re}^*\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) < 65$
Hermann	$\lambda = 5.4 \times 10^{-3} + \frac{0.396}{\text{Re}^{0.3}}$	
Nikuradez	$\lambda = 3.2 \times 10^{-3} + 0.221 \times \text{Re}^{-0.237}$	
Prandtl-V.Kerman	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \left(\text{Re} \sqrt{\lambda} \right) - 0.8$	
Pour conduite intermédiaire frottement mixte		
Colebrook-white	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3.7D} \right)$	$65 < \text{Re}^*\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) < 1300$
Altschoul	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.8 \log_{10} \left(\frac{\text{Re}}{\text{Re} \left(\frac{\varepsilon}{10D} \right) + 7} \right)$	
Citrini	$\lambda = \frac{1 + \frac{8}{\text{Re} \frac{\varepsilon}{D}}}{\left(2 \log_{10} \left(3.71 \frac{D}{\varepsilon} \right) \right)^2}$	
Pour conduite rugueuse		
Nikuradez	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) + 1.14$	$\text{Re}^*\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) > 1300$
Moody	$\lambda = 5.5 \times 10^{-3} + 0.15 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{\frac{1}{3}}$	
Eck	$\lambda = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left(3.71 \frac{D}{\varepsilon} \right) \right)^2}$	

Finalement, « CHURCHILL » a essayé de formuler une équation qui généralise les pertes de charge linéaire pour les deux régimes, laminaire et turbulent :

$$\lambda = 8 \left(\left(\frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + (A + B)^{-1.5} \right)^{\frac{1}{12}} \quad (\text{III.21})$$

$$A = \left[2.457 \ln \left(\left(\left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{\varepsilon}{D} \right)^{-1} \right) \right]^{16} \quad B = \left(\frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16}$$

III.4.2. Perte de charge Singulières (HS)

Les pertes de charge singulières sont essentiellement dues aux accidents de canalisation, c'est-à-dire toute modification géométrique de la conduite. On peut y compter les changements de direction (coudes, raccords en T), les variations de section, les vannes ou robinets, les appareils de mesure, etc. Elle se calcule par la formule générale suivant :

$$H_s = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (\text{III.22})$$

Avec ;

H_s : les pertes de charge singulière en (m) ;

ζ : Coefficient de perte de charge singulière.

➤ Coefficient de perte de charge singulière

Il existe de différentes méthodes pour le calcul de coefficient de perte de charge singulière, Cela dépend de la géométrie de l'obstacle et les caractéristiques des accidents de parcours donnés par le constructeur.

III.4.2.1. Les coudes

A) Les coudes à paroi concentrique (arrondi)

1. Paroi lisse ($\varepsilon=0$) et $\text{Re} > 2 \cdot 10^5$

$$\zeta = \frac{\Delta H}{\frac{V^2}{2g}} = \zeta_M + \zeta_f \quad (\text{III.23})$$

Avec

ζ : Coefficient de perte de charge global des coudes.

$$\zeta_M = A_1 B_1 C_1 \quad (\text{III.24})$$

ζ_M : Coefficient de perte de charge singulière du coude ;

A_1 : Coefficient tenant compte de l'effet de l'angle au centre θ du coude ;

B₁ : Coefficient tenant compte de l'effet du rayon de courbure relatif du coude R/D ;

C₁ : Coefficient tenant compte de l'effet de la largeur relative de la section du coude a₀/b₀.

$$\zeta_f = \frac{\lambda l}{D} = \frac{\pi \theta}{180} \frac{R}{D} = 0.0175 \lambda \frac{R}{D} \theta \quad (\text{III.25})$$

ζ_f : Coefficient de perte de charge par frottement ;

l : Longueur du coude suivant l'axe ;

R/D : Rayon de courbure relatif.

A₁ est exprimé en fonction de θ sur le tableau suivant :

Tableau III.3:Détermination d'A₁.

θ	≤ 70	90	≥ 100
A ₁	0.9 sin θ	1	0.7 + 0.35 $\frac{\theta}{90^\circ}$

B₁ est exprimé en fonction de R/D sur le tableau suivant :

Tableau III.4:Détermination de B₁.

R/D	0.5 - 1	>1
B ₁	$\frac{0.21}{(R/D)^{2.5}}$	$\frac{0.21}{\sqrt{R/D}}$

C₁ est exprimé approximativement en fonction de a₀/b₀ sur le tableau suivant (pour une section arrondi ou carre C₁ =1)

Tableau III.5:Détermination de C₁.

a ₀ /b ₀	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8
C ₁	1.3	1.17	1.09	1	0.9	0.85	0.85	0.9	0.95	0.98	1	1

2. Parois rugueuse (ε>0) et Re > 2*10⁵

$$\zeta = \frac{\Delta H}{\frac{V^2}{2g}} = K \cdot K_{Re} \zeta_M + \zeta_f \quad (\text{III.26})$$

K et K_{Re} sont déterminés en fonction de Re et la rugosité relative sur le tableau ;

Avec la rugosité relative est ;

$$\gamma = \frac{\varepsilon}{D_{\text{int}}} \quad (\text{III.27})$$

Tableau III.6:Détermination de K et K_{Re} .

Y	R/D									
	0,5-0,55					0,55-1,5				
	Re									
	3.10 ³ - 4.10 ⁴		>4.10 ⁴		3.10 ³ - 4.10 ⁴		4.10 ⁴ -2.10 ⁵		>2.10 ⁵	
	K _{Re}	K	K _{Re}	K	K _{Re}	K	K _{Re}	K	K _{Re}	K
0	45λ _{Re}	1	1	1	64λ _{Re}	1	64λ _{Re}	1	1	1
0-0,001	45λ _{Re}	1	1	1+0,5.10 ³ Y	64λ _{Re}	1	64λ _{Re}	1	1	1+ Y 10 ³
>0,001	45λ _{Re}	1	1	1,5	64λ _{Re}	1	64λ _{Re}	2	1	2

Tableau III.7:Détermination de K et K_{Re} si $R/D > 1,5$.

Y	Re					
	$3.10^3 - 4.10^4$		$4.10^4 - 2.10^5$		$>2.10^5$	
	K_{Re}	K	K_{Re}	K	K_{Re}	K
0	$64\lambda_{Re}$	1	$64\lambda_{Re}$	1	1	1
0-0,001	$64\lambda_{Re}$	1	$64\lambda_{Re}$	$1+ Y^2.10^6$	1	$1+ Y^2.10^6$
>0,001	$64\lambda_{Re}$	1	$64\lambda_{Re}$	2	1	2

B) Les coudes brusques1. Paroi lisse ($\varepsilon=0$) et $Re > 4 \cdot 10^4$

$$\zeta = \frac{\Delta H}{\frac{V^2}{2g}} = C_1 A \zeta_M \quad (\zeta_f = 0) \quad \text{(III.28)}$$

$$\zeta_M = 0.95 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.05 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad \text{(III.29)}$$

C_1 , A et ζ_M est déterminé suivant les courbe suivant (Pour les sections circulaire ou carre $C_1 = 1$)

Tableau III.8:Détermination de C_1 .

a_0/b_0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8
C_1	1.1	1.07	1.04	1	0.95	0.9	0.83	0.78	0.75	0.72	0.71	0.7

Tableau III.9:Détermination de A et ζ_M .

θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130
ζ_M	0	0.05	0.07	0.17	0.37	0.63	0.99	1.56	2.16
A	/	2.5	2.22	1.87	1.5	1.28	1.2	1.2	1.2

2. Parois rugueuse ($\epsilon > 0$) et Re quelconque

$$\zeta = \frac{\Delta H}{\frac{V^2}{2g}} = K \cdot K_{Re} \cdot C_1 \cdot A \cdot \zeta_M \quad (\text{III.30})$$

Tableau III.10:Détermination de K et K_{Re} .

γ	Re			
	$3 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$		$> 4 \cdot 10^5$	
	K_{Re}	K	K_{Re}	K
0	$45\lambda_{Re}$	1	1	1
0-0,001	$45\lambda_{Re}$	1	1	$1 + 0,5 \gamma \cdot 10^3$
$> 0,001$	$45\lambda_{Re}$	1	1	2

III.4.2.2. Les vannes

A) Définition

Les vannes sont des dispositifs mécaniques utilisés pour contrôler, réguler ou arrêter le débit de fluide (liquide, gaz ou vapeur) dans un système. Elles fonctionnent en ouvrant, fermant ou ajustant partiellement un passage à travers lequel le fluide circule.

B) Les différents types des vannes

Il existe de nombreux types de vannes utilisées dans différentes industries et applications, chacune ayant ses propres caractéristiques et fonctionnalités. Voici quelques-uns des types de vannes les plus courants :

Type de Vanne	Géométrie	Type de Vanne	Géométrie
Vanne opercule où Passage Direct		Vanne à papillon	
Vanne à clapet		Vanne à guillotine	
Vanne à boisseau sphérique.		Vanne à piston.	
Vanne à boisseau Conique		Vanne à Membrane	

Figure III.9: Les différents types des vannes.

III.4.2.3. Les raccords

Les raccords sont des composants utilisés pour joindre deux ou plusieurs éléments, tels que des tuyaux, des câbles ou des pièces mécaniques, de manière sécurisée et étanche. Ils peuvent être classés en différentes catégories en fonction de leur forme, de leur fonction et de leur mode de connexion. Par exemple, les raccords d'élargissement, rétrécissement, cône convergent et divergent....

➤ Coefficient de perte de charge singulière :

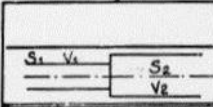
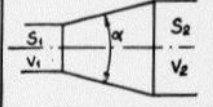
A) Elargissement brusque

$$\zeta = \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \right]^2 \quad (\text{III.31})$$

B) Rétrécissement brusque

$$\zeta = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \right] \quad (\text{III.32})$$

Nous pouvons utiliser les formules fournies ou simplement prendre les valeurs indiquées dans la figure suivant, en tenant compte qu'elles sont approximatives ;

Elargissements de section (S se rapporte à V_1)											
	$\frac{S_1}{S_2}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
		0,85	0,67	0,51	0,38	0,27	0,17	0,1	0,045	0,012	
	α	15 30 45 60 90	0,25 0,35 0,49 0,76 0,83	0,22 0,5 0,65 0,72 0,70	0,18 0,38 0,55 0,62 0,57	0,16 0,28 0,37 0,44 0,42	0,125 0,2 0,24 0,27 0,23	0,1 0,14 0,17 0,18 0,2	0,07 0,1 0,11 0,12 0,13	0,05 0,06 0,07 0,07 0,07	0,02 0,03 0,03 0,04 0,05

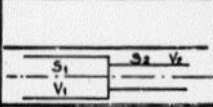
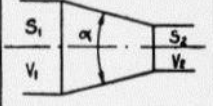
Retrécissements de section (S se rapporte à V_2)											
	$\frac{S_2}{S_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
		0,46	0,42	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,13	0,08	
	α	15 30 45 60 90	0,06 0,12 0,18 0,24 0,335	0,055 0,11 0,16 0,21 0,3	0,05 0,10 0,145 0,185 0,26	0,045 0,09 0,125 0,165 0,235	0,04 0,075 0,106 0,14 0,20	0,035 0,06 0,09 0,12 0,17	0,025 0,05 0,07 0,095 0,13	0,02 0,04 0,055 0,065 0,095	0,015 0,02 0,025 0,035 0,04

Figure III.10: Les valeurs du coefficient ζ dans les raccords en fonction de rapport de surface et de l'angle.

Lors du calcul de la perte de charge singulière, il est important de noter que la vitesse est toujours considérée dans la petite section.

III.5. La charge refoulement

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 :

$$H_{ref} = H_{tot} + \Delta Z + H_{asp} \quad (\text{III.33})$$

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

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

ΔZ : Différence des hauteurs en (m) ;

H_{tot} : les Pertes de charges totale en (m).

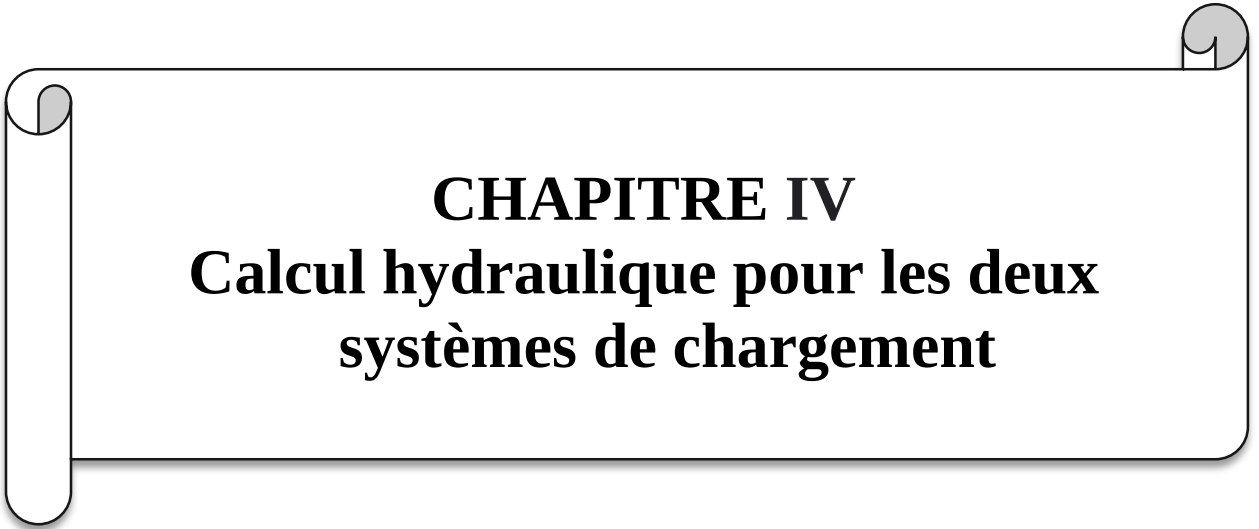
Avec

$$H_{tot} = H_L + H_S \quad (\text{III.34})$$

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les définitions et les lois liées au calcul hydraulique, ainsi que les notions de pertes de charge linéaire avec plusieurs corrélations pour calculer les coefficients de perte de charge et singuliers avec définition des obstacles 'coudes, vannes et les raccords'. Ainsi la notion de fonctionnement des pompes.

Cette partie nous a permis d'acquérir des connaissances essentielles sur les méthodes de calcul des divers paramètres influençant sur le transport par canalisation.

A decorative horizontal scroll graphic with a light gray background and a dark gray border. The scroll is unrolled in the center, with the top and bottom edges curling upwards. The text is centered within the unrolled portion.

CHAPITRE IV

Calcul hydraulique pour les deux systèmes de chargement

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré aux calculs hydrauliques et à l'étude du fonctionnement de l'installation d'exportation de pétrole brut de SONATRACH-BEJAIA. Nous analyserons les deux systèmes de chargement (Onshore-Offshore) afin de déterminer les paramètres d'exploitation pour divers régimes de fonctionnement des deux stations de pompage. Puis on calcul les puissances des pompes et moteurs pour différents assemblages.

IV.2. Le poste de chargement N°3

IV.2.1. Données et caractéristique des calculs

Tableau IV.1: Données du calcul.

Paramètres	Symboles et unités	Valeurs
Diamètre extérieur	D_{ext} (ligne) (mm)	812.8
	D_{ext} (bras)(mm)	304.8
Epaisseur	E (mm)	7.92
La longueur	L_1 (conduit)(m)	4493
	L_2 (bras)(m)	27.5
Le hauteur de bras	H (m)	12
Masse volumique	ρ (kg/m ³)	800
La rugosité	ε (mm)	0.2
La viscosité cinématique	ν (m ² /s)	2.5×10^{-6}

IV.2.2. Calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 2500m³/h

➤ Pour le tronçon L_1

$$D_{int1} = D_{ext} - 2e \quad (IV.1)$$

$$D_{int1} = D_{ext} - 2e = 32 \times 25.4 - 2 \times 7.92 = 796.96 \text{ mm}$$

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{4Q_v}{3600\pi D_{int}^2} = \frac{4 \times 2500}{3600\pi \times (0.79696)^2} = 1.392113 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD_{int}}{\nu} = \frac{1.39211 \times 0.79696}{2.5 \times 10^{-6}} = 443783.44$$

$$A = \left[2.457 \ln \left(\left(\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{\varepsilon}{D} \right)^{-1} \right) \right]^{16} = \left[2.457 \ln \left(\left(\left(\frac{7}{443783.44} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{0.2}{0.79696} \right)^{-1} \right) \right]^{16} = 3.60827 \times 10^{21}$$

$$B = \left[\frac{37530}{Re} \right]^{16} = \left[\frac{37530}{443783.44} \right]^{16} = 6.84415 \times 10^{-18}$$

$$\lambda = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A+B)^{-1.5} \right]^{\frac{1}{12}} = 8 \left[\left(\frac{8}{44378.44} \right)^{12} + (3.6802 \times 10^{21} + 6.84415 \times 10^{-18})^{-1.5} \right]^{\frac{1}{12}} = 0.01612$$

Donc les pertes de charge linéaire de L1

$$H_{L1} = \frac{\lambda LV^2}{2gD_{int}} = \frac{0.01612 \times 4493 \times 1.392113^2}{2 \times 9.81 \times 0.79696} = 8.9764m$$

Ou bien en Pa

$$P_{L1} = \rho g H_L \quad \text{(IV.2)}$$

$$P_{L1} = \rho g H_L = 800 \times 9.81 \times 8.9764 = 0.704 \times 10^5 Pa$$

➤ Pour le tronçon L₂ (bras de chargement)

$$D_{int_2} = D_{ext} - 2e = 12 \times 25.4 - 2 \times 7.92 = 288.96mm$$

On a quatre bras de chargement donc ;

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{4Q_v}{4 \times 3600 \pi D_{int}^2} = \frac{4 \times 2500}{4 \times 3600 \pi \times (0.28896)^2} = 2.64m/s$$

$$Re = \frac{VD_{int}}{\nu} = \frac{2.64 \times 0.28896}{2.5 \times 10^{-6}} = 305991.88$$

$$A = \left[2.457 \ln \left(\left(\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{\varepsilon}{D} \right)^{-1} \right) \right]^{16} = \left[2.457 \ln \left(\left(\left(\frac{7}{305991.88} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{0.2}{0.28896} \right)^{-1} \right) \right]^{16} = 8.61 \times 10^{20}$$

$$B = \left[\frac{37530}{Re} \right]^{16} = \left[\frac{37530}{305991.88} \right]^{16} = 2.62 \times 10^{-15}$$

$$\lambda = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A+B)^{-1.5} \right]^{\frac{1}{12}} = 8 \left[\left(\frac{8}{305991.88} \right)^{12} + (8.61 \times 10^{20} + 2.62 \times 10^{-15})^{-1.5} \right]^{\frac{1}{12}} = 0.0193$$

Donc les pertes de charge linéaire de L2

$$H_{L2} = \frac{\lambda LV^2}{2gD_{\text{int}}} = \frac{0.0193 \times 27.5 \times 2.64^2}{2 \times 9.81 \times 0.28896} = 0.657m$$

Ou bien en Pa

$$P_{L2} = \rho g H_L = 800 \times 9.81 \times 0.657 = 0.05 \times 10^5 Pa$$

Les pertes de charge linéaire totale

$$H_{L_{\text{tot}}} = H_{L1} + H_{L2} \quad (\text{IV.3})$$

$$H_{L_{\text{tot}}} = H_{L1} + H_{L2} = 8.976 + 0.657 = 9.633m$$

Ou bien en Pa

$$P_{L_{\text{tot}}} = \rho g H_{L_{\text{tot}}} = 800 \times 9.81 \times 9.63 = 0.75 \times 10^5 Pa$$

IV.2.3. Calcul des pertes de charge singulière pour un débit de 2500m³/h

➤ Calcul des coefficients de perte de charge singulières

Dans le tronçon L1 on a :

- 7 coudes de (60°, 65°, 90°, 58°, 49°, 90°, 20°) de type « coude a paroi concentrique ».
- Des vannes

Dans le tronçon L2 bras de chargement on a :

- 3 Raccords articulés
- Rétrécissement brusque
- Une vanne à la fin de bras

A) Les coudes

Tous les coudes sont des coudes à paroi concentrique, on utilise la formule (III.25)

$$\gamma = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.2}{796.96} = 2.5 \times 10^{-4} < 0.001$$

$$Re = 4.4 \times 10^5 > 2 \times 10^5$$

Donc à partir (Tableau III.11)

$$K_{Re} = 1 \quad K = 1 + \gamma \times 10^3 = 1.25$$

Tableau IV.2 : Les coefficients des pertes de charge pour les coudes.

D	θ	R	R/D	A1	B1	C1	ζ_m	K	Kre	Zf	ζ
0.79696	60	1.12	1.40534	0.77942	0.17714	1	0.13807	1.250954	1	0.023786	0.196506
0.79696	65	1.16	1.45553	0.815677	0.17406	1	0.14197	1.250954	1	0.026689	0.204298
0.79696	90	1.2	1.50572	1	0.1711	1	0.17113	1.250954	1	0.038228	0.252313
0.79696	58	1.08	1.35514	0.76324	0.18039	1	0.13768	1.250954	1	0.022172	0.194410
0.79696	49	0.718	0.90092	0.67923	0.27258	1	0.18514	1.250954	1	0.012453	0.244066
0.79696	20	0.478	0.60053	0.30781	0.75141	1	0.23129	1.250954	1	0.003388	0.292731

B) Les raccords articulés

On a deux raccords avec $\zeta = 0.5$ et l'autre $\zeta = 0.3$. Ces coefficients ont été fournis par le fabricant du bras de chargement maritime, qui ils sont déterminés à partir des spécifications techniques et des tests de performance de système.

C) Les vannes

1. On a 4 vannes de type robinet à boisseau sphérique

Tableau IV.3 : Les valeurs de ζ en fonction de l'angle de fermeture.

θ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
ζ	0.05	0.31	0.88	1.84	3.45	6.15	11.2	20.7	41.0	95.3	275

Les vannes sont ouvertes à 95%, donc $\zeta = 0.05$.

Les autres vannes dans la ligne sont complètement ouvertes .

2 . La vanne à la fin du bras de chargement est complètement ouverte, ce qui signifie que les pertes de charge singulières à travers cette vanne peuvent être négligées.

D) Rétrécissement brusque

Pour un rétrécissement brusque $(d/D) = 12/32 = 0,375$:

$$\zeta = 0.5 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right) = 0.5 \left(1 - \left(\frac{12}{32} \right)^2 \right) = 0.42$$

Donc :

- Les pertes de charge singulières pour L1 :

$$\sum \zeta = (0.196506 + 0.20429 + 0.2523 + 0.19441 + 0.244066 + 0.292732 + 0.05 \times 4) = 1.584m$$

$$H_{S1} = \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = 1.58 \frac{1.3921^2}{2 \times 9.81} = 0.156m$$

- Les pertes de charge singulières pour L2 :

$$\sum \zeta = (2 \times 0.5 + 0.3 + 0.42) = 1.72$$

$$H_{S2} = \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = 1.72 \frac{2.64^2}{2 \times 9.81} = 0.61m$$

- Les pertes de charge singulières totale :

$$H_{Stot} = H_{S1} + H_{S2} \quad (\text{IV.4})$$

$$H_{Stot} = H_{S1} + H_{S2} = 0.156 + 0.61 = 0.77m$$

- Les pertes de charge totale de refoulement :

$$H_{tot} = H_{L_{tot}} + H_{S_{tot}} \quad (\text{IV.5})$$

$$H_{tot} = H_{L_{tot}} + H_{S_{tot}} = 9.63 + 0.77 = 10.4m$$

➤ La hauteur de refoulement

La station de pompage est située à une altitude de 2.4 mètre au-dessus du niveau de la mer. Nous supposons que $Z_{navire} = 12$ m « comme la hauteur de bras de chargement » (est varié selon le type de navire).

$$\Delta Z = Z_{navire} - Z_{ref} \quad (\text{IV.6})$$

$$\Delta Z = Z_{navire} - Z_{ref} = 12 - 2.4 = 9.6m$$

Sachant que la pression d'arrivée au navire $P = 0.7$ bar

$$\text{Alors : } H_{ref} = H_{tot} + \Delta Z + H_{arrivée} = 10.4 + 9.6 + \frac{0.7 \times 10^5}{9.81 \times 800} = 28.92m$$

$$P_{ref} = \rho g H_{ref} = 800 \times 9.81 \times 28.92 = 2.26bar$$

IV.2.4. Calcul les pertes de charge linéaires et singulières pour différents cas de débit

➤ Pour le tronçon L1

Tableau IV.4 : Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différents débits pour le tronçon L1 de poste N°3.

Qv(m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	PL	HS
2500	1,392113	443783,44	3,68027E+21	6,84415E-18	0,01612	8,976458374	0,704472	0,156493102
4000	2,227381	710053,51	4,81556E+21	3,71022E-21	0,015587	22,22026076	1,743846	0,40062234
4500	2,505804	798810,19	5,09214E+21	5,63585E-22	0,015478	27,92688791	2,191702	0,50703765
5000	2,784227	887566,88	5,3339E+21	1,04433E-22	0,015389	34,27830976	2,690162	0,625972407
5500	3,062649	976323,57	5,54711E+21	2,27278E-23	0,015314	41,27404897	3,239187	0,757426612
6000	3,341072	1065080,3	5,73659E+21	5,64858E-24	0,01525	48,91372589	3,838749	0,901400266

➤ Pour le tronçon L2

Tableau IV.5 : Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différentes débit pour le tronçon L2 de poste N°3.

Qv(m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	PL	HS
2500	2.647355	305991.88	8.6135E+20	2.6224E-15	0.019328	0.657071846	0.051567	0.614403668
4000	4.235768	489587	1.03382E+21	1.4216E-18	0.018892	1.644161952	0.129034	1.57287339
4500	4.765239	550785.38	1.07244E+21	2.15943E-19	0.018806	2.07137479	0.162561	1.990667884
5000	5.29471	611983.75	1.10525E+21	4.00146E-20	0.018735	2.547639303	0.199939	2.457614672
5500	5.824181	673182.13	1.13348E+21	8.70835E-21	0.018676	3.072939639	0.241164	2.973713753
6000	6.353652	734380.51	1.15805E+21	2.16431E-21	0.018626	3.647263041	0.286237	3.538965127

IV.2.5. Calcul la hauteur et la pression de refoulement pour différents cas de débit**Tableau IV.6 :** Résultats de calcul de la charge et la pression de refoulement pour différentes débit poste N°3.

Qv(m ³ /h)	HLtot	HStot	Htot	Href	Pref
2500	9,63353	0,77089677	10,40443	28,9239	2,269947
4000	23,86442	1,97349573	25,83792	44,35739	3,481168
4500	29,99826	2,497705534	32,49597	51,01544	4,003692
5000	36,82595	3,083587079	39,90954	58,42901	4,585508
5500	44,34699	3,731140365	48,07813	66,5976	5,22658
6000	52,56099	4,440365393	57,00135	75,52082	5,926874

IV.2.6. Courbe caractéristique de réseau de poste N°3

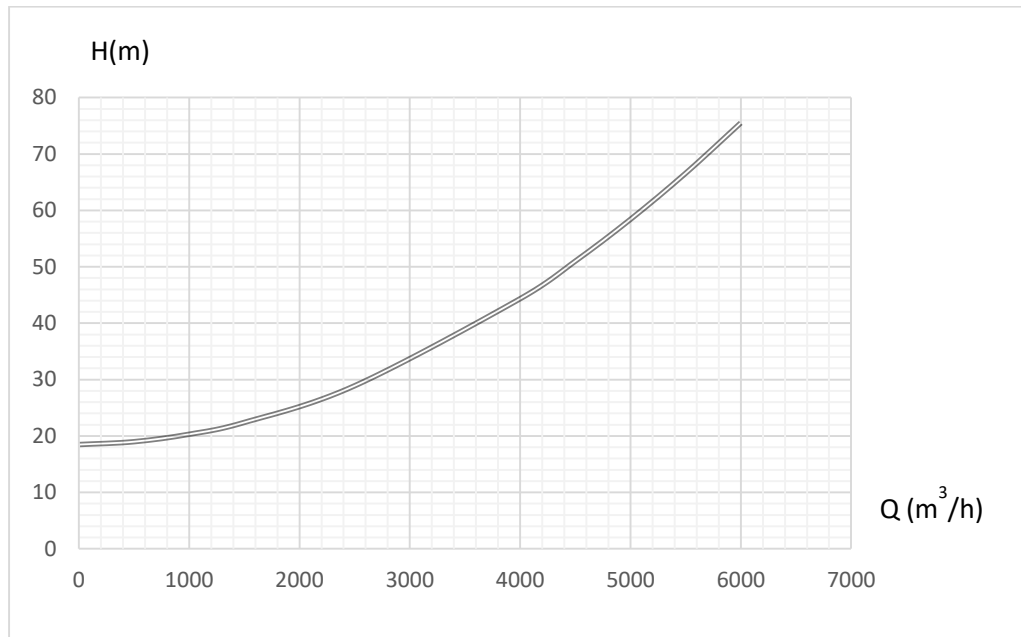


Figure IV.1 : Courbe caractéristique de réseau poste N°3.

IV.3. Le poste de chargement N°2

IV.3.1. Données et caractéristique des calculs

Tableau IV.7 : Données du calcul.

Paramètres	Symboles et unités	Valeurs
Diamètre extérieur	$D_{\text{ext}}(\text{ligne})$ (mm)	812.8
	$D_{\text{ext}}(\text{bras})(\text{mm})$	406.4
Epaisseur	$E(\text{mm})$	7.92
La longueur	$L1(\text{conduit})(\text{m})$	4513
	$L2(\text{bras})(\text{m})$	27.3
La hauteur de bras	$H(\text{m})$	15

IV.3.2. Calcul des pertes de charge linéaires et singulières pour différents cas de débit

Nous passerons par les mêmes étapes que celles que nous avons traversées dans le post N°3

Pour les pertes de charge singulière on a :

- Le tronçon L1 : les mêmes coudes et vannes ;
- Le tronçon L2 : les mêmes raccords articulés et une seule vanne et un rétrécissement brusque ($d/D = 16/32 = 0.5$ donc ;

$$\zeta = 0.5 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right) = 0.5 \left(1 - \left(\frac{16}{32} \right)^2 \right) = 0.375$$

- **Pour le tronçon L1**

Tableau IV.8 : Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différentes débit pour le tronçon L1 de poste N°2.

Qv(m³/h)	V	Re	A	B	λ	HL	HS
2500	1.392113	443783.4412	3.68027E+21	6.84415E-18	0.016119626	9.016415901	0.156493102
4000	2.227381	710053.506	4.81556E+21	3.71022E-21	0.015586878	22.31917133	0.40062234
4500	2.505804	798810.1942	5.09214E+21	5.63585E-22	0.015478451	28.05120078	0.50703765
5000	2.784227	887566.8824	5.3339E+21	1.04433E-22	0.015388963	34.43089516	0.625972407
5500	3.062649	976323.5707	5.54711E+21	2.27278E-23	0.015313754	41.45777498	0.757426612
6000	3.341072	1065080.259	5.73659E+21	5.64858E-24	0.015249592	49.13145892	0.901400266

➤ Pour le tronçon L2

Tableau IV.9 : Résultats de calcul des pertes de charge linéaire et singulier pour différents débit pour le tronçon L2 de poste N° 2.

Qv(m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	HS
2500	1,932195	301855,1578	1,28334E+21	3,26046E-15	0,018388541	0,244582205	0,318726008
4000	3,091511	482968,2525	1,60642E+21	1,7675E-18	0,017879595	0,608800818	0,815938581
4500	3,47795	543339,2841	1,68161E+21	2,68485E-19	0,017777645	0,766120013	1,032672267
5000	3,864389	603710,3156	1,74631E+21	4,97507E-20	0,017693946	0,941374119	1,274904033
5500	4,250828	664081,3472	1,8026E+21	1,08272E-20	0,017623918	1,13455462	1,54263388
6000	4,637267	724452,3788	1,85204E+21	2,69091E-21	0,01756441	1,345654705	1,835861808

IV.3.3. Calcul la hauteur et la pression de refoulement pour différents cas de débit**Tableau IV.10 :** Résultats de calcul de la charge et la pression de refoulement pour différents débit poste N° 2.

Qv(m ³ /h)	HLtot	HStot	Htot	Href	Pref
2500	9,2609981	0,47521911	9,7362172	31,25569	2,452946
4000	22,927972	1,216560922	24,144533	45,664	3,583711
4500	28,817321	1,539709916	30,357031	51,8765	4,071268
5000	35,372269	1,90087644	37,273146	58,79262	4,614044
5500	42,59233	2,300060492	44,89239	66,41186	5,212003
6000	50,477114	2,737262074	53,214376	74,73385	5,865112

IV.3.4. Courbe caractéristique de réseau poste N°2

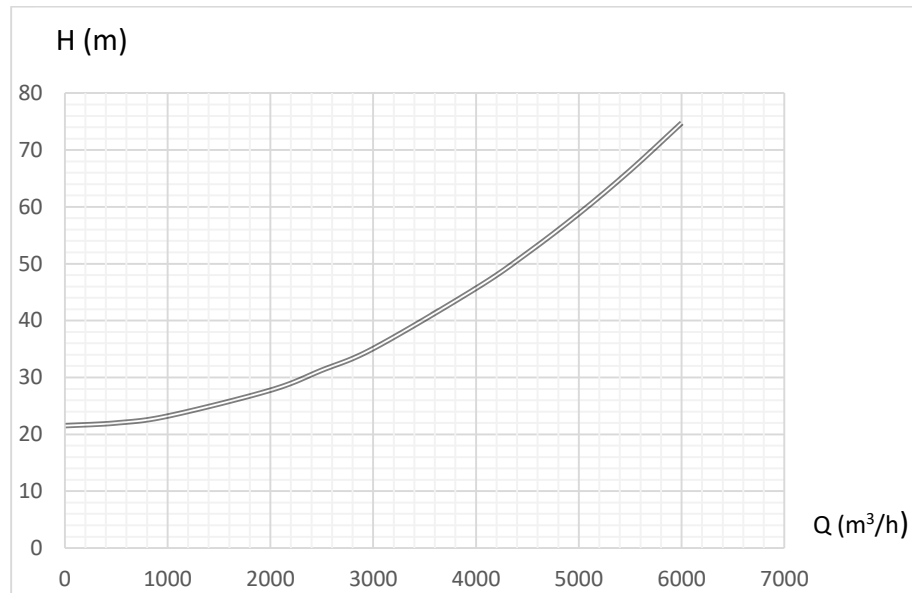


Figure IV.2 : Courbe caractéristique de réseau poste N°2.

IV.4. Modélisation des courbes caractéristiques des pompes de terminal nord

Sur la base d'un ensemble des points caractérisés par leurs coordonnées (H_p, Q) obtenues par la lecture sur la courbe caractéristique (H, Q) de la pompe, une modélisation par régression linéaire a été établie de manière à déterminer les coefficients du modèle de type $H_p = a - bQ^2$. Les points obtenus sont récapitulés dans le tableau :

Tableau IV.11 : Points obtenus par la lecture graphique des courbes caractéristiques des pompes.

Les débits (m^3/h)	Hauteur de refoulement des L pompes de terminal nord (m)		
	Les pompes (MNOP)	Les pompes (ST)	La pompe (R)
1000	127	88	100
1200	123	85	88
1500	116	83	65
1800	102	72	30
2000	95	65	5
2200	80	55	
2400	63	43	

IV.4.1. Statistique de la régression linéaire

Pour les pompes (MNOP) on a :

Tableau IV.12 : Les coefficients a et b par la méthode de la régression linéaire pour les pompes (MNOP).

Regression Statistics	
Multiple R	0.991288
R Square	0.982651
Adjusted R Square	0.97976
Standard Error	4.177946
Observations	8
Coefficients	
Intercept	145.6217
X Variable 1	-1.4E-05

Par la même manière on obtient les coefficients a, b pour les autres pompes et indiqués sur le tableau suivant :

Tableau IV.13 : Coefficients des modèles mathématiques des caractéristiques des pompes.

Les coefficients	Les pompes (MNOP)	Les pompes (ST)	La pompe (R)
a	145.6217	100.946	133.797
b	-1.4E-05	-9.9E-06	-3E-05

A partir de la modélisation des courbes caractéristiques (H, Q) des pompes centrifuges, nous pouvons tracer les courbes caractéristiques de chaque pompe :

IV.4.2. Courbes Caractéristiques des pompes

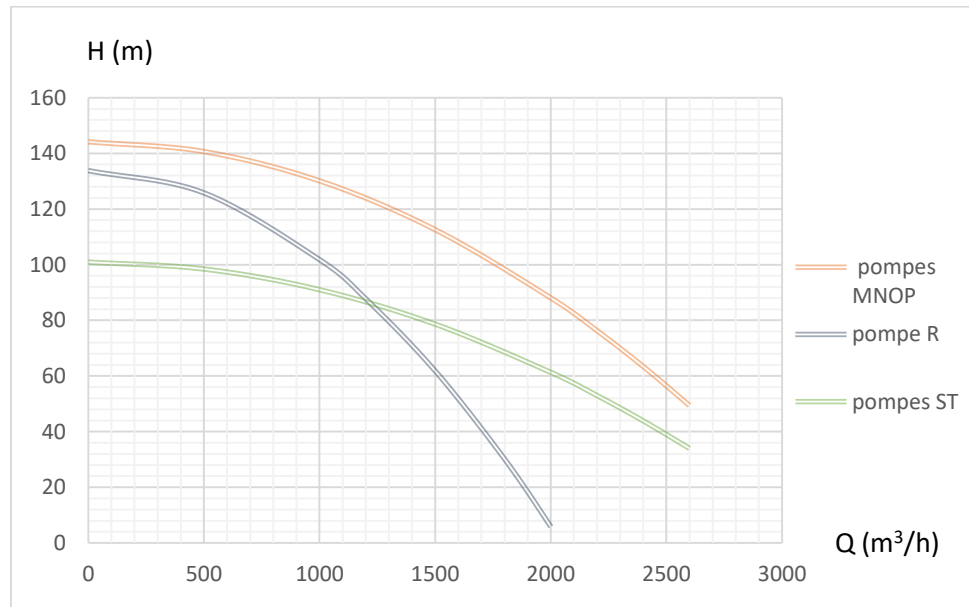


Figure IV.3 : Courbes caractéristiques des pompes.

IV.5. Assemblage des pompes

Graphiquement, on trouve la caractéristique de la hauteur manométrique totale du montage en additionnant les débits des deux pompes pour une même hauteur manométrique totale.

Pour cela, d'après les courbes caractéristiques des pompes centrifuge fournies par le constructeur, et pour les différents régimes de fonctionnements (les plus fréquents), on a fait sortir les valeurs de débits qui correspondent à chaque hauteur manométrique pour les différents types de pompes de terminal nord. Le tableau suivant montre les détails :

Nous nommerons ;

- Les pompes MNOP par "A"
- La pompe R par "B "
- Les pompes ST par "C "

Tableau IV.14 : Différents régimes de fonctionnement pour un H constante.

H(m)	A	B	C	2A	2C	A+B	C+B	2A+B	A+B+C
100	1774.884	1027.695	309.1206	3549.769	618.2412	2802.579	1336.815	4577.463	3111.7
90	1965.833	1169.896	1051.502	3931.666	2103.004	3135.729	2221.398	5101.562	4187.231
80	2139.81	1296.594	1454.564	4279.619	2909.129	3436.404	2751.158	5576.214	4890.968
70	2300.668	1411.969	1768.01	4601.335	3536.02	3712.637	3179.979	6013.304	5480.646
60	2450.991	1518.603	2033.706	4901.982	4067.412	3969.594	3552.309	6420.585	6003.3
50	2592.613	1618.226	2268.493	5185.226	4536.986	4210.839	3886.719	6803.453	6479.332
40	2726.89	1712.062	2481.161	5453.78	4962.323	4438.952	4193.223	7165.842	6920.113
30	2854.858	1801.015	2676.988	5709.716	5353.975	4655.873	4478.003	7510.731	7332.861
20	2977.331	1885.777	2859.434	5954.662	5718.868	4863.108	4745.212	7840.439	7722.543

A partir de tableau précédent, on peut tracer les courbes caractéristiques des pompes avec la courbe de réseau, pour les différents régimes (débits), afin d'obtenir le point de fonctionnement pour chaque cas possible.

➤ Pour le poste de chargement N°3

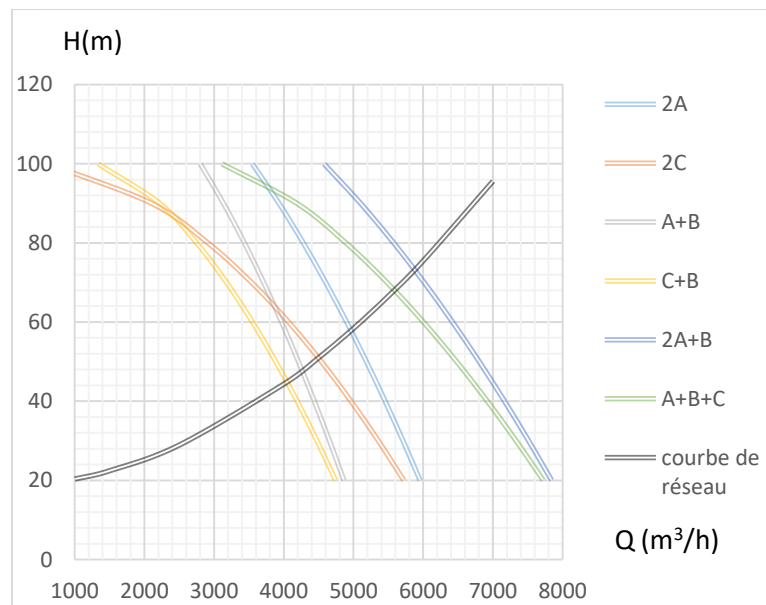


Figure IV.4 : Courbes caractéristiques des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau poste N° 3.

• Pour le poste de chargement N°2

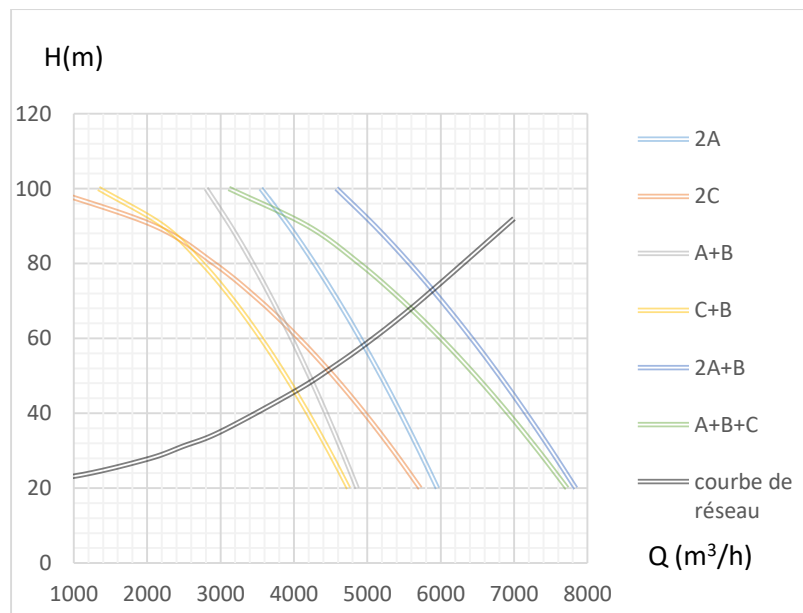


Figure IV.5: Courbes caractéristiques des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau poste N°2.

➤ **Interprétation des courbes**

D'après les courbes qu'on a obtenues, on voit clairement que l'intersection de chaque courbe d'assemblage en parallèle des pompes avec la courbe de réseau correspond à un point de fonctionnement, à partir de ce point on peut extraire les débits et les hauteurs de chaque assemblage, dont le but de calculer les puissances des pompes et des moteurs de la station.

IV.6. Calcul énergétique de l'expédition

Pour l'assemblage 2A de poste N°3 :

Le point de fonctionnement pour l'assemblage 2A à partir de la courbe précédente est :

$$Q = 5000 \text{ m}^3/\text{h}, H=58\text{m}$$

Avec un débit de $Q = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chacun, donc le rendement égale $\eta_p = 0.75$ à partir de la courbe donnée par le constructeur.

$\cos(\theta) = 0.85$ pour le moteur asynchrone chargé à 100%.

➤ La puissance utile de la pompe :

$$P_u = \rho g H Q = 800 \times 9.81 \times 58 \times \frac{5000}{3600} = 632.2 \text{ KW}$$

➤ La puissance absorbe par la pompe :

$$P_a = \frac{\rho g H Q}{\eta} = \frac{800 \times 9.81 \times 58 \times 1.38}{0.75} = 842.9333 \text{ KW}$$

➤ La puissance utile du moteur :

$$P_{mu} = \frac{\rho g H Q}{\eta_{pp} \eta_{acc}} = \frac{800 \times 9.81 \times 58 \times 1.38}{0.75 \times 0.9} = 936.5925 \text{ KW}$$

➤ La puissance absorbée par le moteur :

On a pour les moteurs des pompes MNOP 'A' ; $U=5500\text{V}$, $I=68\text{A}$

$$P_{ma} = 2 \times UI \sqrt{3} \cos \theta = 2 \times 5500 \times 68 \times \sqrt{3} \times 0.85 = 1101.23 \text{ KW}$$

Pour La pompe "B" ; $U = 5500$, $I = 41.5\text{A}$

Pour les pompes "C" ; $U = 5500$, $I = 47.5\text{A}$

Tableau IV.15 : Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour le poste N°3.

Les puissances	2A		2C		A+B		C+B		2A+B		A+B+C	
	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)
	5000	58	4500	51	4200	48	4050	44	5900	72	5600	68
P _u (KW)	632.2		500.31		439.488		388.476		926.064		830.144	
P _a (KW)	842.93333		625.3875		579.71432		495.7250128		1141.29875		1012.16792	
P _{mu} (KW)	936.5925926		694.875		644.1270222		550.8055698		1268.109722		1124.633102	
P _{ma} (KW)	1101.23		769.24		886.65		720.66		1437.26		1271.27	

Tableau IV.16 : Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour le poste N°2.

Les puissances	2A		2C		A+B		C+B		2A+B		A+B+C	
	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)	Q (m ³ /h)	H (m)
	4900	58	4450	52	4200	48	4000	46	5900	72	5600	68
P _u (KW)	619.556		504.452		439.488		401.12		926.064		830.144	
P _a (KW)	826.0746667		630.565		540.437		502.941805		1141.29875		1012.16792	
P _{mu} (KW)	917.8607407		700.6277778		600.485		558.8242278		1268.109722		1124.633102	
P _{ma} (KW)	1101.23		769.24		886.65		720.66		1437.26		1271.27	

➤ Interprétation des résultats

Les résultats des calculs de puissance pour les pompes et moteurs, dans les deux postes de chargement indiquent une similitude remarquable dans leurs performances. Cette concordance suggère une cohérence et une fiabilité élevées dans le fonctionnement des deux installations. La proximité des valeurs de puissance utile et absorbée entre les deux postes indiquent que leurs efficacités énergétiques sont équivalentes. En conséquence, on peut conclure que les deux postes de chargement offrent des performances comparables, ce qui vous donne la possibilité de choisir celui qui convient le mieux en fonction d'autres critères tels que la disponibilité opérationnelle, la maintenance, ou d'autres considérations spécifiques au projet.

IV.7. La bouée de chargement

IV.7.1. Données et caractéristiques des calculs

Les dimensions et les caractéristiques des canalisations et flexibles sont présentes dans le tableau suivant :

Tableau IV.17 : Données du calcul.

Canalisation et flexible	Symboles et unités	Ligne à terre	Ligne en mer	Flexibles sous marins	Flexibles flottants 1	Flexibles flottants 2
Dimension du tube	Pousse “	42	42	24	24	16
Diamètre externe	$D_{ext}(mm)$	1066.8	1066.8	609.6	609.6	406.4
Epaisseur	$E(mm)$	12.7	22.23	22.23	22.23	22.23
Longueur totale	$L(m)$	794	7660	70.4 Chacun	587.7 Chacun	43.1 Chacun
Rugosité	$\varepsilon(mm)$	0.045	0.045	0.025	0.025	0.025

On remarque que la rugosité de cette ligne est différente de celle de la ligne vers le port pétrolier. Cela s'explique par le fait que cette ligne est une nouvelle station fabriquée en 2005/2006 et est donc plus récente. En revanche, l'autre ligne présente quelques traces de corrosion.

Nous allons considérer l'absence des vannes de régulation de débit c'est-à-dire est complètement ouverts et les pertes de charge singulier sont nul.

IV.7.2. Calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 2500m³/h

➤ **Pour la ligne à terre**

$$D_{int1} = D_{ext} - 2e = 42 \times 25.4 - 2 \times 12.7 = 1041.4mm$$

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{4Q_v}{3600\pi D_{int}^2} = \frac{4 \times 2500}{3600\pi \times (1.0414)^2} = 0.815m/s$$

$$Re = \frac{VD_{int}}{\nu} = \frac{0.8152 \times 1.0414}{2.5 \times 10^{-6}} = 339617$$

D'après le modale de CHURCHILL On à

$$A = 8.23 \times 10^{21} \quad B = 4.945 \times 10^{-16} \quad \lambda = 0.014$$

Donc les pertes de charge linéaire de ligne à terre sont :

$$H_{L(terre)} = \frac{\lambda L V^2}{2gD_{int}} = \frac{0.014 \times 794 \times 0.815^2}{2 \times 9.81 \times 1.0414} = 0.3765m$$

Ou bien en Pa

$$P_L = \rho g H_L = 800 \times 9.81 \times 0.3765 = 0.02 \times 10^5 Pa$$

➤ **Pour la ligne à mer**

$$D_{int_2} = D_{ext} - 2e = 42 \times 25.4 - 2 \times 22.23 = 1022.34mm$$

$$V = \frac{Q_V}{S} = \frac{4Q_V}{3600\pi D_{int}^2} = \frac{4 \times 2500}{3600\pi \times (1.0223)^2} = 0.845m/s$$

$$Re = \frac{VD_{int}}{\nu} = \frac{0.845 \times 1.0223}{2.5 \times 10^{-6}} = 345949$$

$$A = 8.38 \times 10^{21}, B = 3.6801 \times 10^{-16}, \lambda = 0.0145$$

$$H_{L(mer)} = 3.9748m$$

$$P_{L(mer)} = 0.311 \times 10^5 Pa$$

➤ **Pour les flexibles sous-marins**

$$D_{int} = D_{flexible} - 2e = 24 \times 25.4 - 2 \times 22.23 = 565.14mm$$

Le débit traverse un seule flexible est 1250 m³/h

$$V = \frac{Q_V}{S} = \frac{4Q_V}{3600\pi D_{int}^2} = \frac{4 \times 1250}{3600\pi \times (0.56514)^2} = 1.38m/s$$

$$Re = \frac{VD_{int}}{\nu} = \frac{1.38 \times 0.565}{2.5 \times 10^{-6}} = 312911$$

$$A = 7.36 \times 10^{21}, B = 1.833 \times 10^{-15}, \lambda = 0.01478$$

$$H_{L(flexible \text{ sous-marin})} = 0.179m$$

$$P_{L(flexible \text{ sous-marins})} = 1411.12Pa$$

➤ Pour les flexibles flottants 1

$$D_{\text{int}} = D_{\text{flexible}} - 2e = 24 \times 25.4 - 2 \times 22.23 = 565.14 \text{ mm}$$

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{4Q_v}{3600\pi D_{\text{int}}^2} = \frac{4 \times 1250}{3600\pi \times (0.565)^2} = 1.384 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{VD_{\text{int}}}{\nu} = \frac{1.384 \times 0.565}{2.5 \times 10^{-6}} = 312911.53$$

$$A = 7.36 \times 10^{21} \quad B = 1.83 \times 10^{-15} \quad \lambda = 0.01478$$

$$H_{L(\text{flexible} \text{ flot tants-1-})} = 1.501 \text{ m}$$

$$P_{L(\text{flexible} \text{ flot tants-1-})} = 0.117 \times 10^5 \text{ Pa}$$

➤ Pour les flexibles flottants 2

$$D_{\text{int}} = D_{\text{flexible}} - 2e = 16 \times 25.4 - 2 \times 22.23 = 361.94 \text{ mm}$$

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{4Q_v}{3600\pi D_{\text{int}}^2} = \frac{4 \times 1250}{3600\pi \times (0.36194)^2} = 3.374 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{VD_{\text{int}}}{\nu} = \frac{3.374 \times 0.3619}{2.5 \times 10^{-6}} = 4.88 \times 10^5$$

$$A = 1.05 \times 10^{22}, \quad B = 1.468 \times 10^{-18}, \quad \lambda = 0.01413$$

$$H_{L(\text{flexible} \text{ flot tants-2-})} = 0.977 \text{ m}$$

$$P_{L(\text{flexible} \text{ flot tants-2-})} = 7667.96 \text{ Pa}$$

Finalement les pertes de charge linéaire totale :

$$H_{L_{\text{tot}}} = H_{L(\text{terre})} + H_{L(\text{mer})} + H_{L(\text{flexible} \text{ sous-marins})} + H_{L(\text{flexible} \text{ flot tants-1-})} + H_{L(\text{flexible} \text{ flot tants-2-})} \quad (\text{IV.7})$$

$$H_{L_{\text{tot}}} = 7.009 \text{ m}$$

IV.7.3. Calcul des pertes de charge linéaire pour différents cas de débit.

Tableau IV.18 : Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 2500m³/h.

Q(2500m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	PL
Ligne à terre	0.815291	339617.4873	8.23004E+21	4.94557E-16	0.014577	0.376524835	2954.966906
Ligne en mer	0.845974	345949.1474	8.38155E+21	3.68011E-16	0.014544	3.974867794	31194.76245
Flexible sous-marins	1.384221	312911.5364	7.36723E+21	1.83363E-15	0.01478	0.179806605	1411.122236
Flexible flottants 1	1.384221	312911.5364	7.36723E+21	1.83363E-15	0.01478	1.501027582	11780.06446
Flexible flottants 2	3.374772	488586.0244	1.05292E+22	1.46893E-18	0.014135	0.977059656	7667.964183

Tableau IV.19 : Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 5000m³/ h.

Q(5000 m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	PL
Ligne à terre	1.630581	679234.9747	1.84383E+22	7.54634E-21	0.013179	1.361644537	10686.18633
Ligne en mer	1.691948	691898.2947	1.86522E+22	5.6154E-21	0.01316	14.38655978	112905.7212
Flexible sous-marins	2.768443	625823.0727	1.6732E+22	2.7979E-20	0.01334	0.64913537	5094.414387
Flexible flottants 1	2.768443	625823.0727	1.6732E+22	2.7979E-20	0.01334	5.418989449	42528.22919
Flexible flottants 2	6.749544	977172.0487	1.99158E+22	2.24141E-23	0.013052	3.608949693	28323.03719

Tableau IV.20 : Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 7500m³/h.

Q(7500m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	PL
Ligne à terre	2.445872	1018852.462	2.75494E+22	1.14888E-23	0.012534	2.91371733	22866.85361
Ligne en mer	2.537921	1037847.442	2.77438E+22	8.54911E-24	0.012523	30.80242663	241737.4442
Flexible sous-marins	4.152664	938734.6091	2.52104E+22	4.25963E-23	0.012673	1.387598404	10889.87227
Flexible flottants 1	4.152664	938734.6091	2.52104E+22	4.25963E-23	0.012673	11.58368724	90908.77748
Flexible flottants 2	10.12432	1465758.073	2.67113E+22	3.4124E-26	0.012582	7.827556772	61430.66555

Tableau IV.21 : Résultat de calcul des pertes de charge linéaire pour un débit de 10000m³/h.

Q(10000m ³ /h)	V	Re	A	B	λ	HL	PL
Ligne à terre	3.261163	1358469.949	3.54284E+22	1.15148E-25	0.012146	5.019608972	39393.89121
Ligne en mer	3.383895	1383796.589	3.55586E+22	8.56842E-26	0.01214	53.0872376	416628.6407
Flexible sous-marins	5.536885	1251646.145	3.26164E+22	4.26925E-25	0.012272	2.38868684	18746.41432
Flexible flottants 1	5.536885	1251646.145	3.26164E+22	4.26925E-25	0.012272	19.94078488	156495.2798
Flexible flottants 2	13.49909	1954344.097	3.17935E+22	3.42011E-28	0.012311	13.61596296	106858.0773

IV.7.4. Calcul des pertes de charge singulière pour un débit de 2500m³/h

- Dans ce cas, l'influence des coudes est négligée en raison de leurs faibles angles.
- On a trois vannes dans le linge en terre : vanne à la sortie de collecteur des pompes avant l'unité de comptage, vanne ESDV et la vanne de plage. Les trois sont des vannes à boisseau sphérique et sont ouverts à 95% donc à partir de (Tableau IV.3) le coefficient de perte de charge est $\zeta = 0,05$:

$$H_{(vannes)} = \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = 3 \times 0.05 \frac{0.815^2}{2 \times 9.81} = 5.07 \times 10^{-3} m$$

- Cône convergent dans les flexibles flottant (d/D) = 16/ 24 = 0,66 avec une d'angle 30°
Donc d'après la (Figure III.12) on a $\zeta = 0,06$:

$$H_{(converge)} = \zeta \frac{V^2}{2g} = 0.06 \frac{3.37^2}{2 \times 9.81} = 34.73 \times 10^{-3} m$$

- On a une différence de pression de 0,1 bar au niveau de la bouée et le manifold d'extrémité de canalisation au débit 2500 m³/h donné par le constructeur donc :

$$H = \frac{P}{\rho g} \quad (\text{IV.8})$$

$$H = \frac{P}{\rho g} = \frac{0.1 \times 10^5}{800 \times 9.81} = 1.27 m$$

Donc les pertes de charge singulière :

$$H_{stot} = H_{(vannes)} + H_{(convergent)} + H_{(bouée)} + H_{(plum)} \quad (\text{IV.9})$$

$$H_{stot} = 2.58 m$$

Les pertes de charge totale :

$$H_{tot} = H_{Ltot} + H_{stot} = 7.009 + 2.58 = 9.59 m$$

La hauteur de refoulement :

- La station de pompage est située à une altitude de 2.4 mètre au-dessus du niveau de mer ;
- Le navire est situé à une altitude de 30 mètres au-dessus de niveau de mer (est varié selon le type de navire).

$$Z = Z_{\text{navire}} - Z_{\text{ref}} = 27.6\text{m}$$

➤ La pression d'arriver au rail de navire : $P = 2\text{bar}$

$$H_{ar} = \frac{2 \times 10^5}{800 \times 9.81} = 25.48\text{m}$$

$$H_{ref} = 9.59 + 27.4 + 25.48 = 62.68\text{m}$$

$$P_{ref} = H_{ref} \rho g = 62.68 \times 800 \times 9.81 = 4.91\text{bar}$$

IV.7.5. Calcul la Hauteur et la pression de refoulement pour différents cas de débit

Tableau IV.22 : Résultats de calcul de la charge et la pression de refoulement pour différentes débit pour la bouée de chargement.

Q(m ³ /h)	HLtot	HStot	Htot	Href	Pref
2500	7,009286	2,588331	9,597617261	62,68182	4,919269
5000	25,42528	10,35332	35,77860199	88,8628	6,973953
7500	54,51499	22,02077	76,53575349	129,62	10,17257
10000	94,05228	42,6875	136,7397839	189,824	14,89739

IV.7.6. Courbe caractéristique de réseau bouée de chargement

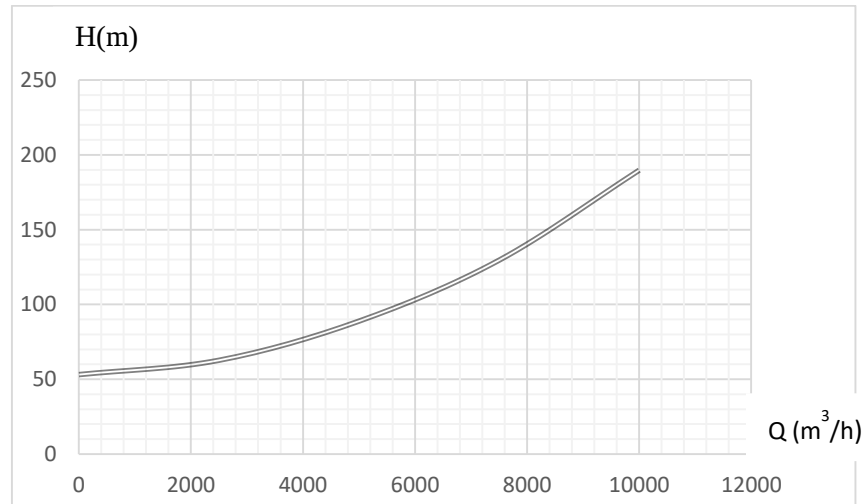


Figure IV.6 : Courbe caractéristique de réseau bouée de chargement.

IV.8. Modélisation des courbes caractéristiques des pompes de terminal sud

De la même manière que nous avons traversée dans les pompes au terminal nord

Tableau IV.23 : Points obtenues par la lecture graphique de courbe caractéristique des pompes.

Les débits (m ³ /h)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Href des pompes (YZ)(m)	255	244	225	208	195	180	155

IV.8.1. Statistique de la régression linéaire

Tableau IV.24 : Les coefficients a et b par la méthode de la régression linéaire pour les pompes (YZ).

Regression Statistics	
Multiple R	0,971616222
R Square	0,944038083
Adjusted R Square	0,9328457
Standard Error	9,193045628
Observations	7
Coefficients	
Intercept	242,0714286
X Variable 1	-2,55495E-06

IV.8.2. Courbe caractéristique des pompes

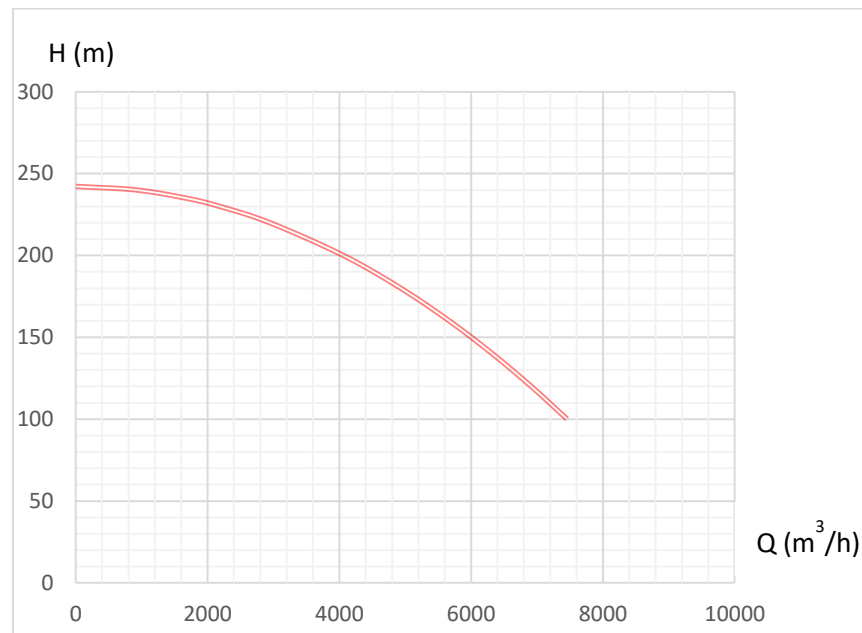


Figure IV.7 : Courbe caractéristique des pompes terminale sud.

IV.9. Assemblage des pompes

Tableau IV.25 : Différents régimes de fonctionnement pour un H constante.

H(m)	Q(m ³ /h)	
	Une pompe	Deux pompes
240	900,0978	1800,1957
230	2173,4927	4346,98537
220	2939,0415	5878,08294
200	4057,8016	8115,6031
180	4928,8479	9857,69589
160	5667,5683	11335,1367
140	6320,5316	12641,0631
120	6912,0842	13824,1684
100	7456,8557	14913,7114

A partir de tableau précédent, on peut tracer les courbes caractéristiques des pompes avec la courbe de réseau, pour les différents régimes (débits), afin d'obtenir le point de fonctionnement

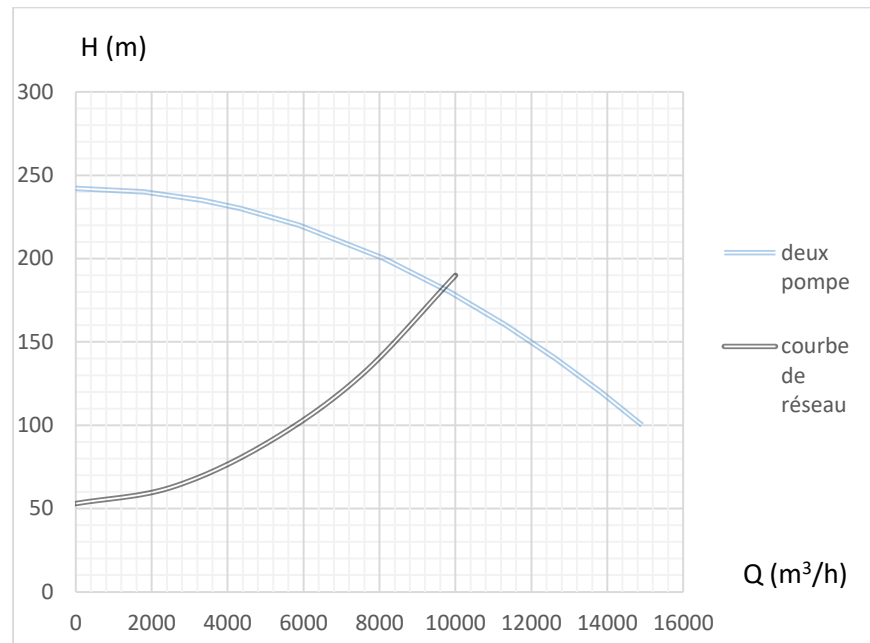


Figure IV.8 : Courbe caractéristique des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau bouée.

IV.10. Calcul énergétique de l'expédition

- On prendre le rendement à partir de la courbe caractéristique des pompes fournie par le constructeur.

Tableau IV.26 : Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour la bouée de chargement.

Les puissances	Deux pompes	
	Q (m³/h)	H (m)
	9600	180
$P_u(KW)$	3767,04	
$P_a(KW)$	4431,811765	
$P_{mu}(KW)$	4924,235294	

IV.11. Calcul les pertes de charge des vannes de régulation de débit

Dans le cas précédent, nous avons supposé que les pertes de charge des vannes de régulation de débit étaient nulles. Cependant, en réalité, ces vannes ont un impact significatif sur l'écoulement.

Ces vannes sont utilisées pour maintenir la pression de refoulement de la pompe à 17 bars, indépendamment des variations de débit. Cette régulation est essentielle pour garantir le bon fonctionnement de l'unité de comptage et la station de pompage.

On a $P_{ref} = 17\text{bars}$

$$H_{ref} = \frac{P}{\rho g} = \frac{17 \times 10^5}{800 \times 9.81} = 216.61\text{m}$$

$$H'_{tot} = H_{ref} - \Delta Z - H_{ar} \quad (\text{IV.10})$$

$$H'_{tot} = H_{ref} - \Delta Z - H_{ar} = 216.61 - 27.6 - 25.48 = 163.53\text{m}$$

On a deux vannes de régulation de débit Donc :

$$H'_{tot} = H_{tot} + H_{s(2\text{vanne})} \quad (\text{IV.11})$$

$$H_{s(\text{vanne})} = \frac{H'_{tot} - H_{tot}}{2} \quad (\text{IV.12})$$

Tableau IV.27 : Les pertes de charge et la pression de la vanne de régulation de débit.

Q(m ³ /h)	Hs(vanne) (m)	P(vanne) (bar)
2500	76,96694	6,040365499
5000	63,87645	5,013023658
7500	43,49787	3,413713033
10000	13,39586	1,051306881

Dans ce cas la courbe caractéristique des pompes devient une ligne droite ;

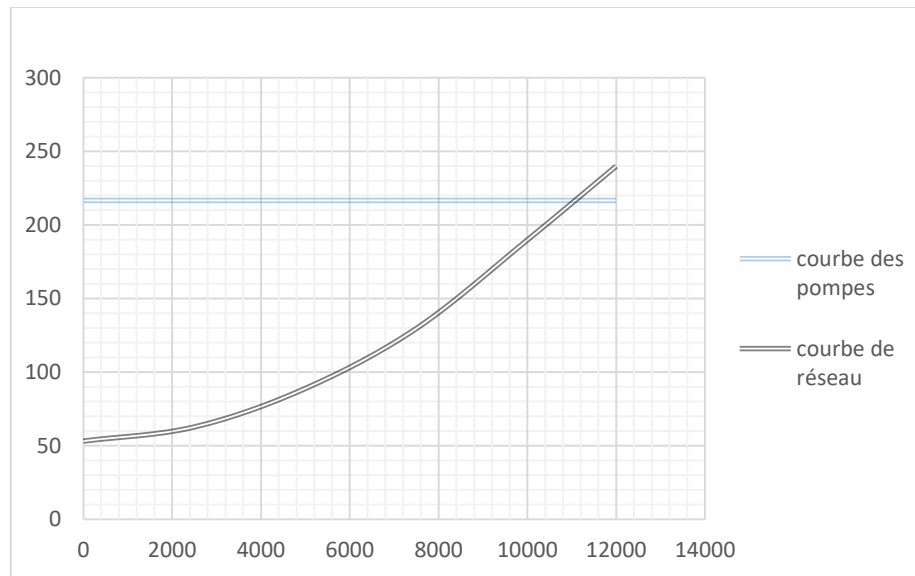


Figure IV.9: Courbes caractéristiques des pompes assemblées en parallèle avec la courbe de réseau avec l'effet des vannes de régulation de débit.

➤ **Calcul énergétique de l'expédition**

Tableau IV.28 : Les puissances des pompes et des moteurs électriques pour la bouée de chargement avec l'effet des vannes de régulation de débit.

Les puissances	Des pompes	
	Q(m³/h)	H(m)
	11000	216.61
P _u (KW)	5194.3078	
P _a (KW)	6110.50353	
P _{mu} (KW)	6789.944837	

➤ **Interprétation des résultats**

Dans un système de transport de pétrole, l'absence de vanne de régulation de débit nécessite moins de puissance, car le pétrole circule librement. En revanche, avec une vanne, la puissance augmente à cause des pertes de charge supplémentaires, augmentant la consommation d'énergie. Les pompes fonctionnent à une pression constante de 17 bars pour assurer le bon fonctionnement des équipements, ajustant automatiquement leur vitesse de rotation en fonction du débit pour maintenir cette pression fixe.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail que nous avons effectué est consacré à l'étude de l'installation d'exportation du pétrole brut à SONATRACH-BEJAIA pour les deux systèmes de chargement des navires-citernes.

Le problème posé nous a obligés à suivre les étapes systématiques pour parvenir aux résultats finaux, impliquant une étude sur les principes fondamentaux de l'industrie pétrolière, ainsi que sur le calcul hydraulique et les turbomachines.

Nous avons commencé par le système de chargement onshore (les bras de chargement). Ce système est divisé en deux postes de chargement 2 et 3, allant de la station de pompage du parc de stockage nord jusqu'au navire. Nous avons calculé les pertes de charge linéaires et singulières pour plusieurs régimes de fonctionnement. L'objectif était de déterminer la pression nécessaire au refoulement des pompes.

Ensuite, nous avons étudié les différents assemblages des pompes pour déterminer leur point de fonctionnement. Cela nous a permis de définir la puissance nécessaire des pompes et des moteurs pour les deux postes de chargement.

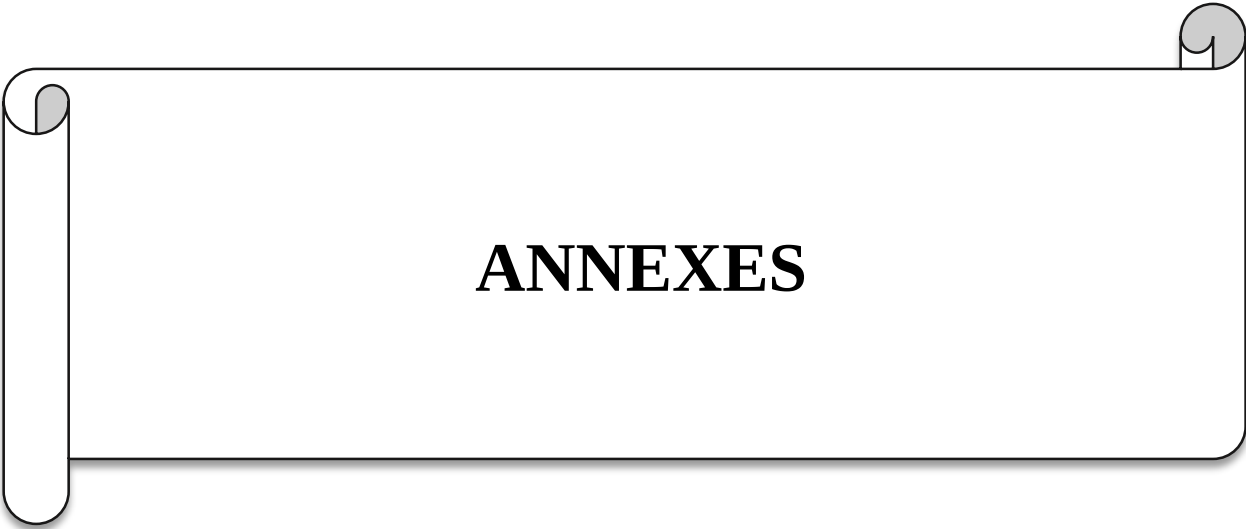
Pour le système de chargement offshore via la bouée de chargement, nous avons suivi les mêmes étapes à celui onshore, en négligeant d'abord les vannes de régulation de débit. Ensuite, nous avons reformulé nos analyses en intégrant ces vannes, ce qui nous a permis d'obtenir une vision précise du fonctionnement du système pour garantir une opération efficace et sûre.

Grâce à cette approche méthodique, l'analyse de notre travail ont permis de déterminer les paramètres essentiels pour le fonctionnement des pompes et d'assurer une opération de chargement sécurisée et performante pour les navires-citernes.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- Document de groupe SONATRACH DRG Bejaia.
- Manuel d'exploitation de l'installation d'exportation de pétrole brut et de condensat à Bejaïa (numéro du document 1459-20-AM-1603-OM-0075) FMC Energy Systems.
- Support de formation cours, révision 0.1 TOTAL (les équipements stockage et terminaux).
- IFP Training (chargement et des chargements des navires citernes) ,2014.
- Manuel d'exploitation et de maintenance système de bouée CALM Bejaia (numéro du document 1459-23-OM-1603-OM-0088) FMC Energy Systems.
- AISSANI. M et BEGHADAD.L, Mémoire de Master option : Transport et distribution des hydrocarbures thème : Evaluation et améliorations des performances du système de chargement du terminal marin de Bejaia, 2015/2016.
- <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/navires-petroliers>.
- Dr K.YOUNSI, Cours Transport des hydrocarbures liquide par canalisation, université de Boumerdes, faculté des hydrocarbures et de la chimie, département transport et équipement des hydrocarbures.
- BEN MESSALIM et DOUAIDI.R, Mémoire de Master option : Transport et distribution des hydrocarbures thème : Planification optimale du pompage multiproduits (brut-Condensat) sur la ligne OB1,2022/2023.
- https://fr.m.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_de_Darcy-Weisbach.
- I.E IDELCIK, Memento de pertes de charge, Coefficient de pertes de charge singuliers et de pertes de charge par frottement ,1978.
- <https://www.suezwaterhandbook.fr/formules-et-outils/formulaire/hydraulique/pertes-de-charge-singulieres-dans-les-tuyauteries-raccords-vannes>.
- https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Valeurs_courantes_du_facteur_de_puissance

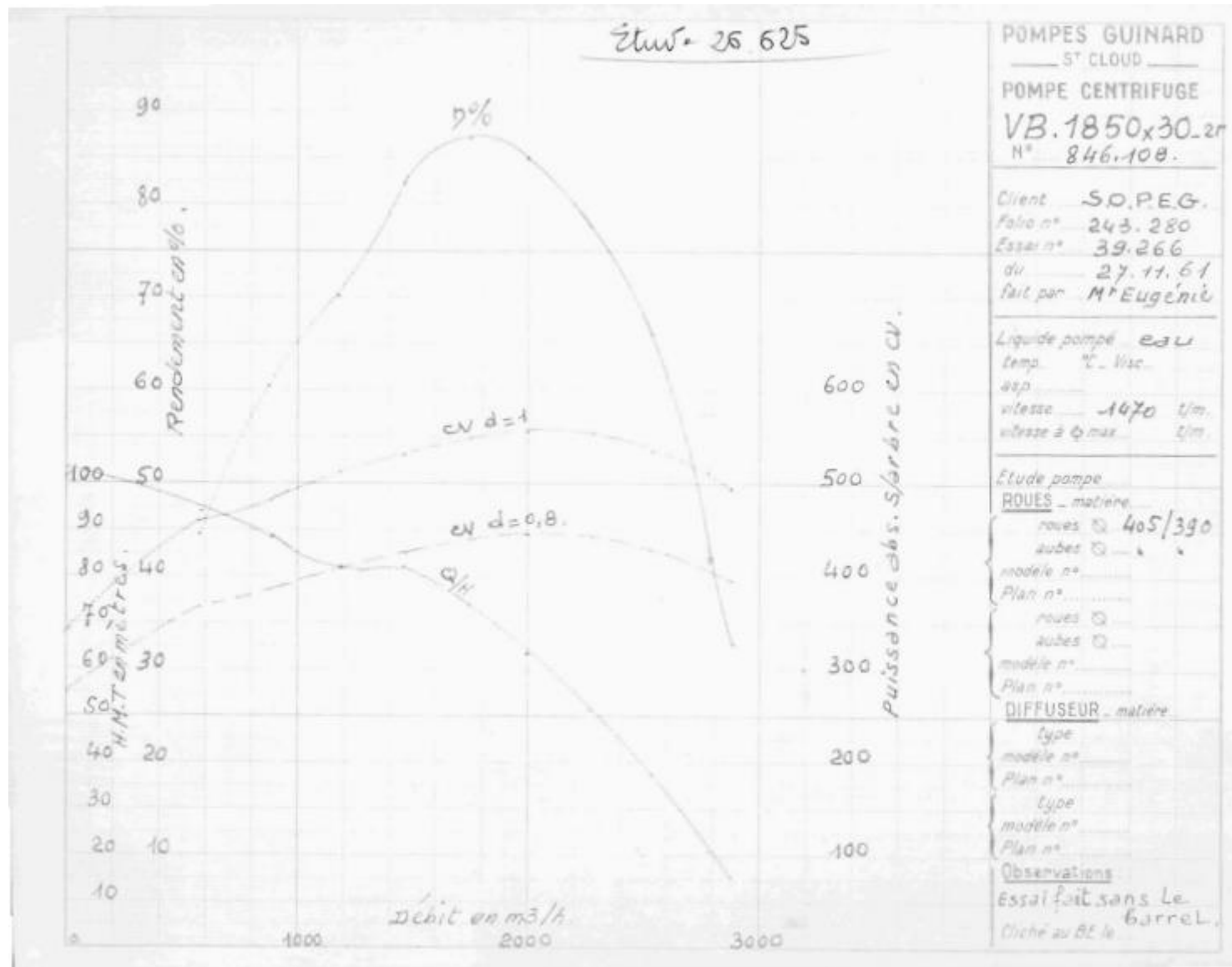


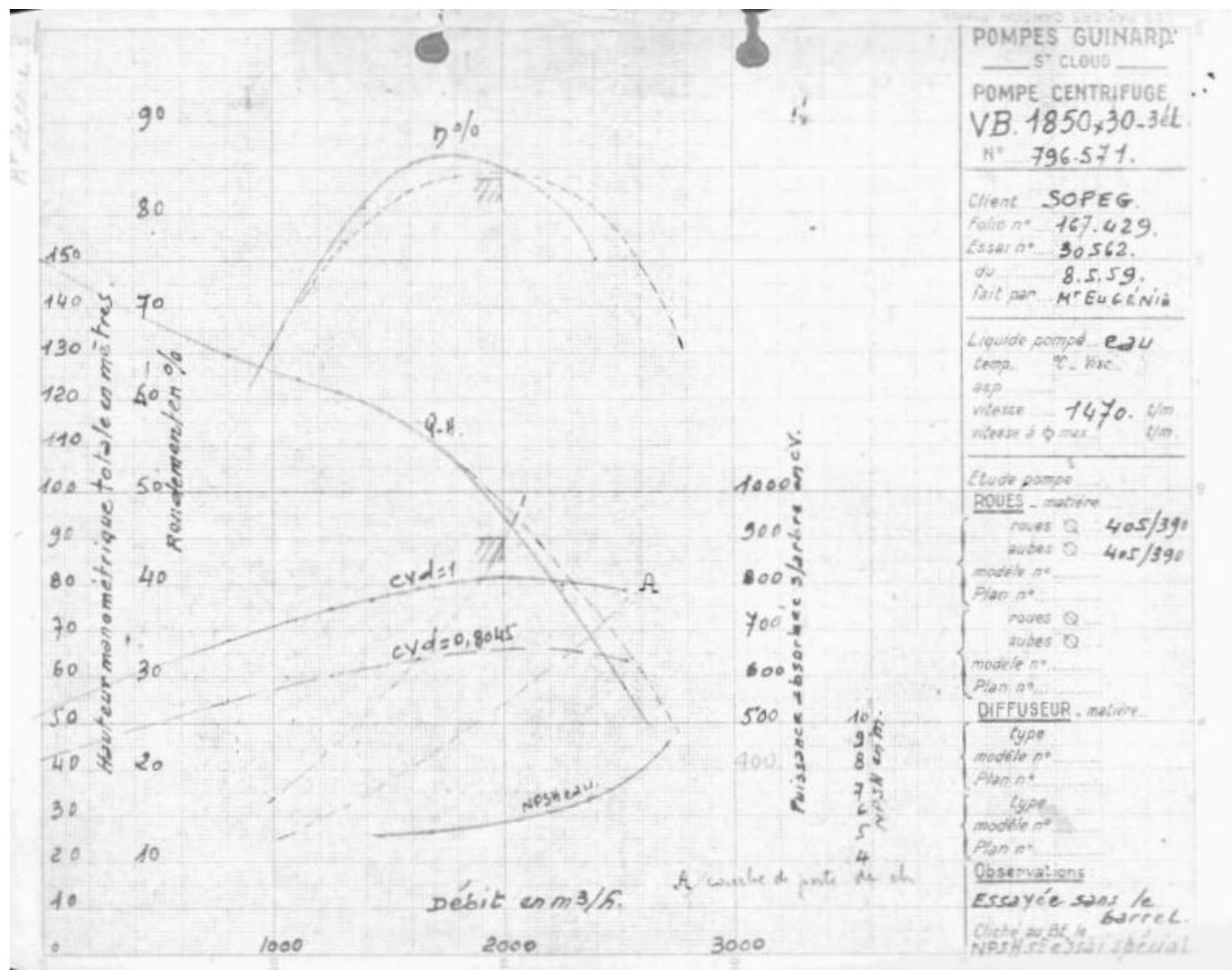
ANNEXES

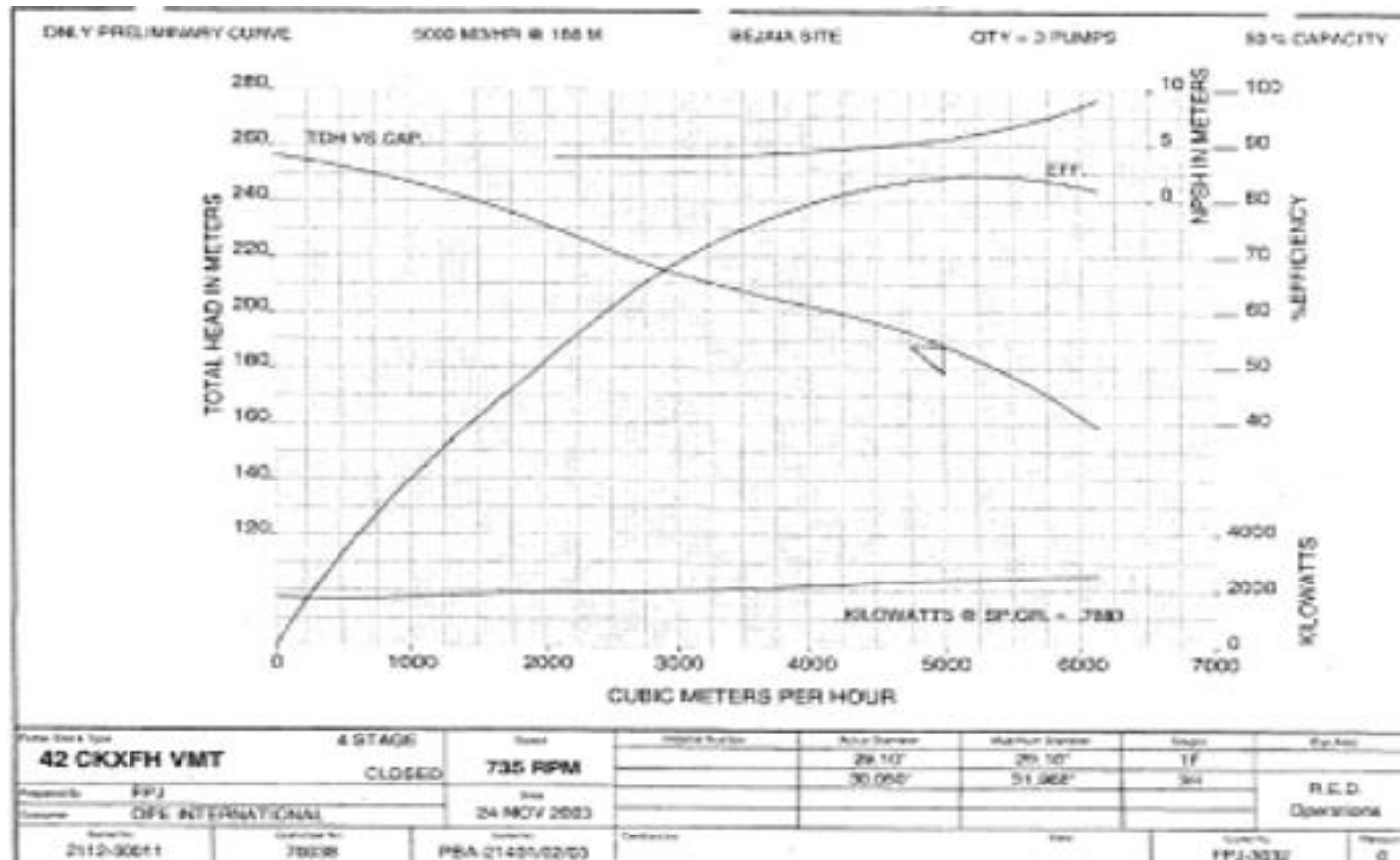
Annexe 1 : Schéma de Principe lings de chargement 32’’



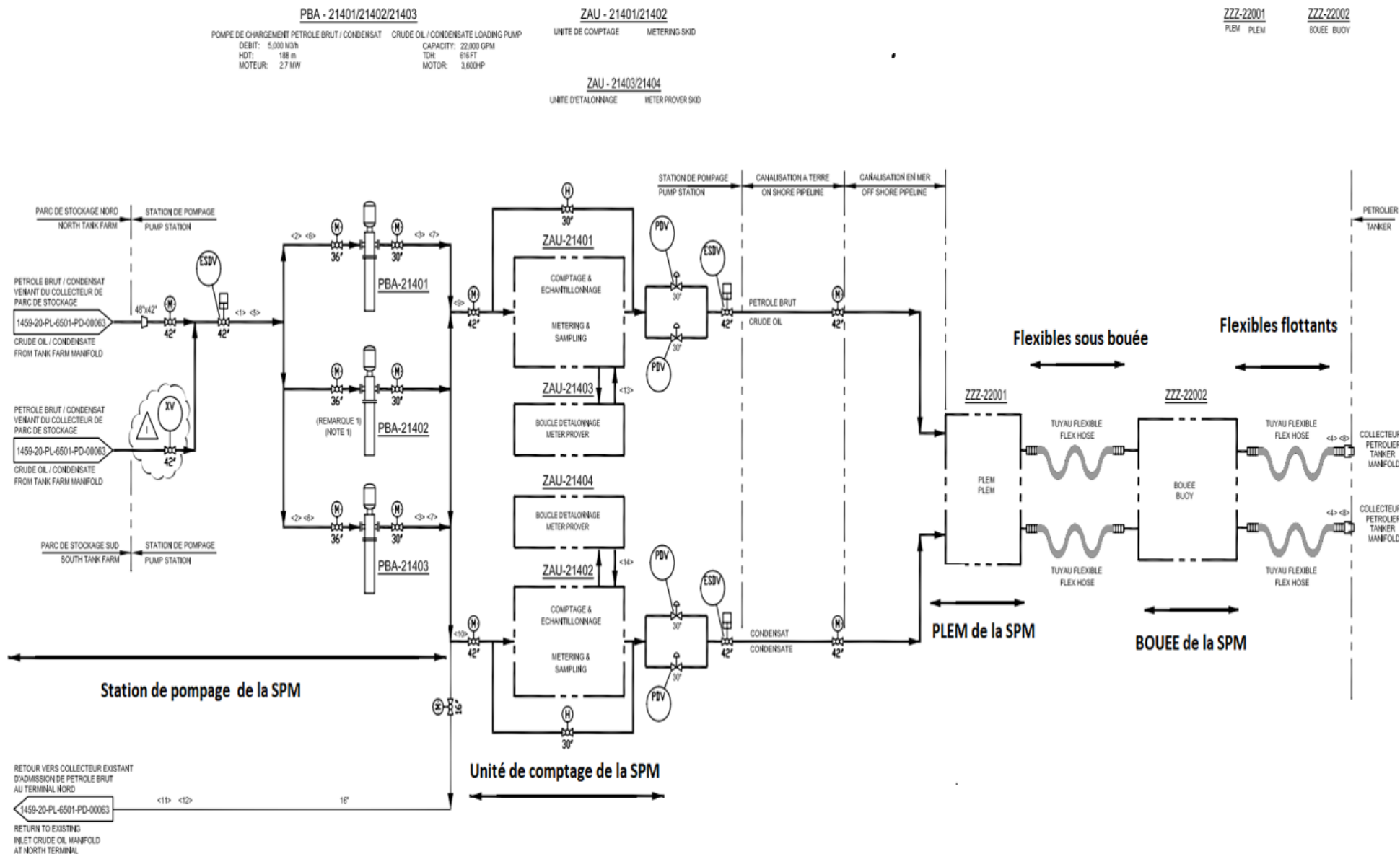
Annexe 2: Les courbes caractéristiques des pompes



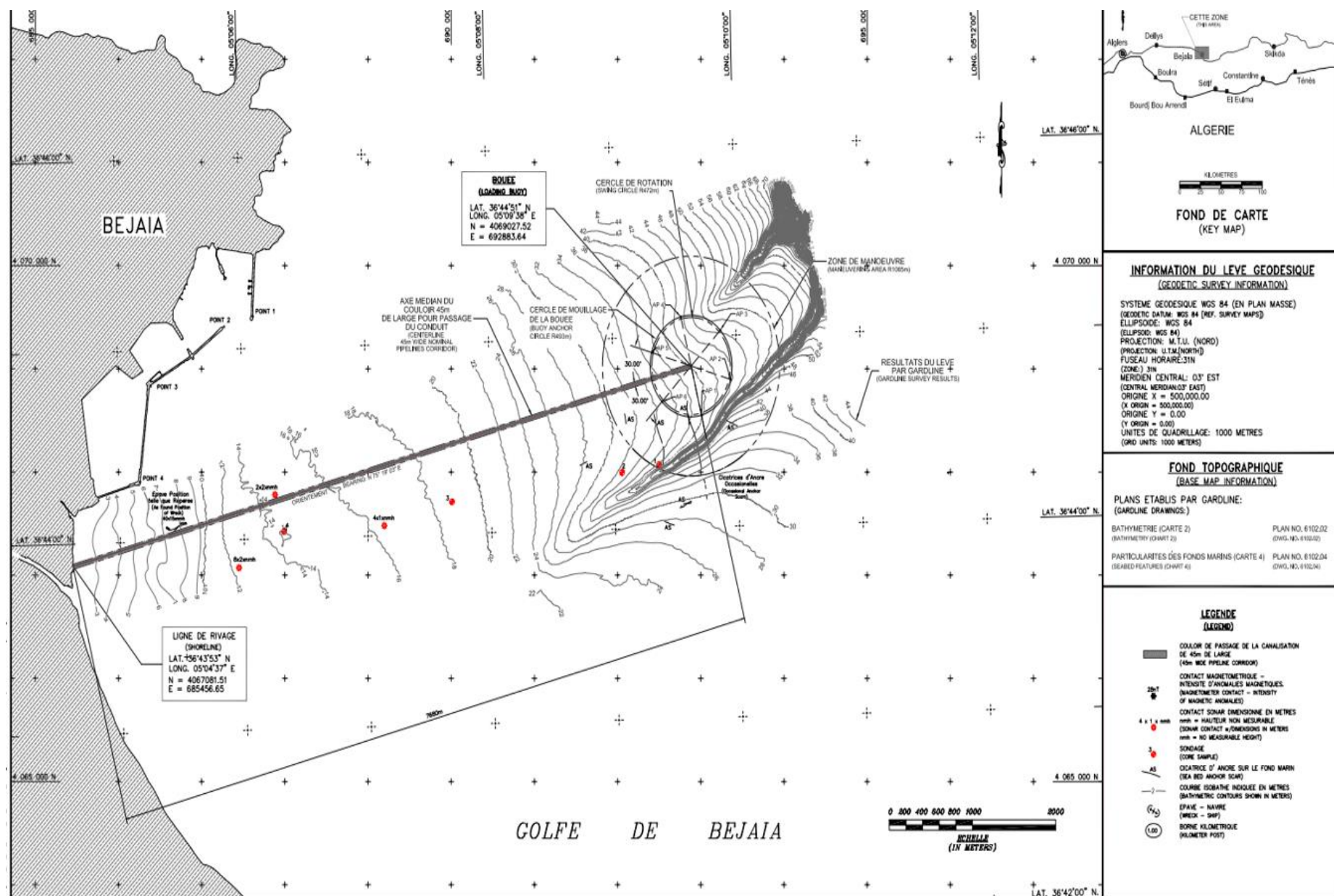




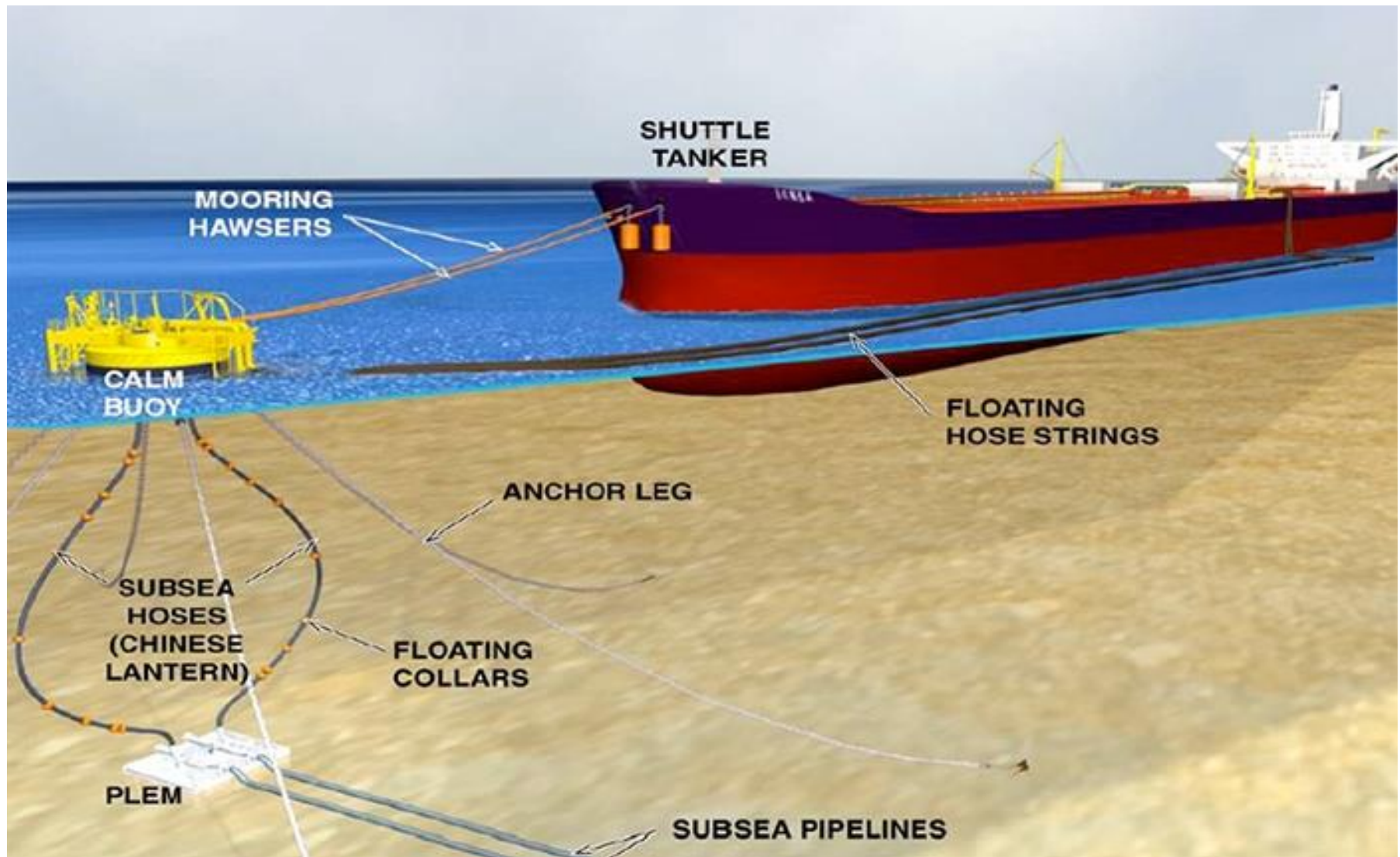
Annexe 3: Schéma d'installation d'exportation offshore



Annexe 4: Emplacement de la Bouée SPM-Bejaia



Annexe 5:SPM loading system



Annexe 6: Vues 3D bouée

