

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche
Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

**Optimisation d'exploitation de pipeline du
GPL/LR1**

Devant le jury composé de : Présenté par :

KHECHANA Mohammed

Président

➤ HENKA Ali

BERKAN Houda

Examinatrice

➤ AZEB Abdallah Yousef

MANSOURI KHALED

Encadreur

➤ OUASSA Mounir

2019-2020

Remerciement

Avant tout, louange à notre seigneur le tout puissant, le maître de l'univers, d'avoir guidé nos pas, et d'avoir éclairé notre chemin afin que nous puissions réaliser cette œuvre.

Nous exprimons nos profondes gratitude à nos parents pour leurs encouragements, leur soutien et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à nos encadreurs Mr **MANSOURI KHALED** et **CHOUKI IMAD KHERE DINE** d'avoir proposé ce thème, pour leur suivi continuél tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'ont pas cessé de nous donner leurs conseils et remarques.

Nous n'oublions pas l'ensemble des enseignants spécialement les enseignants du département génie mécanique qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidé, de près ou de loin, à accomplir ce travail.

Table des matières

Remerciement

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I Généralités Sur Le GPL

I.1.	Introduction	3
I.2.	Origine du GPL	3
I.3.	Caractéristique du GPL	3
I.4.	Utilisation du GPL	4
I.5.	Avantages et inconvénients techniques des GPL	5
I.6.	GPL en Algérie.....	5
I.6.1.	Production des GPL issus des champs.....	5
I.6.2.	Demande nationale des GPL.....	6
I.7.	Description de la structure Sonatrach RTH/TRC.....	7
I.8.	L’activité transport par canalisation (TRC).....	7
I.9.	Présentation du site de HAOUD EL HAMRA.....	7
I.10.	Historique de la base Haoud El Hamra	8
I.11.	Les produits transportés par Haoud El-Hamra	9
I.12.	Les principales installations de Haoud El-Hamra	10
I.12.1.	Les bacs de stockage	10
I.12.2.	Les réseaux de pipelines	11
I.12.3.	Les stations de stockage-pompage.....	11
I.13.	Conclusion.....	13

Chapitre II : Description De L’Ouvrage LR1

II.1.	Introduction	14
II.2.	Présentation de l’Ouvrage	14

II.3.	Description de l'Ouvrage	14
II.3.1.	Tronçon Sud (Alrar – R.Nouss)	14
II.3.2.	Tronçon Nord (R.Nouss – Hassi R'mel).....	16
II.3.3.	Postes de Sectionnement (P. S).....	17
II.3.4.	Postes de Coupure (P. C)	17
II.4.	Conclusion.....	18

Chapitre III : Modélisation des courbes caractéristique des pompes de LR1

III.1.	Introduction	19
III.2.	Modélisation des Courbes Caractéristiques des Pompes.....	19
III.2.1.	Méthode des moindres carrés (Ajustement Parabolique).....	19
III.3.	Configuration des Stations de Pompage.....	20
III.3.1.	Station R .Nouss	21
III.3.2.	Station SP1 (HEH)	24
III.3.3.	Station SP2	27
III.4.	Conclusion.....	30

Chapitre IV : Calcul Hydraulique

IV.1.	Introduction	31
IV.2.	Données de l'étude :	31
IV.3.	Etapas de Calcul	32
IV.3.1.	Calcul de Re	32
IV.3.2.	Calcul du coefficient de perte de charge λ	32
IV.3.3.	Perte de charge Linéaire H_f	34
IV.3.4.	CALCUL DU LOOPING 16" (DLR1)	35
IV.4.	Calcul De La Pression De Service.....	37
IV.5.	Conclusions	38

Chapitre V : Optimisation De L'Ouvrage GPL- LR1

V.1. Introduction sur les problèmes d'optimisation.....	39
V.1.1. Définitions.....	39
V.2. Les méthodes de résolution	41
V.2.1. Méthodes déterministes	41
V.2.2. Méthodes stochastiques	41
V.3. Algorithmes génétiques.....	45
V.3.1. Les techniques Non-élitiste.....	45
V.3.2. Multiple Objective Genetic Algorithm (MOGA)	45
V.3.3. Les techniques élitiste	46
V.4. Formulation de problème d'optimisation.....	47
V.4.1. Introduction.....	47
V.4.2. Données de l'ouvrage LR1	48
V.5. Problème 1 : Minimisation de puissance.....	49
V.5.1. Fonction Objective.....	49
V.5.2. Variables de Décision	50
V.5.3. Contraintes	50
V.5.4. Formulation du problème d'optimisation n°1	51
V.6. Problème 2 : Maximisation de débit	52
V.6.1. Fonction Objective.....	52
V.6.2. Variables de Décision	52
V.6.3. Contraintes :.....	53
V.7. Résultat et discussion	53
V.8. Problème 3 : Optimisation Multi-Objectif	56
V.8.1. Fonction objective.....	56
V.8.2. Variables de Décision	56
V.8.3. Contraintes	56

V.9. Conclusions	58
Conclusion Générale	59

Liste des Figures

Figure I-1 : La demande nationale des GPL	6
Figure I-2 : Répartition de la demande du GPL	7
Figure I-3 : Situation géographique du site Haoud El-Hamra (HEH).....	8
Figure I-4 : Haoud El-Hamra en 1959	9
Figure I-5 : Importance de HEH sur le réseau de distribution du pétrole brut et du condensat et GPL	12
Figure II-1 : Schéma synoptique de chaîne G.P.L (Alrar – Arzew).....	15
Figure II-2 : Débits GPL des champs LR1.....	16
Figure II-3 : Profil En Long De L'ouvrage GPL	18
Figure III-1 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP- RN $H = f(Q)$	22
Figure III-2 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP-RN $\eta = f(Q)$	23
Figure III-3 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP1(HEH) $H = f(Q)$	25
Figure III-4 : Courbes caractéristiques des pompes SP1 (HEH) $\eta = f(Q)$	26
Figure III-5 : Courbes Des Caractéristiques Des Pompes SP2 $H = f(Q)$	28
Figure III-6 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP2 $\eta = f(Q)$	29
Figure IV-1 : Le diagramme de Moody	33
Figure V-1 : Exemple de types d'extremums	39
Figure V-2 : Problème d'optimisation multi objectif (2 variables de décision et 3 fonctions objectifs).....	40
Figure V-3 : Classification des méthodes d'optimisation.	44
Figure V-4 : Schéma de fonctionnement de NSGA-II.....	47
Figure V-5 : Formule générale de Minimisation de puissance	50
Figure V-6 : Formule générale de Maximisation de débit	52
Figure V-7 : Représentation de l'évolution de fonction objective à travers les itérations des problèmes 1 et 2	54
Figure V-8 : Pression des ouvrages LR1.....	54
Figure V-9 : Débits d'injections des champs.....	55
Figure V-10 : Pression locale des ouvrages LR1	56
Figure V-11 : présente les courbe de Pareto qui présentent les solutions optimales des chaque états.	57
Figure V-12 : présente les régimes d'injection des champs dans les quatre états avec le cas réel.	58

Liste des Tableaux

Tableau II-1: Répartitions des débits des champs	16
Tableau IV-1 : Calcul PMS.....	38
Tableau V-1 : Données ouvrage GPL LR1	48
Tableau V-2 : Les limites des variables de décision	50
Tableau V-3 : Limitations techniques des pressions des champs	51
Tableau V-4 : Limitations de l'espace de recherche.....	52
Tableau V-5 : Paramètres d'algorithmes génétiques	53
Tableau V-6 : La solution optimale de problème 1 (Minimisation de puissance)	54
Tableau V-7 : La solution optimale de problème 2 (Maximisation de débit total).....	55
Tableau V-8 : La solution optimale de problème 3 (Multi objectifs)	57

Introduction générale

Durant la dernière vingtaine d'années, une nouvelle énergie a réussi à se frayer un chemin à côté du pétrole et du gaz naturel, il s'agit des gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Grâce à leurs atouts d'énergie propre et transportable, les GPL ont réussi à pénétrer des secteurs aussi divers que la pétrochimie, l'agriculture, l'industrie et l'automobile (GPL/c).

Le marché mondial va croître pour atteindre environ 270 millions de tonnes en 2012, ainsi que la demande totale va augmenter d'environ 3.1% par an. Le GPL s'est imposé essentiellement grâce à ses caractéristiques propres, sa souplesse d'utilisation, en tant que combustible dans de nombreuses applications, le coût raisonnable que présente son stockage et son transport, sa sécurité d'approvisionnement, son prix compétitif, et d'autres avantages d'un point de vue écologique.

Le GPL occupe une place de grande importance dans la stratégie de commercialisation des hydrocarbures de Sonatrach. Cependant, l'évolution qu'a connue le secteur de l'énergie, offre aujourd'hui de meilleures opportunités de commercialisation. L'Algérie est le sixième producteur mondial et deuxième exportateur des GPL après l'Arabie Saoudite.

Devant ces objectifs ambitieux, Sonatrach a dû développer ses unités de traitement et de séparation ainsi que son réseau de transport en construisant des pipelines supplémentaires tels que les pipelines LZ2 et DLR1 qui soutiendront la structure existante appelée LR1 et ceci à partir de 2011.

Dans notre étude, nous nous intéressons à la minimisation des charges d'exploitation dans le transport du gaz naturel. En effet, l'acheminement du gaz dans le réseau passe par divers dispositifs de la conduite. Le gaz perd en pression suite aux frottements avec la paroi de la canalisation, cette perte en pression est compensée par les stations de pompage qui élèvent la pression de gaz.

L'objectif de notre étude, est donc de chercher une meilleure solution qui permet de minimiser la puissance consommée par les stations de pompage de telle sorte à satisfaire la quantité maximale de gaz acceptable et la demande en transport.

Pour mener à bien notre projet nous avons élaboré le plan suivant :

Le premier chapitre donnant quelque généralité sur Le GPL.

Dans le deuxième chapitre présente une description de l'ouvrage LR1.

Le troisième chapitre modélisation des caractéristiques de pompes des stations de compression sur l'ouvrage LR1.

Le quatrième chapitre est réservé au calcul hydraulique de ligne de transport.

Le cinquième chapitre porte sur la description des méthodes d'optimisation et présente l'application et les résultats de problème d'optimisation sur l'ouvrage GPL-LR1.

En fin une conclusion générale portant sur ce qui a été élaboré.

Chapitre I : Généralités Sur Le GPL

I.1. Introduction

Le GPL est un mélange gazeux composé essentiellement de butane et du propane température ambiante et pression atmosphérique, et peut passer à l'état liquide sous les conditions suivantes :

- Pression relevée à la température ambiante.
- Pression atmosphérique et basse température.
- Pression modérée et température pas tellement basse.

Cette propriété lui permet d'être stocké dans un volume réduit (250 litres de GPL gazeux égale à un litre de GPL liquide).

La composition des GPL est variable selon les normes et ses utilisations dans différents pays. Il peut contenir ; le propylène, butène, une faible quantité de méthane, éthylène, pentane, exceptionnellement des hydrocarbures tels que le butadiène, l'acétylène et le méthylacrylique. [1].

I.2. Origine du GPL

Le GPL est extrait à partir de diverses sources qui peuvent être :

- De la récupération à partir de la liquéfaction des gaz associés (champs pétroliers).
- Comme sous-produit à partir des unités de liquéfaction du gaz naturel GNL.
- Du pétrole brut après raffinage comme sous-produit.
- De la récupération à partir des champs gaziers.

I.3. Caractéristique du GPL

- ✓ **Densité** : Dans l'état gazeux il est plus lourd que l'air : La densité du propane de 0.51 et celle du butane est de 0.58.
- ✓ **Dilatation** : à l'état liquide, il a un coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage, car les sphères ne doivent jamais être remplies complètement.
- ✓ **Tension de vapeur** : Soumis à des températures supérieures à leur point d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide sous pression ou par réfrigération.
- Le GPL à une tension de vapeur à 20 °C égale à :
 - ✓ Pour le butane : 2 bars.

- ✓ Pour le propane : 8 bars.
- **Température d'ébullition** : A la pression atmosphérique, la température d'ébullition du butane est de $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ et celle du propane est de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Impuretés** : Le GPL produit au niveau des différents champs doit répondre aux spécifications suivantes :
 - ✓ Teneur en gaz sec inférieure ou égale à 3 % mol.
 - ✓ Teneur en condensât inférieur ou égale à 0.4 % mol.
- **Odeur et couleur** : Le GPL est incolore, soit à l'état vapeur ou liquide et pratiquement inodore. Pour des raisons de sécurité un odorant doit être ajouté pour la détection des fuites. Cet odorant est à base de soufres appelés Mercaptans.
- **Toxicité** : Le GPL s'enflamme dans l'air, il émet un gaz considéré comme toxique. Le gaz en question dénommé le monoxyde de carbone est formé suite à une combustion.
 - ✓ **Pouvoir calorifique supérieur** : (KCal/Nm^3)
 - ✓ $p_{cs}(\text{ic4}) = 29460$.
 - ✓ $p_{cs}(\text{c3}) = 22506$.
 - ✓ $p_{cs}(\text{nc4}) = 29622$

I.4. Utilisation du GPL

Il est utilisé dans plusieurs domaines tels que :

➤ **Source d'énergie domestique**

Actuellement de nombreux appareils de cuisson et de chauffage, sont conçus de manière à s'adapter à l'utilisation des GPL.

➤ **Climatisation**

La détente des GPL absorbe la chaleur et crée du froid (Réfrigérateurs, climatiseurs).

➤ **GPLC (carburant)**

Les GPL, en plus de leur utilisation domestique, ils sont utilisés comme carburants dans les véhicules. La consommation mondiale du GPL comme carburant s'élevait après de **10** millions tonne en **1993**, un pourcentage de **7 à 8 %** des GPL consommé mondialement l'est sous forme de carburant. [2].

I.5. Avantages et inconvénients techniques des GPL

➤ L'homogénéité du mélange air-GPL donne une meilleure régularité du couple moteur aux bas régimes mais perd environ **58 %** de puissance à haut régime, les reprises seront plus souples. Le fonctionnement du moteur est plus silencieuse et les vibrations diminuent contrairement aux carburants classiques, la combustion du GPL ne laisse aucun dépôt et procure au moteur et au lubrifiant une longévité accrue. Les révisions peuvent être espacées tous les **30000 Km**.

- La surconsommation des GPLC est de l'ordre de **15 à 20 %** par rapport au carburant traditionnel.
- Il existe un inconvénient majeur d'encombrement, le réservoir peut amputer le volume du coffre. Toutefois les constructeurs proposent dès la conception de leurs modèles une version GPL /C avec réservoir intégré.
- Les gaz d'échappements sont exempts de poussières, de plomb et de soufre.
- Les émissions en oxyde de carbone sont réduites principalement en circulation urbaine.
- Les GPL carburant répondent bien aux problèmes de pollution des villes.

I.6. GPL en Algérie

Dans les pays pétrolier et gazier comme l'Algérie, l'industrie des GPL est méconnue du grand public.

En Algérie la majeure partie des GPL provient des champs pétroliers (79%) suite à la séparation du gaz et du traitement du pétrole brut, soit **4.35** millions de tonnes, L'autre partie est produite au niveau des raffineries du pétrole de Skikda, Alger et Arzew (10%)[2].

I.6.1. Production des GPL issus des champs

L'offre issue des champs (gisement d'hydrocarbures) représente **79 %** de l'offre national. Le plan adopté depuis les années **1990**, s'articule autour de deux axes :

- 1) Le développement de nouveaux champs de gaz situés au Sud-Est de Hassi R'mel pour la récupération du gaz sec, du condensât et de GPL.
- 2) La récupération des GPL, issus des champs, passe de 330.000 tonnes en 1996, cet accroissement est dû à la mise en place d'unités d'extraction au niveau Deschamps suivants :
 - ❖ 1979 : Hassi R'mel.

- ❖ 1985 : Adrar.
- ❖ 1993 : Haoud Berkaoui.
- ❖ 1995 : Haoud el-Hamra.
- ❖ 1996 : Oued Noumer .

Les champs de Hassi R'mel avec un apport de 3 millions de tonnes, contribuent à lui seul à plus de 65 % dans cette production, soit 57 % de l'offre nationale des GPL.

I.6.2. Demande nationale des GPL

Le niveau de la demande nationale des GPL est de l'ordre 1.4 millions de tonnes dont 90 % du butane, 5 % du propane et 5 % des GPL carburant. [2].

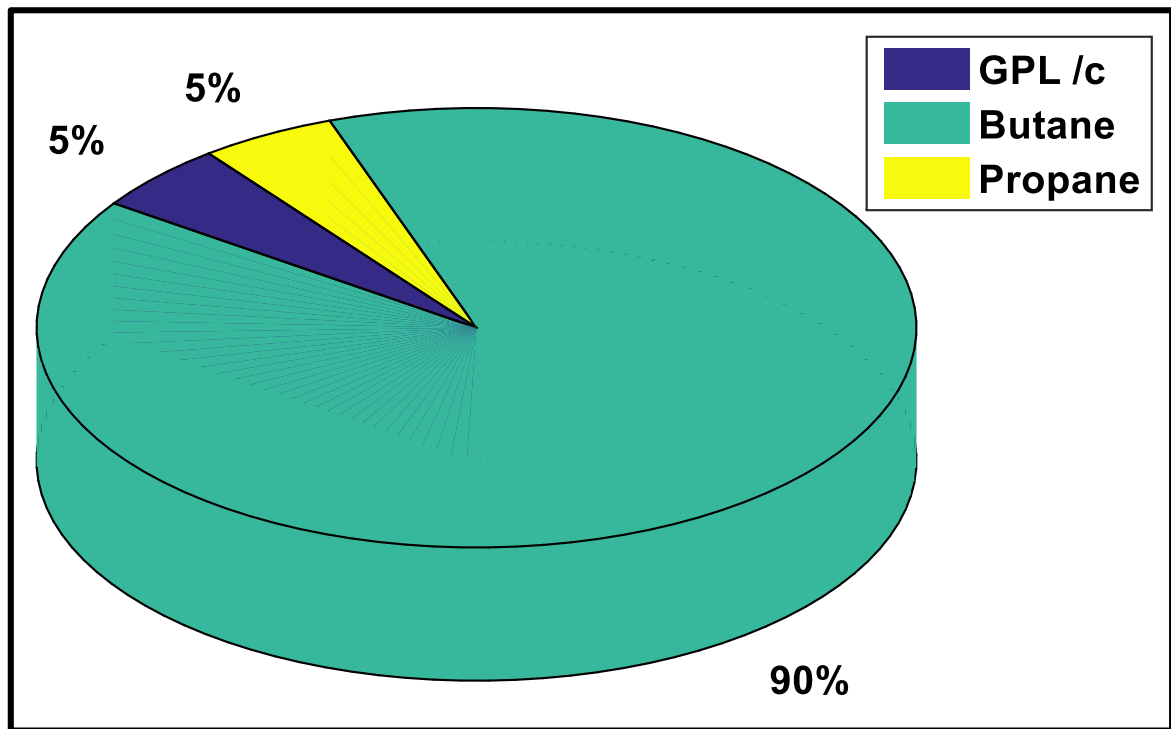


Figure I-1 : La demande nationale des GPL

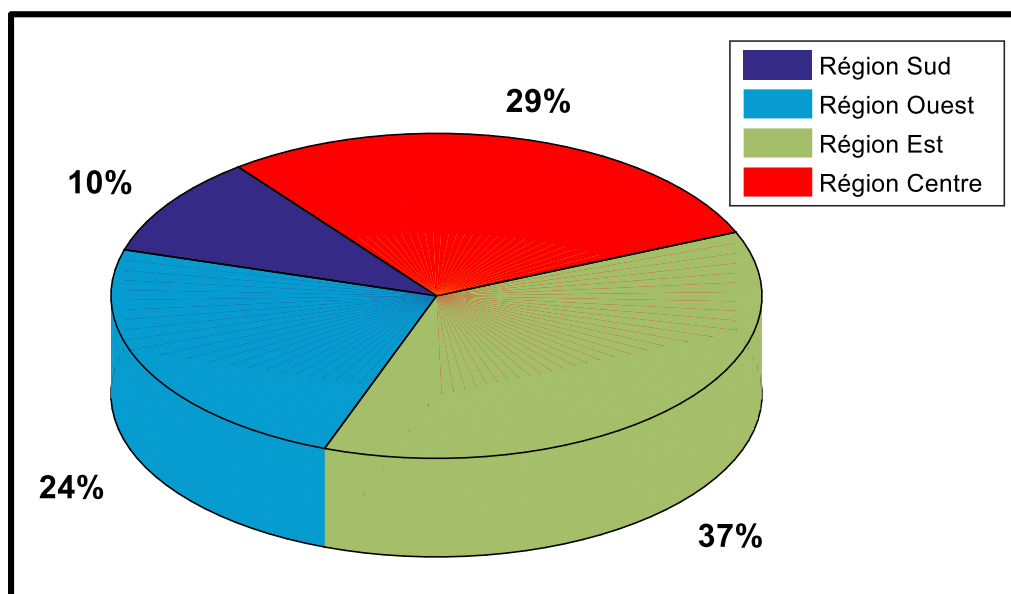


Figure I-2 : Répartition de la demande du GPL

I.7. Description de la structure Sonatrach RTH/TRC

SONATRACH est la plus importante compagnie d'hydrocarbures en Algérie et en Afrique. Elle intervient dans l'exploitation, la production, le transport par canalisation, la transformation

Et la commercialisation des hydrocarbures et leurs dérivés. Elle est subdivisée en plusieurs filières, chacune d'elles avec une activité spécifique.

Dans ce chapitre nous allons donner un petit aperçu sur Transport par canalisation (TRC), région transport Haoud El Hamra, HEH (organigramme de l'entreprise, les différentes structures, les activités, les principales installations sur site) [3].

I.8. L'activité transport par canalisation (TRC)

Le transport par canalisation est une activité stratégique au sein de SONATRACH. La mission essentielle qui lui est assignée, par le biais de la division exploitation, est de transporter les hydrocarbures liquides et gazeux produits par l'activité amont vers les différents clients et partenaires dans les meilleures conditions de sécurité et d'économie. [3].

I.9. Présentation du site de HAOUD EL HAMRA

Le site de Haoud El Hamra (HEH), représente l'une des structures essentielles de Sonatrach TRC. Il s'agit en fait du carrefour assurant l'acheminement des hydrocarbures liquides du Sud de l'Algérie vers les ports et les raffineries du Nord.

La Direction Régionale Haoud El-Hamra se situe à 66 km au sud-est du chef-lieu de la

Wilaya d'Ouargla, 26 km au nord de Hassi Messaoud. Elle couvre une superficie de 3.5 km² Environ. La superficie construite s'évalue à environ 6,5 hectares. Sa position géographique lui confère un climat saharien désertique et aride caractérisé par un hiver doux avec une très faible pluviométrie et un été sec et très chaud avec une température maximale extrême de 51°C et une température minimale extrême relevée pendant l'année de 0°C. Le site d'HEH est organisé sous la forme de plusieurs parcs de stockage et de pompage. Les lettres de désignation des installations (ex : oléoduc / pipeline) font référence aux lieux d'origine ou de destination des produits : K (Skikda) ; Z (Arzew) ; B (Bejaïa). Il est important de noter que Haoud El-Hamra n'est pas seulement un site de la branche TRC, mais toute une région, englobant d'autres sites, notamment celui de Hassi R'mel. [3].



Figure I-3 : Situation géographique du site Haoud El-Hamra (HEH)

I.10. Historique de la base Haoud El Hamra

- 1956 : Découverte du gisement de pétrole brute de Hassi-Messaoud. Une première canalisation de diamètre de 6" et d'une longueur de 170 Km dénommée «Baby-Pipe», a été construite pour relier Hassi-Messaoud à Touggourt. De là, le pétrole brut était acheminé par wagons-citernes jusqu'au port de Skikda pour son exportation.
- 1958 : Le site de Haoud El-Hamra a été choisi pour la réalisation du premier oléoduc dénommé OB1 d'un diamètre de 24" et d'une longueur de 668 Km pour relier le centre de stockage de Haoud El-Hamra au port pétrolier de Bejaïa. Il a été mis en service en 1959.



Figure I-4 : Haoud El-Hamra en 1959

➤ 1961 : Réalisation du deuxième oléoduc d'un diamètre de 24'' et d'une longueur de 775 Km pour relier le centre de stockage d'In-Aménas au port pétrolier de La Skhira en Tunisie et du premier gazoduc d'un diamètre de 24'' et d'une longueur de 509 Km pour relier le champ gazier de Hassi R'mel à Arzew.

➤ 1965 : Sonatrach a réalisé son premier oléoduc d'un diamètre de 28'' et d'une longueur de 801 Km pour relier Haoud El-Hamra au port d'Arzew. Il a été mis en service en 1966. Depuis cette date le parc de Haoud El Hamra n'a pas arrêté de s'agrandir comme l'attestent les réalisations suivantes :

- 1972 : Réalisation du parc de stockage OK1
- 1973 : Réalisation de la station 12'' LNZ1 / SP1
- 1994 : Réalisation de la station GPL / LR1
- 1996 : Réalisation du centre de distribution des hydrocarbures liquides CDHL
- 2003 : Réalisation de la station de pompage SP1 /OZ2
- 2007 : Réalisation de la station de pompage SP1 /NH 1
- 2009 : Réalisation de la station de pompage SP1 /NK1
- 2011 : construction de six nouveaux bacs de stockages.

I.11. Les produits transportés par Haoud El-Hamra

Les installations existantes sur HEH sont exploitées et entretenues pour assurer l'évacuation des produits suivants : Pétrole brut, Condensât, G.P.L.

➤ **Le Pétrole Brut** : Le pétrole produit en Algérie est le Sahara Blend. Les principaux gisements de brut sont situés dans la région frontalière avec la Lybie (Hassi Berkine, In Amenas...), puis autour de Hassi R'mel et Hassi Messaoud. Étant donné que l'exportation du Sahara Blend se fait par l'intermédiaire des ports situés au Nord du pays, comme Arzew (60% de la production) Béjaïa et Skikda, le réseau TRC assure la liaison entre le nord et le sud du pays.

➤ **Le Condensat** : Le condensat, qui est un mélange de gaz oil, d'essence et de kérosène, est une forme de brut "propre". Étant extrait en quantité beaucoup plus faible que le brut, il est parfois transporté par bouchon. Cela signifie qu'un même pipeline assurera de façon alternative, le transport du brut et du condensat.

➤ **Le GPL** : (Gaz de Pétrole Liquéfié) Parmi les produits dont l'activité TRC assure le transport, le GPL est de loin le plus dangereux. La ligne GPL est par ailleurs une ligne télescopique : le diamètre du pipe augmente au fur-et-à-mesure que l'on s'approche du nord, et cela en raison des injections qui sont effectuées par les puits présents le long du trajet. [3].

I.12. Les principales installations de Haoud El-Hamra

I.12.1. Les bacs de stockage

On distingue deux types de bacs de stockage

➤ **Les bacs à toit fixe** : Les bacs à toit fixe sont en général assez petits (de l'ordre de 10000 m³) et correspondent à des bacs de détente ou de purge. En fait, les quantités de produits évacués par l'intermédiaire d'une soupape de sûreté (soupape de pression) sont assez importantes et ne peuvent pas être acheminées vers un réservoir slop.

➤ **Les bacs à toit flottant** : Les bacs à toit flottant sont ceux qui sont utilisés pour le stockage à proprement dire. Ils sont d'un volume assez important. Le principe du toit flottant vise à éliminer l'accumulation de gaz (par évaporation) au sein d'un bac non rempli, ces gaz peuvent être dangereux. Le système de toit flottant nécessite la mise en place de procédés particuliers pour l'évacuation des eaux de pluie et pour le jaugeage. Les eaux de pluie sont évacuées par des tubes traversant les bacs du haut vers le bas. Le parc de stockage de Haoud El-Hamra se compose

I.12.2. Les réseaux de pipelines

Qu'il s'agisse d'un pipeline, d'une collecte vers un parc de stockage ou d'une liaison vers une pompe, les installations de canalisations, très présentes à Haoud El-Hamra, présentent de nombreuses similarités.

I.12.3. Les stations de stockage-pompage

Comme nous l'avons dit précédemment, il y a 3 parcs de stockage à Haoud El-Hamra. Chacun de ces parcs est associé à une station de pompage qui permet d'envoyer le brut stocké dans le pipe-line correspondant.

➤ **La station OZ1** : La station 28" OZ1 a été mise en service en 1965. Elle est alimentée en électricité par la Sonelgaz. Elle dispose du parc de stockage OZ1 (4×35000 m³ et 5×51000 m³). Cette station est un terminal de départ, jusqu'à la création de l'OZ2, le dispatching de toute la ligne se faisait à partir de cette station. En effet, dans la salle de contrôle, les agents de quart disposent d'un tableau synoptique permettant de visualiser l'ensemble de la ligne, avec ses bacs de stockage, ses gare-racleur, ses vannes.

➤ **La station OB1** : La station 24" OB1 expédie vers le port de Béjaïa, situé au centre de la côte algérienne. C'est la station qui a inauguré la base de Haoud El-Hamra. Elle dispose d'un parc de 8 bacs dont 4 sont consacrés au condensat et 4 au brut. Le transport s'effectue par bouchon, c'est-à-dire par alternance sur le même oléoduc. En ce qui concerne l'équipement en machine tournante, la station dispose de quatre (4) électropompes principales (et d'un groupe de pompes boosters). Les pompes sont disposées en série, contrairement à celle de l'OZ2. Cela permet d'avoir une différence de pression important entre l'aspiration et le refoulement.

➤ **La station 32" OK1** : expédie vers le port de Skikda, situé à l'est de la côte algérienne. La station dispose de 5 pompes boosters (3 anciennes et 2 nouvelles) et de 3 turbo-pompes. Ces dernières sont d'une très grande capacité de débit par rapport à celles de l'OZ2 : une turbine peut assurer à elle seule un débit de plus de 4000m³/h.

➤ **La Station GPL** : La station GPL de HEH dispose de 2 groupes de pompes. Le plus vieux (1973) est composé de 3 moteurs électriques à vitesse constante pompant dans un pipe de 12". Le plus récent (1983) est composé de 4 moteurs électriques montés en aval d'un groupe de variateurs de vitesses (1 pour chaque moteur). Le GPL est un produit très dangereux, on ne peut pas l'évacuer dans l'atmosphère : sa densité élevée fait qu'il voyage dans l'air en nuage sans se dissiper, comme de plus il est très explosif, la moindre étincelle peut causer une

catastrophe. Ainsi, on est obligé de brûler tout ce qu'on ne peut pas évacuer (fuites, arrêt d'urgence etc.) par mesure de sécurité, il n'y a pas de stockage de GPL au niveau de HEH.

➤ La Station OZ2 : La station SP1-OZ2 est la station la plus récente de HEH. Elle a été inaugurée en 2003 et possède un matériel très récent. L'une des différences fondamentales que l'on peut noter, est que cette station peut soutirer le produit à pomper de n'importe quel parc de stockage. La station a été construite avec la construction du pipeline OZ2 reliant HEH à Arzew. Elle a d'ailleurs été conçue de façon à remplacer la station SP1/OZ1 dans la mesure où on peut pomper dans le pipeline OZ1 à partir de la SP1/OZ2. [3].

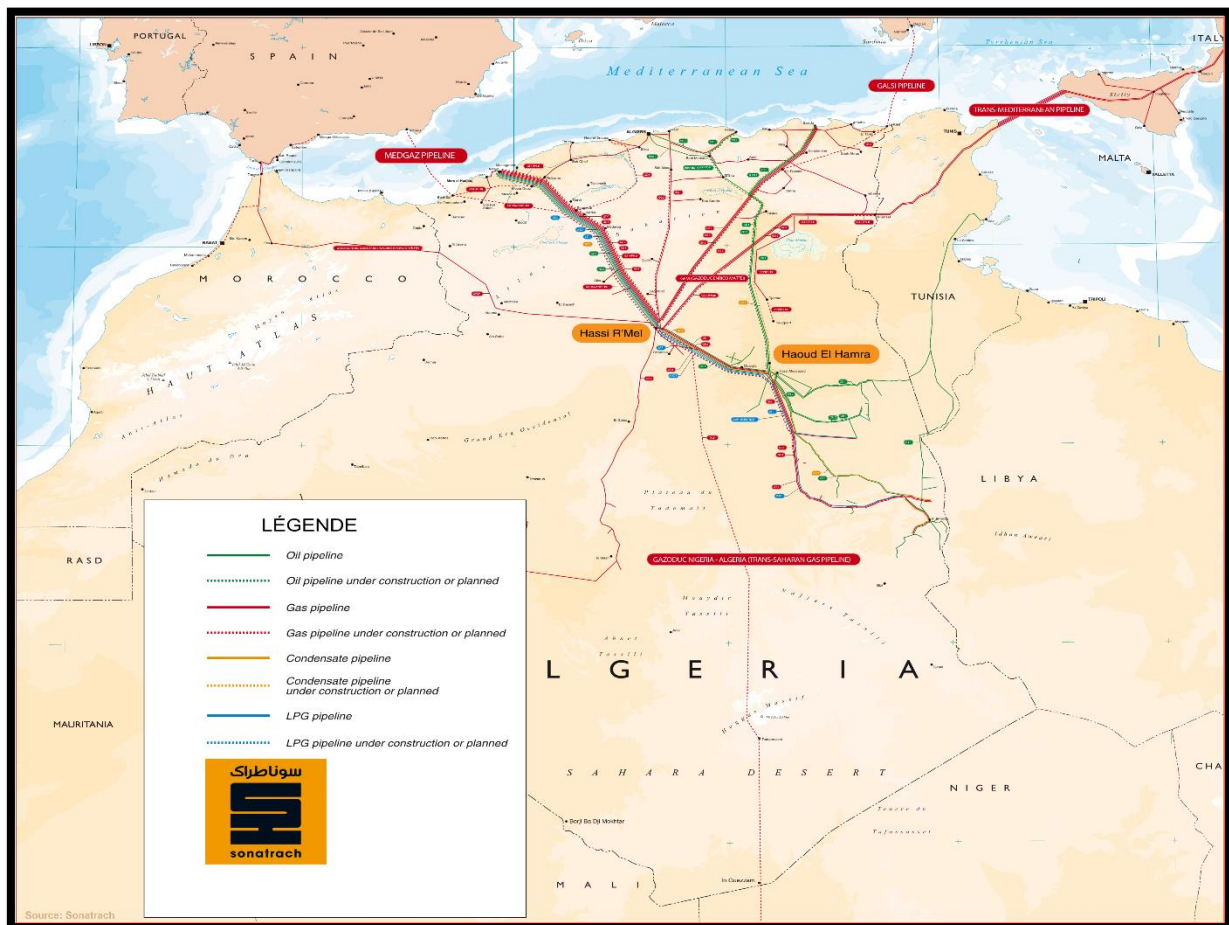


Figure I-5 : Importance de HEH sur le réseau de distribution du pétrole brut et du condensat et GPL

I.13. Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre Le GPL est une source d'énergie idéale, spécialement pour une population rurale, utilisé comme énergie unique ou en association avec des sources d'énergies renouvelables, en plus du fait d'être très facilement stockables et transportables. De plus Le GPL-c est perçu et souvent présenté comme un « carburant propre ». En matière de bilan écologique, il bénéficie d'une absence d'émission de particules qui sont cancérogènes, et considérées par les spécialistes comme encore plus nocives.

C'est pourquoi cette source d'énergie doit être de plus en plus exploitée et consommée, et les différentes activités au niveau de la région HEH en insistant sur son importance stratégique en matière de transport au sein de Sonatrach.

Chapitre II : Description

De L'Ouvrage LR1

II.1. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent le GPL et ses caractéristiques et sa présence en l'Algérie, dans ce partie nous présentons l'ouvrage qui mobiliser le GPL produit à partir de ses origines au sud d'Algérie vers le terminal nord, et montrer l'emplacement de tous les champs et les stations de pompage.

II.2. Présentation de l'Ouvrage

L'ouvrage dénommé LR1 est destiné à transporter le GPL injecté par les différents champs producteurs. Il est d'une longueur de 988 Kms avec un diamètre télescopique évoluant de 10" à Alrar et finissant en 24" à Hassi R'mel. Ce Pipeline est doté de trois (03) Stations de Pompages conçues pour faire véhiculer un débit maximal de 1500 m³/h. Les pompes au niveau des Stations SP-RN ainsi que SP1 sont disposées en série alors qu'au niveau de SP2 elles sont en parallèles. La conduite dispose en totalité de 40 Unités entre Postes de Sectionnement, Postes de Coupures et Stations de Pompages. [4].

Afin de d'éliminer le problème du goulot qui a causé un freinage important au niveau de l'injection de BHP – Ohanet ainsi qu'à TFT, un Looping de diamètre 16" et de longueur d'environ 400 Kms a été réalisé à partir d'Ohanet et finissant à Gassi Touil [4]. (Figure II-1 et Figure II-2) représentent successivement la **Chaîne GPL et Débits Champs LR1**.

II.3. Description de l'Ouvrage

Le Pipeline LR1 est divisé en deux (02) tronçons :

II.3.1. Tronçon Sud (Alrar – R.Nouss)

- Le Terminal Départ d'Alrar avec sa Gare Racleur et son point d'injection venant du centre producteur Stah/Mereksen.
- Le Tronçon Alrar - BHP /TGT de diamètre 10" et longueur 101 Km.
- Deux postes de sectionnement (P.S) de diamètre 10" (PK 20 & 60).
- Le poste de Sectionnement d'INAS de diamètre 10" (PK 40) avec future injection.
- Les postes de Coupure (P.C) (10" /12") BHP-TGT avec points d'injections (PK101).
- Le Tronçon de diamètre 12" et longueur 130 Km entre BHP-TGT et TFT.
- Les trois (03) P.S de diamètre 12" (PK 118,156 et 195).
- Le P.C de diamètre 12" / 14 " de TFT avec injection (PK232).
- Le Tronçon de diamètre 14" et longueur 200 Km entre TFT et R.Nouss.
- Quatre (04) P.S de diamètre 14" (PK 263, 298, 316,357).

➤ Le P.S de Hamra de diamètre 14" avec injection (PK 396).

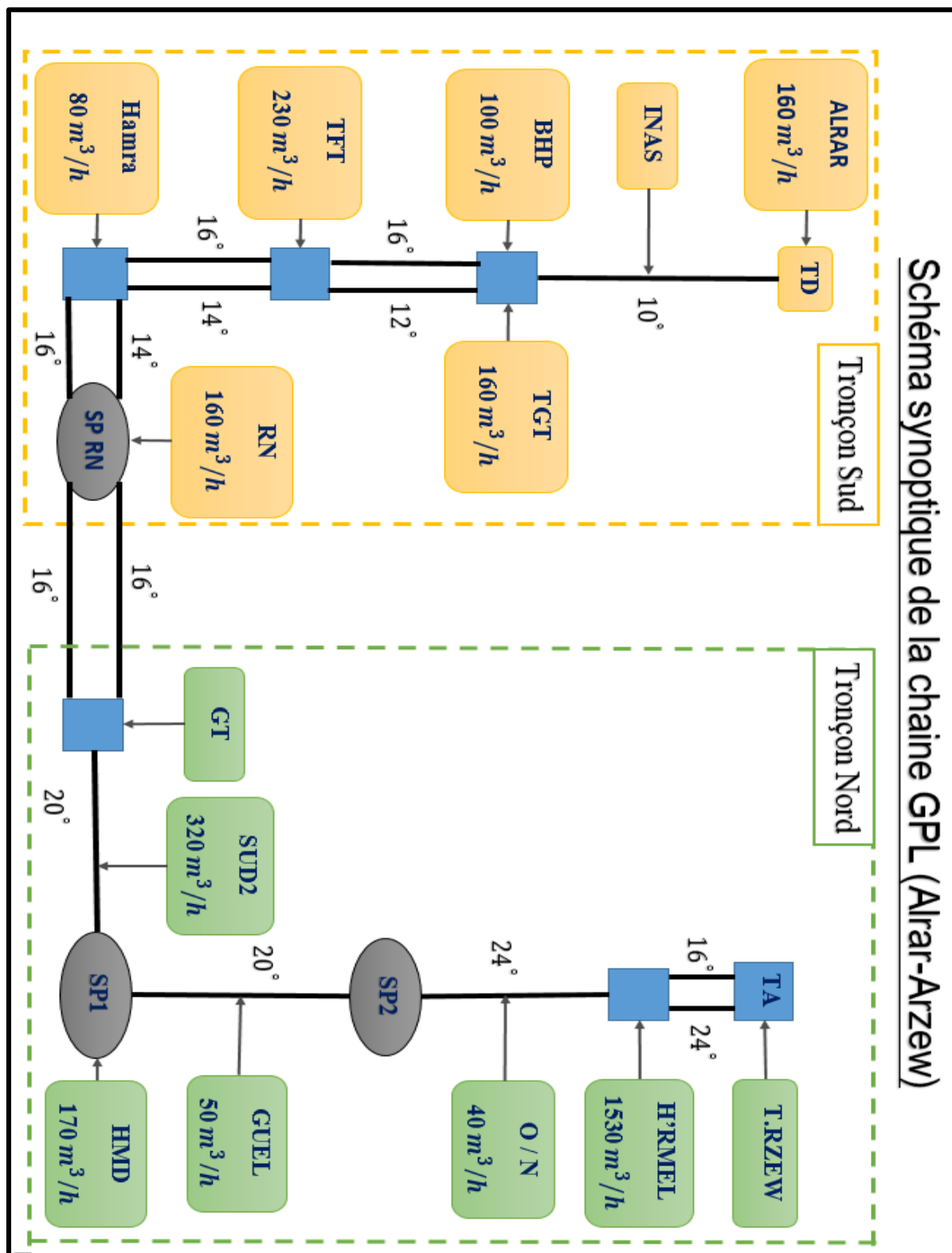
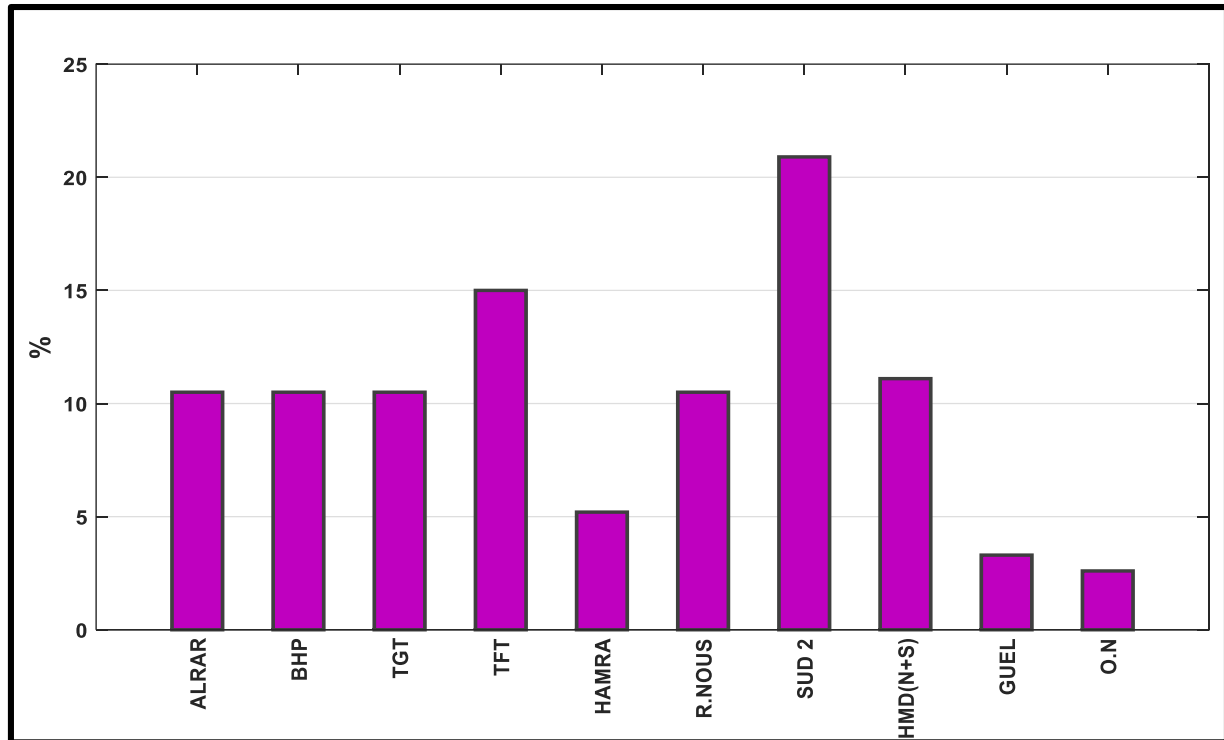


Figure II-1 : Schéma synoptique de chaîne G.P.L (Alrar – Arzew).

Tableau II-1: Répartitions des débits des champs

CHAMPS	ALRAR	BHP	TGT	TFT	HAMRA	R.NOUS	SUD 2	HMD (Sud 1+Nord)	GUEL	O.N	TOTAL H R'MEL
Quantités MTA	0.68	0.68	0.68	0.97	0.34	0.68	1.36	0.72	0.21	0.17	6.48
Débit horaire m ³ /h	160	160	160	230	80	160	320	170	50	40	1530
%	10.5%	10.5%	10.5%	15.0%	5.2%	10.5%	20.9%	11.1%	3.3%	2.6%	100.0%

**Figure II-2 : Débits GPL des champs LR1**

II.3.2. Tronçon Nord (R.Nouss – Hassi R'mel)

- Le P.C de diamètre 14" / 16 " avec injection (PK 431). Ce poste est équipé d'une Station de Pompage.
- Le Tronçon de diamètre 16" et longueur 73 Km entre R.Nouss et G.Touil.
- Les deux (02) P.S de diamètre 16" (PK 448 et 484).
- Le P.C de diamètre 16" / 20 " de G.Touil avec injection (PK 504).
- Le Tronçon de diamètre 20" et longueur 176 Km entre G.Touil & HEH.
- Les six(06) P.S de diamètre 20" (PK 524, 544, 565, 586, 604 & 623).
- Le P.S du SUD2 de diamètre 20" avec injection (PK 653).

- Le P.C de diamètre 20 " avec injection des champs HMD (Sud1 +Nord) Ce poste est équipé d'une Station de Pompage (PK 681).
- Le Tronçon de diamètre 20" et longueur 125 Km entre HEH & SP2.
- Les trois (03) P.S de diamètre 20" (PK 694, 715,741).
- Le P.S de GUELLALA de diamètre 20" avec injection (PK 769).
- Le P.C de diamètre 20 "/ 24" (PK 807). Ce poste est équipé d'une Station de Pompage SP2.
- Le Tronçon de diamètre 24" et longueur 181 Km entre SP2 & le Terminal Hassi R'mel(SP4).
- Les trois (03) P.S de diamètre 24" (PK 837,857 & 878).
- Le P.S de O / Noumer de diamètre 24" avec injection (PK 901).
- Les Quatre (04) P.S de diamètre 24" (PK 918, 936,945 & 878).
- Le Terminal Arrivée H'Rmel avec ses Rampes de Comptages et Réceptions.
- Un Looping dénommé " DLR1 " de diamètre 16" commençant à BHP-TGT (PK 101) et finissant à G.Touil (PK 504) en parallèle à LR1 soit une longueur de 403 Km .Il est équipé de " P.S"aux mêmes PKS que les P.S de la pipe " LR1".

Les P.S au niveau de BHP-TGT, TFT, Hamra & R.N ; sont équipés de Rampes d'injection pour les champs cités. [4].

II.3.3. Postes de Sectionnement (P. S)

De longueur comprise entre 20 & 40 Kms les postes de sectionnement servent à isoler la ligne par tronçons en cas de fuite ou autre incident.

La vanne servant à isoler le tronçon est de type : Boisseau Sphérique à passage intégral, La motorisation est alimentée en Gaz Naturel à partir des Postes de coupure ou de Sectionnement existant sur les Gazoducs GR1 & GR2.Certains sont équipés de Rampes d'injection du produit GPL.

II.3.4. Postes de Coupure (P. C)

Le rôle principal de ces postes est la Réception et l'Envoi des Racleurs et Sphères, Ils sont aussi équipés de Rampes d'injection du produit GPL sauf pour le cas du P C existant au niveau de SP 2. [4].

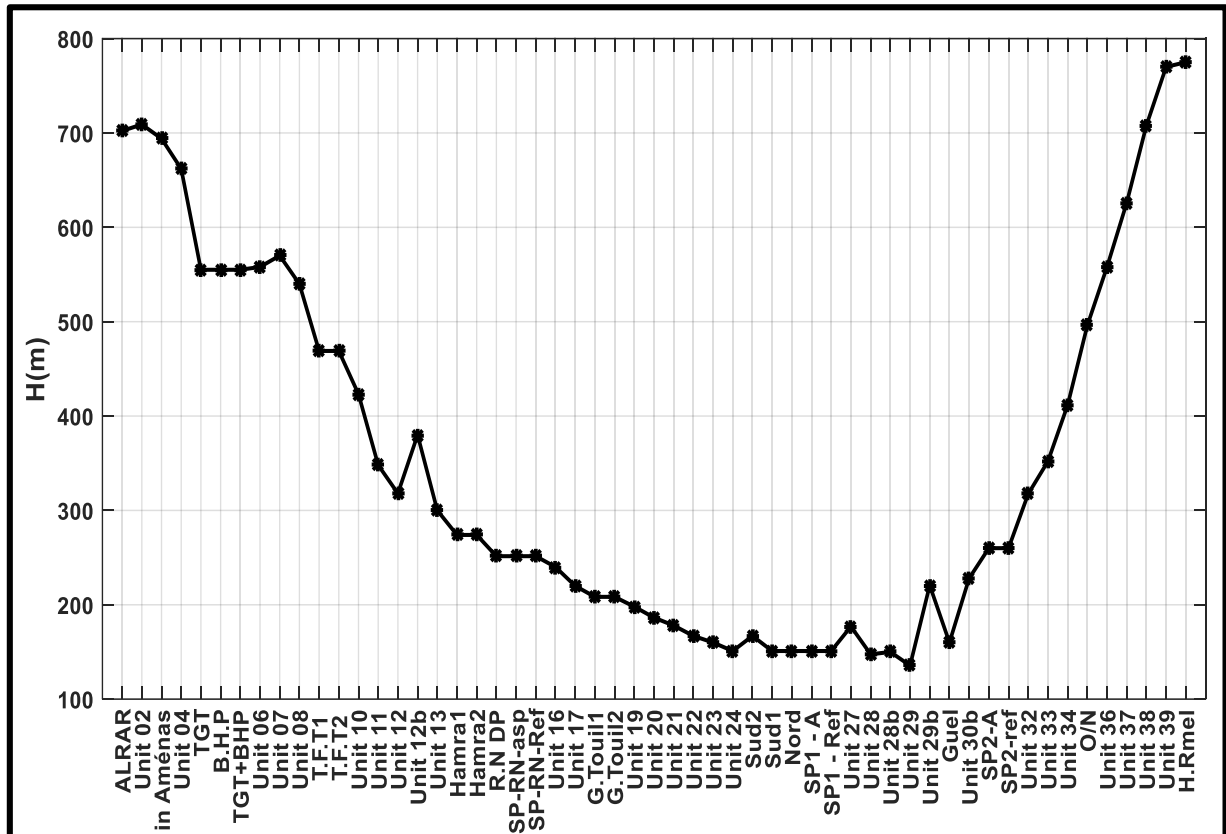


Figure II-3 : Profil En Long De L'ouvrage GPL

II.4. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons présenté la description de la partie géométrique du projet, nous avons obtenu le profil de la ligne GPL au l'Algérie et situé tous les champs de production du GPL qui injecte dans la ligne LR1.

Chapitre III : Modélisation des courbes caractéristique des pompes de LR1

III.1. Introduction

L'ouvrage LR1 est doté de trois (03) stations de Pompages pour le transport du produit GPL le long du pipeline jusqu'à Hassi R'mel puis vers le Terminal d'Arzew.

Ces Pompes sont de type Centrifuges entraînées par Moteurs électriques à Variateurs de Vitesses.

L'alimentation d'Énergie est assurée par des Turbogénérateurs pour la Station SP2, quant aux Stations SP1 & SP RN, elles sont alimentées par SONELGAS .

III.2. Modélisation des Courbes Caractéristiques des Pompes

Vu l'allure des courbes caractéristiques des pompes, on peut proposer le modèle parabolique afin de trouver une relation computable entre la Hauteur " H" et le débit " Q" ($H = f(Q)$). Pour ce faire, on fait recours à la méthode des "Moindres Carrés" [5].

III.2.1. Méthode des moindres carrés (Ajustement Parabolique)

Soit les données réelles (expérimentales) (X, Y_{exp_i}) , l'ajustement parabolique du nuage de points (x_i, y_i) est représenté par l'équation :

$Y_{mod} = aX_i^2 + bX_i + c$ Où les constantes a, b et c sont calculés de la sorte à ce que :

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{mod_i} - y_{exp_i})^2 \quad (III-1)$$

Ou : $S = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_{exp_i})^2$ Soit minimal

Ce qui nous mène à résoudre le système :

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 0 \end{cases}$$

Donc :

$$\begin{aligned} c + b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i \\ c \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned}$$

$$c \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + a \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

La solution de ce système d'équations nous donnera les valeurs de a, b et c

n : étant le nombre de points

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum yx^2 & \sum x^3 & \sum x \\ \sum yx & \sum x^2 & \sum x \\ \sum y & \sum x & n \end{vmatrix}}{D}, \quad b = \frac{\begin{vmatrix} \sum x^4 & \sum yx^2 & \sum x^2 \\ \sum x^3 & \sum xy & \sum x \\ \sum x^2 & \sum y & n \end{vmatrix}}{D}, \quad c = \frac{\begin{vmatrix} \sum x^4 & \sum x^3 & \sum yx^2 \\ \sum x^3 & \sum x^2 & \sum yx \\ \sum x^2 & \sum x & \sum y \end{vmatrix}}{D}$$

$$\text{Avec : } D = \begin{vmatrix} \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 \\ \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x \\ \sum x^2 & \sum x & n \end{vmatrix}$$

III.3. Configuration des Stations de Pompage

Si l'on s'en tient à l'examen indépendant des conditions de fonctionnement des stations de pompage avec des pressions d'aspiration fixées (donc assimilées à des stations aspirant sur des réservoirs à hauteurs fixes), on note que les deux (02) stations de SP RN et SP1 du fait du profil en long descendant ou plat, présentent une variation de la hauteur de type plutôt parabolique avec le débit transporté.

Ceci correspond de préférence à une configuration d'installation des pompes en série (une augmentation modérée du débit entraînant une augmentation plus sensible de la hauteur). En d'autres termes, au fur et à mesure que le débit augmente de 1 à 2, il s'avère nécessaire d'augmenter la hauteur de 1 à 4 et donc de mettre une, deux ou trois pompes en série en marche, donc d'augmenter le nombre de roues en service.

Pour la station de SP2, du fait de la remontée du profil sur Hassi R'mel, on obtient une valeur plancher de la hauteur même à débit très faible et cette hauteur augmente peu en valeur absolue avec le débit. Cette solution, toutes choses égales par ailleurs a incité à un choix de configuration avec installation des pompes en parallèle. Une réduction sensible du débit ne s'accompagnant pas d'une réduction comparable de la hauteur.

En d'autres termes, au fur et à mesure que le débit augmente de 1 à 3, la hauteur nécessaire n'augmente que de 1 à 1.5 ce qui revient à mettre une, deux ou trois pompes en parallèle en marche (on conserve le nombre de roues, mais on en augmente en quelque sorte le diamètre).

III.3.1. Station R.Nouss

D'une capacité de 957 m³/h, elle est constituée principalement de trois (03) pompes en série dont une en Stand-by.

III.3.1.1. Modélisations Des Courbes Caractéristiques Station SP-RN H=f(Q)

Q	HMT					
x	y	x²	x³	x⁴	y.x²	y.x
0	420	0	0	0	0	0
600	405	360000	216000000	1.296E+11	145800000	243000
956	386	913936	873722816	8.353E+11	352779296	369016
1000	380	1000000	1E+09	1E+12	380000000	380000
1385	350	1918225	2.657E+09	3.68E+12	671378750	484750
Σ	3941	4192161	4.75E+09	5.64E+12	1.55E+09	1E+06

$$\text{Mat (a)} = \begin{vmatrix} 1.55E+09 & 4.75E+09 & 4192161 \\ 1476766 & 4192161 & 3941 \\ 1941 & 3941 & 5 \end{vmatrix} \quad \text{Mat (b)} = \begin{vmatrix} 5.64447E+12 & 1549958046 & 4192161 \\ 4746464441 & 1476766 & 3941 \\ 4192161 & 1941 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\text{Mat (c)} = \begin{vmatrix} 5.64E+12 & 4.75E+09 & 1.5E+09 \\ 4.75E+09 & 4192161 & 1476766 \\ 4192161 & 3941 & 1941 \end{vmatrix}$$

$$\text{D} = \begin{vmatrix} 5.64447E+12 & 4746464441 & 4192161 \\ 4746464441 & 4192161 & 3941 \\ 4192161 & 3941 & 5 \end{vmatrix} = 1.16267E+18$$

a =	Mat (a) / D	-3E-05
b =	Mat (b) / D	-0.0063
c =	Mat (c) / D	420.08

Avec le développement d'équations de pompe SP R.Nouss et la représentation de la courbe caractéristique des pompes avec le diagramme suivant:

$$H_{tot} = N_p * H_p = N_p(-3 * 10^{-5}Q^2 - 0.0063Q + 420.08) \quad (III-2).$$

H_p : Hauteur développée par une pompe (m)

H_{tot} : Hauteur Totale développée par les pompes (m)

N_p : Nombre de pompes en service

Q : Débit traversant une pompe (m³/h)

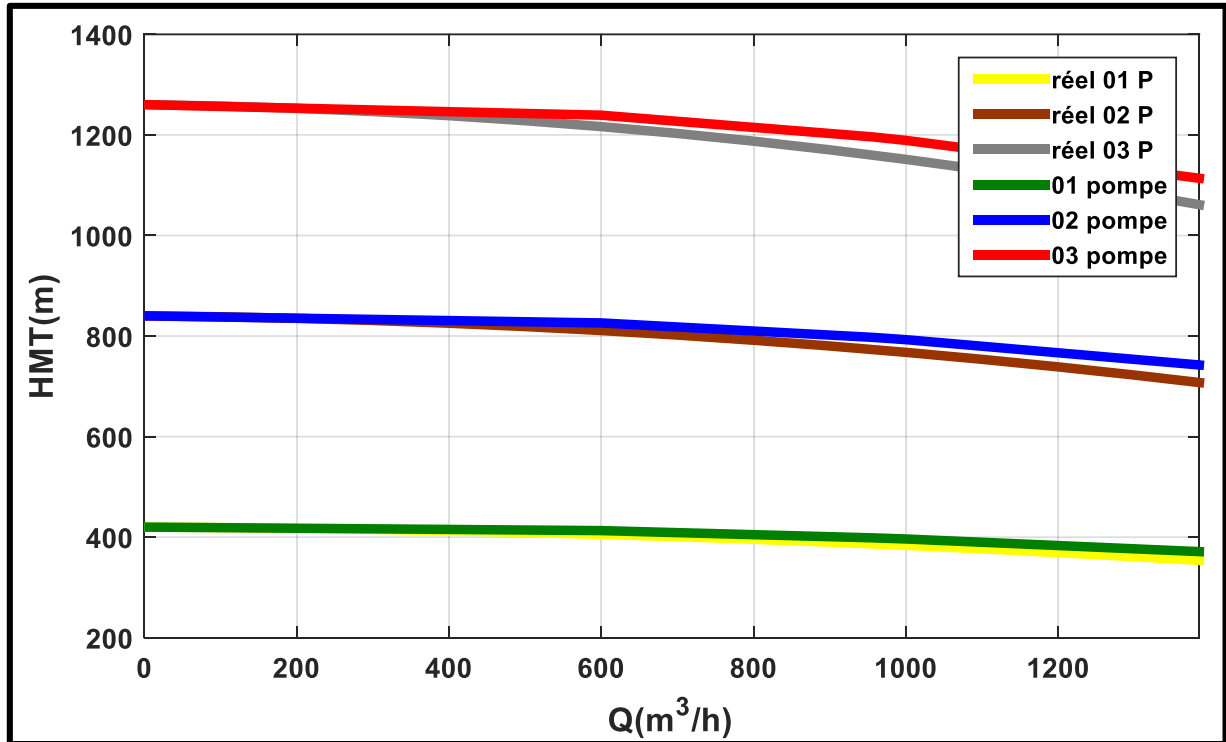


Figure III-1 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP- RN $H = f(Q)$

III.3.1.2. Modélisation Des Courbes Caractéristiques Station SP-R $\eta = F(Q)$

Σ	Q	η					
	x	y	x ²	x ³	x ⁴	y.x ²	y.x
	0	0	0	0	0	0	0
	400	0.5	160000	6.4E+07	3.E+10	8.E+04	200
	800	0.765	640000	5.1E+08	4.E+11	5.E+05	612
	956	0.828	913936	8.7E+08	8.E+11	8.E+05	791.6
	1600	0.791	2560000	4.1E+09	7.E+12	2.E+06	1266
	3756	2.884	4273936	5.5E+09	8.E+12	3.E+06	2869.6

$$\text{Mat (a)} = \begin{vmatrix} 3351299 & 5.50E+09 & 4273936 \\ 2869.168 & 4273936 & 3756 \\ 2.884 & 3756 & 5 \end{vmatrix} \quad \text{Mat (b)} = \begin{vmatrix} 7.80E+12 & 3351299 & 4273936 \\ 5.50E+09 & 2869.168 & 3756 \\ 4273936 & 2.884 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\text{Mat (c)} = \begin{vmatrix} 7.80\text{E}+12 & 5.50\text{E}+09 & 3351299 \\ 5.50\text{E}+09 & 4273936 & 2869.168 \\ 4273936 & 3756 & 2.884 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 7.80\text{E}+12 & 6.00\text{E}+09 & 4.00\text{E}+06 \\ 5.50\text{E}+09 & 4.00\text{E}+06 & 3756 \\ 4273936 & 3756 & 5 \end{vmatrix} = 3.00\text{E}+18$$

a =	Mat (a) / D	-6.00E-07
b =	Mat (b) / D	0.0014
c =	Mat (c) / D	0.0068

Avec le développement d'équations de pompe SP R.Nouss et la représentation de la courbe caractéristique des pompes avec le diagramme suivant:

$$\eta_u = -6 * 10^{-7} Q^2 + 0.0014Q + 0.0068 \quad (III-3).$$

Q : Débit traversant une pompe (m³/h)

η_u : Rendement

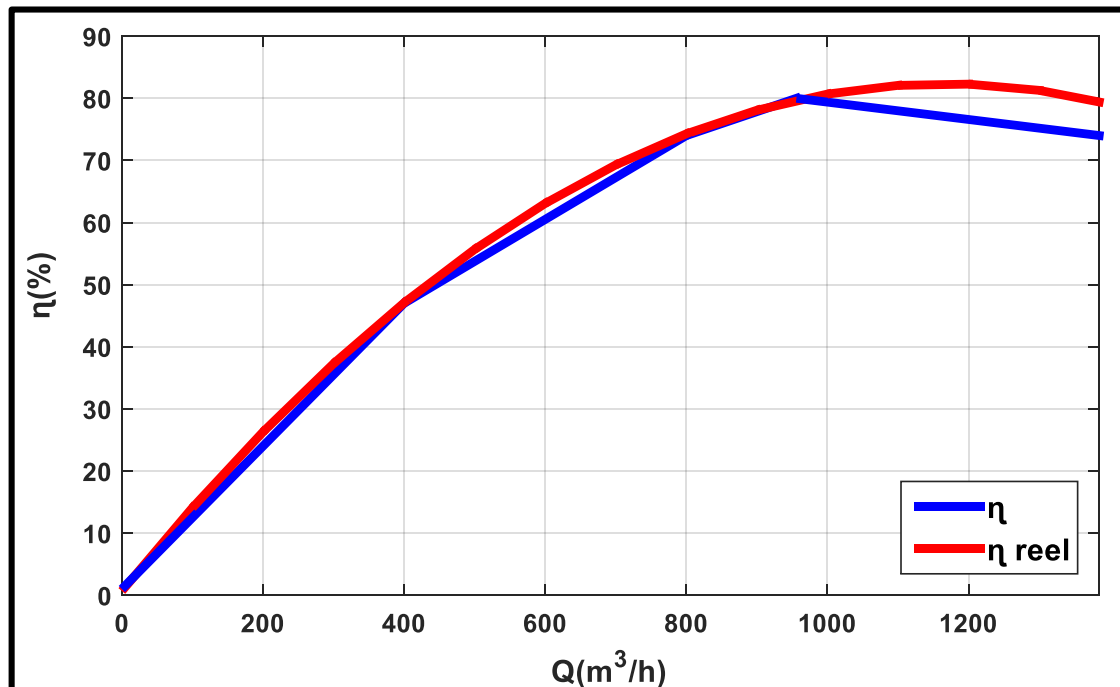


Figure III-2 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP-RN $\eta=f(Q)$

III.3.2. Station SP1 (HEH)

D'une capacité de 1500 m³/h, elle est constituée principalement de trois (03) pompes en série dont une en Stand-by.

III.3.2.1. Modélisations Des Courbes Caractéristiques Station SP1(HEH)

$$H = f(Q)$$

$\underline{Q}$	$\underline{HMT}$					
x	y	x^2	x^3	x^4	$y.x^2$	$y.x$
0	425	0	0	0	0	0
200	420	40000	8000000	1.6E+09	1.7E+07	84000
800	405	640000	5.12E+08	4.1E+11	2.6E+08	324000
1400	355	1960000	2.74E+09	3.8E+12	7E+08	497000
1508	337	2274064	3.43E+09	5.2E+12	7.7E+08	508196
Σ 3908	1942	4914064	7E+09	9E+12	2E+09	1E+06

$$\text{Mat (a)} = \begin{vmatrix} 1.74E+09 & 6.69E+09 & 4914064 \\ 1413196 & 4914064 & 3908 \\ 1942 & 3908 & 5 \end{vmatrix} \quad \text{Mat (b)} = \begin{vmatrix} 9.42417E+12 & 1738159568 & 4914064 \\ 6693288512 & 1413196 & 3908 \\ 4914064 & 1942 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\text{Mat (c)} = \begin{vmatrix} 9.42E+12 & 6.69E+09 & 1.7E+09 \\ 6.69E+09 & 4914064 & 1413196 \\ 4914064 & 3908 & 1942 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 9.424E+12 & 6.69E+09 & 4914064 \\ 6.693E+09 & 4914064 & 3908 \\ 4914064 & 3908 & 5 \end{vmatrix} = 2E+18$$

$a =$	Mat (a) / D	-5E-05
$b =$	Mat (b) / D	0.013
$c =$	Mat (c) / D	422.6

Avec le développement d'équations de pompe SP1 (HEH) et la représentation de la courbe caractéristique des pompes avec le diagramme suivant :

$$H_{tot} = N_p * H_p = N_p(-5 * 10^{-5} Q^2 + 0.013Q + 422.6) \quad (III-4).$$

H_p : Hauteur développée par une pompe (m)

H_{tot} : Hauteur Totale développée par les pompes (m)

N_p : Nombre de pompes en service

Q : Débit traversant une pompe (m³/h)

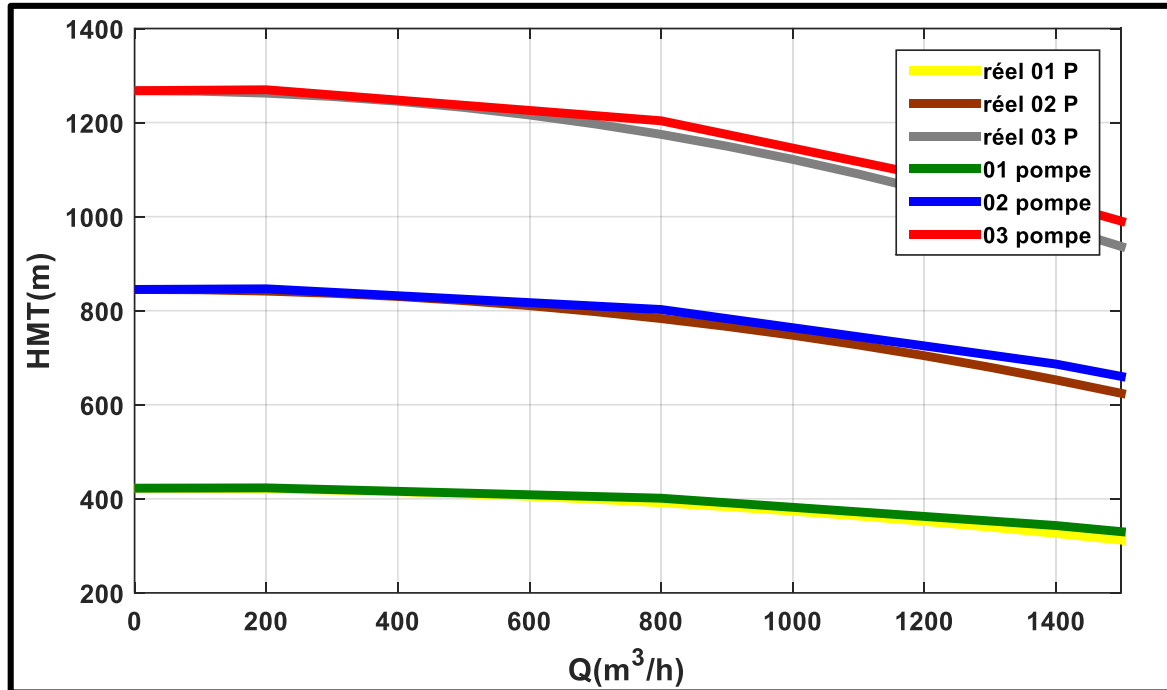


Figure III-3 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP1(HEH) $H = f(Q)$

III.3.2.2. Modélisations Des Courbes Caractéristiques Station SP1 (HEH)

$$\eta = f(Q)$$

Q	η					
x	y	x ²	x ³	x ⁴	y.x ²	y.x
0	0	0	0	0	0	0
400	0.5	160000	64000000	3E+10	80000	200
800	0.761	640000	5.1E+08	4E+11	487040	608.8
1200	0.852	1000000	1.7E+09	2E+12	1E+06	1022
1508	0.824	2000000	3.4E+09	5E+12	2E+06	1243
Σ 3908	2.937	3800000	5.67E+09	7.43E+12	4E+06	3073.8

$$\text{Mat (a)} = \begin{vmatrix} 3667748.7 & 5.733E+09 & 4514064 \\ 3073.792 & 4514064 & 3908 \\ 2.937 & 3908 & 5 \end{vmatrix} \quad \text{Mat (b)} = \begin{vmatrix} 7.68E+12 & 3667748.7 & 4273936 \\ 5.733E+09 & 3073.792 & 3908 \\ 4514064 & 2.937 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\text{Mat (c)} = \begin{vmatrix} 7.68\text{E}+12 & 5.733\text{E}+09 & 3667749 \\ 5.733\text{E}+09 & 4514064 & 3073.792 \\ 4514064 & 3908 & 2.937 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 7.824\text{E}+12 & 5.5\text{E}+09 & 5000000 \\ 5.546\text{E}+09 & 5000000 & 3908 \\ 5000000 & 3908 & 5 \end{vmatrix} = \boxed{2\text{E}+18}$$

a =	Mat (a) / D	-6E-07
b =	Mat (b) / D	0.0014
c =	Mat (c) / D	0,0084

Avec le développement d'équations de pompe SP1 (HEH) et la représentation de la courbe caractéristique des pompes avec le diagramme suivant :

$$\eta_u = -6 * 10^{-7} Q^2 + 0.0014Q + 0.0084 \quad (III-5).$$

Q : Débit traversant une pompe (m³/h)

η_u : Rendement

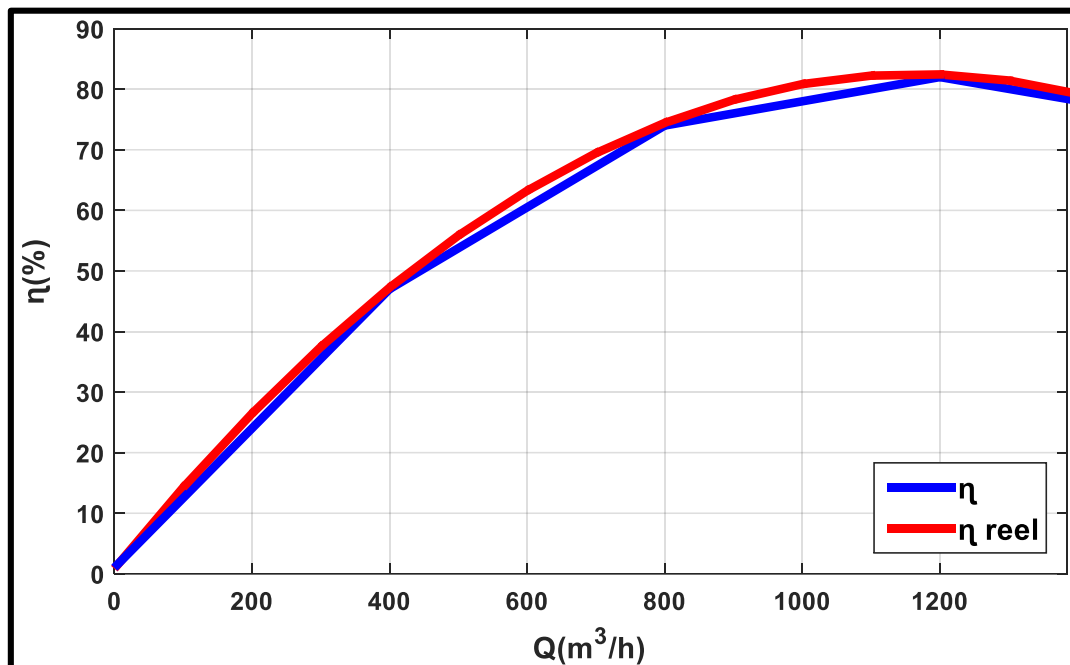


Figure III-4 : Courbes caractéristiques des pompes SP1 (HEH) $\eta=f(Q)$

III.3.3. Station SP2

D'une capacité de 1500 m³/h, elle est constituée principalement de trois (03) pompes en parallèles dont une en Stand-by. Etant en parallèles, la capacité de chaque pompe est 500m³/h.

III.3.3.1. Modélisations Des Courbes Caractéristiques SP2 $H = f(Q)$

Q	HMT					
x	y	x ²	x ³	x ⁴	y.x ²	y.x
0	1140	0	0	0	0	0
200	1100	40000	8.0E+06	2.E+09	4.E+07	220000
450	1050	202500	9.1E+07	4.E+10	2.E+08	472500
500	1000	252004	1.E+08	6.E+10	3.E+08	502000
Σ	1150	3240	494504	2.3E+08	1.0E+11	5.4E+08

$$\text{Mat (a)} = \begin{vmatrix} 5.E+08 & 2.E+08 & 494504 \\ 1.E+06 & 494504 & 1152 \\ 4290 & 1152 & 4 \end{vmatrix} \quad \text{Mat (b)} = \begin{vmatrix} 1.E+11 & 5.E+08 & 494504 \\ 2.E+08 & 1.E+06 & 1152 \\ 494504 & 4290 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\text{Mat (c)} = \begin{vmatrix} 1.E+11 & 2.E+08 & 5.E+08 \\ 2.E+08 & 494504 & 1194500 \\ 494504 & 1152 & 4290 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 1.0E+11 & 2.E+08 & 5.E+05 \\ 2.0E+08 & 5.E+05 & 1152 \\ 500000 & 1152 & 4 \end{vmatrix} = \boxed{1.60E+15}$$

a =	Mat (a) / D	-3.E-04
b =	Mat (b) / D	-0.0939
c =	Mat (c) / D	1137.8

Avec le développement d'équations de pompe SP2 et la représentation de la courbe caractéristique des pompes avec le diagramme suivant :

$$H_{tot} = H_p = -3 * 10^{-4} Q^2 - 0.0939Q + 1137.8 \quad (III-6).$$

H_p : Hauteur développée par une pompe (m)

H_{tot} : Hauteur Totale développée par les pompes (m)

N_p : Nombre de pompes en service

Q : Débit traversant une pompe (m³/h)

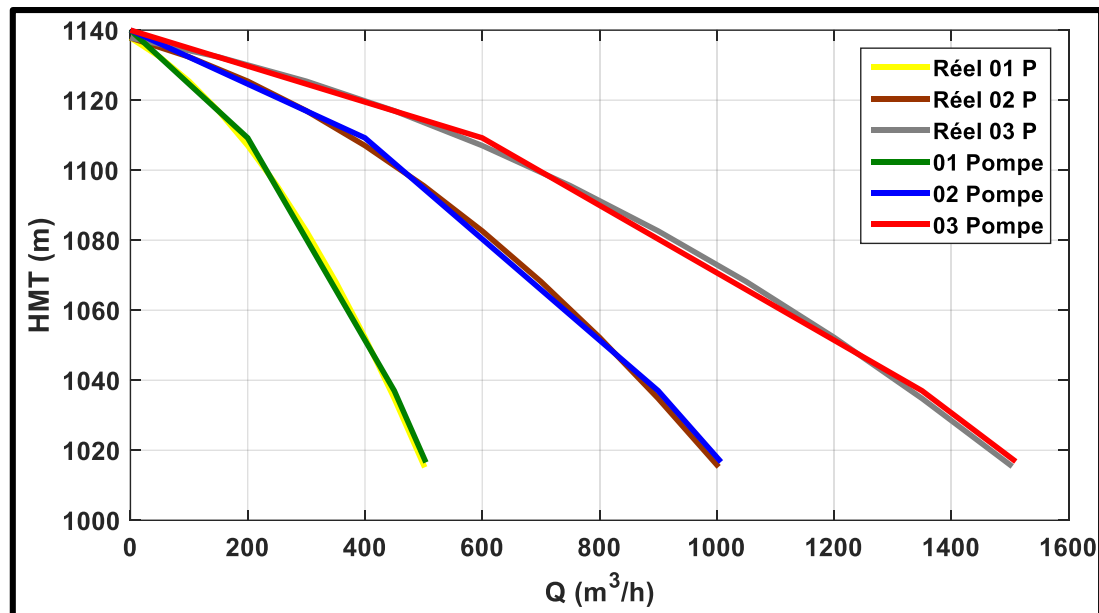


Figure III-5 : Courbes Des Caractéristiques Des Pompes SP2 $H=f(Q)$

III.3.3.2. Modélisations Des Courbes Caractéristiques Station SP2 $\eta = f(Q)$

Q	η					
X	y	x^2	x^3	x^4	$y.x^2$	$y.x$
0	0	0	0	0	0	0
100	0.3117	10000	1.0E+05	1.E+08	3117	31.17
300	0.6529	90000	2.7E+07	8.E+09	58761	195.87
502	0.809	252004	1.3E+08	6.E+10	203871.2	406.118
600	0.7529	360000	2.2E+08	1.E+11	271044	451.74
Σ 1502	2.5265	712004	3.7E+08	2.E+11	536793.2	1084.898

$$\text{Mat (a)} = \begin{vmatrix} 536793.24 & 3.7E+08 & 712004 \\ 1084.898 & 712004 & 1502 \\ 2.5265 & 1502 & 5 \end{vmatrix} \quad \text{Mat (b)} = \begin{vmatrix} 2.013E+11 & 536793.24 & 712004 \\ 3.705E+08 & 1004.898 & 1502 \\ 712004 & 2.5265 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\text{Mat (c)} = \begin{vmatrix} 2.013E+11 & 3.705E+08 & 536793.24 \\ 3.7E+08 & 712004 & 1004.898 \\ 712004 & 1502 & 2.5265 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 2.013E+11 & 3.705E+08 & 712004 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 3.705E+08 & 712004 & 1502 \\ 712004 & 1502 & 5 \end{vmatrix} = 7.64E+15$$

a =	Mat (a) / D	-3.E-06
b =	Mat (b) / D	0.0032
c =	Mat (c) / D	0.0085

Avec le développement d'équations de pompe SP2 et la représentation de la courbe caractéristique des pompes avec le diagramme suivant :

$$\eta_u = -3 * 10^{-6} Q^2 + 0.0032Q + 0.0085 \quad (III-7).$$

$Q = Q_{tot}/N_p$ Pour chaque pompe.

Q : Débit traversant une pompe (m3/h)

η_u : Rendement

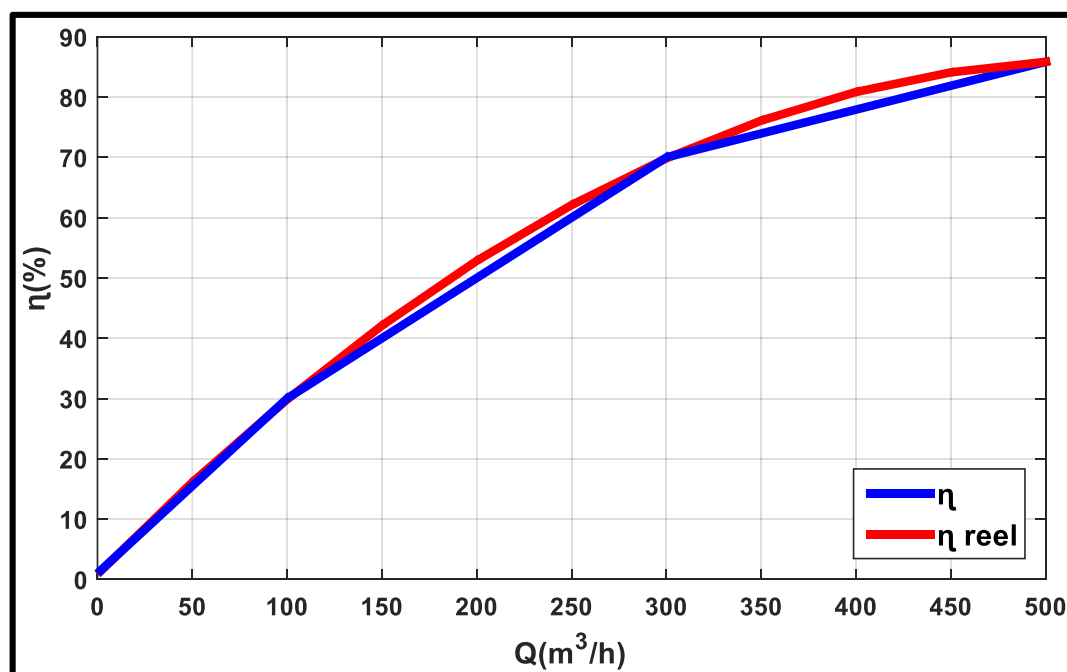


Figure III-6 : Courbes Caractéristiques Des Pompes SP2 $\eta = f(Q)$

III.4. Conclusion

Au cours de ce chapitre on développe les caractéristiques des pompes des stations de pompage (SPRNS, SP1 et SP2), et ces fonctionnements.

Le profil descendant en long ou plat entre SPRN et SP1 implique une installation de pompes en série à cause de l'augmentation sensible de la hauteur due à l'augmentation du débit.

Pour SP2 son profil est montant ; ici on aura une petite augmentation en hauteur lorsqu'on augmente en débit ce qui impose une installation de pompes en parallèle.

Chapitre IV : Calcul Hydraulique

IV.1. Introduction

Le but de l'étude hydraulique est d'établir le profil de pression le long de la pipe.

IV.2. Données de l'étude :

Cette tâche requiert les données suivantes :

- La Composition chimique du produit à transporter afin de calculer ses paramètres physico-chimiques à l'instar de la viscosité, masse volumique, pouvoir calorifique etc.
- La longueur et le diamètre de chaque tronçon qui constitue l'ouvrage. La rugosité est aussi un paramètre vital quant au calcul du facteur de friction.
- Les coordonnées des points d'injections ainsi que la hauteur (le profil en long).
- L'emplacement exact de la looping avec sa longueur, diamètre, épaisseur, rugosité et la façon dont il est connecte avec l'ouvrage principal.
- La pression au départ de chaque tronçon, cette pression peut être celle d'un champ d'injection d'un point de refoulement d'une station de pompage.
- Le débit d'injection de chaque champs aux conditions normales (P=1.013 bar & T = 15 °C)
- On suppose que le process soit isotherme .On montrera que cette supposition n'a pas d'impacts sensibles sur les calculs hydrauliques.

Qv_{inj} : Débit volumique horaire de chaque champ (m³/h)

Qv_{cum} : Débit volumique horaire cumulé (m³/h)

ρ : La masse volumique du GPL (Kg / m³)

μ : La viscosité dynamique du GPL (N.s / m²)

ε : Rugosité en micron

Qm_{cum} : Débit massique horaire cumulé (kg/h)

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

Re : Nombre de Reynolds,

$$Re = \frac{4 * Qm}{\pi * D * \mu} \quad (IV-1)$$

λ : Facteur de friction

H_f : Perte de charge Linéaire due à la friction (m).

ΔX_i = distance séparant deux points consécutifs i & i+1 (m).

ΔZ_i = différence de hauteur entre deux point consécutifs i & i+1 (m).

❖ L'ouvrage a été découpé en tronçons dont les spécificités sont les suivantes :

1. Tronçon Alrar – BHP / TGT ($10^{3/4}$ ")
- 2.1 BHP / TGT - SP/RN ($12^{3/4}$ " & 14 ") Pipe.
- 2.2 BHP / TGT - SP/RN (16 ") Looping.
- 3.1 SP/RN / Gassi Touil (16 ") Pipe.
- 3.2 SP/RN / Gassi Touil (16 ") Looping.
4. Gassi-Touil – SP1(HEH) (20 ") Pipe.
5. SP1(HEH) / SP2 (20") Pipe.
6. SP2 / SP4 (24") Pipe.

IV.3. Etapes de Calcul

IV.3.1. Calcul de Re

$$Re = \frac{4 * Q_m}{\pi * D * \mu}$$

Q_m : Débit massique en (kg/s)

D : Diamètre intérieur en (m)

μ : viscosité dynamique en (Pa. s)

IV.3.2. Calcul du coefficient de perte de charge λ

A partir du nombre de Reynolds, Rugosité relative, le diagramme de Moody

Nous donnera cette valeur. [4].

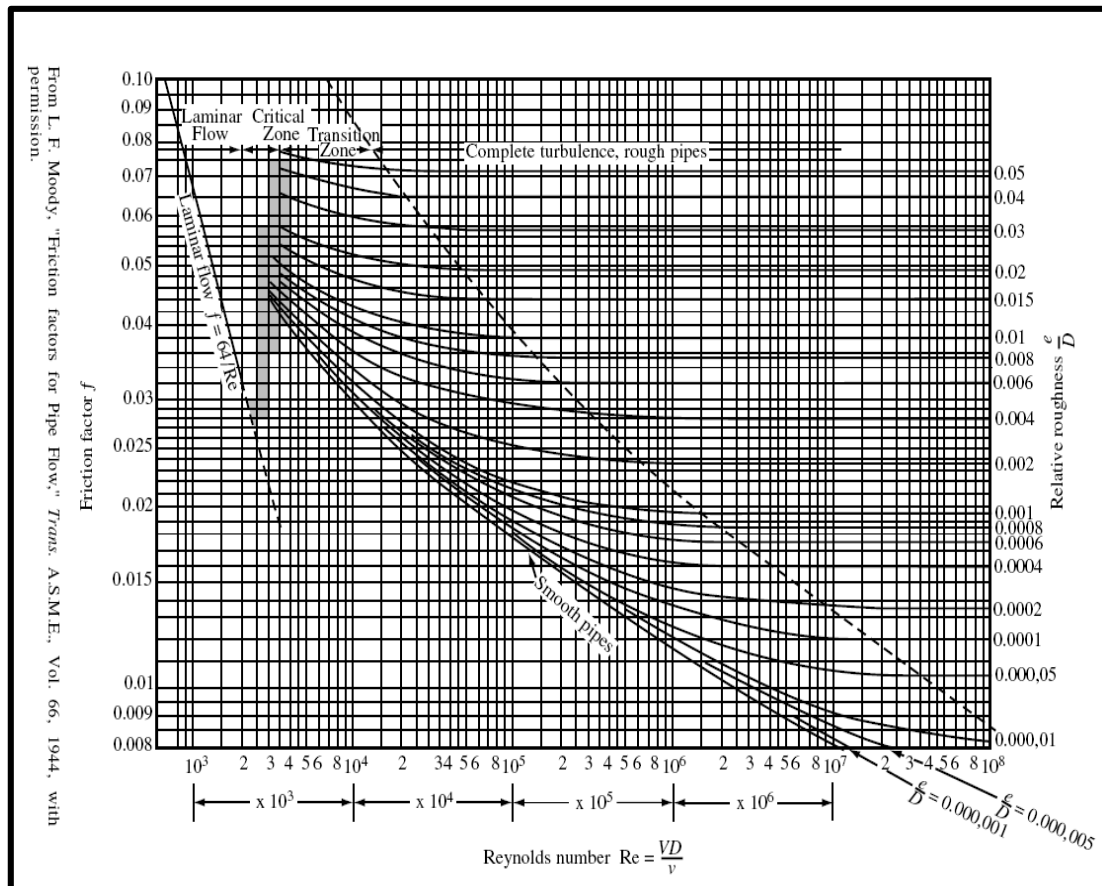


Figure IV-1 : Le diagramme de Moody

Plusieurs formules empiriques ont essayé de prédire le facteur de friction, parmi elles on trouve :

Equation de **Round, Churchill ET Colebrook & White.**

Pour notre étude, le choix s'est porté sur la formule de Round pour les raisons suivantes :

- Elle est explicite et facile à programmer sur MATLAB.
- Elle surestime la perte de charge ce qui convient à notre cas d'étude du fait que l'ouvrage LR1 n'a pas été ramoné depuis plus de dix (10 ans) d'où la présence de quantité importante de sédiments augmentant ainsi la friction.

Formule de Round

Valable pour

$$4000 \geq Re \leq 10^8$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.8 * \log \left[\frac{Re}{0.125 * (Re * \varepsilon / D + 6.5)} \right] \quad (IV-2).$$

ε : Rugosité en [m]

D : Diamètre intérieur [m]

Re : Nombre de Reynolds,

λ : Facteur de friction

IV.3.3. Perte de charge Linéaire H_f

Lorsqu'un liquide se déplace dans les conduites, les canaux, les oueds, les fleuves et d'autres voies, on observe les dépenses énergétiques du courant pour vaincre la résistance au mouvement « perte de charge ». [4].

Ces pertes de charge peuvent être divisées en deux types :

➤ Pertes de charge linéaires ΔH_f qui sont observées sur toute la longueur du courant, sont proportionnelles à la longueur des tronçons des conduites « lits et sont engendrées par les forces de frottement.

➤ Pertes de charge « singulières ΔH_s qui sont dues aux différents éléments de construction et aux obstacles dans le courant (virage, coude, dérivation, té, croix, rétrécissement ou élargissement des lits, robinet, vanne,...ect

$$H_f = \left(\frac{8 \cdot \lambda \cdot Q^2 \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \right) \quad (IV-3).$$

H_f : Perte de charge linéaire due à la friction (m)

Q : Débit massique cumulé (kg/s)

D : Diamètre intérieur de la conduite (m)

Re : Nombre de Reynolds, $Re = \frac{4 \cdot Q_m}{\pi \cdot D \cdot \mu}$

λ : Facteur de friction

L : ou ΔX_l distance séparant deux points consécutifs (m)

Pour tenir compte des pertes de charge singulières (vannes, coudes,...) et de l'état interne de la canalisation, il est recommandé de corriger le facteur de friction λ pour chaque tronçon et ce en comparant les valeurs obtenues par le calcul et les valeurs réelles prises in situ

$$H_{\text{totale}} = \sum_{i=1}^n H_{f_i} \quad (IV-4).$$

Par conséquent

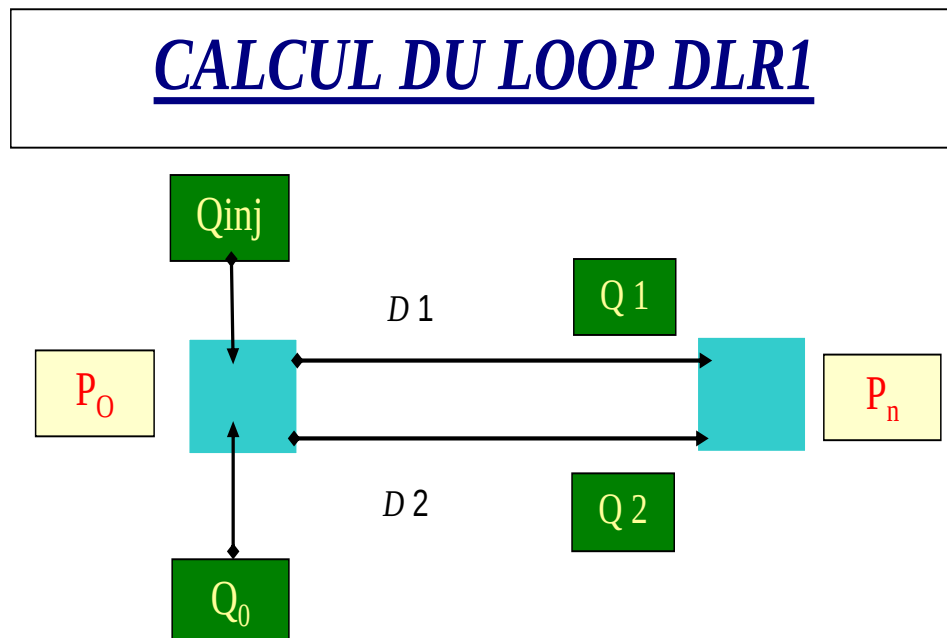
$$P_{i+1} = P_i - \rho_i g (Hf_i + \Delta Z_i) \quad (IV-5).$$

P_i : Pression au point " i " en bars

Avec : ΔZ_i = différence de hauteur entre deux points consécutifs i & i+1 (m)

IV.3.4. CALCUL DU LOOPING 16" (DLR1)

On rappelle qu'un Looping de ϕ 16" entre BHP-TGT et G.Touil a été construit afin de soulager les Champs injectant. Durant le calcul Hydraulique, il est impératif de déterminer le débit circulant dans les deux (02) conduites.



Pour le Calcul du Looping nous allons suivre les étapes décrites suivantes :

Q_0 : Débit l'arrivée du Loop

Q_{inj} : Débit injecté au niveau du Loop

Q : Débit total à la sortie du Loop : $Q = Q_{inj} + Q_0$

$Q 1$: Débit circulant dans le tronçon 1

$D 1$: Diamètre du tronçon 1

$Q 2$: Débit circulant dans le tronçon 2

D_2 : Diamètre du tronçon 2

P_O : Pression Départ

P_n : Pression Arrivée

λ : Facteur de friction

L : Ou ΔX_l distance séparant deux points consécutifs (m)

ρ : est la masse volumique du GPL (Kg / m^3)

μ : est la viscosité dynamique du GPL ($\text{N.s} / \text{m}^2$)

ε : Rugosité en micron

H_f : Perte de charge Linéaire due à la friction (m)

La perte de Charge linéaire entre les points du Loop étant égale

$$H_f = \left(\frac{8\lambda_1 \cdot Q_1^2 \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D_1^5} \right) = \left(\frac{8\lambda_2 \cdot Q_2^2 \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D_2^5} \right) \dots \dots \dots \text{Eq 1}$$

Avec $Q = Q_1 + Q_2$ (Conservation de Masse)Eq 2

$$\text{Eq} \dots \dots \left(\frac{\lambda_1 \cdot Q_1^2}{D_1^5} \right) = \left(\frac{\lambda_2 \cdot Q_2^2}{D_2^5} \right) \dots \dots \dots \text{Eq3}$$

Eq 2 $Q_2 = Q - Q_1$ (en remplaçant dans l'Eq 3) on a :

$$\lambda_1 \cdot Q_1^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 = \lambda_2 (Q - Q_1)^2$$

$$C = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \text{ On aura :}$$

$$C \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \left[\left(\frac{Q}{Q_1} \right) - 1 \right]^2 \quad (IV-6).$$

C'est une équation non linéaire où " Q_1 " est inconnu et pour la résoudre

On utilise le programme Matlab qui utilise la méthode de Newton – Raphson.

Une fois " Q_1 " connu : $Q_2 = Q - Q_1$.

IV.4. Calcul De La Pression De Service

La pression maximale de service P.M.S est la pression d'exploitation limitée par les différentes normes pétrolières et gazières telles qu'A.S.M.E, A.P.I, I.F.P afin de travailler dans des conditions de sécurité bien lointaines d'éventuels risques. [4].

Cette pression se calcul par la formule suivante :

$$P = \frac{2.EC.S.E.F.T}{D} \quad (IV-7).$$

Ec: Épaisseur utilisée dans le calcul (mm)

S : limite élastique du pipe nuance (psi)

E : facteur dépendant du type de soudage ;E=1 en général

T : facteur dépendant de la température du fluide ; T=1 ; en général

F : facteur de sécurité dépendant de la zone traversée :

- Pour la Zone : *Alrar – HEH* *F* = 0.5
- Pour la Zone : *HEH – H'Rmel* *F* = 0.4

D : diamètre nominal (mm)

Calcul de l'épaisseur «ec»

$ec = (e - \%tol) - corr$ Avec :

e : Épaisseur de la pipe (mm)

%tol : Tolérance sur l'épaisseur dépendant du diamètre

%tol = 12.5% pour *D* < 18"

%tol = 8% pour *D* > 18"

Corr. =1.2 mm (0.05 in) d'après les normes A.S.M.E

Pour plus de sécurité, la pression calculée a été divisée par un facteur de 1.1.

A noter que pour une homogénéité dans l'exploitation, il a été décidé de prendre la plus petite valeur de PMS pour le Tronçon : ALRAR- HEH (60 bars) .et la plus petite valeur de PMS pour le Tronçon : HEH-H'Rmel (77 bars).

Les résultats obtenus sont donnés sur le Tableau suivant :

Tableau IV-1 : Calcul PMS

Tronçon	Dext (in)	Dext (mm)	e (mm)	Tol-Ep (%)	ec (mm)	Corr (mm)	e_calcul (mm)	FET	S (psi)	P.cal (bars)	PMS (bars)	PMS Consignes barg
Alrar Ohanet	10.75	270.32	8.74	12.5%	7.65	1.27	6.38	0.4	52000	67.7	61.5	60.0
Ohanet TFT	12.75	320.61	10.31	12.5%	9.02	1.27	7.75	0.4	52000	69.4	63.1	60.0
TFT R.N	14	352.04	9.52	12.5%	8.33	1.27	7.06	0.40	60000	66.4	60.4	60.0
R.N G.TOUIL	16	402.34	11.13	12.5%	9.74	1.27	8.47	0.40	60000	69.7	63.3	60.0
G.TOUIL HEH	20	502.92	12.7	8.0%	11.68	1.27	10.41	0.40	60000	68.5	62.3	60.0
HEH SP2	20	502.92	12.7	8.0%	11.68	1.27	10.41	0.50	60000	85.7	77.9	77.0
SP2 SP4	24	603.5	15.88	8.0%	14.61	1.27	13.34	0.50	60000	91.5	83.1	77.0

IV.5. Conclusions

Dans notre étude comparative, on s'est limité à la Pressions arrivée au niveau de SP2 car le Scada étant hors service, les données intermédiaires au niveau de la ligne LR1 ne peuvent pas être obtenues.

La différence observée entre les valeurs de perte de charge calculées avec cette technique et la perte de charge mesurée sur le site démontre la nécessité d'une étude minutieuse afin de déterminer le modèle le plus approprié pour le calcul de ces paramètres.

Il circule sur les différents gazoducs et oléoducs du sol national et cela peut se faire grâce à une bonne organisation et une bonne campagne de mesures correctes sur les différents métiers.

Dans le cas de notre étude la formule de Round donne à priori des résultats satisfaisants et proches des valeurs réelles.

Chapitre V : Optimisation

De L'Ouvrage GPL-LR1

V.1. Introduction sur les problèmes d'optimisation

V.1.1. Définitions

V.1.1.1. Problème d'optimisation

Rendre optimal, c'est donner à quelque chose les meilleures conditions d'utilisation, de fonctionnement, de rendement. L'optimisation est une branche des mathématiques cherchant à modéliser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à minimiser ou maximiser (figure V-1) une fonction sur un ensemble. Généralement, un problème d'optimisation peut être défini comme suit :

$$\begin{cases} \text{Minimiser/Maximiser } f(x) \\ \text{sous les contraintes} \\ g(x) \leq 0 (\text{contraintes d'inégalité}) \\ h(x) = 0 (\text{m contraintes d'égalité}) \\ x_i \leq x \leq x_s \end{cases} \quad (V-1).$$

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

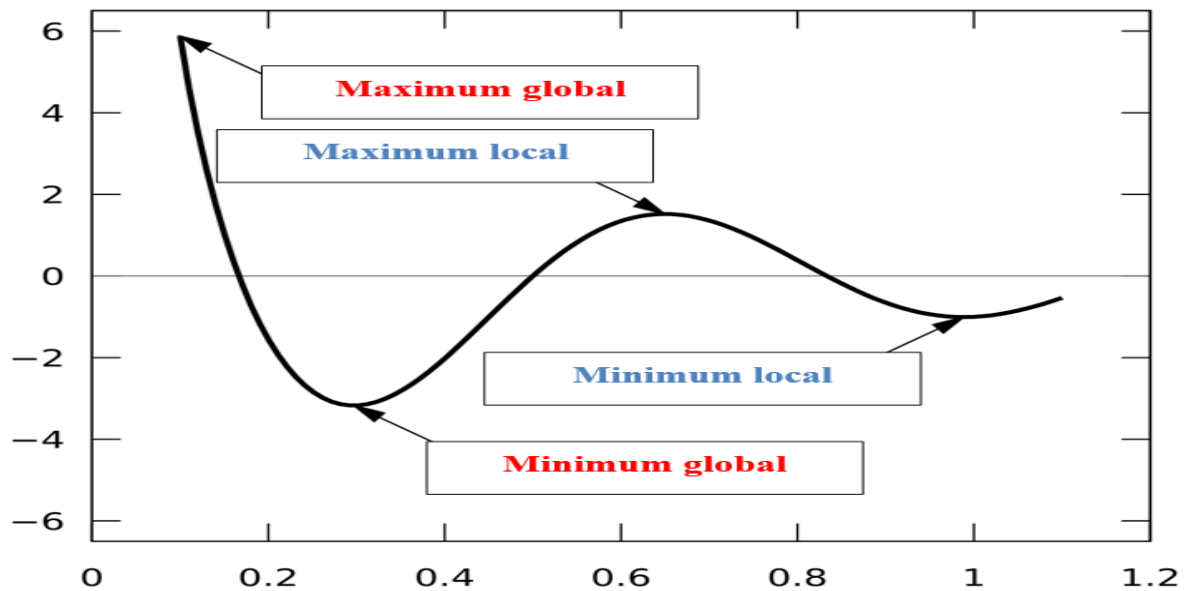


Figure V-1 : Exemple de types d'extremums

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

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

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

V.1.1.3. Optimisation multi objectif

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

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

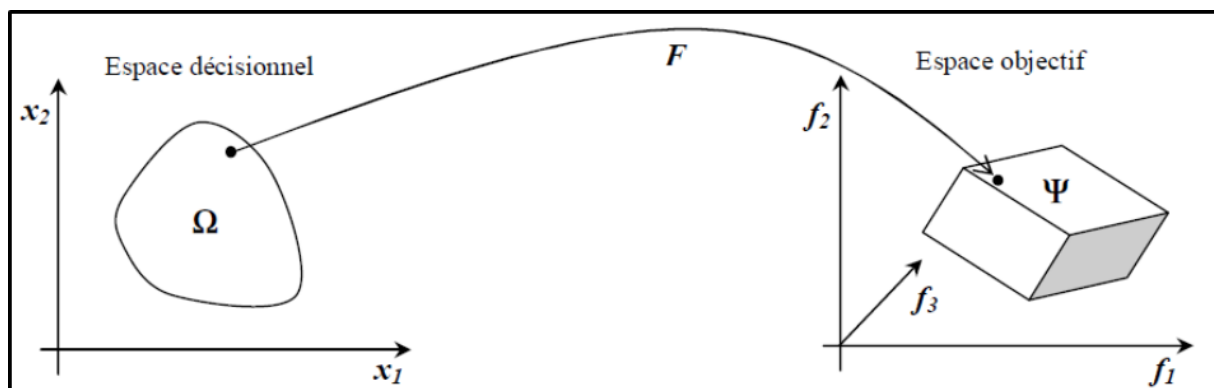


Figure V-2 : Problème d'optimisation multi objectif (2 variables de décision et 3 fonctions objectifs)

V.2. Les méthodes de résolution

V.2.1. Méthodes déterministes

Les méthodes analytiques ou déterministes sont basées sur une algorithmique procédurale rigoureuse. Parmi les méthodes les plus connues, on trouve : le calcul différentiel (DF) et la méthode de Lagrange, ces méthodes se localisaient à la résolution de problème mono-objectif, mais ces dernières sont insuffisantes pour être dérivables, continus et mono variables [6].

Cela a stimulé l'apparition des méthodes dites itératives, tels que la programmation non-linéaire (NLP), la programmation quadratique séquentielle (SQP), la programmation dynamique (DP), l'algorithme du gradient réduit généralisé (GRG), la programmation géométrique (GP) et la programmation de But (LP). [7].

Avec ces méthodes analytiques itératives, il est souhaitable que ces méthodes soient continuées et dérivables et que leurs formes, à savoir, linéaire, non linéaire, concave ou convexe, soient définies et préalablement connues. A cet effet, l'utilisation de ces méthodes reste très limitée surtout dans le domaine de l'optimisation des conditions d'usinage. [8].

V.2.2. Méthodes stochastiques

Les méthodes d'optimisation stochastiques s'appuient sur des mécanismes probabilistes et aléatoires. Cette caractéristique indique que plusieurs exécutions successives de ces méthodes peuvent conduire à des résultats différents pour une même configuration initiale d'un problème d'optimisation. Ces méthodes peuvent être classées selon deux grandes catégories : les méthodes heuristiques et les méthodes méta-heuristiques. [9].

V.2.2.1. Méta heuristiques à base de solution unique

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

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

a) Algorithmes de recherche locale pour une optimisation locale

Tout algorithme basé sur la notion de voisinage, piégé par le premier optimum local. Les algorithmes de descente plus utilisés, nous citons:

- Descente simple « simple descente »

- Plus grande descente « Deepest descent »
- Multi-Start descent

b) Algorithmes de recherche locale pour une optimisation globale

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

- Recuit simulé « Simulated annealing »
- Recherche tabou « Tabu search »
- Recherche à voisinage variable « Variable neighborhood search »
- GRASP
- Recherche locale itérée « Iterated local search »
- Recherche locale guidée « Guided local search »

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

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

a) Algorithmes Evolutionnaires

Un algorithme évolutionnaire est typiquement composé de trois éléments fondamentaux :

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

• Programmation évolutive (Evolutionary Programming)

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

aux bons individus. L'opérateur de sélection est de type probabiliste : il s'agit de la méthode du tournoi basée sur une compétition entre individus choisis aléatoirement. [10].

- **Stratégies d'évolution**

Elles ont été développées [11] pour résoudre des problèmes d'optimisation industriels à variables réelles dans lesquels il n'existe pas de fonction d'objectif analytique. Ce modèle utilise le principe de mutation sur les réels du modèle de la Programmation Evolutive.

Cependant, ce principe a été affiné de sorte que la fonction de perturbation Gaussienne est contrôlée par l'ensemble de la population courante. Si la proportion de mutation réussie est élevée, l'espace de recherche exploré est restreint autour d'un optimum local, il faut donc diversifier la population en augmentant le taux de mutation. Ces approches utilisent un opérateur de sélection de type déterministe : les solutions dont la fitness est mauvaise sont éliminées de la population. En outre, dans le modèle originel, les populations des parents et de leurs descendants sont généralement de taille différente.

- **Algorithmes génétiques (Genetic Algorithms)**

Le mécanisme des AG consiste à faire évoluer, à partir d'un tirage initial, un ensemble de points de l'espace de recherche vers l'optimum du problème. Avec des opérations extrêmement simples et sans se soucier de la sémantique de ces chromosomes codés en combinant ses solutions entre elles pour en former de nouvelles en essayant d'hériter des bonnes caractéristiques des solutions parents. On obtient une solution qui s'approche de l'optimum en un temps acceptable. C'est en effet cette légèreté de mise en œuvre qui fait la puissance et le charme des AG. [12].

- **Programmation génétique (Genetic Programming)**

Est une extension du modèle d'apprentissage des algorithmes génétiques à l'espace des programmes. [13].

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

b) Colonie de fourmis

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

c) Essaim de particulaire

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

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

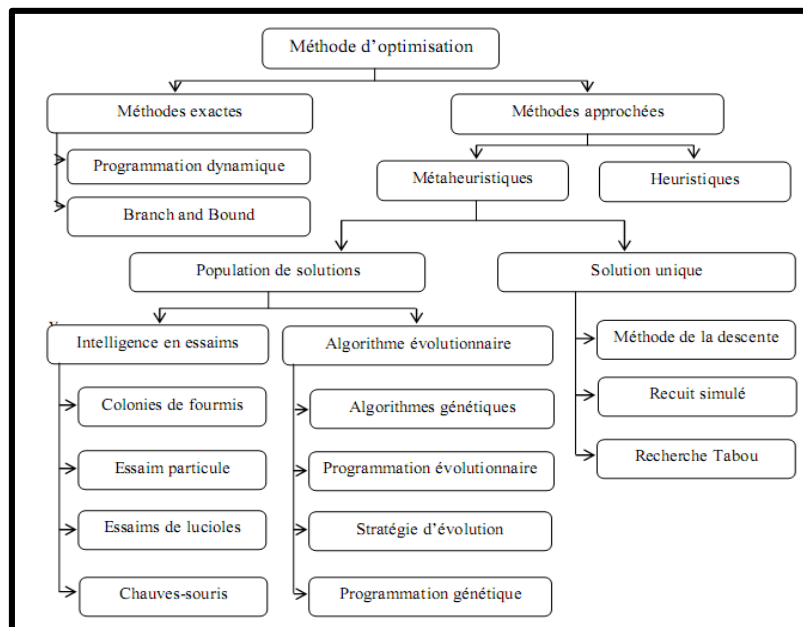


Figure V-3 : Classification des méthodes d'optimisation.

V.3. Algorithmes génétiques

V.3.1. Les techniques Non-élitiste

Les approches que nous allons voir ne conservent pas les individus Pareto optimaux trouvés au cours du temps. Elles maintiennent difficilement la diversité sur la frontière Pareto. La convergence des solutions vers la frontière de Pareto est lente. [14].

V.3.2. Multiple Objective Genetic Algorithm (MOGA)

V.3.2.1. Non dominate Sorting Genetic Algorithm (NSGA)

Dans la méthode proposée par (Srinivas, 1993), le calcul de la fitness s'effectue en séparant la population en plusieurs groupes en fonction du degré de domination au sens de Pareto de chaque individu.

Cette méthode paraît moins efficace en temps de calcul que la méthode MOGA car le temps de calcul de la notation (trie de la population et sharing) est important. Mais cette technique semble plus appropriée à maintenir une grande diversité de la population et à répartir plus efficacement les solutions sur la frontière de Pareto. Trois critiques ont été soulevées pour cette méthode [14] :

- Sa complexité de calcul de $O(K, N^3)$ avec k le nombre d'objectifs et N la taille de la population, essentiellement due au processus de trie de la population et d'application de l'heuristique de partage
- Son approche non élitiste.
- La nécessité de spécifier un paramètre de sharing.

V.3.2.2. Niched Pareto Genetic Algorithm (NPGA)

Cette méthode proposée par Horn et Napfliotis utilise un tournoi basé sur la notion de dominance de Pareto. Elle compare deux individus pris au hasard avec une sous-population de taille également choisie au hasard. Si un seul de ces deux individus domine le sous-groupe, il est alors positionné dans la population suivante. Dans les autres cas une fonction de sharing est appliquée pour sélectionner l'individu. Le paramètre t_{dom} permet d'exercer une pression variable sur la population et ainsi d'augmenter ou de diminuer la convergence de l'algorithme [15].

V.3.3. Les techniques élitiste

V.3.3.1. Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA)

En 1998 Zitzler et Thiele proposent la méthode élitiste SPEA basée sur le concept Pareto. Pour réaliser cet élitisme, SPEA maintient une archive externe contenant le meilleur front de compromis rencontré durant la recherche. Toutes les solutions de l'archive participe à la sélection. Une méthode de clustering est utilisée pour réduire l'ensemble de Pareto sans supprimer ses caractéristiques. Une nouvelle méthode de niche, basée sur Pareto, est utilisée afin de préserver la diversité. L'avantage essentiel est qu'elle n'exige pas de réglage de paramètre de sharing. [16].

V.3.3.2. Pareto Archived Evolution Strategy (PAES)

Cette méthode a été développée par Corne et Knowless [17]. Elle n'est pas basée sur une population mais, utilise une population annexe de taille déterminée permettant de stocker les solutions temporairement Pareto optimales.

V.3.3.3. Pareto Envelope based Selection Algorithm (PESA)

Propose également par Corne et Knowless [18]. Elle reprend approximativement le principe de crowding de PAES et définit un paramètre appelé *squeeze_factor* qui représente la mesure d'encombrement d'une zone de l'espace. Alors que PAES est basée sur une stratégie d'évolution, PESA est une méthode basée sur les algorithmes génétiques.

V.3.3.4. PESA II : Region-Based Selection

PESA II est une nouvelle technique de sélection basée sur l'utilisation d'hypercubes dans l'espace des objectifs [19]. Qu lieu d'effectuer une sélection en fonction de la fitness des individus comme dans PESA, cette méthode effectue une sélection par rapport aux hypercubes occupés par au moins un individu. Après avoir sélectionné l'hypercube, on choisit aléatoirement l'individu dans l'hypercube. Cette méthode se montre plus efficace à répartir les solutions sur la frontière Pareto. Cela est dû à sa capacité de choisir avec une plus grande probabilité que le tournoi classique, des individus situés dans des zones désertiques.

V.3.3.5. Non Dominate Sorting Genetic Algorithm II (NSGAI)

Dans cette deuxième version de NSGA [20], l'auteur tente de résoudre toutes les critiques faites sur NSGA : complexité, non élitiste et utilisation de sharing. NSGA-II intègre un opérateur de sélection, basé sur un calcul de la distance de *crowding*, très différent de celui de NSGA. Comparativement à NSGA, NSGA-II obtient de meilleurs résultats sur toutes les

instances présentées dans les travaux de K.Deb, ce qui fait de cet algorithme un des plus utilisés aujourd'hui [21].

NSGA-II est un algorithme élitiste n'utilisant pas d'archive externe pour stocker l'élite. Pour gérer l'élitisme, NSGA-II assure qu'à chaque nouvelle génération, les meilleurs individus rencontrés soient conservés. Pour comprendre le fonctionnement de l'algorithme, plaçons-nous à la génération t . Comme le montre la figure V-4, deux populations (P_t et Q_t de taille N) coexistent. La population P_t contient les meilleurs individus rencontrés jusqu'à la génération t , et la population Q_t est formée d'individus autres, issus des phases précédentes de l'algorithme.

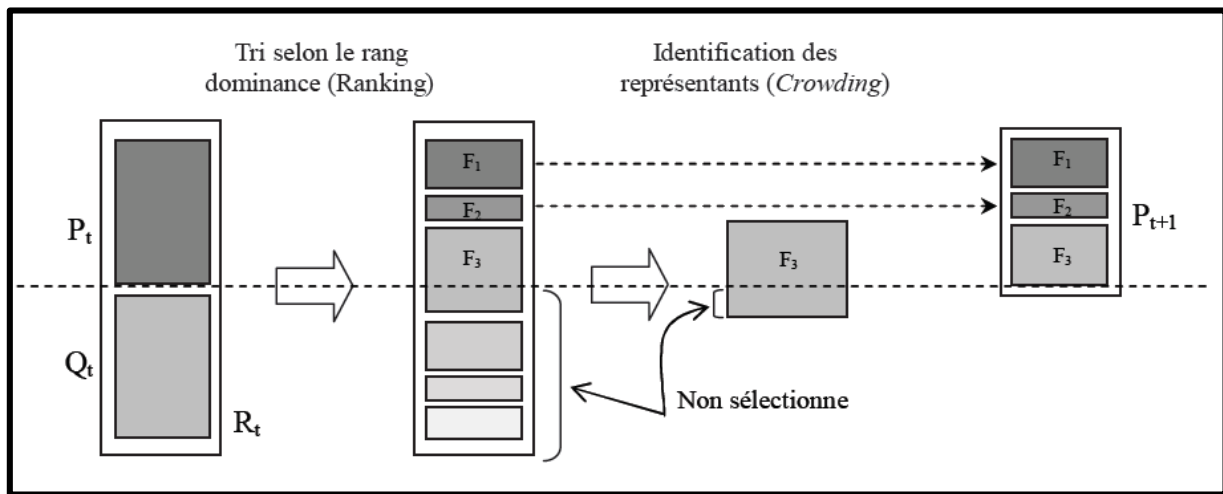


Figure V-4 : Schéma de fonctionnement de NSGA-II

V.4. Formulation de problème d'optimisation

V.4.1. Introduction

L'économie et l'industrie mondiales n'ont pas cessé d'évoluer faisant appel aux sources existantes d'énergie dont le Pétrole, GPL & Gaz qui représentent 80% du marché.

En Algérie, les travaux de forage et de production de ces ressources se sont multipliés depuis la signature du premier contrat d'association avec les compagnies étrangères en 1992 pour suivre cette demande en croissance continue.

Le développement du réseau de Transport est la conséquence directe de cette situation atteignant 16200 Kms de canalisation.

Parmi ces réseaux, le LR1 ouvrage destiné à transporter le GPL des différents champs existant dans le sud Algérien vers les sites d'exportation et de traitement.

L'optimisation de ce réseau a comme but la recherche de la meilleure configuration pour transporter les quantités prévues tout en minimisant le coût du transport en agissant sur les variables de décision (Pressions de Refoulement des stations de pompage).

V.4.2. Données de l'ouvrage LR1

Tableau V-1 : Données ouvrage GPL LR1

	Champs	PIPELINE				LOOPING		OBSERVATIN
		PK (Km)	H (m)	D _{ext} (mm)	E _p (mm)	D _{ext} (mm)	E _p (mm)	
Tronçon Sud	ALRAR	0	702,2	273,1	7,8			TERMINAL DEPART
	UNIT 02	20	709	273,1	7,8			P.S
	IN							P.S + Future
	AMENAS	40	694	273,1	7,8			Injection
	UNIT 04	60	662	273,1	7,8			P.S
	BHP	100,85	555	273,1	7,8			P.C + Injection
	TGT	100,85	555	273,1	7,8			P.C + Injection
	UNIT 06	118	558	323,9	6,35	406,4	7,92	P.S
	UNIT 07	156	570	323,9	6,35	406,4	7,92	P.S
	UNIT 08	195,6	540	323,9	6,35	406,4	7,92	P.S
	TFT	232,3	469	323,9	6,35	406,4	7,92	P.C + Injection
	UNIT 10	263,4	423,2	323,9	6,35	406,4	7,92	P.S
	UNIT 11	298	348	355,6	6,35	406,4	7,92	P.S
	UNIT 12	316,8	318	355,6	6,35	406,4	7,92	P.S
	UNIT 12b	332	380	355,6	6,35	406,4	7,92	
	UNIT 13	357,9	300	355,6	6,35	406,4	7,92	P.S
	HAMRA	395,7	274	355,6	6,35	406,4	7,92	P.S + Injection
	R.N	430,7	251,5	355,6	6,35	406,4	7,92	P.C + Injection avec Station Pompage
	SP-RN-A	430,7	251,5	355,6	6,35	406,4	7,92	
	SP-RN-R	430,7	251,5	406,4	7,92	406,4	7,92	
Tronçon Nord	UNIT 16	448,8	240	406,4	7,92	406,4	7,92	P.S
	UNIT 17	484,8	220	406,4	7,92	406,4	7,92	P.S
	G.TOUIL	503,5	208,4	406,4	7,92	406,4	7,92	P.S + Future Injection
	UNIT 19	524,3	198	508	8,74			P.S
	UNIT 20	544,9	186,4	508	8,74			P.S
	UNIT 21	565,6	178	508	8,74			P.S
	UNIT 22	586,4	167	508	8,74			P.S
	UNIT 23	604,3	160	508	8,74			P.S
	UNIT 24	623,3	151	508	8,74			P.S
	SUD 2	653,5	167	508	8,74			P.S + Injection

HMD	681,5	151	508	8,74			
SP1-A	681,5	151	508	8,74			P.C + Injection avec Station Pompage
SP1-R	681,5	151	508	8,74			
UNIT 27	694,5	177	508	8,74			P.S
UNIT 28	715,5	147,5	508	8,74			P.S
UNIT 28b	723,5	150	508	8,74			P.S
UNIT 29	741,6	135,6	508	8,74			
UNIT 29b	753,8	220,6	508	8,74			
GUEL	769,5	169	508	8,74			P.S + Injection
UNIT 30b	778	228	508	8,74			
SP2-A	805,7	260	610	8,74			P.C + Station Pompage
SP2-R	805,7	260	610	10,3			
UNIT 32	837,6	317,5	610	10,3			P.S
UNIT 33	857,5	352	610	10,3			P.S
UNIT 34	878,5	411,5	610	10,3			P.S
O.N	900,7	496	610	10,3			P.S + Injection
UNIT 36	918,3	558	610	9,52			P.S
UNIT 37	936,6	626	610	9,52			P.S
UNIT 38	954,3	708	610	9,52			P.S
UNIT 39	971,3	770	610	9,52			P.S
H.R'mel	988,2	775	610	9,52			TERMINAL ARRIVEE

V.5. Problème 1 : Minimisation de puissance

V.5.1. Fonction Objective

La puissance totale (à Minimiser) est définie comme :

$$P = \sum_{i=1}^n Pu_i \quad \text{avec :} \quad (Pu)_i = \left(\frac{\Delta P \cdot Q}{\eta_P} \right)_i \quad (V-2).$$

Pu_i : Puissance consommée de la Station de Pompage " i " [J/s]

ΔP : Différence de pression développée par la Station " i " [Pa]

Q : Débit Total traversant la pomperie de la station " i " [m³/s]

η_P : Rendement Total de la Station " i "

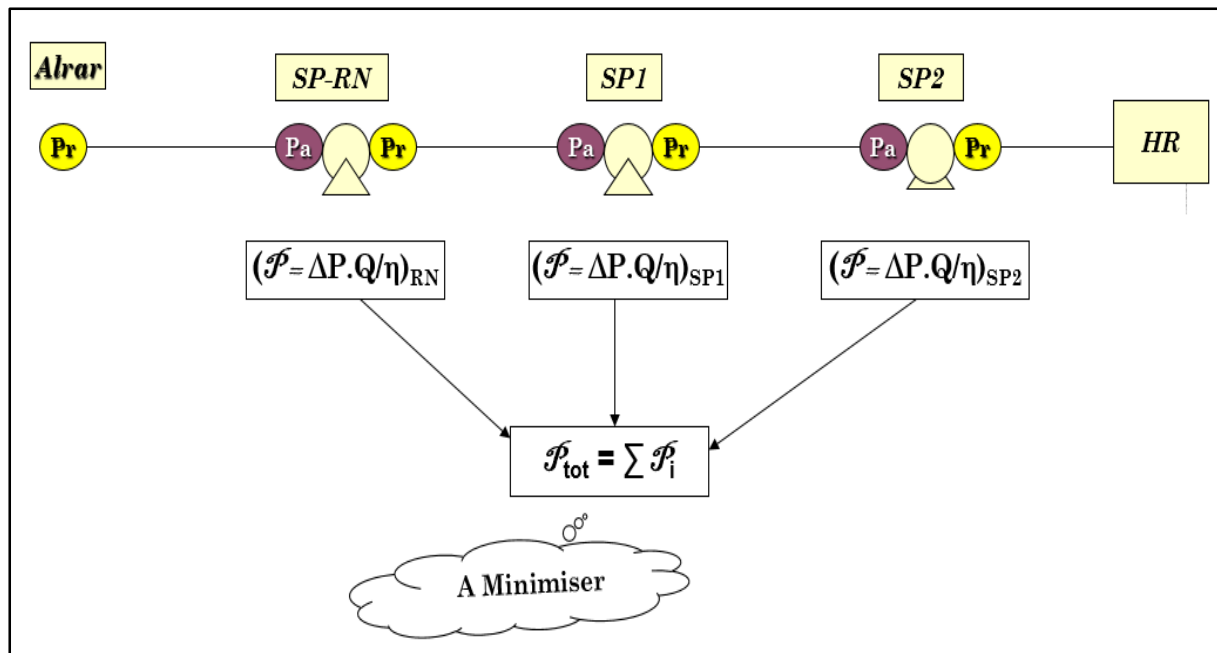


Figure V-5 : Formule générale de Minimisation de puissance

V.5.2. Variables de Décision

Ce sont les variables ayant une influence directe sur le processus et sur lesquels l'opérateur peut exercer une décision selon un critère d'optimisation prédéfini. Dans ce problème nous prenons les pressions de refoulement des trois stations de pompage (SP-RN, SP1-(HEH) et SP2-(HEH)).

Tableau V-2 : Les limites des variables de décision

Variables					
Pref SP-RN (bars)		Pref SP1- (HEH) (bars)		Pref SP2-(HEH) (bars)	
min	max	min	Max	min	max
25	60	25	75	40	60

V.5.3. Contraintes

Les Variables de Décision sont souvent soumises à des limitations d'ordre Technique ou Politique définissant ainsi le domaine d'évolution de ces variables. Pour un Oléoduc, la Pression Maximale de Service dite : PMS est une Contrainte importante. La Différence de pression qu'une Station peut développer, le débit minimal & maximal qu'un champ peut injecter sont aussi des éléments vitaux dans la famille des Contraintes dans un problème d'optimisation d'un Oléoduc. (Voir le tableau V-3 : Limitations techniques des pressions des champs).

V.5.4. Formulation du problème d'optimisation n°1

Le problème d'optimisation s'écrit de la manière suivante Trouver

$$[P_{\text{ref}} \text{ SP}_{RN}, P_{\text{ref}} \text{ SP1(HEH)}, P_{\text{ref}} \text{ SP2(HEH)}] \text{ qui } \left\{ \text{Minimise } (Pu)_i = \left(\frac{\Delta P \cdot Q}{\eta_p} \right)_i \right\} \quad (V-3).$$

Nous donnons les débits d'injections des champs suivants :

Débits d'injection	Q m3/h
Q_inj_1 Alrar	160
Q_inj_2 BHP	160
Q_inj_3 TGT	200
Q_inj_4 TFT	200
Q_inj_5 HAMRA	70
Q_inj_6 R.N	160
Q_inj_7 SUD2	200
Q_inj_8 HMD	160
Q_inj_9 GUEL	45
Q_inj_10 O/N	0

Le problème d'optimisations est limité par les contraintes suivantes :

Tableau V-3 : Limitations techniques des pressions des champs

Champs	P-min bars	P-max bars
Alrar	35	60
BHP	18	60
TGT	18	60
TFT	18	60
HAMRA	18	60
R.N	18	60
SP-RN asp	18	60
SUD2	18	60
HMD	18	60
SP1-asp	30	60
GUEL	18	77
SP2-asp	18	77
O/N	18	77
H'Rmel	18	77

V.6. Problème 2 : Maximisation de débit

V.6.1. Fonction Objective

Le Débit Total à Hassi Rmel (à Maximiser)

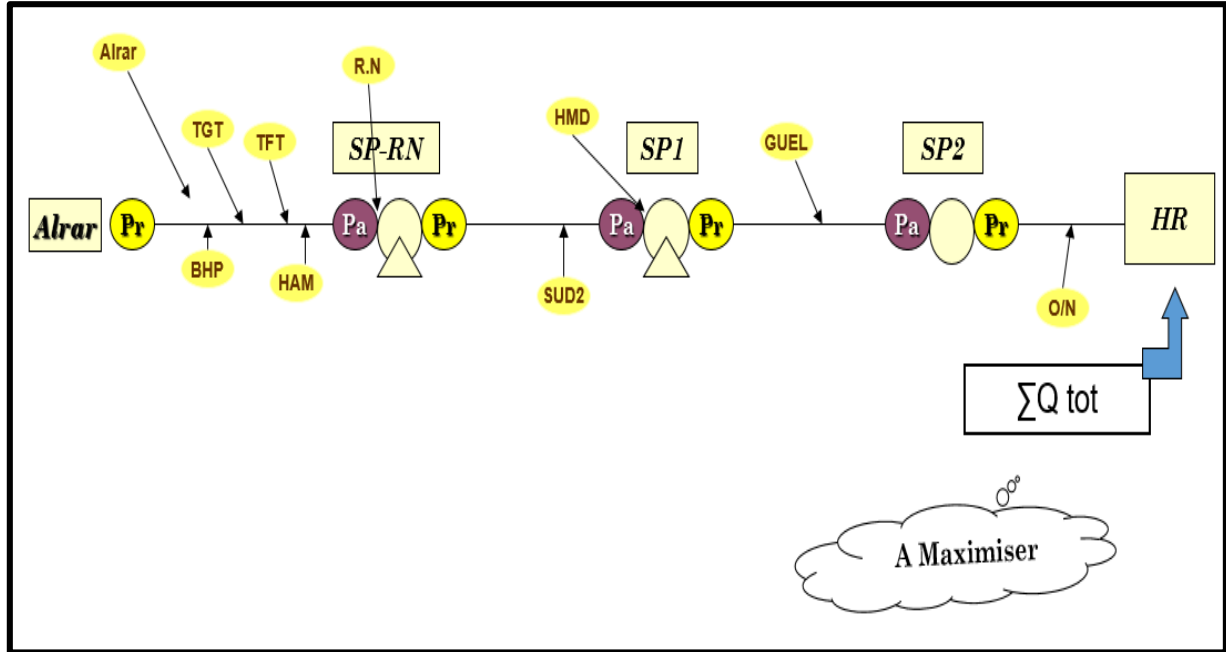


Figure V-6 : Formule générale de Maximisation de débit

V.6.2. Variables de Décision

Le Tableau V-4 présente les limites des variables de décision de problème d'optimisation.

Tableau V-4 : Limitations de l'espace de recherche

Variable	Min	Max
Pression	P_min	P_max
P_Alarar	35	60
SP RN	25	60
SP1	25	75
SP2	40	70
Debits d'injection	Q-min m3/h	Q-max m3/h
Q_inj_1 Alrar	120	160
Q_inj_2 BHP	80	160
Q_inj_3 TGT	80	160
Q_inj_4 TFT	100	230

Q_inj_5	HAMRA	60	80
Q_inj_6	R.N	120	160
Q_inj_7	SUD2	80	320
Q_inj_8	HMD	60	170
Q_inj_9	GUEL	40	50
Q_inj_10	O/N	50	40

V.6.3. Contraintes :

(Voir Tableau V-3 : Limitations techniques des pressions des champs).

V.7. Résultat et discussion

Un algorithme génétique (AG) a été utilisé avec les paramètres du (Tableau V-5) implanté dans MATLAB. L'avantage évident de l'approche AG par rapport aux approches d'optimisation conventionnelles réside dans le fait qu'AG examine un certain nombre de solutions en un seul cycle de conception, garantissant ainsi une solution quasi optimale résultant du processus d'optimisation.

Tableau V-5 : Paramètres d'algorithmes génétiques

Parameters	Valeurs
Taille de la population	50 Individus
Nombre de generations	200 generations
Pression de selection	1.4
Probabilite de mutation	0.2

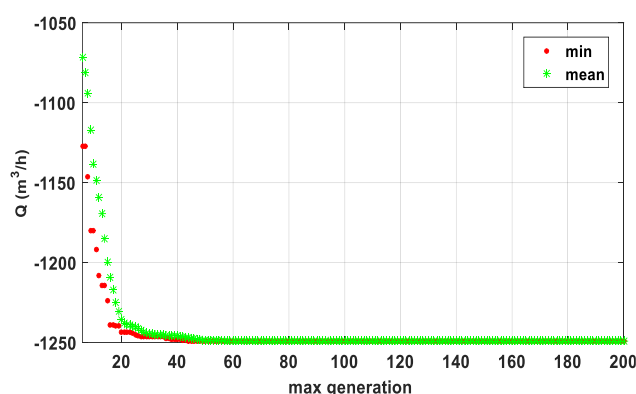
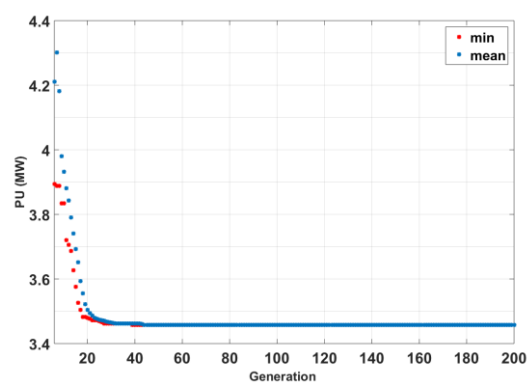
Problème 1**Problème 2**

Figure V-7 : Représentation de l'évolution de fonction objective à travers les itérations des problèmes 1 et 2

Tableau V-6 : La solution optimale de problème 1 (Minimisation de puissance)

Fonction objectif Pu (MW)	Debit Total (m3/h)	Pref SP-RN (bars)	Pref SP1 (bars)	Pref SP2 (bars)
3.4742	1355	60	75	63.41

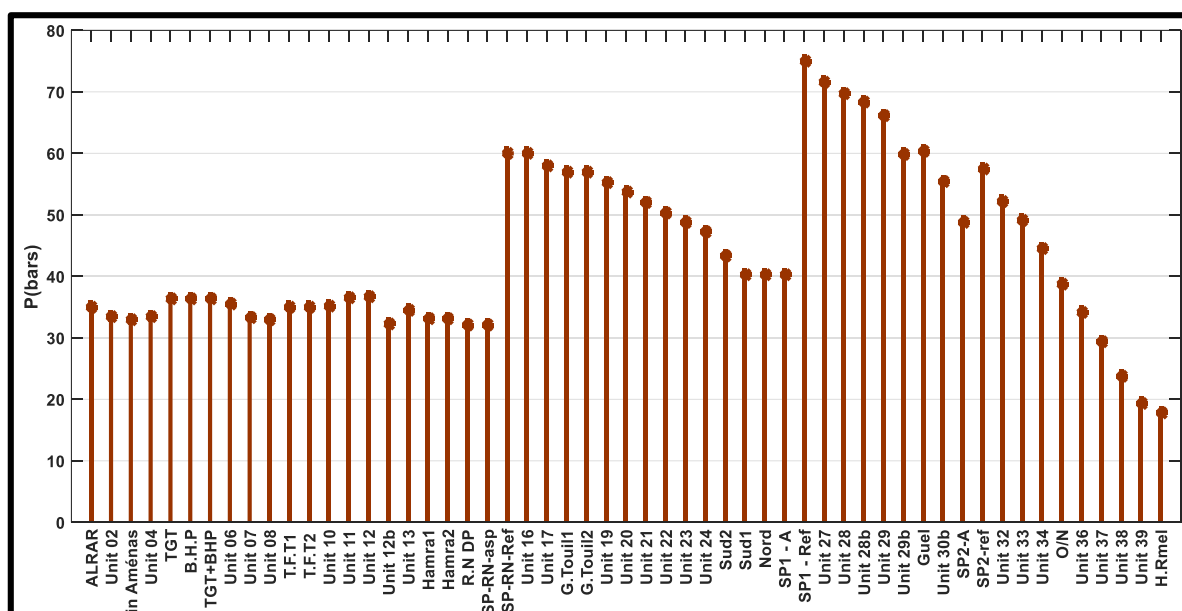
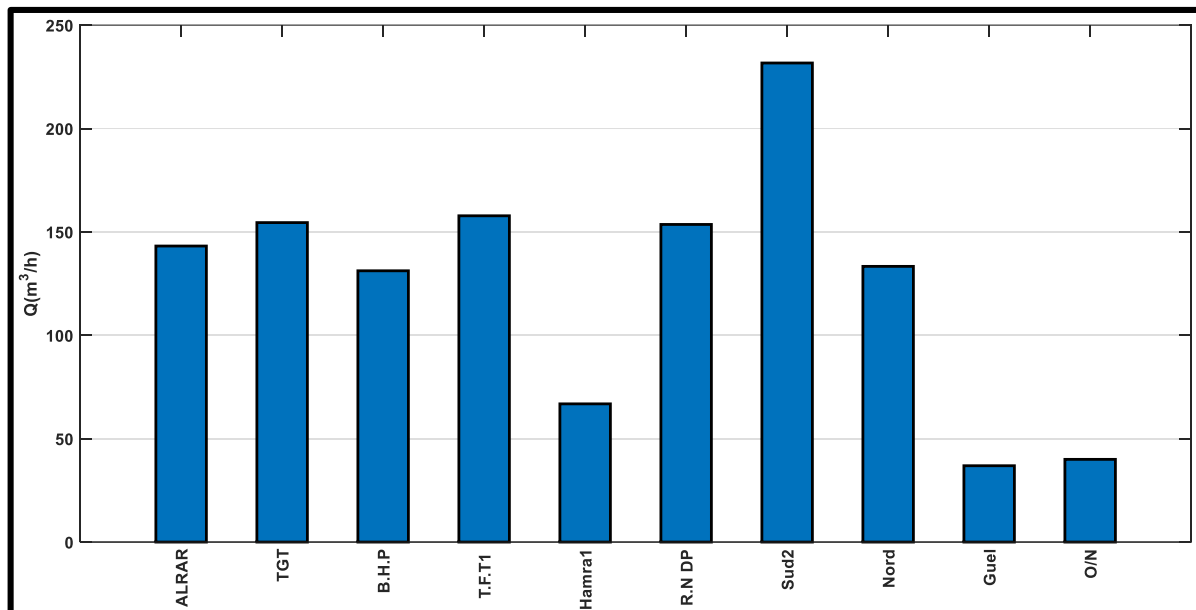


Figure V-8 : Pression des ouvrages LR1

Tableau V-7 : La solution optimale de problème 2 (Maximisation de débit total)

Débit Total (m³/h)	1249.03
Pu (MW)	2.449
Pref SP-RN (bars)	51.326
Pref SP1 (bars)	74.489
Pref SP2 (bars)	60
P Alrar	52.047
Q_inj_1 Alrar	143.17
Q_inj_2 BHP	154.5
Q_inj_3 TGT	131.2
Q_inj_4 TFT	157.79
Q_inj_5 HAMRA	66.842
Q_inj_6 R.N	153.61
Q_inj_7 SUD2	231.68
Q_inj_8 HMD	133.33
Q_inj_9 GUEL	36.915
Q_inj_10 O/N	40

**Figure V-9 : Débits d'injections des champs**

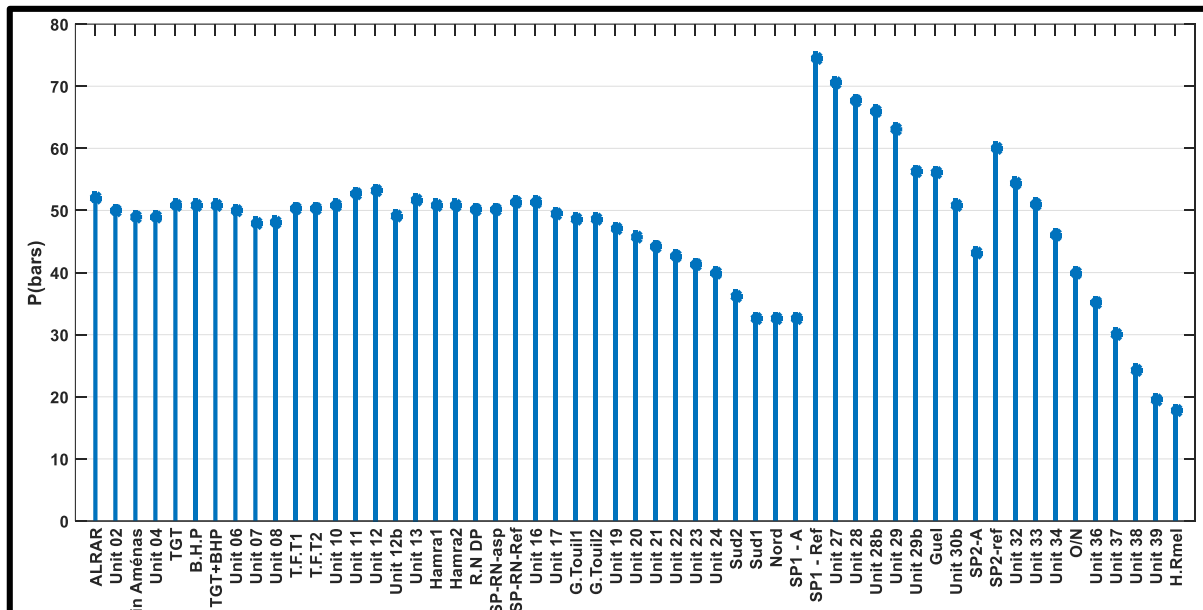


Figure V-10 : Pression locale des ouvrages LR1

V.8. Problème 3 : Optimisation Multi-Objectif

V.8.1. Fonction objective

Minimisation de puissance et Maximisation de débit Total

V.8.2. Variables de Décision

Les variables de décision et la limitation de l'espace de recherche sont présentés dans le Tableau V-4.

V.8.3. Contraintes

Le Tableau V-3 représente les limitations techniques des pressions des champs.

Notre problème est résolu dans les états suivants :

- ❖ **Etat 01 : Arrêt SP-RN**
- ❖ **Etat 02 : Arrêt SP1(HEH)**
- ❖ **Etat 03 : Arrêt SP2(HEH)**
- ❖ **Etat 04 : Les 3 Station de pompage en Marche**

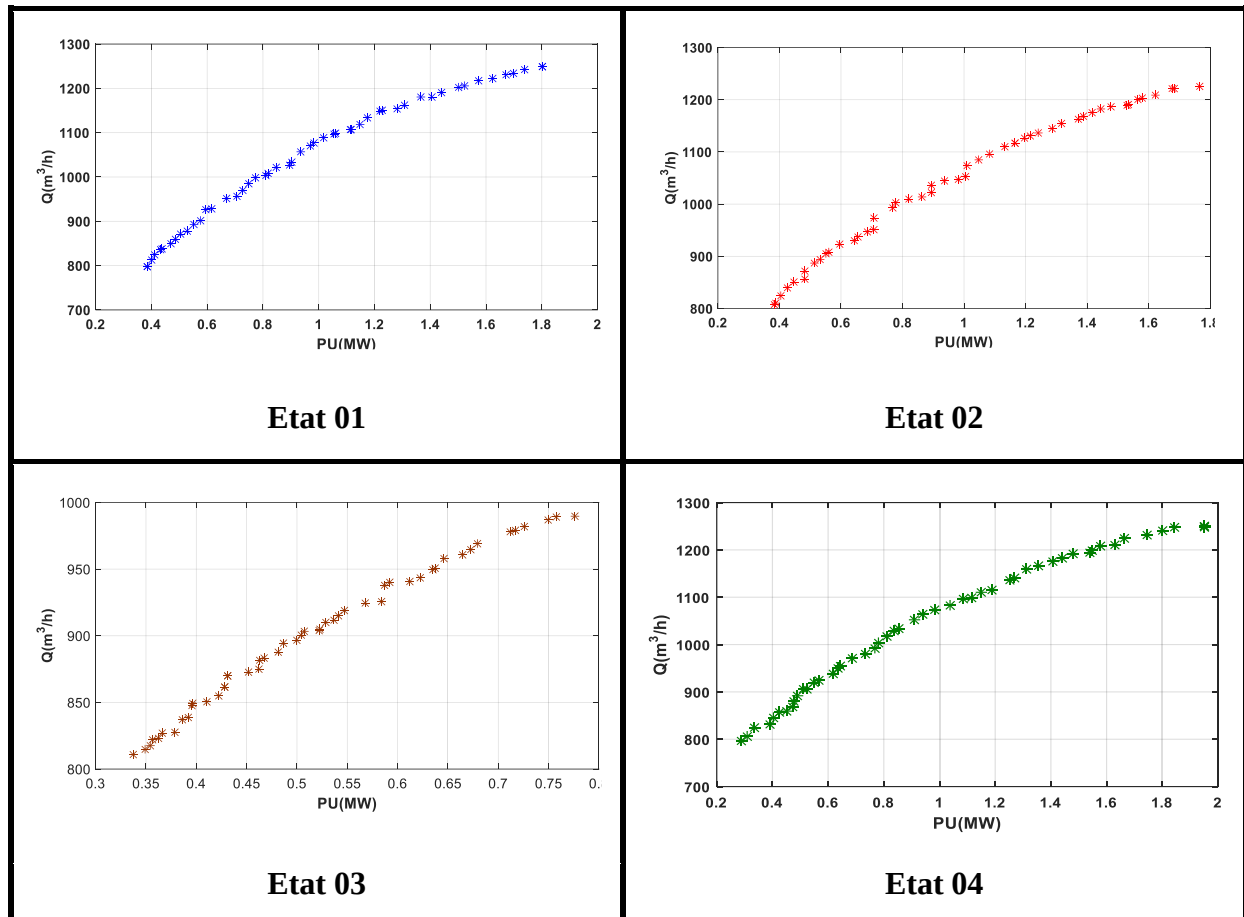


Figure V-11 : présente les courbe de Pareto qui présentent les solutions optimales des chaque états.

Tableau V-8 : La solution optimale de problème 3 (Multi objectifs)

	Etat 01	Etat 02	Etat 03	Etat 04	Cas Reel
Débit Total (m³/h)	1248.9	1225.3	989.80	1249	1355
Pu (MW)	2.0423	1.8008	0.6918	1.979	4.185
Pref SP-RN (bars)	48.707	60	60	60	58
Pref SP1 (bars)	66.915	47.782	75	73.375	70
Pref SP2 (bars)	60	60	51.307	60	69.7
P alrar	54.362	52.757	53.152	59.522	50.5
Q_inj_1 Alrar	127.96	139.33	134.5	156.55	160
Q_inj_2 BHP	85.845	136.25	89.951	123.31	160
Q_inj_3 TGT	119.68	81.756	80	115.66	200
Q_inj_4 TFT	147.2	100.21	131.01	145.14	200
Q_inj_5 HAMRA	80	68.883	65.393	65.471	70
Q_inj_6 R.N	133.33	137.08	136.72	141.56	160
Q_inj_7 SUD2	320	313.44	143.62	320	200
Q_inj_8 HMD	151.37	159.24	118.6	91.326	160
Q_inj_9 GUEL	43.673	49.139	50	50	45
Q_inj_10 O/N	39.849	40	40	40	0

Une comparaison entre la puissance consommée et le débit de gaz transporté pour le régime de fonctionnement usuel et pour le régime de fonctionnement obtenue avec est représentée dans le Tableau V-8.

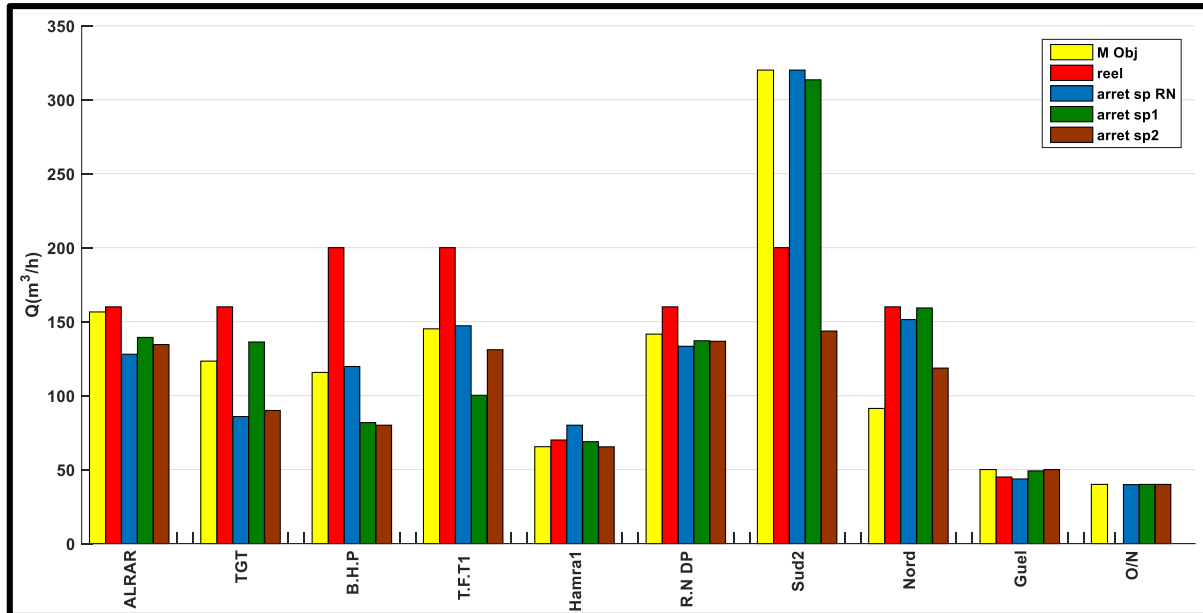


Figure V-12 : présente les régimes d'injection des champs dans les quatre états avec le cas réel.

V.9. Conclusions

L'étude d'optimisation de puissance (Problem1) sur un cas réel a montré qu'on peut réduire cette dernière de 17% en choisissant les bonnes valeurs de la pression de refoulement des opérateurs : ALRAR, SP-RN, SP1 et SP2.

Les résultats de l'optimisation objective, comparant avec le cas réel, ont montré qu'une perte de débit de 6.44% entraînait un gain d'énergie de 53.98%.

Conclusion générale

Dans ce travail que nous nous intéressons à la résolution d'un problème d'optimisation pour minimiser l'énergie nécessaire de transport de GPL sur LR1. Notre objectif était d'implémenter une méthode approchée à base de l'algorithme d'optimisation par l'algorithme génétique. Nous avons présenté dans notre travail, une description générale sur la ligne de transport LR1 dans une première partie de ce travail, ensuite deuxième partie nous avons présenté quelques notions importantes sur les problèmes d'optimisation et les méthodes de résolution pour ce problème.

L'implémentation de la méthode appliquée, a permis d'obtenir des résultats satisfaisants en un temps raisonnable. L'évaluation des résultats obtenus avec les solutions optimales en utilisant des algorithmes évolutionnaires montre que les algorithmes génétiques sont une bonne alternative pour la résolution de ces problèmes non linéaire.

Suite aux résultats obtenus, les calculs ont montré que pour une meilleure maximisation, l'arrêt de SP-RN est recommandé. L'optimisation de puissance a montré que si nous choisissons les meilleures valeurs de pressions de refoulement de station de pompage.

La résolution du problème multi-objectif en choisir comme des fonctions objectives la maximisation de débit et la minimisation de puissance, donne un équilibre entre les deux objectives. Le résultat a montré qu'une perte de débit de 6.44% entraînait un gain d'énergie de 53.98%.

Ce travail car il reste beaucoup de chemin à explorer. Notre étude peut être continuée dans plusieurs directions. Nous proposons d'améliorer le modèle décrivant les différents écoulements dans le réseau considéré.

Bibliographie

- [1] Z. HANICHI Mémoire de fin d'étude Ingénieur, Thème «Optimisation des paramètres de fonctionnement d'une débutaniseuse», Université de Boumerdes, 2005.
- [2] L. CHEBLI, Y. ABBASSI Mémoire de fin d'étude Master en génie des procédés, Thème «Calcul Des Paramètres De Fonctionnement Du Dépropaniseur (Unité (38), Traitement De GPL) "module iii à hassi r'mel"» Université Mohamed khider Biskra, 2012.
- [3] S. AOUANA, R. BENAICHA Projet professionnel de fin de formation Ingénieur spécialisé, Thème «Optimisation de l'ouvrage OK1 par le changement du régime de pompage 2700 au lieu de 2400 et 3300 m³/h» Institut Algérien de pétrole (IAP), 2017.
- [4] I. CHOUKI Mémoire PGS, Thème «choix de la variante optimale de l'exploitation de l'ouvrage LR1/ GPL» Université INHC Boumerdes, 2009.
- [5] N. ZERAIBI lissage des courbes. Méthode des moindres carrés. Technique numérique cours de PGS 2008.pp30-36.
- [6] G. Allaire Analyse numérique et optimisation, éditions de l'école Polytechnique, 2005.
- [7] J. Bonnans Optimisation numérique, coll. SMAI Mathématiques et Applications no27, Springer, 1997.
- [8] B. Sana Lignes d'usinage avec équipements standard Modélisation, configuration et optimisation. École Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 2006.
- [9] M. Chandrasekaran, Application of soft computing techniques in machining performance prediction and optimization a literature review. Springer-Verlag London, 2009.
- [10] L.J. Fogel, A. J. Owens and M. J. Walsh Artificial Intelligence through Simulated Evolution. New York, Wiley, 1966.
- [11] Evolution and Optimum Seeking. Schwefel H-P, New York, Wiley 1995.
- [12] **Genetic** Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Z. Michalewicz. 3rd edn, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1996.

-
- [13] Genetic Programming. Koza J.R. Cambridge MA, MIT Press, 1992.
- [14] Optimisation multi objectif et stratégie d'évolution en environnement dynamique. Alin Berro 2001 thèses de doctorat.
- [15] Multi objective Optimization using the Niche Pareto Genetic Algorithm. J.Horn and N.Nafpliotis. Illigal TR, n° 93005, July 1993.
- [16] An evolutionary algorithm for multiobjective optimization: the strength Pareto approach. Technical report, Swiss Federal Institute of Technology E. Zitzler and L. Thiele. (Zurich), 1998.
- [17] The Pareto Archived Evolution Strategy: A new Baseline Algorithm for Multiobjective Optimisation. J.D.Knowles and D.W.Corne. Congress on Evolutionary Computation, p. 98-105, Washington, July 1999.
- [18] Pareto-Envelope based Selection Algorithm for Multiobjective Optimization. J.D.Knowles, D.W.Corne and M.J.Oates. In proceedings of the sixth international conference on parallel problem solving from nature (PPSN VI), p. 839-848, Berlin, septembre 2000.
- [19] PESA II: Region-based Selection in Evolutionary Multiobjective Optimization. D.W.Corne and al, in Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO' 2001), p. 283-290, San Francisco, California, 2001.
- [20] A Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization: NSGA II. K.Deb. Parallel problem solving from Nature - PPSN VI, springer lecture notes in computer science, p. 849-858, 2000.
- [21] **Approches** hybrides pour les problèmes multiobjectifs. V.Barichard, Thèse de Doctorat 2003, école doctorale d'Angers.

Titre du mémoire : OPTIMISATION D'EXPLOITATION DE PIPELINE DU GPL/LR1.

Master : Energétique

Auteur : HENKA Ali, AZEB Abdallah Yousef, OUASSA Mounir

Mots clés : GPL, L'Ouvrage LR1, Optimisation Multi-objectif, algorithmes génétiques, Stations de Pompage, Looping.

Résumé :

La consommation mondiale de gaz de pétrole liquéfié continue d'augmenter, considérant que son résultat économique est rentable et qu'il s'agit d'un carburant propre et efficace pour demain, la production de ce dernier est donc soumise à des normes et caractéristiques strictement définies. Le but de ce travail est d'étudier une amélioration du transport du GPL en réduisant la quantité d'énergie consommée avec une augmentation du débit tout en maintenant toutes les conditions le long de la ligne. Dans ce travail, nous résolvons le problème d'optimisation polyvalent en utilisant l'algorithme du gène NSGAI implémenté dans le programme Matlab.

Report title: OPTIMIZATION OF OPTIMIZATION OF LPG / LR1 PIPELINE.

Keywords: LPG, LR1, Multi-objective optimization, genetic algorithms, Pumping Stations, Looping.

Abstract:

The global consumption of liquefied petroleum gas continues to increase, considering that its economic result is profitable and that it is a clean and efficient fuel for tomorrow, the production of the latter is therefore subject to standards and characteristics strictly defined. The aim of this work is to study an improvement in LPG transport by reducing the amount of energy consumed with an increase in flow while maintaining all conditions along the line. In this work, we solve the multipurpose optimization problem using the NSGAI gene algorithm implemented in the Matlab program.

عنوان المذكرة: تحسين المثالي لخط أنبوب غاز البترول السائل LR1/ .

الكلمات المفتاحية: غاز البترول السائل، خط نقل، تحسين متعددة الأهداف، الخوارزمية الجينية، محطات الضخ، خط التفريغ.

الملخص:

إن الاستهلاك العالمي لمادة غاز البترول السائل في إزداد مستمر بإعتبار حصيلته الاقتصادية مربحة وبأنه وقود نظيف وفعال للغد، لذا فإن إنتاج هذا الأخير يخضع لمقاييس وخصائص محددة بدقة. إن الهدف من هذا العمل هو دراسة تحسين في نقل غاز البترول السائل عن طريق تخفيض كمية الطاقة المستهلكة مع زيادة في كمية التدفق مع الحفاظ على جميع الشروط على طول الخط. في هذا العمل قمنا بحل مشكلة التحسين متعددة الأهداف بإستخدام الخوارزمية الجينية NSGAI المنجز في برنامج ماتلاب