

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahleb de Blida 1

Faculté des Sciences

Département des Mathématiques



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER

*Recherche Opérationnelle - Modèles et Méthodes pour l'Ingénierie et la
Recherche*

Thème

Optimisation du transport de l'hydrocarbure par Canalisation

Présenté par :

- *M_r*ZIANI Salah eddine.
- M_r* DRICHI Redouane.

Encadré par :

- *Madame*: GUEHAM Assia .
- *Monsieur* : LEFGOUNE Madjid.

Devant le jury composé de :

Présidente : *Madame*: BETROUNI Latifa USDB 1.

Examinatrice : *Madame*: ARRACHE Saida USDB 1.

Année universitaire : 2019/2020.

Remerciement

Avant tout louange à notre Dieu.

Au terme de ce travail, je remercie vivement la société **SONATRACH** de nous avoir bien accueillis.

Que le monsieur **LEFGOUNE MADJID** qui a dirigé et guidé ce travail avec toute compétence et patience trouve ici l'expression de notre profonde gratitude et mes sentiments de respect les plus distingués. Je devrais témoigner du grand plaisir que j'ai eu à travailler avec lui et avouer que j'ai beaucoup appris auprès de lui.

Je tiens à présenter notre profonde gratitude à madame **GUEHAM ASSIA** pour sa disponibilité et de me faire partager ses connaissances, son expérience et son savoir-faire. Ses critiques constructives et son aide morale étaient indispensables à la réalisation de ce travail.

tous les personnels de la société **SONATRACH**, qui nous ont bien encadrés et qui nous ont fait sentir comme si nous étions chez nous.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.

Dédicace

Nous offrons ce modeste travail :

A nos chers parents,

Aucune dédicace ne pourra faire témoin de notre profond amour, notre immense gratitude et notre plus grand respect à votre égard. On n'oubliera jamais la tendresse et l'amour dont Vous nous avez entourés depuis notre enfance.

A toute notre famille, frères et sœurs, pour leur soutien moral.

A tous nos amis, et à tous ceux qu'on aime et à toutes les personnes qui nous ont encouragé et se sont données la peine de nous soutenir durant cette formation.

A nos chers enseignants du Département des Mathématiques et spécialement spécialité Recherche Opérationnelle.

A ceux qui nous sont cher

Salah Eddine ; Redouane

Résumé : Ce travail est une modeste contribution à la formulation mathématique d'un problème qui répond à la détermination d'un régime de fonctionnement d'un gazoduc. Ce modèle a été appliqué au hydrocarbure OZ2 Haoud El hamra- Arzew, l'optimisation des régimes de de fonctionnement consiste à minimiser la consommation du gaz par les stations de pompage qui ont pour but de compenser la perte de charge en déterminant les stations à mettre en marche, ainsi que le nombre de pompe en service dans chacune de ces stations. Une heuristique de type a mélioratif a été proposée pour déterminer une configuration Optimale. Cette heuristique représente une alternative intéressante pour l'optimisation du régime de fonctionnement d'un pétrole.

MOTS CLÉS : optimisation du transport du gaz naturel, perte de charge, modélisation mathématique, programmation non linéaire mixte en nombre entier, estimation, heuristique, métaheuristique, hybridation, moindres carrées, algorithme génétique, recuit simulé.

Abstract: This work is a modest contribution to the mathematical formulation of a problem that responds to the determination of an operating regime of an oil. This model was applied to the OZ2 Haoud El hamra-Arzew hydrocarbon, the optimization of the operating regimes consists in minimizing the consumption of gas by the pumping stations which aim to compensate the pressure drop by determining the stations to be put running, as well as the number of pumps in service in each of these stations. A heuristic of the ameliorative type has been proposed to determine an Optimal configuration. This heuristic represents an interesting alternative for optimizing the operating regime of an oil.

KEYWORDS: optimization of natural gas transport, pressure drop, mathematical modeling, mixed integer nonlinear programming, estimation, heuristics, metaheuristics, hybridization, least squares, genetic algorithm, simulated annealing.

Table des matières

1	Présentation de la société	4
1.1	Organisation de la SONATRACH	4
1.1.1	Structures opérationnelles	4
1.1.2	Structures fonctionnelles	5
1.2	Présentation de l'Activité transport par canalisastion TRC	6
1.2.1	Le transport par canalisation	6
1.3	Organisation de l'Activité TRC	8
1.4	Missions de l'Activité TRC	9
1.5	Patrimoine de l'Activité TRC	9
1.6	Hydrocarbures du pétrole	11
1.6.1	Pétrole brut	11
1.7	Mode de transport des hydrocarbures	11
1.7.1	Transport par camion-citerne	11
1.7.2	Transport par train	12
1.7.3	Transport du pétrole par les tankers	12
1.7.4	Transport par canalisation	13
1.8	Canalisation	14
1.8.1	Les caractéristiques de la canalisation	14
1.8.2	Les types de canalisation	14
1.9	Description du réseau de transport du Pétrol	15
1.9.1	Les oléoducs	16
1.9.2	Terminal de départ et d'arrivée	16
1.9.3	Les types de montage des oléoducs	17
1.10	Stations de pompage	17
1.10.1	Centres de dispatching	18
2	Les méthodes d'optimisation	20
2.1	Rappels sur l'optimisation combinatoire	20
2.1.1	Définitions préliminaires	20
2.1.2	Configuration valide et complète	21
2.1.3	Notions sur la théorie de la complexité	21
2.2	Les méthodes de résolution	24
2.2.1	Les méthodes exactes	24
2.2.2	Les méthodes de résolution approchées	26
2.3	Calcul hydrauliques	32
2.3.1	Généralités	32

2.3.2	Formule d'écoulement du pétrole	33
3	Problématique et Modélisation	36
3.1	Position du problème	36
3.2	Approche de modélisation	37
3.2.1	Données et paramètres du problème	37
3.3	Étude de la Station de pompage	40
3.3.1	Régime de fonctionnement d'une station de pompage	40
3.3.2	Régime de fonctionnement des pompes	40
3.3.3	Modélisation des courbes caractéristiques des pompes	40
3.3.4	Estimation des valeurs de la hauteur adiabatique et de la puissance	42
3.4	Formulation mathématique du problème	46
3.4.1	Les hypothèses du problème	46
3.4.2	Définition des données	46
3.4.3	Définition des variables	46
3.4.4	Définition des contraintes	47
3.4.5	L'objectif	49
4	Méthodes de résolution	52
4.1	La programmation non linéaire mixte en nombres entiers	52
4.2	Méthodes de résolution d'un problème d'optimisation	53
4.3	Heuristique OOPC de calcul de puissance	54
4.3.1	Principe de l'heuristique OOPC	54
4.3.2	Algorithme génétique	58
4.4	Adaptation des algorithmes génétiques à notre problème	68
4.4.1	Codage des données	68
4.4.2	Population initiale	69
4.4.3	Évaluation	70
4.4.4	Sélection	70
4.4.5	Croisement	70
5	Implémentation informatique	74
5.1	C'est quoi le C++ ?	74
5.2	Avantages du C++ et champs d'application	74
5.3	Résultats de l'application	75
5.4	Comparaison des résultats obtenus avec les données réelles	79

Introduction générale

Le pétrole est une huile minérale résultant d'un mélange d'hydrocarbures et de divers composés organiques utilisée comme source d'énergie, il représente la première position dans la consommation énergétique mondiale. L'exploitation du pétrole comme source d'énergie, dite fossile, est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine. Donc, facilement stockable et transportable, le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides. Il est aussi fréquemment utilisé pour la pétrochimie (caoutchoucs, plastiques, textiles, chimie)

Pour transporter des quantités de plus en plus importantes sur des distances toujours plus grandes, le système de transport des hydrocarbures par canalisation reste le mode le plus utilisé à travers le monde. Le coût d'investissement et les dépenses d'exploitation du réseau de transport par canalisation sont très importants. Une petite amélioration dans l'utilisation du système peut impliquer des montants substantiels importants.

Dans notre étude, nous intéressons à la minimisation des charges d'exploitation dans le transport du pétrole brut de Haoued El Hamra à Arzew. En effet, l'acheminement du pétrole dans le réseau passe par divers dispositifs de la conduite. Le pétrole 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 pétrole.

Pour comprimer le pétrole à travers les stations, ces dernières ont besoin de consommer une quantité de gaz prélevée à partir de la canalisation. Dans notre pays, elles consomment beaucoup de gaz naturel, plus de 600 millions de m^3 /an, soit un coût de 130 millions de dollars par an.

L'objectif de notre étude, est donc de chercher une meilleure solution qui permet de minimiser la quantité de gaz consommée par les stations de pompage de telle sorte à satisfaire la demande en transport à l'aide des méthodes de la recherche opérationnelle.

Nous avons structuré notre mémoire en cinq chapitres :

- Le premier chapitre servira à faire une brève présentation de l'entreprise SONATRACH et quelque généralité sur les hydrocarbures.
- Le deuxième chapitre est consacré essentiellement aux définitions préliminaires et aux notions les plus utilisées. Il comprend les rappels qui seront nécessaires pour la suite du document, les notions fondamentales en optimisation combinatoire et en hydraulique .
- Le troisième chapitre, est dédié à la modélisation mathématique du problème.
- le quatrième chapitre est consacré à l'approche heuristique pour la résolution du problème en question. une adaptation de l'heuristique basé sur les algorithmes génétique et recuit simulé et présenter pour tenter de résoudre le problème.
- En fin, dans le cinquième chapitre, nous avons illustré ce travail par un exemple pratique. ce qui a donné lieu à des applications informatiques.
- En conclusion finale, nous avons permis de synthétiser ce qui a été abordé dans ce mémoire.

Chapitre 1

Présentation de la société

Partie 1 :

Introduction

sonatrach est une entreprise pétrolière et gazière algérienne. Créée le 31 décembre 1963, C'est un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine. Sonatrach fournit 95

La société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures Sonatrach est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2^{me} exportateur de GNL et de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 230 millions de ten en 2006. Ses activités constituent environ 30 du PNB de l'Algérie. Elle a toujours adopté une stratégie de diversification. Elle se développe dans les activités de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables de desalement d'eau de mer, et de recherche et d'exploitation minière[1].

Aujourd'hui et après sa restructuration en 1981, sonatrach garde les principales fonctions du secteur des hydrocarbures à savoir[1] :

- L'exploitation, le forge et la production.
- Le transport des hydrocarbures.
- Le traitement et la liquéfaction du gaz naturel.
- La commercialisation des hydrocarbures liquides et gazeux.

1.1 Organisation de la SONATRACH

1.1.1 Structures opérationnelles

Les activités opérationnelles exercent les métiers du groupe et développent son potentiel d'affaires tant en Algérie qu'à l'étranger. Les activités opérationnelles, qui sont placées sous l'autorité d'un vice-président sont :[1]

- **L'Activité Exploration – Production (EP)** : L'Activité Exploration-Production (EP) de SONATRACH a pour mission la recherche, le développement, l'exploitation et la pro-

duction des hydrocarbures.

- **L'Activité Liquéfaction, Raffinage et Pétrochimie (LRP)** : L'Activité Liquéfaction-Séparation (LQS) a pour mission la transformation des hydrocarbures par la liquéfaction du gaz naturel et la séparation des GPL.
- **L'Activité Transport par Canalisations (TRC)** : assure le transport des hydrocarbures depuis les pôles de production au sud vers les pôles de demande et de transformation au nord (marché national et exportation).
- **L'Activité Commercialisation (COM)** : a pour missions l'élaboration et l'application de la stratégie de Sonatrach en matière de commercialisation des hydrocarbures sur le marché intérieur et à l'international par les opérations de trading et des hipping. Ces opérations sont menées en coopération avec les filiales NAFTAL pour l'approvisionnement du marché national en produits pétroliers et gaziers (GPL), HYPROCSC pour le transport maritime de ces produits et COGIZ pour la commercialisation des gaz industriels.

1.1.2 Structures fonctionnelles

- **Direction Coporate :**

- Stratégie, Planification Économie (SPE).
- Finances (FIN).
- Ressources Humaines (RHU).

- **Direction Centrale :**

- Filiales participations (FIP).
- Activités Centrales (ACT).
- Juridique (JUR).
- Informatique Système d'Information (ISI).
- Marchés et Logistique (MLG).
- Santé, sécurité environnement (HSE).
- Business Développement (BSD) : nouvelle direction chargée de détecter des opportunités de croissance, d'évaluer et de lancer des nouveaux projets dans les activités de base de l'entreprise.
- Recherche Développement (RDT) : nouvelle direction chargée de promouvoir et de mettre en œuvre la recherche appliquée et de développer des technologies dans les métiers de base de l'entreprise.

Les structures opérationnelles et structures fonctionnelles de sonatrach sont schématisées par l'organigramme suivant.

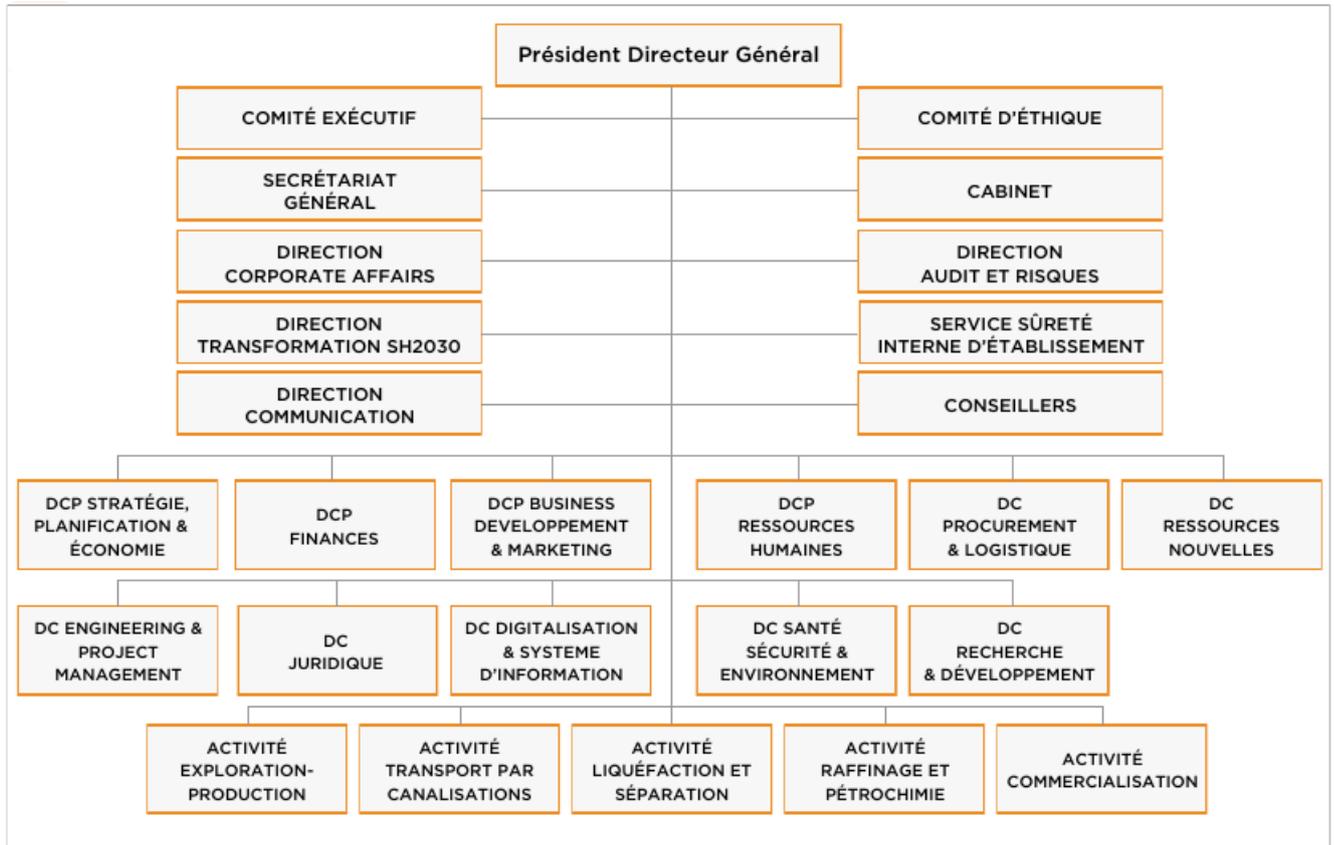


FIGURE 1.1 – ORGANIGRAMME DE LA MACROSTRUCTURE DE SONATRACH

1.2 Présentation de l'Activité transport par canalisation TRC

Le Réseau de Transport par canalisation assure le transport, au profit des Utilisateurs, de toute production d'Hydrocarbures des Points d'Entrée aux Points de Sortie. Il permet également d'alimenter le marché national, les complexes de GNL en Gaz, les complexes de séparation en GPL et les raffineries en pétrole brut et en Condensat.

L'Activité Transport par Canalisation (TRC) a pour missions de développer le réseau de Transport par Canalisations, Elle assure le transport des hydrocarbures depuis les pôles de production au sud vers les pôles de demande et de transformation au nord (marché national et exportation).

1.2.1 Le transport par canalisation

Le Réseau de Transport des Hydrocarbures Liquides et Gazeux est constitué d'un ensemble de canalisations, de stations de pompage, de stations de compression, de parcs de stockage, assurant

le transport des effluents issus des champs de production, d'un centre de stockage ou d'un dispatching, vers les pôles industriels de traitement et de liquéfaction, de transformation, d'exportation et d'alimentation du marché national.

Le transport par canalisations est une étape charnière dans la chaîne des hydrocarbures.

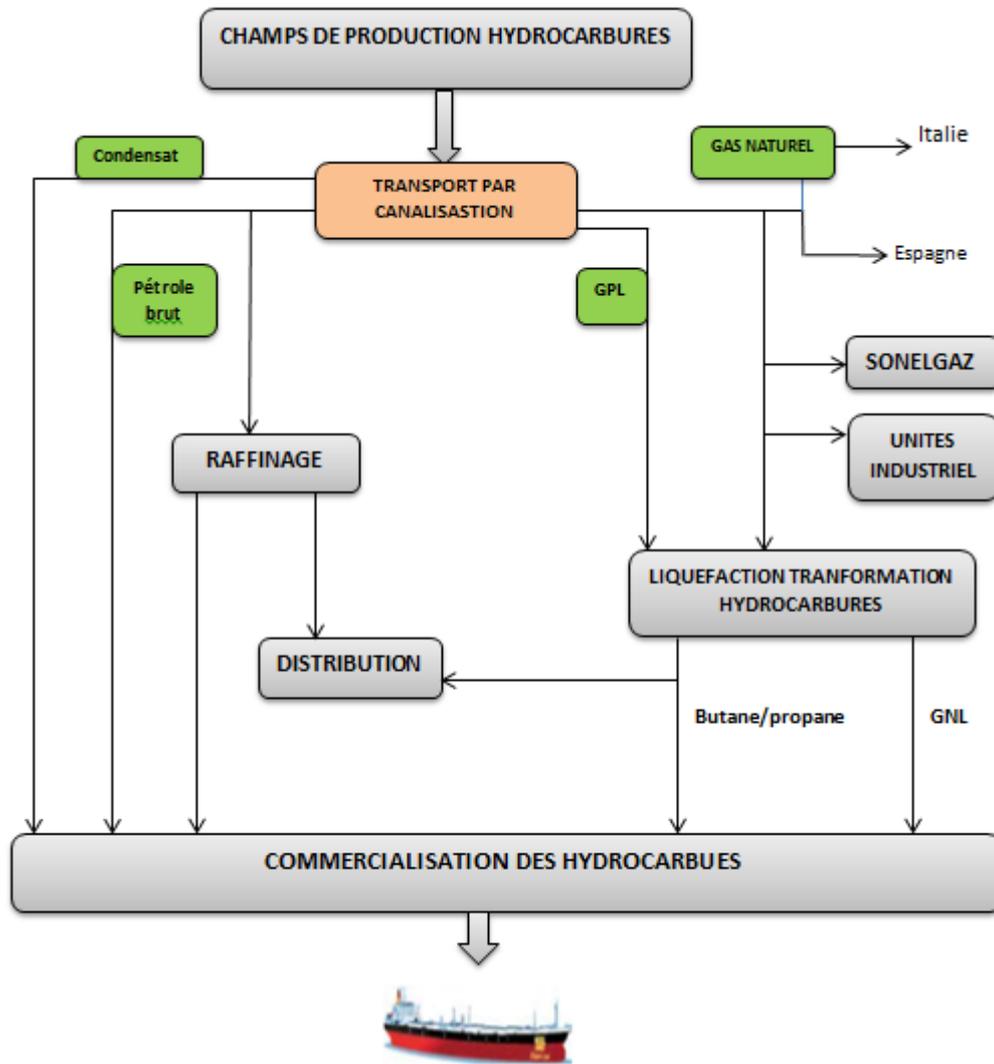


FIGURE 1.2 – Le processus du transport des hydrocarbures

1.3 Organisation de l'Activité TRC

L'activité Transport par Canalisation est organisée autour des Structures Opérationnelles et des Structures Fonctionnelles. La figure suivante montre l'organigramme de TRC :

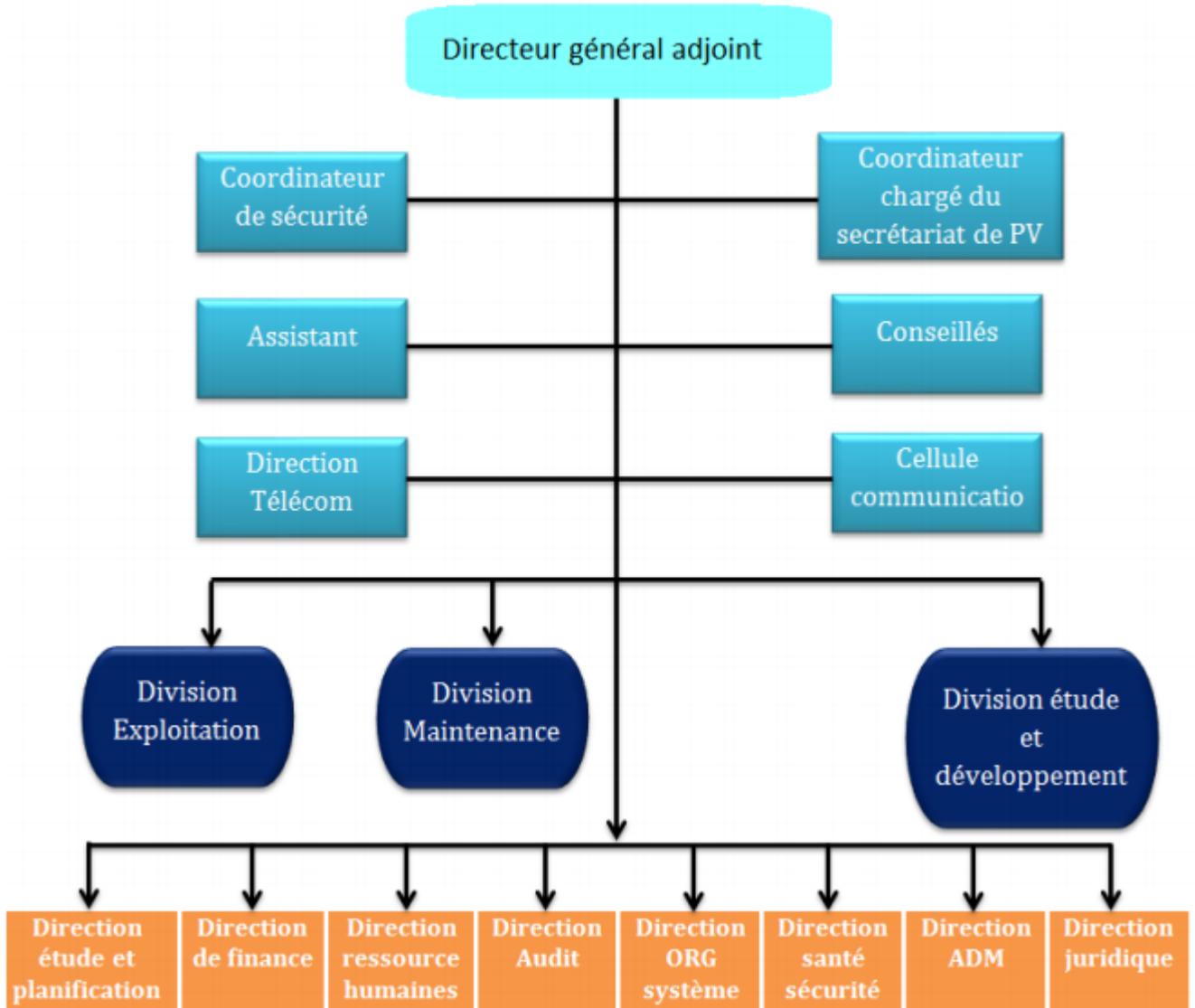


FIGURE 1.3 – Organigramme de l'Activité TRC

1.4 Missions de l'Activité TRC

L'activité de transport par canalisation a pour missions [20] :

- Le transport par pipeline des hydrocarbures, liquides, gazeux et liquéfiés depuis les centres de production jusqu'aux terminaux d'Arzew Bejaia et Skikda.
- Le stockage, la livraison et le chargement des hydrocarbures.
- La maintenance des ouvrages de transport des hydrocarbures et des installations de chargement portuaires à quai et en haute mer.
- La conduite des études, la réalisation et la gestion des projets de développement du réseau

1.5 Patrimoine de l'Activité TRC

Le développement du Réseau de Transport depuis la construction de la première canalisation en 1959, a été engendré par les besoins en matière de transport en constante croissance, nécessitant ainsi le développement continu de nouvelles Capacités de transport.

Ce Réseau de Transport est composé de deux parties complémentaires [16] :

- **Un réseau sud, qui assure le transport :**

- Des effluents issus des gisements vers Haoud El Hamra (CDHL) pour le pétrole brut et le Condensat et vers Hassi-R'mel (CNDG) pour le Gaz naturel et le GPL.

- **Un réseau nord qui assure le transport :**

- du pétrole brut du CDHL vers les raffineries et les ports d'exportation.
- du Condensat du CDHL et du gisement de Hassi R'mel vers la raffinerie de Skikda et les ports d'exportation ;
- du Gaz naturel du CNDG vers le marché national, les Gazoducs destinés à l'exportation et les complexes de liquéfaction ;
- du GPL de Hassi-R'mel vers les complexes de séparation.

En 2018, le Réseau de Transport du Concessionnaire, comprenant des canalisations d'une longueur totale de 20 927 km, est composé principalement de ce qui suit[16] :

- 21 oléoducs d'une longueur de 9 946 km, avec une Capacité de transport de 247,553 Millions de Tep/an.
- 18 gazoducs d'une longueur totale de 10 981 km, avec une Capacité de transport de 195,121 Milliards de Sm^3/an .
- 83 stations de pompage et de compression.

1.5. PATRIMOINE DE L'ACTIVITÉ TRC

- 127 bacs de stockage de pétrole brut et de Condensat, d'une Capacité design de 4,2 Millions de Tep.
- 02 Centres de Dispatching Liquides et Gaz.
- 12 postes de chargement de pétrole brut et de Condensat à quai et 05 postes de chargement de pétrole brut en haute mer (02 à Arzew, 02 à Skikda et 01 à Béjaïa) de type SPM (Single Point Mooring), implantés au niveau des terminaux marins dans les différents ports (Arzew, Bethioua, Béjaïa et Skikda).

L'activité Transport par Canalisation constitue le noyau dynamique de la chaîne pétrolière du Groupe Sonatrach.

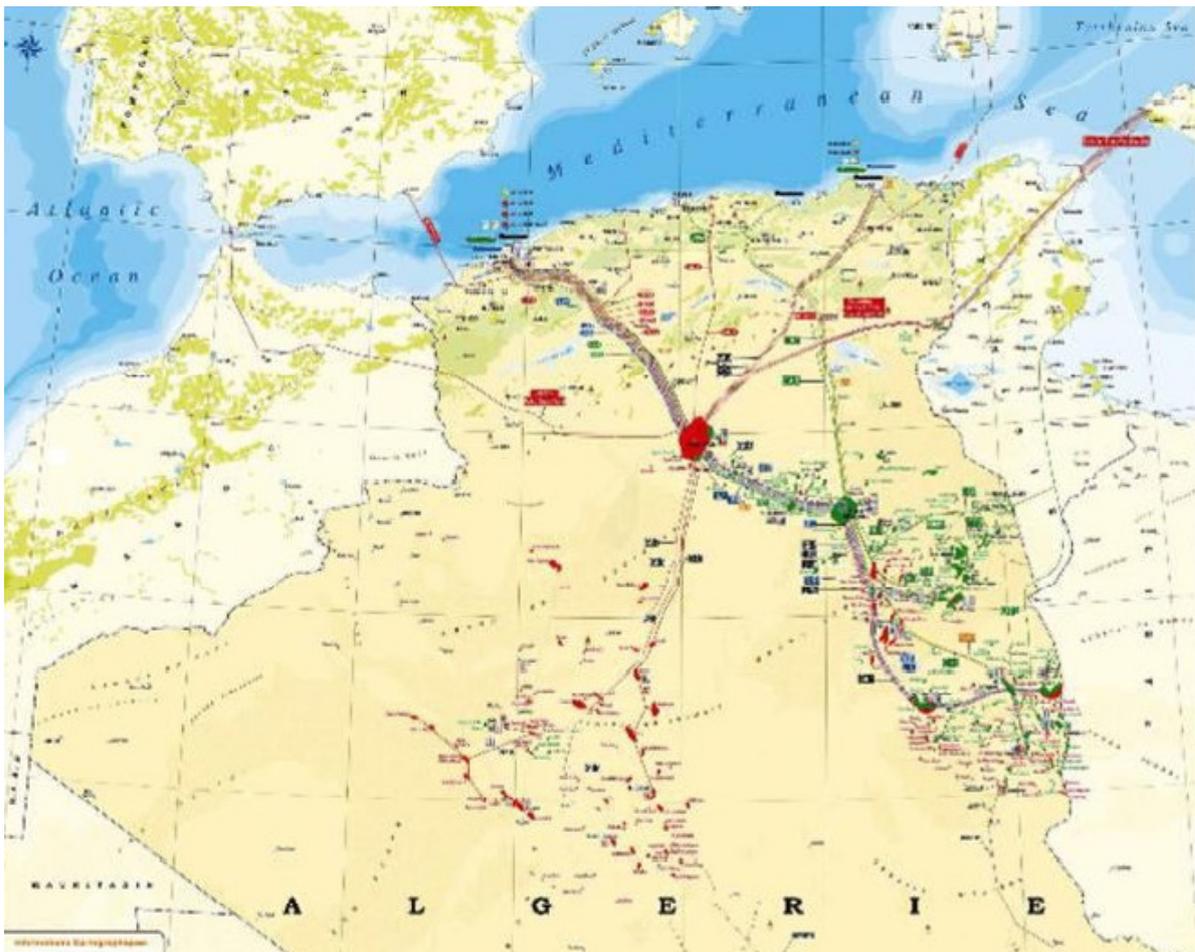


FIGURE 1.4 – Réseau de transport par canalisations

Partir 2 :

1.6 Hydrocarbures du pétrole

1.6.1 Pétrole brut

Le pétrole brut est un fluide constitué principalement d'hydrocarbures il contient également des composés organiques soufrés, oxygénés et azotés. On le rencontre dans les bassins sédimentaires, où il occupe les vides de roches poreuses appelées réservoirs. Les gisements de pétrole correspondent à une accumulation dans une zone où le réservoir présente des caractéristiques favorables, Le pétrole a pour origine la substance des êtres, animaux ou végétaux, vivant à la surface du globe et particulièrement en milieu aquatique.

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

Le commerce de pétrole brut et de produits raffinés entre les différents pays atteint près de 100 millions de barils par jour en 2019. Le transport constitue ainsi un enjeu central dans l'approvisionnement pétrolier, y compris au niveau national. Il nécessite de trouver des voies sûres d'acheminement en optimisant ses coûts.

Sur les longues distances, le transport est principalement effectué via des pipelines par voie terrestre et via des navires pétroliers par voie maritime. peut également être utilisé pour la distribution de produits pétroliers jusqu'aux consommateurs finaux.

1.7 Mode de transport des hydrocarbures

Le transport de produits pétroliers peut être effectué par plusieurs modes qui ont chacun des avantages et des inconvénients d'un point de vue sécuritaire, parmi ces moyens il y a :

1.7.1 Transport par camion-citerne

Les camions sont également utilisés pour livrer les produits depuis les raffineries vers les dépôts et les stations-service .

Avantage :

- Accès facile aux endroits isolés .
- pouvant atteindre n'importe quel endroit du territoire.

Inconvénients :

- Impact sur l'environnement.
- Risque d'accident.
- Dégradation de chaussées.
- Faible quantité .

1.7.2 Transport par train

Transport par train présente un grand intérêt en l'absence de pipeline sur de longues distances.

Avantages :

- plus mobile.
- Cout.
- Impact sur l'environnement.

Inconvénients :

- Accident.
- Fuites.
- Les déraillements peuvent entraîner de lourdes pertes.
- causer des incendies et des désastres écologiques.



FIGURE 1.5 – Transport de pétrole par voie ferrée

1.7.3 Transport du pétrole par les tankers

Les pétroliers sont des navires citernes servant à transporter le pétrole ainsi que ses produits dérivés comme l'essence. On les nomme également « tankers » ou « supertankers », servant à transporter facilement le pétrole et ses dérivés, quantitativement vers des terminaux maritimes[14].

Avantages :

- Quantité importantes.
- Longue distance.

Inconvénients :

- les conditions maritimes (chavirage, accident d'équipage, etc.).
- la collision ou l'échouement.
- le feu ou l'explosion.
- les fissures de coque ou les déformations des citernes.

- le risque de pollution en opérations de chargement ou de déchargement.
- la piraterie.



FIGURE 1.6 – Transport du pétrole par les tankers

1.7.4 Transport par canalisation

Le pipeline est un mode de transport, sur de grandes distances de matières fluides, réalisé au moyen de tubes et accessoires sous pression . Le transport du pétrole est le plus souvent par un réseau d'oléoducs (ou de gazoducs si c'est un gisement de gaz) allant du lieu de production jusqu'au terminal maritime de chargement[10].

A l'heure actuelle, il existe de nombreux oléoducs et de gazoducs dans le monde entier représentant une longueur totale allant de 500.000 à 600.000 km.

Avantages :

- l'oléoduc fonctionne 24 h /24 h.
- la fiabilité est au maximum.
- La sécurité.
- Impact sur l'environnement.
- les frais opératoires et d'entretien sont pratiquement négligeables.

Inconvénients :

- Exposition aux conditions climatiques.
- Dégradation.
- Exposition aux risques de conflits .



FIGURE 1.7 – Transport par canalisation

Le transport de produits pétroliers peut être effectué par plusieurs modes qui ont chacun des avantages et des inconvénients d'un point de vue sécuritaire. Pour des raisons économiques géographiques ou politiques, il peut être préférable que le pétrole voyage par voie terrestre. Le transport par canalisation assure le transport des hydrocarbures depuis les pôles de production au sud vers les pôles de demande et de transformation au nord (marché national et exportation).

1.8 Canalisation

Une canalisation ou un pipeline (en anglais) est une conduite destinée à l'acheminement de matières gazeuses, liquides, ou poly-phasiques, d'un endroit à un autre. Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'aciers soudés de bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol. Ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés (c'est le cas sous l'eau).

1.8.1 Les caractéristiques de la canalisation

- Un grand diamètre qui arrive jusqu' à 56" et peut atteindre 64" .
- La capacité maximale de transport.
- La pression de service élevée (jusqu'à 100 bars).
- Une grande longueur.
- L'épaisseur (variant de 6.35 mm à 23 mm).
- Le mode de pose (aérien ou souterrain) .

1.8.2 Les types de canalisation

Le nom et le type d'une canalisation dépendent des caractéristiques physiques et des conditions d'acheminement du produit à déplacer.

- Pour le pétrole, on parle **d'oléoduc**.
- Pour le gaz naturel, on parle de **gazoduc**.
- Pour l'eau on parle **d'aqueduc**.
- Pour l'eau salée, on utilise le terme de **saumoduc**.
- Pour l'oxygène, on utilise le terme d'oxygénoduc ou **d'oxyduc**.
- Pour l'hydrogène, on utilise le terme **d'hydrogénoduc**.

Règles de dénomination des canalisations :

▷ **Lettre désignant la nature de l'effluent :**

G – Gaz / Gazoduc	L – GPL / Oléoduc
O – Pétrole brut / Oléoduc	N – Condensat / Oléoduc

▷ **Lettre précédant la nature de l'effluent :**

D – Dédoublément	E – Expansion
-------------------------	----------------------

▷ **Lettre après la nature de l'effluent désigne le point d'arrivée :**

B – Béjaïa	D – Mesdar	EM – Enrico Mattei	G – Alger
K – Skikda	O – OuedSafSaf	R – Hassi R'mel	Z – Arzew

▷ **Chiffre après la dernière lettre :**

désigne l'ordre chronologique de construction de la canalisation.

1.9 Description du réseau de transport du Pétrol

Le Réseau de Transport des Hydrocarbures Liquides et Gazeux est constitué d'un ensemble de canalisations, de stations de pompage, de stations de compression, de parcs de stockage, assurant le transport des effluents issus des champs de production, d'un centre de stockage ou d'un dispatching, vers les pôles industriels de traitement et de liquéfaction, de transformation, d'exportation et d'alimentation du marché national.

Le développement du Réseau de Transport depuis la construction de la première canalisation en 1959, a été engendré par les besoins en matière de transport en constante croissance, nécessitant ainsi le développement continu de nouvelles Capacités de transport.

Ce Réseau de Transport est composé de deux parties complémentaires[16] :

• **Un réseau sud, qui assure le transport :**

- Des effluents issus des gisements vers Haoud El Hamra (CDHL) pour le pétrole brut et le Condensat et vers Hassi-R'mel (CNDG) pour le Gaz naturel et le GPL ;

• **Un réseau nord, qui assure le transport :**

- du pétrole brut du CDHL vers les raffineries et les ports d'exportation ;
- du Condensat du CDHL et du gisement de Hassi R'mel vers la raffinerie de Skikda et les ports d'exportation ;
- du Gaz naturel du CNDG vers le marché national, les Gazoducs destinés à l'exportation et les complexes de liquéfaction ;
- du GPL de Hassi-R'mel vers les complexes de séparation.



FIGURE 1.8 – Carte du Réseau de Transport du pétrole brut

1.9.1 Les oléoducs

Le oléoduc est un mode de transport, sur de grandes distances de matières fluides, réalisé au moyen de tubes et accessoires sous pression, constituant un système souvent en réseau

1.9.2 Terminal de départ et d'arrivée

Terminal de départ

Le terminel de départ comprend les bâtiments techniques et administratifs, une base d'intervention et une base de vie,et permet de :

- Alimenter l'oleoduc.
- Limiter la pression maximale de service.
- Filtrer le gaz naturel.
- Lancer le piston racleur.
- Compter le débit du fluide.
- Prélever pour analyse des échantillons de pétrole.

Terminal arrivée

Il comprend les installations terminales de canalisation, les bâtiments techniques et administratifs, une base d'intervention et une base de vie, soit en résumé :

- Une gare de réception de racleur.
- une unité de filtration.
- un bac de régulation.
- un bac de comptage.
- un laboratoire.

1.9.3 Les types de montage des oléoducs

Il en existe deux types :

1. Montage en parallèle

Une station est dite montée en parallèle si le fluide qui arrive est dérivé sur plusieurs pompes qui à leur tour, l'injection dans la canalisation. Le débit de sortie sera égal à la somme des débits évacués par chaque pompe mais avec une pression constante.

2. Montage en série

Une station est dite en série si le fluide qui arrive est injecté par la première pompe vers la deuxième, puis la troisième et ainsi de suite. A la sortie de la station, on aura ainsi une forte pression qui permettra au fluide d'avoir une force accrue de progression dans la canalisation.

1.10 Stations de pompage

Des stations de pompage permettent de pomper le pétrole sur de longues distances. En raison de la perte de la pression de la matière brute est réduite, la station de pompage a pour rôle d'augmenter de nouveau la pression. La pompe est actionnée par des moteurs électriques à entraînement direct.

Les stations de pompage permettent de redonner de la pression de pétrole afin que celui-ci soit transporté sur de grandes distances et dispose d'une pression suffisante pour être livré aux points de cession (réseaux de distribution et industriels).

Une station de pompage est constitué principalement de :

- Des réservoirs de stockage du pétrole brut.
- Des filtres.
- Un dispositif de comptage.
- Appareils de contrôle, système de commande et d'automatisation.
- Atelier de réparation, salle de contrôle, base de vie.



FIGURE 1.9 – Une stations de pompage

1.10.1 Centres de dispatching

1. Le Centre de Dispatching d'Hydrocarbures Liquides (CDHL) :

d'une Capacité de 1 400 000 barils/jour, est implanté à Haoud El Hamra (Hassi Messaoud), il permet notamment d'assurer :

- La réception du pétrole brut et Condensat ;
- Le stockage du pétrole brut et Condensat ;
- L'expédition du pétrole brut et Condensat vers les terminaux marins et les raffineries, avec une flexibilité et une souplesse d'exploitation.

2. Le Centre National de Dispatching Gaz (CNDG) :

d'une capacité de 390 millions Sm^3 /jour, situé à Hassi R'mel, reçoit la totalité de la production de Gaz naturel en vue de son acheminement par Gazoducs, en plus du marché national, vers :

- La zone industrielle d'Arzew, via la nappe Ouest.
- La zone industrielle de Skikda, via la nappe Est.
- La région centre, via le GG1.
- L'exportation directe, via le GEM, à destination de l'Italie et de la Slovénie ;
- L'exportation directe, via le GPDF, à destination de l'Espagne et du Portugal.
- MEDGAZ à destination de l'Espagne, via le GZ4.

Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons donné une brève présentation de l'entreprise SONATRACH, ainsi que celle de l'activité Transport par Canalisation (TRC) et Généralités sur les hydrocarbures par la présentation du Réseau de distribution, et les moyens de transport .

Chapitre 2

Les méthodes d'optimisation

Introduction

Il se trouve plusieurs méthodes pour résoudre un problème d'optimisation combinatoire, on peut classer ces méthodes de résolution dans deux classes qui sont les méthodes exacte et les méthodes approchées. Le présent chapitre est composé essentiellement de deux parties, chaque'une des deux parties est consacrée pour la présentation des différentes méthodes qui font partie de chaque classe.

La majorité des problèmes d'optimisation combinatoire, sont des problèmes NP-difficiles et donc ils ne possèdent pas à ce jour un algorithme efficace, i.e. de complexité polynomiale, valable de trouver la solution optimale en un temps raisonnable. Ceci a motivé les chercheurs à développer de nombreuses méthodes de résolution en recherche opérationnelle.

Avant de s'intéresser à notre problème, il est nécessaire de rappeler brièvement quelques notions fondamentales de l'optimisation combinatoire, indispensables pour la compréhension de la suite de cette étude. En premier lieu, il convient de donner certaines définitions relatives à la combinatoire.

2.1 Rappels sur l'optimisation combinatoire

2.1.1 Définitions préliminaires

La Combinatoire est une branche des mathématiques qui étudie les configurations d'éléments discrets, les opérations et/ou l'analyse à faire sur ces configurations. Cette branche englobe plusieurs disciplines parmi elles, nous citerons, la théorie des graphes, la combinatoire énumérative, les problèmes de dénombrement, et la théorie polyédrale. Les frontières entre ces branches ne sont pas hermétiques, leurs différences sont visibles à travers leurs orientations méthodologiques[2].

Définition 1

Un problème est dit combinatoire lorsqu'il comprend un grand nombre de solutions admissibles parmi lesquelles on cherche une solution optimale ou proche de l'optimum.

L'Optimisation Combinatoire (O.C) est une branche des mathématiques où, il est question de choisir (rechercher) un élément, une configuration parmi un ensemble de même structure qui doit

optimiser un certain objectif totalement fixé à priori. Cette branche de la recherche opérationnelle occupe une place prépondérante des mathématiques discrètes et de l'informatique. Son importance se justifie par le large éventail de problèmes d'intérêt pratique et opérationnel qu'elle englobe.

Cette branche de la combinatoire, l'optimisation combinatoire, s'intéresse à la recherche d'une solution optimale dans un ensemble de solutions réalisables de grande cardinalité.

Autrement dit, minimiser ou maximiser une fonction, avec ou sans contraintes, sur un ensemble dénombrable. Pour ce faire il s'agira de développer des algorithmes qu'on voudrait polynomiaux. L'optimisation combinatoire se situe au carrefour de la Théorie des Graphes, de la Programmation Mathématique et de l'Informatique théorique. Les problèmes de l'optimisation combinatoire se caractérisent par une formulation facile et souvent par une résolution très ardue[2].

Définition 2

Un problème d'O.C consiste, étant donné un ensemble fini de configurations S et une application f , en la recherche d'un élément S^* tel que :

$$f(s^*) = \min_{s \in S} f(s)$$

2.1.2 Configuration valide et complète

Définition 1

On appellera une configuration valide une solution d'un problème ne violant aucune contrainte de celui-ci, elle sera dite non valide dans le cas contraire.

Définition 2

Une configuration est dite complète si elle est valide, et elle sera dite partielle si elle est en cours de formation « prématurée ».

L'impossibilité d'énumérer et d'examiner exhaustivement toutes les solutions et souvent une situation que l'on rencontre lorsque l'on veut résoudre d'une manière exacte des problèmes de l'optimisation combinatoire. Ainsi s'impose, la nécessité de distinguer entre les algorithmes selon leurs performances à nous procurer des solutions. La tâche qui consiste à classer, comparer et retenir les meilleurs algorithmes selon des critères bien précis, a donné naissance à une élégante théorie : « la théorie de la complexité » des algorithmes. Cette dernière a permis d'élaborer et de développer de nouveaux moyens capables de venir à bout et d'élucider les difficultés auxquelles étaient confrontées d'une manière générale l'optimisation discrète et l'optimisation combinatoire en particulier[2].

2.1.3 Notions sur la théorie de la complexité

La première définition de la notion d'algorithme remonte au IX^{ème} siècle ap. J.-C., Al Khwarizmi, un mathématicien perse, publie un ouvrage consacré aux algorithmes : l'étymologie du terme « algorithme » vient du nom de ce mathématicien. Selon AlKuwarizmi Un algorithme est composé d'un nombre fini d'étapes, chaque étape est composée d'un ou de plusieurs opérations. Un algorithme est une méthode précise utilisable par ordinateur pour déterminer la solution d'un

problème, à condition que l'algorithme soit correct et qu'il converge. Différents algorithmes ont des coûts différents en termes de [1] :

- Temps d'exécution (nombre d'opérations effectuées par l'algorithme).
- Taille mémoire (Taille nécessaire pour stocker les différentes structures de données pour l'exécution).

Avant d'aborder la théorie de la complexité des algorithmes, il y a lieu de donner quelques concepts et définitions de base indispensables pour la compréhension de cette théorie.

Définition 1

On appelle instance I d'un problème (P) , un cas de celui-ci, une situation particulière, où est défini l'ensemble des paramètres, fixés à des valeurs données.

Définition 2

Un algorithme (A) de résolution d'un problème (P) donné, est une séquence finie d'opérations élémentaires, complémentaires, logiques et chronologiques transformant une chaîne de caractères représentant les données de n'importe quelle instance de (P) (Input), en une chaîne représentant sa solution (Output).

Définition 3

Un problème de décision est un problème posé sur un ensemble de concepts dont la solution est une réponse par oui ou non.

Définition 4

Un algorithme est dit efficace s'il résout n'importe quelle instance I d'un problème (P) en un temps de calcul polynomial en la taille de ses données.

La théorie de la complexité permet d'étudier de manière formelle la difficulté des problèmes en informatique. Dans cette théorie, un problème est formalisé de la manière suivante : un ensemble de données en entrée, et une question sur ces dernières (et éventuellement un calcul à effectuer), elle ne traite que des problèmes de décision. Un des résultats forts de cette théorie est apparent à travers la catégorisation des problèmes en fonction des algorithmes qui les résolvent.

Classe P

La classe P contient tous les problèmes relativement faciles, c'est-à-dire ceux dont la résolution est faite par des algorithmes efficaces. Plus formellement, ce sont les problèmes pour lesquels on peut construire une machine déterministe (machine de Turing1) dont le temps d'exécution est de complexité polynomiale (le sigle P signifie « Polynomial time »).

Classe NP

Les problèmes de la classe NP sont ceux pour lesquels on peut construire une machine de Turing non déterministe dont le temps d'exécution est de complexité polynomiale. Le sigle 1 La

machine de Turing est composée d'une bande, supposée infinie, et d'une tête de lecture écriture qui se déplace sur la bande pour lire des données ou écrire, sur la bande.

NP provient de « Non determinist Polynomial time » (et non de "Non Polynomial"). Il est important de remarquer à ce stade que la classe P est incluse dans la classe NP, on écrit $P \subseteq NP$, car si l'on peut construire une machine déterministe pour résoudre efficacement un problème qui est dans NP, alors on peut certainement construire une machine non déterministe qui résout aussi efficacement le même problème.

Dans la classe NP, une sous classe composée de problèmes ayant certaines propriétés et liés entre eux se caractérisent par une résolution difficile, il s'agit de la classe des problèmes NP-Complets.

NP-complet

Un problème NP-complet possède la propriété que tout problème dans NP peut être transformé en celui-ci en temps polynomial.

Définition 5

La définition d'une application qui met en relation les instances de P1 avec celles de P2 : est appelée réduction de P1 en un problème P2, et on écrit $P_1 \leq P_2$. Cette réduction est qualifiée de polynomiale dès qu'elle s'opère en un temps polynomial.

Définition 6

Un problème (P) appartient à la classe des problèmes NP- Complets si on ne connaît aucun algorithme efficace pour sa résolution. Ainsi, découle la conjecture stipulant que les problèmes NP- Complets ne sont pas résolubles en temps polynomial.

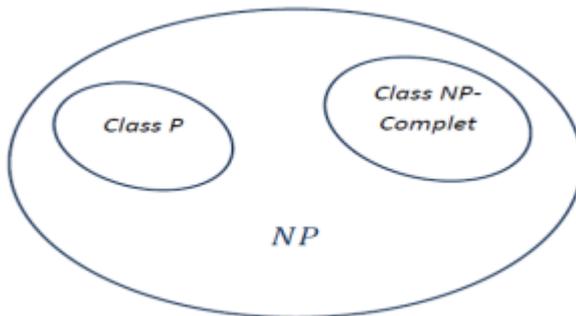


FIGURE 2.1 – Classes des Problèmes

Classes de complexité

Les algorithmes usuels peuvent être classés en un certain nombre de grandes classes de complexité [1] :

- Les algorithmes sub-linéaires dont la complexité est en général en $O(\log n)$;

- Les algorithmes linéaires en complexité $O(n)$ et ceux en complexité en $O(n \log n)$ sont considérés comme rapides ;
- Les algorithmes polynomiaux en $O(n^k)$ pour $k \geq 3$ sont considérés comme lents, sans parler des algorithmes exponentiels (dont la complexité est supérieure à tout polynôme en n) que l'on s'accorde à dire impraticables dès que la taille des données est supérieure à quelques dizaines d'unités.

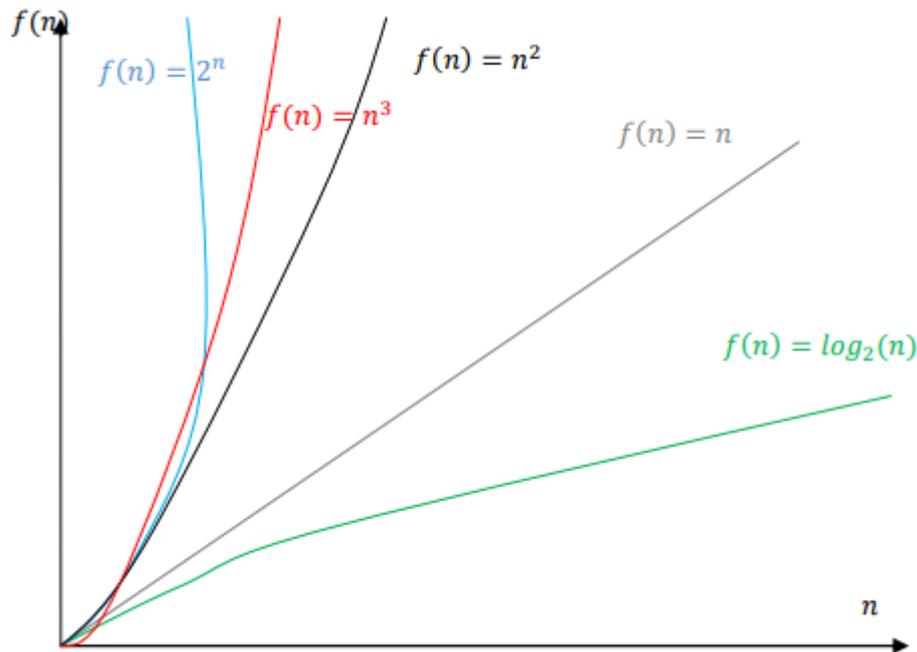


FIGURE 2.2 – Quelques fonctions asymptotique.

2.2 Les méthodes de résolution

Les méthodes de résolution exactes ou approchées proposées au cours de ces dernières années sont nombreuses, et sont le reflet de l'éventail des méthodes dont on dispose pour traiter les problèmes d'optimisation combinatoire. Nous nous proposons d'en étudier les principales.

2.2.1 Les méthodes exactes

Ces méthodes sont ainsi qualifiées en raison des solutions exactes (optimales) qu'elles procurent. Elles nous permettent d'obtenir une solution optimale des instances des problèmes résolus. Leur principe général consiste en une énumération intelligente, et le plus efficacement possible, toutes les solutions du problème pour en extraire une solution optimale. Parmi ces dernières, nous citerons :

La programmation linéaire

La programmation linéaire est un outil très puissant de la recherche opérationnelle. C'est un outil générique qui peut résoudre un grand nombre de problèmes. En effet, une fois un problème modélisé sous la forme d'équations linéaires, des méthodes assurent la résolution du problème de manière exacte. On distingue dans la programmation linéaire, la programmation linéaire en nombres réels, pour laquelle les variables des équations sont dans IR^+ et la programmation en nombres entiers, pour laquelle les variables sont dans IN . Bien entendu, il est possible d'avoir les deux en même temps. Cependant, la résolution d'un problème avec des variables entières est nettement plus compliquée qu'un problème en nombres réels[8].

Une des méthodes les plus connues pour résoudre des programmes linéaires en nombre réels est la méthode du Simplex. En théorie, elle a une complexité non polynomiale elle est donc supposée peu efficace. Cependant, en pratique, il s'avère au contraire qu'il s'agit d'une bonne méthode.

La programmation linéaire permet la résolution d'un programme linéaire. Un programme linéaire est un système d'équations ou d'inéquations appelées "contraintes" qui sont linéaires (c'est-à-dire que les variables ne sont pas élevées au carré, ne servent pas d'exposant, ne sont pas multipliées entre elles...). Et à partir de ces contraintes, on doit optimiser une fonction également linéaire appelée objectif[8].

La programmation dynamique

L'origine des principales méthodes de la Programmation dynamique sont dues à Richard BELLMAN, et sont utilisées pour résoudre des problèmes, dont la solution optimale s'obtient successivement en démarrant d'une solution réalisable et ceci en se basant sur le principe d'optimalité¹. C'est une méthode séquentielle, elle permet d'optimiser une fonction séparable de plusieurs variables, liées par des contraintes sous formes d'équations ou d'inéquations. La décomposition et la séquentialité sont les principes de base de cette méthode. Il est nécessaire, pour pouvoir l'appliquer que le problème puisse être décomposé en étapes, ce qui induit un gain de temps appréciable. Elle se caractérise par l'application du principe déjà énoncé. Cette approche a permis l'élaboration d'algorithmes de résolution pour un grand nombre de problèmes combinatoires. L'efficacité de cette méthode repose sur le principe d'optimalité énoncé par le mathématicien Richard Bellman : « **toute politique optimale est composée de sous-politiques optimales** ».

Principe (Bellman, 1949) :

Composer une solution optimale du problème en combinant les solutions (optimales) de ses sous-problèmes.

La méthode des plans sécants

C'est une approche qui se base sur la recherche d'une restructuration de l'espace des solutions réalisables et ce en imposant quelques contraintes supplémentaires à l'espace originel. L'idée générale est que ces contraintes additionnelles coupent des portions de l'espace des solutions sans altérer ni exclure aucun point de l'espace des solutions réalisables.

Techniques de Séparation et Evaluation « Branch and bound »

La technique branch and bound (SEP) est la première qui a été utilisée lors de l'exploration d'arbres de possibilités trop complexes pour être parcourus intégralement, sur le domaine S des solutions d'un problème d'optimisation combinatoire. Ce domaine est décomposé progressivement sous forme d'arborescence dont la racine serait l'ensemble S. La recherche de la solution optimale consisterait alors en un parcours judicieux de cette arborescence.

La plupart des problèmes auxquels nous nous intéressons, sont dans la classe NP-Complet, c'est pourquoi on privilégie des heuristiques, et encore des métaheuristiques et ceci en raison de l'**explosion combinatoire**. Celles-ci permettent d'obtenir des solutions de bonne qualité, bien qu'elles ne soient pas nécessairement optimales[21].

Explosion combinatoire

Lors de la résolution de certains problèmes, le nombre de solutions réalisables possibles peut évoluer rapidement avec leur taille ce qui rend quasi-impossible l'exploration de l'ensemble de ces solutions en vue d'une optimisation, cette situation est qualifiée d'explosion combinatoire, en dépit de l'essor des moyens de calcul. Toute sous politique d'une politique optimale est optimale.

2.2.2 Les méthodes de résolution approchées

Du fait des résultats de la NP-Complétude de certains problèmes de l'optimisation combinatoire, ceux qui jouissent d'un grand intérêt à la fois théorique et pratique, il est peu probable, d'envisager leur résolution à l'aide des méthodes exactes et ce en raison de leur temps d'exécution qui évolue exponentiellement avec la taille des instances du problème en question.

La quasi-possibilité de trouver des algorithmes efficaces au sens complexité du terme, étant écartée, les chercheurs ont orienté leurs efforts vers l'élaboration des méthodes heuristiques, qui sont capables de fournir de « bonnes » solutions réalisables en un temps raisonnable, ainsi la raison d'être des heuristiques[18].

Définition 1

Une méthode approchée est une méthode de recherche des solutions de bonnes qualités (c'est à dire quasi-optimales) en un temps de calcul raisonnable, sans toutefois pouvoir en garantir ni l'optimalité, ni la réalisabilité, ni même (dans de nombreux cas) l'éloignement de la solution par rapport à la plus proche solution réalisable ou optimale.

Dans les méthodes approchées nous distinguons deux types : les heuristiques et les métaheuristiques dont la principale différence réside dans le mode opératoire. C'est ainsi que les dernières ont un pouvoir plus générique (le degré de généralité) plus élevé car elle sont indépendante du problème, il convient alors de détailler leur définition[12] :

Définition 2

Une heuristique est une méthode approchée dédiée spécifiquement à la résolution d'un problème donné et qui tente d'exploiter au mieux sa structure par des critères de décision déduits de

la connaissance du problème à résoudre, dont la solution optimale n'est pas garantie.

Définition 3

Une métaheuristique est une méthode, ou plus précisément, un canevas de méthodes, pour résoudre de manière approchée tous les problèmes dont la solution optimale n'est pas garantie. Cependant, ces méthodes ne dépendent pas du type du problème que nous tentons de résoudre.

2.2.2.1 Heuristiques

Une heuristique est une technique qui améliore l'efficacité d'un processus de recherche, en sacrifiant éventuellement l'exactitude ou l'optimalité de la solution. En optimisation combinatoire, une heuristique est un algorithme approché qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale.

Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre sans offrir aucune garantie quant à la qualité de la solution calculée. L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution exacte.

Pour des problèmes d'optimisation NP-complets, où la recherche d'une solution exacte (optimale) est difficile, on peut se contenter d'une solution satisfaisante donnée par une heuristique avec un coût plus faible[3].

Les heuristiques peuvent être classées en deux catégories :

- Méthodes constructives qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.
- Méthodes de fouilles locales (ou d'affinage ou d'amélioration) qui démarrent avec une solution initialement complète (probablement moins intéressante), et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.

1. Méthode constructives

Parmi celles-ci nous citerons :

a. les algorithmes gloutons

Ils sont caractérisés par le fait qu'il s'agit de procédure sans retour arrière : un choix fait à un moment n'est plus remis en question ultérieurement. Ces choix itératifs visent la construction de la solution réalisable. Sans doute, le principe des méthodes gloutonnes est le plus utilisé. Nombreuses méthodes exactes sont basées sur le principe glouton. Elles tirent parti du fait que, dans un matroïde, toute heuristique gloutonne fournit une solution optimale[3].

b. Le principe de construction progressive

C'est une extension du principe glouton dans la mesure où l'on s'autorise, cette fois-ci, de modifier des valeurs déjà assignées. Ceci correspond à accepter une remontée dans l'arbre décisionnel. Les algorithmes de backtracking en sont des cas extrêmes puisqu'ils reposent sur un parcours exhaustif de l'arbre. Les heuristiques de construction de cycle hamiltonien pour le TSP, basées sur l'insertion itérative de nouveaux sommets sont à la fois des méthodes gloutonnes et à construction progressive selon qu'on se place sous l'angle des sommets insérés ou des arcs utilisés.

c. Le principe de partitionnement

Il reprend le principe réductionniste de diviser pour régner, résoudre le problème global se révèle souvent plus complexe que résoudre la somme des sous problèmes qui le composent. Toute la difficulté réside alors dans la fusion des solutions de chaque sous problème (solutions approchées ou non et fusion exacte ou non). Plusieurs méthodes exactes sont basées sur cette approche (la décomposition).

2. Heuristiques d'amélioration itérative

Contrairement aux méthodes constructives dont l'objectif est de construire une solution, les méthodes d'amélioration modifient une solution initiale, en vue d'améliorer sa valeur. Cette solution initiale est souvent le résultat d'une méthode constructive, un algorithme général sera composé de deux phases : une méthode constructive suivie d'une méthode d'amélioration. La plupart de ces méthodes utilisent la notion de voisinage. Il s'agit de trouver, à chaque itération, une « bonne » solution parmi l'ensemble des solutions qui définissent un voisinage d'une solution courante. Parmi ces méthodes, nous distinguons celles qui améliorent, à chaque itération, la valeur de la fonction objectif, dites méthodes de descente, et celles qui permettent de choisir une solution qui n'améliore pas forcément la valeur de la fonction objectif. D'une manière générale, le principal inconvénient des méthodes de descente est qu'elles donnent souvent des solutions correspondant à des optima locaux qui ne sont pas de très bonne qualité, alors que, en choisissant une solution qui n'est pas de descente, on peut sortir des minima locaux[3].

Les métaheuristiques, quant à elles, reposent essentiellement sur le principe d'amélioration itérative. Elles nécessitent donc la possession d'une solution initiale. Dans ce qui suit, on présentera brièvement les méthodes métaheuristiques à savoir, la méthode de Recuit Simulé, la Recherche Tabou, les Algorithmes Génétiques et les algorithmes basés sur le principe des Fourmis qui explorent également un voisinage.

2.2.2.1 Les métaheuristiques

Face aux difficultés rencontrées par les heuristiques pour avoir une solution réalisable de bonne qualité pour des problèmes d'optimisation difficiles, les métaheuristiques ont fait leur apparition. Ces algorithmes sont plus complets et complexes qu'une simple heuristique, et permettent généralement d'obtenir une solution de très bonne qualité pour des problèmes issus des domaines de la recherche opérationnelle ou de l'ingénierie dont on ne connaît pas de méthodes efficaces pour les traiter ou bien quand la résolution du problème nécessite un temps élevé ou une grande mémoire de stockage[6]. Le rapport entre le temps d'exécution et la qualité de la solution trouvée d'une métaheuristique reste alors dans la majorité des cas très intéressant par rapport aux différents

types d'approches de résolution. La plupart des métaheuristiques utilisent des processus aléatoires et itératifs comme moyens de rassembler de l'information, d'explorer l'espace de recherche et de faire face à des problèmes comme l'explosion combinatoire. Une métaheuristique peut être adaptée pour différents types de problèmes, tandis qu'une heuristique est utilisée à un problème donné. Plusieurs d'entre elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels dans de nombreux domaines tels que : la biologie (algorithmes évolutionnaires et génétiques) la physique (recuit simulé), et aussi l'éthologie (algorithmes de colonies de fourmis). Un des enjeux de la conception des métaheuristiques est donc de faciliter le choix d'une méthode et le réglage des paramètres pour les adapter à un problème donné[6].

Classement des métaheuristiques selon le type

Les métaheuristiques peuvent être classées de nombreuses façons. On peut distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire. Ces méthodes construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales.

1. A base de solution unique

Les métaheuristiques à base de solution unique débutent la recherche avec une seule solution initiale. Elles se basent sur la notion du voisinage pour améliorer la qualité de la solution courante. En fait, la solution initiale subit une série de modifications en fonction de son voisinage. Le but de ces modifications locales est d'explorer le voisinage de la solution actuelle afin d'améliorer progressivement sa qualité au cours des différentes itérations. Le voisinage de la solution s'englobe l'ensemble des modifications qui peuvent être effectuées sur la solution elle-même. La qualité de la solution finale dépend particulièrement des modifications effectuées par les opérateurs de voisinages. En effet, les mauvaises transformations de la solution initiale mènent la recherche vers la vallée de l'optimum local d'un voisinage donné (peut être un mauvais voisinage) ce qui bloque la recherche en fournissant une solution de qualité insuffisante[6]. Les exemples les plus connus de ces méthodes sont : le Recuit Simulé et la Recherche Tabou.

a. Le recuit simulé

Le recuit simulé s'inspire du processus de recuit physique. Le processus du recuit simulé répète une procédure itérative qui cherche des configurations de coût plus faible (dans un problème de minimisation) tout en acceptant de manière contrôlée des configurations qui dégradent la fonction coût.

b. La méthode tabou

Cette méthode a été élaborée par GLOVER, elle est basée sur la notion de mouvements interdits (tabou). Chaque itération consiste à trouver le mouvement qui nous donne la meilleure solution dans le voisinage de la solution courante, sachant que certains mouvements sont interdits. Parfois, nous choisissons une solution qui détériore légèrement la solution courante pour s'échapper des minima locaux[23]. L'inverse du mouvement effectué à chaque itération est rajouté

dans une liste, appelée liste tabou, qui contient les mouvements interdits. Initialement, la liste tabou est vide.

2. A base de population de solutions :

Les métaheuristiques à base de population de solutions débutent la recherche avec une panoplie de solutions. Elles s'appliquent sur un ensemble de solutions afin d'en extraire la meilleure (l'optimum global) qui représentera la solution du problème traité. L'idée d'utiliser un ensemble de solutions au lieu d'une seule solution renforce la diversité de la recherche et augmente la possibilité d'émergence de solutions de bonne qualité. Une grande variété de méthodes qui travaillent avec une population de solutions ont été proposée dans la littérature, les algorithmes génétiques et les algorithmes de colonies de fourmis présentent les exemples les plus connus de ces méthodes[6].

a. Les algorithmes génétiques

Ils sont proposés, pour la première fois, au milieu des années 70 par J. HOLLAND. Ces algorithmes se proposent d'imiter la sélection naturelle et la génétique de la théorie de l'évolution. La terminologie de la génétique a été également empruntée pour la description de tels algorithmes.

Contrairement aux méthodes, Tabou et le Recuit Simulé qui manipulent une seule solution, les algorithmes génétiques considèrent un ensemble de solutions (individus) appelé population. Le but de la méthode est de faire évoluer la population en effectuant des mutations et des croisements suivis de sélection d'individus. La mutation est une opération unitaire qui modifie la structure d'un individu. Le croisement est une opération binaire, qui à partir de deux individus, en produit deux nouveaux[22].

L'idée de base de ces algorithmes réside dans le fait que travailler avec une population permet d'identifier et d'explorer les propriétés communes des bonnes solutions.

d. Optimisation par colonies de fourmis

La métaheuristique colonie de fourmis, ACO (Ant Colony Optimization), s'inspire du comportement collectif des colonies de fourmis pour résoudre des problèmes à base de graphes. L'optimisation par colonies de fourmis est basée sur le constat que, dans la nature, les fourmis (des animaux aveugles) sont capables d'établir par une somme d'interactions élémentaires le plus court chemin de leur nid à un objectif (une source de nourriture par exemple). Le but de cette approche est de trouver une solution annulant le coût et ceci en utilisant une multitude d'agents élémentaires (les fourmis) effectuant chacun de très simples actions[21].

Le principe de ces méthodes fait l'objet d'une étude plus détaillée dans le **quatrième** chapitre.

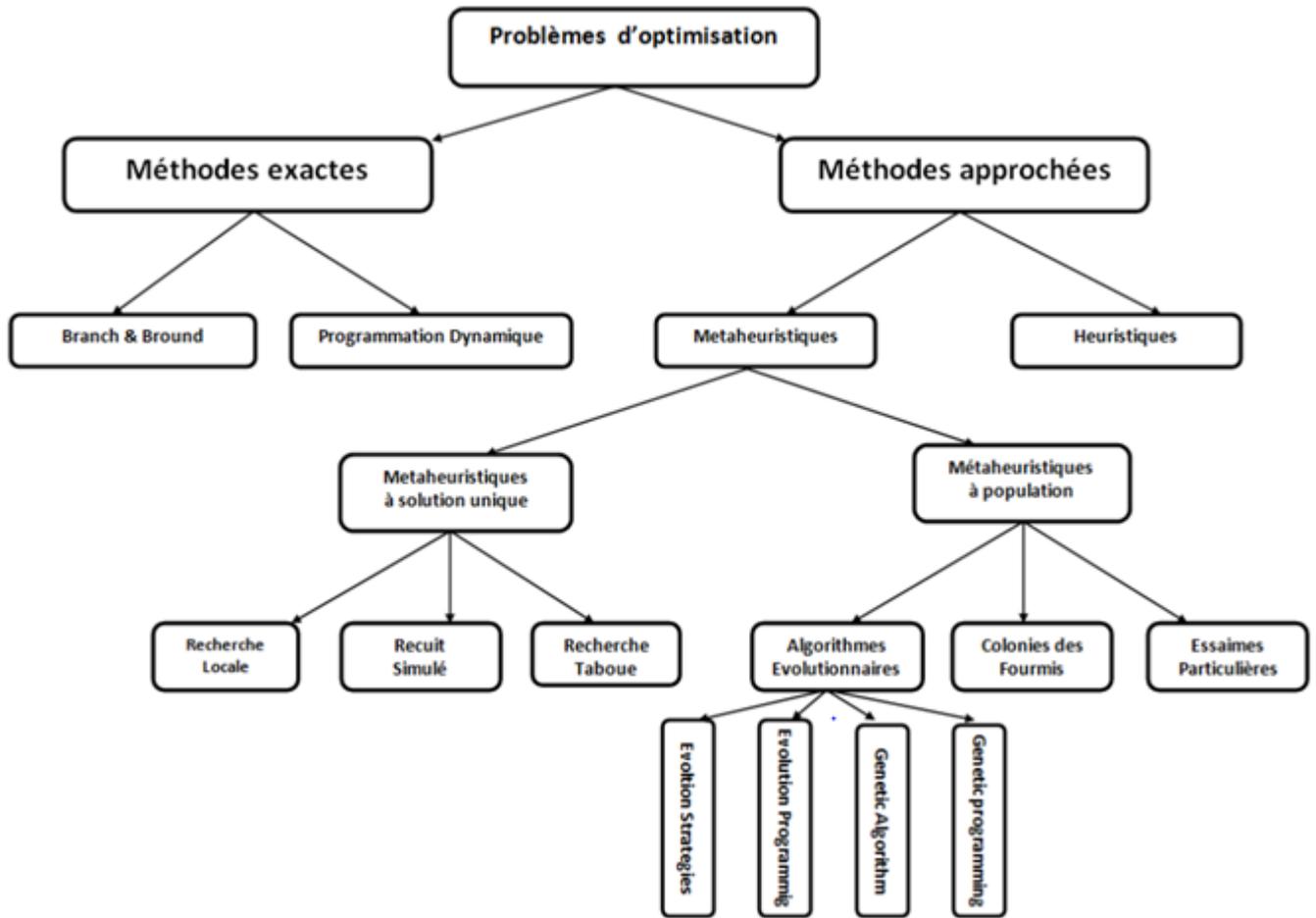


FIGURE 2.3 – Quelques méthodes de résolution d'un problème d'optimisation

2.3 Calcul hydrauliques

2.3.1 Généralités

Débit

Un Débit est le quotient de la quantité du fluide qui traverse une section droite de la conduite par la durée de cet écoulement, on a deux types de débit [18] :

– Débit volumique M

Le débit volumique est la grandeur physique qui caractérise le volume V d'un fluide qui traverse une surface donnée par unité de temps t . Son unité dérivée du Système international d'unités est le mètre cube par seconde (m^3/s).

$$M = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

– Débit massique Q

Le débit massique est la grandeur physique qui caractérise la masse qui traverse une surface SS donnée par unité de temps t . Son unité dérivée du Système international d'unités est le kilogramme par seconde (kg/s).

$$Q = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

viscosité ν

La viscosité peut être définie comme l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide pour un écoulement avec ou sans turbulence. La viscosité diminue la liberté d'écoulement du fluide et dissipe son énergie[13].

La pression

La pression est une grandeur physique qui traduit les échanges de quantité de mouvement dans un système thermodynamique. Elle est définie classiquement comme l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface [13].

$$p = F/S$$

- P est la pression au niveau de la surface S (Pa).
- F est la force exercées sur la surface S (N).
- S est la surface (m^2).

La pression dans un liquide dépend de la profondeur considérée, plus cette dernière est grande et plus la pression augmente.

Il existe une relation qui permet de calculer la différence de pression entre deux points d'un liquide au repos (qui ne s'écoule pas).

On considère deux points A et B :

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (Z_B - Z_A)$$

La perte de charge

Lors de son transport dans les oléoducs, le pétrole subit des frottements avec les parois des canalisations. Ce qui fait perdre de la pression au pétrole et cette perte est appelée perte de charge. C'est le phénomène le plus problématique du transport de pétrole et de là provient une des difficultés du problème. En effet, sans la perte de pression induite par ce phénomène, le pétrole circulerait très facilement dans les oléoducs [13].

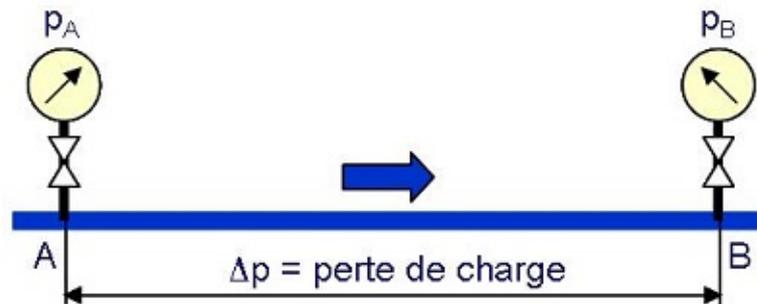


FIGURE 2.4 – chute de pression

2.3.2 Formule d'écoulement du pétrole

1. L'équation de Bernoulli :

Lorsque l'on est en présence de frottements, le théorème de Bernoulli ne s'applique plus et la charge n'est plus constante. On parle alors de perte de charge.

On utilise dans ce cas le théorème de Bernoulli généralisé [13] :

$$\frac{\nu_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{\nu_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \Delta h$$

Avec :

- ν_1, ν_2 : la vitesse respectivement à l'amont et à la val d'écoulement (m/s).
- z_A, z_B : L'altitude en point A et B (m).
- P_A, P_B : la pression en point A et B (Pas).
- ρ : La masse volumique (kg/m^3).
- Δh : dissipation d'énergie (m).

Le terme (Δh) représente la dissipation d'énergie (exprimée en mètres) entre le point amont et aval de l'écoulement. Dans le cas d'un fluide incompressible, si la section du tuyau est constante, alors la vitesse est également constante. L'altitude z étant imposée par l'installation de la canalisation, on voit que la perte de charge se traduit par une diminution de pression. Une relation plus générale s'écrira :

$$\frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Où :

$$\Delta P = \Delta h \cdot \rho \cdot g$$

2. Équation de chute de pression (perte de charge)

En hydraulique, la perte de charge correspond à l'énergie dissipée par le frottement du liquide. Cette énergie doit être compensée afin de permettre au liquide de se déplacer. On l'exprime couramment sous la forme d'une pression, bien qu'elle soit en fait représentative d'une dissipation d'énergie et qu'elle apparaisse dans l'équation de Bernoulli comme une hauteur de colonne d'eau. Elle est exprimée :

$$\Delta h_T = \frac{0.08266 \times \lambda \times l^2 \times 1000^5}{3600^2 \times (D \times 25.4)^5}$$

avec :

- Δh_T : représente la perte de charge exprimée en hauteur de fluide .
- l : longueur du tronçon de canalisation exprimée.
- Q : débit volumique.
- D : diamètre intérieur de la canalisation exprimé en pouce.
- λ : coefficient de friction, ce paramètre dépend du nombre de Reynolds.

3. Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il a été mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds. Il caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent).

On le définit de la manière suivante [13] :

$$Re = \frac{6.31 \times \rho}{0.453 \times \mu}$$

Où :

- ρ : la masse volumique du liquide exprimée.

- μ : la viscosité du liquide.
- Q : le débit en m^3/h .
- D : le diamètre intérieur de la canalisation en pouce.

En fonction des nombres de Reynolds croissants, on distingue trois régimes principaux :

- Si $Re < 2000$ l'écoulement est **laminaire**.
- Si $2000 < Re < 4000$ l'écoulement est **transitoire**.
- Si $Re > 4000$ l'écoulement est **turbulent**.

4. Hauteur minimum

Afin que le liquide puisse être acheminé, il doit avoir une certaine énergie noté H_{min} qui représente la hauteur minimum que doit avoir le liquide à la sortie de pompage afin qu'il puisse atteindre la prochaine station en ayant une pression minimale Pr_{min} elle est calculée par la formule :

$$H_{min}[j] = (Alt[j + 1] - Alt[j]) + \Delta h_j + \frac{Pr_{min} \times 10^5}{\rho \times g}$$

avec :

- $H_{min}[j]$: représente la hauteur minimum que doit avoir le liquide à sa sortie de la station j.
- Δh_j : représente la perte de charge exprimée en hauteur de fluide.
- $Alt[j]$: altitude à laquelle se trouve la station j exprimée en mètre.
- $Alt[j + 1]$: altitude à laquelle se trouve la station j+1 exprimée en mètre.
- Pr_{min} : pression minimum supportée par canalisation.
- g : gravité.
- ρ : masse volumique.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur les méthodes d'optimisation présentées dans la littérature commençant par les méthodes exactes aux méthodes approchées. Nous avons constaté que les méthodes exactes permettent d'aboutir à la solution optimale, mais elles sont trop gourmandes en termes de temps de calcul et d'espace mémoire requis. Contrairement, les méthodes approchées demandent des coûts de recherche raisonnables. Mais, elles ne garantissent pas l'optimalité de la solution. Nous avons pu aussi constater que les méthodes approchées peuvent être partagées en deux classes des méthodes heuristiques et des méthodes métaheuristiques.

Chapitre 3

Problématique et Modélisation

Introduction

La modélisation d'un problème donné est une étape qui consiste à extraire une image aussi fidèle que possible du système réel. Cette image peut prendre plusieurs formes :

- Mathématique comme en programmation mathématique.
- Statistique comme dans un modèle statistique.
- Sous forme d'un graphe comme en théories des graphes.
- Sous forme virtuelle comme en simulation par exemple.

Dans ce chapitre, nous allons proposer une modélisation de notre problème sous forme d'un programme linéaire.

3.1 Position du problème

L'objectif de cette étude consiste à :

- Identifier parmi toutes les stations de pompage, celles qui est opérationnelle.
- Définir pour chacune des stations en marche le nombre optimal de compresseurs à faire fonctionner en vue de minimiser la quantité à consommer par les stations de pompage en service dans le respect des conditions d'exploitation (débit à l'entrée de la station Q , pression d'aspiration P_{asp} et de refoulement P_{ref}).

En Recherche Opérationnelle, une bonne modélisation d'un problème représente une phase importante dans le processus de sa réalisation. Elle consiste en la conversion la plus fidèle possible d'une réalité, généralement très complexe en un modèle mathématique, La modélisation elle consiste en trois étapes :

- **Identification des variables de décision :**

Les variables de décision représentent comme leur nom l'indique, les décisions à prendre afin de satisfaire le ou les objectifs, Une solution est un ensemble de décisions particulier. Le principe est de fixer ces variables afin d'optimiser le ou les objectifs.

- **Définition d'une fonction objectif :**
 (Appelée aussi fonction coût ou fonction économique) est utilisé en optimisation mathématique et en recherche opérationnelle pour désigner une fonction qui sert de critère pour déterminer la meilleure solution à un problème d'optimisation. Concrètement, elle associe une valeur à une instance d'un problème d'optimisation.
- **Description des contraintes imposées aux variables de décision :**
 Une contrainte est une condition que doit satisfaire la solution d'un problème d'optimisation. L'ensemble des solutions satisfaisant toutes les contraintes est appelé l'ensemble admissible.

3.2 Approche de modélisation

La détermination d'un régime de fonctionnement optimal des stations de pompage nécessite le choix de la station de pompage à mettre en marche ainsi que le nombre de compresseurs qui fonctionnent dans station choisie. pour chaque pompe en fonction on détermine le débit, la vitesse et la hauteur de telle sorte à minimiser l'énergie en respectant son domaine de fonctionnement. Pour résoudre le problème relatif à la perte de charge à travers la canalisation, nous avons la modélisation mathématique pour la quelle les paramètres, les variables, les contraintes, ainsi que la fonction objectif seront définis dans ce qui suit.

3.2.1 Données et paramètres du problème

Système de Transport par Canalisation OZ2

Le Système de Transport par Canalisation (STC) OZ2 fait partie du patrimoine de la Direction Régionale Transport Ouest (RTO), la figure 3.1 représente un schéma descriptif du Système de Transport par Canalisation.

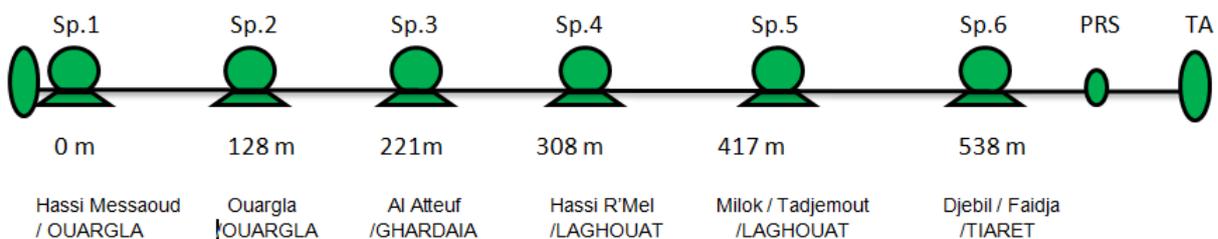


FIGURE 3.1 – Schéma descriptif du Système de Transport par Canalisation

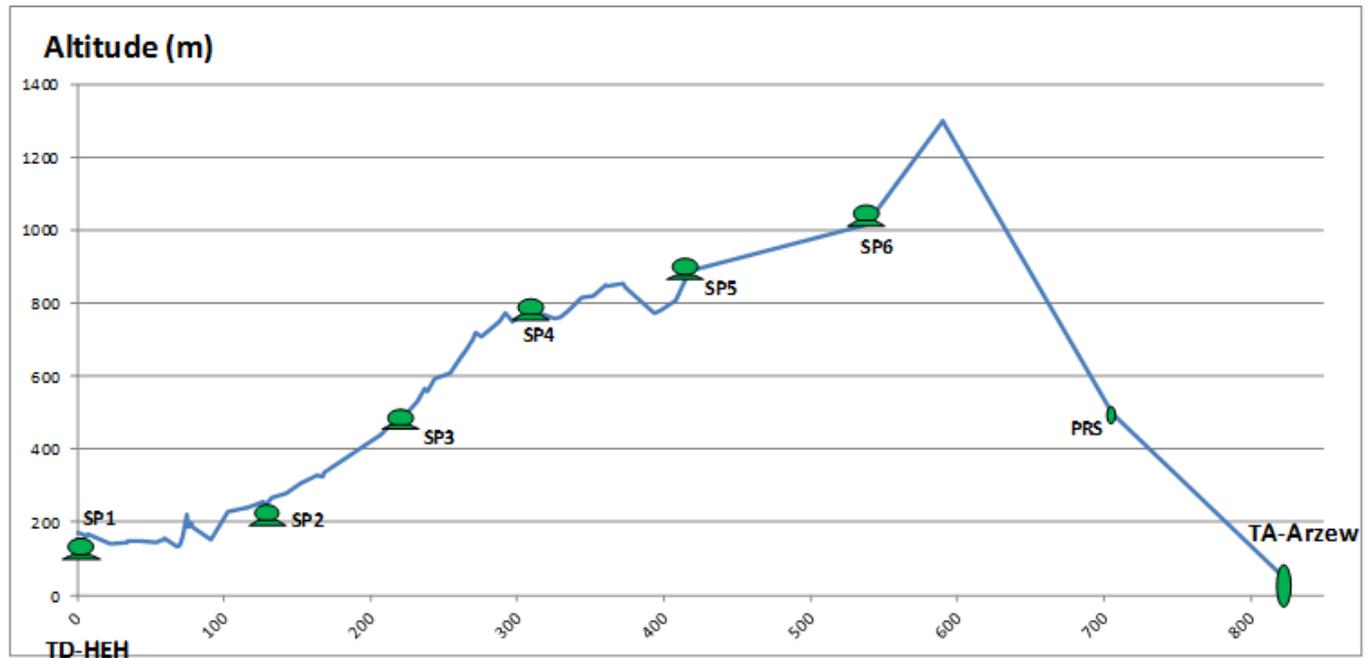


FIGURE 3.2 – Profil Altimétrique de l'OZ2

La ligne de transport du pétrole OZ2 a été mise en service en 2003. elle est de longueur de 821 km de diamètre 3", cette dernière relie Hassi Messaoud (Terminal Départ *TD*) à Arzew (Terminal Arrivée *TA*). OZ2 dispose de six stations de pompage (SP).

Localisation géographique des stations OZ2 :

Sur la ligne de la canalisation, nous pouvons trouver six stations de pompage (voir Figure 3.3), qui sont :

- SP1 Hassi Messaoud / OUARGLA,
- SP2 Ouargla / OUARGLA,
- SP3 Al Atteuf / GHARDAIA,
- SP4 Hassi R'Mel / LAGHOUAT,
- SP5 Milok / Tadjemout / LAGHOUAT,
- SP6 Djebil / Faidja / TIARET.

sur la ligne de la canalisation, nous pouvons trouver 6 station de pompage (voir Figure 3.3).

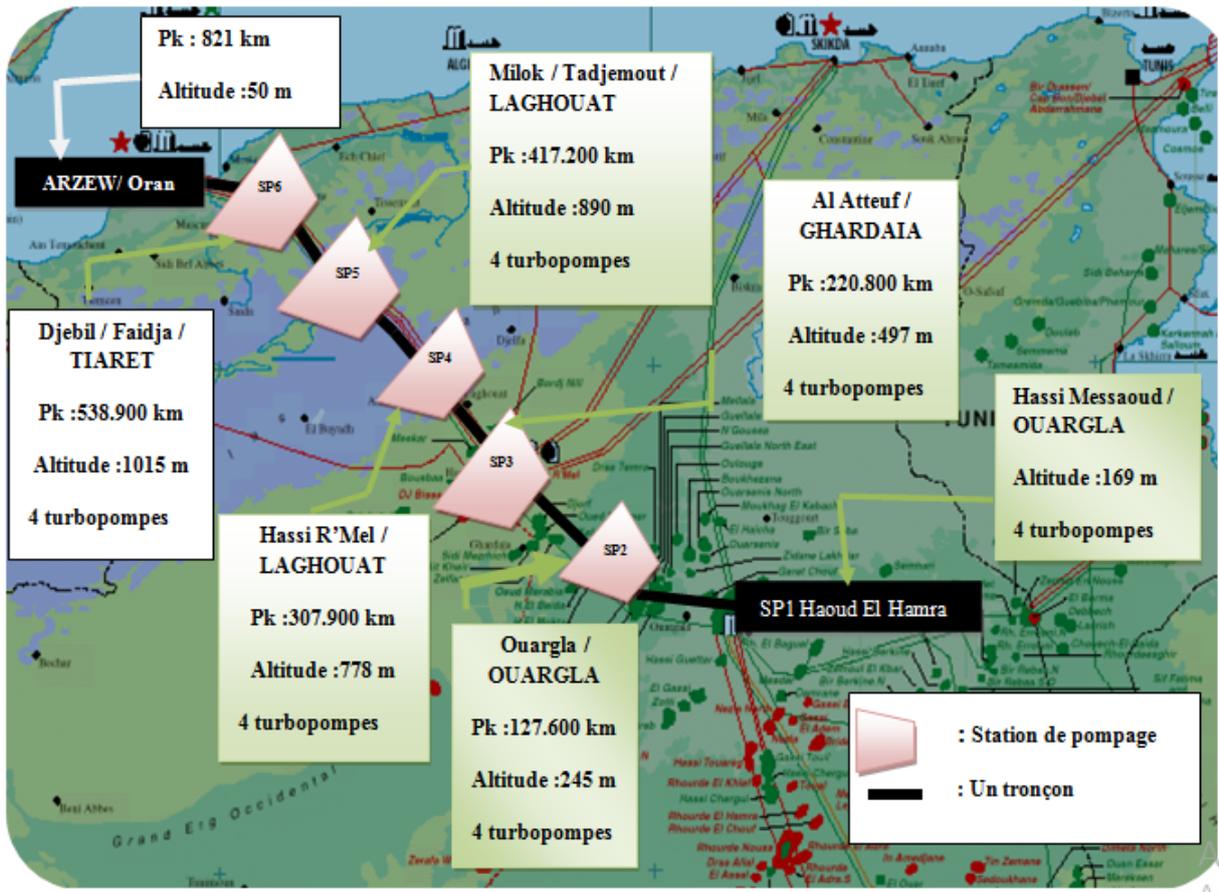


FIGURE 3.3 – Schéma descriptif de la ligne OZ2

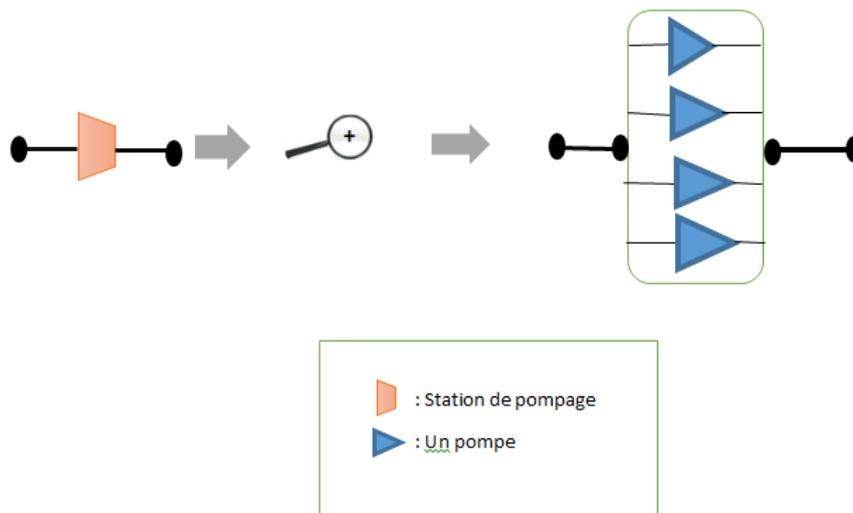


FIGURE 3.4 – Chaque station de pompage de OZ2

3.3 Étude de la Station de pompage

3.3.1 Régime de fonctionnement d'une station de pompage

L'écoulement du pétrole dans la conduite est soumis à une perte de pression dûs essentiellement à la rugosité de la surface interne de la conduite et aux éventuels incidents sur la ligne, ce qui se traduit par une insuffisance de la qualité acheminée qu'il faudrait compenser par l'installation des stations de pompage.

Les pompes centrifuges sont mieux utilisées pour leur faible investissement et leur rendement élevé, l'exploitation de ces pompes incite de faire fonctionner les pompes aux voisinages d'un régime de fonctionnement **optimal**.

3.3.2 Régime de fonctionnement des pompes

Les différentes plages de fonctionnement des pompes sont définies par la carte de compression, propre à chaque pompe, dans notre cas tous les pompes sont identiques. L'exploitation optimale des stations de pompage nécessite la modélisation des courbes caractéristiques des pompes.

Les caractéristiques d'une pompe sont limitées par :

- La limite de pompage.
- La limite de gavage.
- Vitesse maximale de rotation.
- Vitesse minimale de rotation.

3.3.3 Modélisation des courbes caractéristiques des pompes

La carte de fonctionnement des pompes est représentée par un graphe sur un plan qu'est défini par deux axes , un axe d'abscisse qui représente le débit volumique Q et un axe des ordonnées représente la hauteur H et la puissance P , Les deux figures suivantes représentent respectivement, les courbes de la hauteur et de la pression d'une pompe.

3.3. ÉTUDE DE LA STATION DE POMPAGE

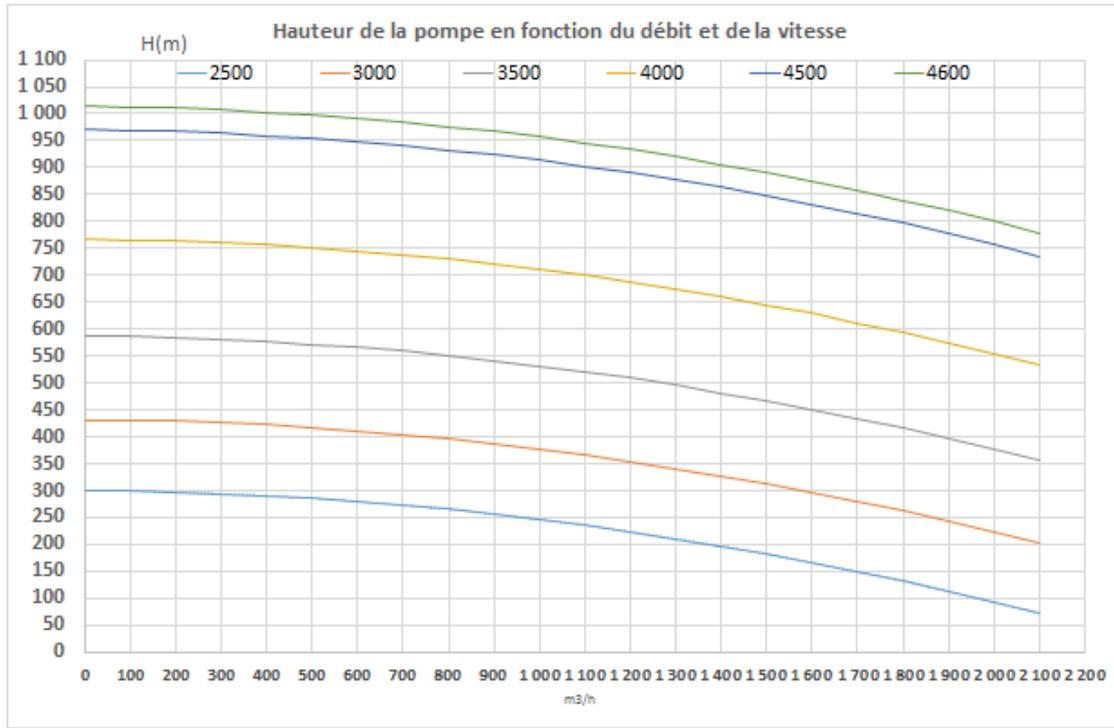


FIGURE 3.5 – Courbe de la hauteur adiabatique d'une pompe

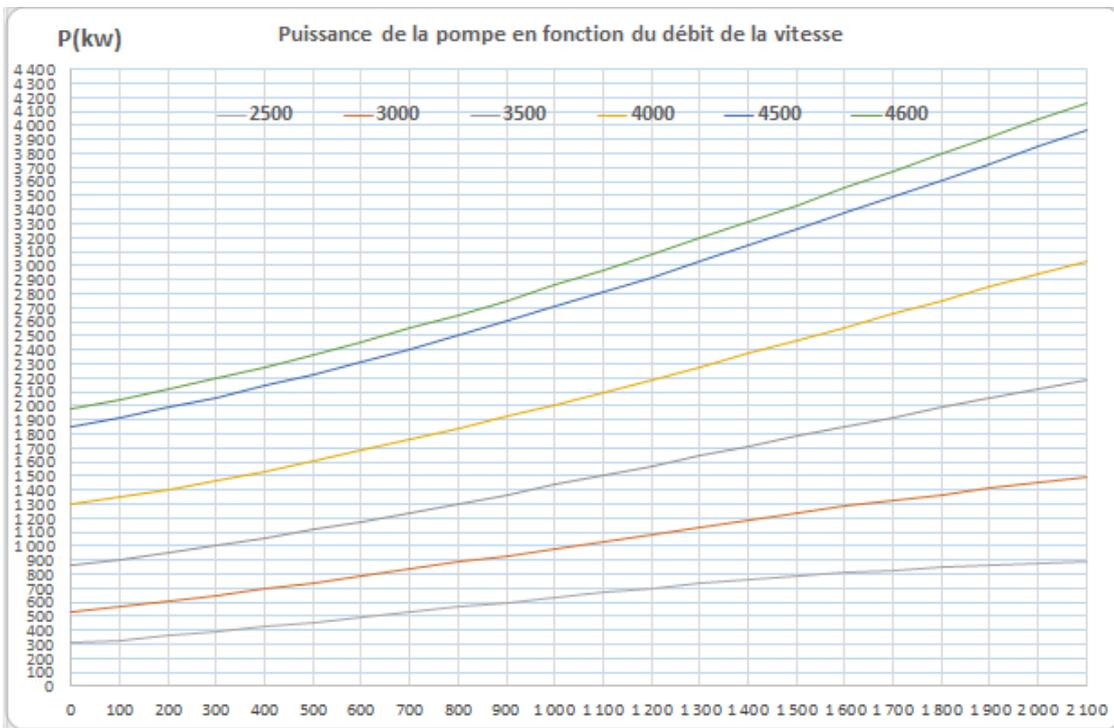


FIGURE 3.6 – Courbe de puissance d'une pompe

Interprétation

Les caractéristiques d'une pompe sont limitées par :

- **Sur la gauche du diagramme :** Limitation par la zone de pompage (débit trop faible). La pompe se produit dans un pompe quand le débit est réduit à tel point que le pompe, à une vitesse donnée, ne peut plus pomper contre la hauteur de pression présente.

A ce moment, une inversion momentanée du sens d'écoulement se produit ainsi qu'une chute de la hauteur de pression normale et le cycle recommence. Cela provoque une impulsion et un choc dans l'ensemble du compresseur et des tuyauteries associées. Dans ce cas il faut soit diminuer la hauteur soit augmenter le débit, de façon à ce que le fonctionnement de la pompe retourne à droite de la ligne de pompage.

- **Sur la droite du diagramme :** Limitation par la zone de gavage (débit trop important). L'examen d'une courbe caractéristique à vitesse donnée montre qu'au delà d'un certain débit volumique, la hauteur utile diminue, de plus en plus vite, vers les hauts débits.
- **Vers le haut du diagramme :** Limitation par la vitesse maximale admissible.
- **Vers le bas du diagramme :** Limitation par la vitesse minimale que peut développer la turbine.

On définit la hauteur adiabatique d'un pompe par l'énergie qui resterait emmagasinée dans le fluide par suite d'un procédé de compression adiabatique qui a lieu entre la pression d'aspiration de pompe et la pression de refoulement de ce dernier. Les quantités reliées aux pompes sont : le débit Q , la vitesse S , la hauteur adiabatique et la puissance P .

Ces quantités sont représentées par les équations suivantes :

La hauteur :

$$H = a_1(N_{max}/N)Q^3 + a_2Q^2 + a_3(N/N_{max})Q + a_4(N/N_{max})^2$$

la puissance :

$$P = [b_1(N_{max}/N)Q^4 + b_2Q^3 + b_3(N/N_{max})Q^2 + b_4(N/N_{max})Q + b_5(N/N_{max})^3] \frac{(1 - (1 - \eta)(N/N_{max})^{-0})}{\eta}$$

3.3.4 Estimation des valeurs de la hauteur adiabatique et de la puissance

Pour estimer les valeurs de la hauteur adiabatique et de la puissance théorique, on doit trouver les valeurs des paramètres a_1, a_2, a_3, a_4 (pour la hauteur) et b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 (pour la puissance). La méthode des moindres carrés sera utilisée pour minimiser l'erreur entre les données observées

à partir des courbes caractéristiques de la pompe et les données théoriques calculées à l'aide de formules exprimées ci-dessus.

calculer les coefficients a_i et b_i

méthode des moindres carrées

La méthode des moindres carrés est une notion mathématique permettant d'apporter à un nombre d'éléments susceptibles de comporter des erreurs un ajustement afin d'obtenir des données proches de la réalité.

La régression linéaire multiple[19] est la généralisation multivariée de la régression simple. Nous cherchons à expliquer les valeurs prises par la variable endogène Y à l'aide de p variables exogènes X_j , ($j=1, \dots, p$)

L'équation de régression s'écrit :

$$y_i = a_0 + a_1x_{i,1} + \dots + a_px_{i,p} + \varepsilon_i$$

Nous devons estimer les valeurs des $(p + 1)$ paramètres (a_0, a_1, \dots, a_p) à partir d'un échantillon de n observations. Nous remarquons dans le modèle :
avec :

- $i=1, \dots, n$ correspond au numéro des observations ;
- y_i est la i -ème observation de la variable Y ;
- $x_{i,j}$ est la i -ème observation de la j -ème variable ;
- ε est l'erreur du modèle, il résume les informations manquantes qui permettrait d'expliquer linéairement les valeurs de Y à l'aide des p variables X_j .

Nous devons estimer les valeurs des $(p + 1)$ paramètres (a_0, a_1, \dots, a_p) à partir d'un échantillon de n observations. Pour simplifier les notations, on retrouve souvent une écriture matricielle du modèle dans la littérature :

$$Y = Xa + \varepsilon$$

Les dimensions des matrices sont respectivement :

- $Y \longrightarrow (n,1)$
- $X \longrightarrow (n,p+1)$
- $a \longrightarrow (p+1,1)$
- $\varepsilon \longrightarrow (n,1)$

La matrice X de taille $(n ; p + 1)$ contient l'ensemble des observations sur les exogènes, avec une première colonne formée par la valeur 1 indiquant que l'on intègre la constante a_0 dans l'équation.

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,p} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,p} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ 1 & x_{n,1} & \dots & x_{n,p} \end{pmatrix}$$

Application

On calcule le coefficient de corrélation entre les deux valeurs (valeur observée et valeur théorique), noté r qui est égale au rapport de leur covariance et du produit non nul de leurs écarts types (le coefficient de corrélation est compris entre -1 et 1).

$$Cor(X, y) = \frac{Cov(X, Y)}{\delta_x \delta_y}$$

où $Cov(X, Y)$ désigne la covariance des variables δ_x et δ_y leurs écarts types. Les valeurs des paramètres a_1, a_2, a_3, a_4 , pour la hauteur adiabatique (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 pour la puissance adiabatique) calculées avec le solveur de Microsoft Excel sont :

Pour la Hauteur adiabatique :

$$a_1 = 0.00000$$

$$a_2 = -0.00005$$

$$a_3 = -0.00700$$

$$a_4 = 1014$$

Le coefficient de corrélation = 0.98

pour la puissance :

$$b_1 = 0.0000000$$

$$b_2 = -0.000001$$

$$b_3 = 0.0005000$$

$$b_4 = 0.5000000$$

$$b_5 = 2000$$

Le coefficient de corrélation $r = 0.99$

Les données de la courbe de pompe				Le calcul par les moindres carées	
débit	vitesse	Hauteur observé	puissance observé	Hauteur théorique	puissance théorique
500	2500	285	459	285	450
1000	2500	246	633	246	640
1500	2500	181	785	181	815
2000	2500	92	877	92	902
2100	2500	71	885	71	902
600	3000	411	785	411	777
1200	3000	354	1085	354	1106
1700	3000	279	1326	279	1366
1900	3000	242	1411	242	1449
2100	3000	201	1485	201	1512
700	3500	559	1237	559	1235
1200	3500	509	1572	509	1602
1600	3500	451	1851	451	1907
1900	3500	396	2053	396	2117
2000	3500	376	2118	376	2180
900	4000	721	1923	721	1934
1100	4000	700	2097	700	2123
1400	4000	660	2372	660	2421
1700	4000	612	2655	612	2722
1900	4000	575	2844	575	2916
900	4500	924	2601	924	2626
1200	4500	890	2919	890	2978
1600	4500	832	3374	831	3480
1800	4500	796	3609	796	3735
2100	4500	736	3965	736	4108
1600	4600	875	3550	875	3670
1800	4600	839	3793	839	3937
1900	4600	820	3916	820	4069
2000	4600	800	4039	800	4200
2100	4600	779	4161	779	4329

FIGURE 3.7 – Résultats obtenus par estimation

3.4 Formulation mathématique du problème

3.4.1 Les hypothèses du problème

- Dans une station de pompage, le **débit** rentrant est égale au débit sortant de la station de pompage.
- Chaque station de pompage est constituée d'un nombre fixe de pompe **identiques** (4 pompe) montés en parallèle. Cette hypothèse nous a conduit à diviser le débit écoulé à travers la station de pompage identiquement sur les pompes utilisées.
- Dans une station de pompage, le nombre de pompes qu'on peut faire fonctionner est trois. Le quatrième reste en mode standby.
- La ligne étudiée admet un seul terminal départ et un seul terminal arrivé, donc le débit qui rentre en aval du oléoduc est égale au débit en amont du oléoduc.
- Le diamètre est le même pour tous les tronçons.

3.4.2 Définition des données

Soient les données suivantes :

Données relatives à la canalisation :

- D : diamètre intérieur de la canalisation exprimé en pouce.
- Q : le débit dans le oléoduc (**m³/jour**).
- Pr_{max} : La pression maximale de service (**kpa**).
- Pr_{min} : La pression minimale de service (**kpa**).

Données relatives aux pompes

- P_{max} : La pression maximale de service (**kpa**).
- v_{max} : La vitesse maximale de la pompe (**RPM**) (Tour Par Minute).
- H_{max} : la hauteur maximale de la pompe. (m)
- P_{max} : la puissance maximale de la pompe.
- q_{max} : Le débit maximale de la pompe (m^3/h).
- η : le rendement de la pompe.

3.4.3 Définition des variables

Notre problème consiste à :

déterminer le nombre de pompe à mettre en fonction à la station (j) où (j) $\in N_{bs}$ de telle sorte à minimiser la quantité de gaz consommée par cette station, en fonction des invariants, tout en respectant le domaine de fonctionnement des pompes.

Donc les variables associées à notre problème sont :

- x_j : Le nombre de pompes actives dans la station j.
- $y_j = \begin{cases} 1, & \text{silastation } (i, j) \text{ fonctionne.} \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$
- v_j : La vitesse de rotation des pompes actives dans la station j.
- H_j : la hauteur du pompe dans la station j.
- q_j : le débite volumique passant par chaque pompe dans la station j.

3.4.4 Définition des contraintes

a-Contraintes relatives aux tronçons

1. Pour un tronçon, il existe des règles de conservation en perte de charge à respecter.
2. La pression au point i doit être supérieure à la pression minimale de service P_{min} et inférieure à la pression maximale de service P_{max} , ce qui est exprimé à l'aide de la double contrainte suivante :

$$P_{min} \leq P_j \leq P_{max}$$

b-contraintes relatives aux pompe

1. la puissance de la pompe ne doit pas dépasser la puissance maximale :

$$(b_2 q_j^3 + b_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right) q_j^2 + b_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^2 q_j + b_5 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^3) \left(\frac{1 - (1 - \eta) \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^{-0.1}}{\eta}\right) \leq P_{max} * y_j$$

2. la puissance générée par la station j doit être supérieure ou égale à zéro :

$$(b_2 q_j^3 + b_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right) q_j^2 + b_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^2 q_j + b_5 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^3) \left(\frac{1 - (1 - \eta) \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^{-0.1}}{\eta}\right) \geq 0$$

3. la hauteur fournie par la station j est une valeur constante calculée par la formule :

$$h_j = a_2 q_j^2 + a_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right) q_j + a_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^2 \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

4. la hauteur de refoulement de la station j doit être supérieure à la hauteur minimale :

$$H_{ref}(j) \geq H_{min}(j) \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

5. la hauteur de refoulement de la station j doit être inférieure à la hauteur maximale de service convertie en mètre :

$$H_{ref}(j) \leq \frac{Pr_{max} * 10^5}{\rho * g} \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

6. la hauteur d'aspiration de la station j doit être supérieure à la pression minimale de service convertie en mètre :

$$H_{asp}(j) \geq \frac{Pr_{min} * 10^5}{\rho * g} \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

7. le nombre de pompes allumées dans chaque station doit être strictement inférieur au nombre de pompes disponible, car il faut garder une pompe de secours en cas de panne :

$$x_j \leq (Np(j) - 1) * y_j \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

8. le débit traversant une pompe active ne doit pas dépasser le débit maximum supporté par la pompe :

$$q_j \leq q_{max} * y_j \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

9. la hauteur par la station j ne doit pas dépasser sa hauteur maximale :

$$h_j \leq H_{max} * y_j \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

10. la vitesse de rotation d'une pompe active ne doit pas dépasser la vitesse maximum :

$$v_j \leq v_{max} * y_j \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

11. le débit total est réparti de façon équitable sur l'ensemble des pompes actives dans la station j :

$$q_j * x_j = Q * y_j \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

12. la hauteur fournie par la station j doit être supérieure ou égale à zéro :

$$h_j \geq 0 \quad \forall j = 1 \dots N_s$$

3.4.5 L'objectif

La contrainte de la minimisation de la quantité du gaz consommée par toute les stations de pompage du Oléoduc **OZ2**. peut considérée comme étant la somme des quantités du gaz consommées par chaque station de pompage.

Donc cette contrainte est formulée par :

$$Minz = \sum_{(j) \in N_s} f_j$$

avec :

f_j représente la quantité du gaz consommée par la station (j) , $(j) \in N_s$. Ansi, la fonction objectif est donnée par :

$$\begin{aligned} \min z = & \sum_{(j) \in N_s} x_j \left[(b_2 q_j^3 + b_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right) q_j^2 + b_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^2 q_j + b_5 \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^3) \right. \\ & \left. \times \left(\frac{1 - (1 - \eta) \left(\frac{v_j}{v_{max}}\right)^{-0.1}}{\eta} \right) \right] \end{aligned}$$

avec :

- x_j :Le nombre de pompe en fonction dans la station $(i; j)$.
- q_j :le débit dans oléoduc(m^3/h).
- v_j : La vitesse de rotation des pompes actives dans la station j.
- η :le rendement.

il en résulte le modèle mathématique suivant :

$$P = \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Min}z = \sum_{(j) \in N_s} f_j \\
 \text{s.c} \\
 Z_{j-1} + \frac{P_{refj-1}}{\rho \cdot g} - \Delta H_{j-1} \geq Z_j + \frac{P_{refj-1}}{\rho \cdot g} \\
 h_j = \left[a_1 \left(\frac{N_{max}}{N} \right) Q^3 + a_2 Q^2 + a_3 \left(\frac{N}{N_{max}} \right) Q + a_4 \left(\frac{N}{N_{max}} \right)^2 \right] \cdot x_{ij} \\
 Hasp(j) = Href(j-1) - Hmin(ij-1) + \frac{P_{min} \cdot 10^5}{\rho g} \\
 Href(j) \geq Hmin(j) \\
 Href(j) \leq \frac{P_{min} \cdot 10^5}{\rho g} \\
 Hasp(j) \geq \frac{P_{min} \cdot 10^5}{\rho g} \\
 P_j \geq P_{min} \\
 P_j \leq P_{max} \\
 v_j \cdot x_j \geq v_{min} \cdot x_j \\
 v_j \cdot x_j \leq v_{max} \cdot x_j \\
 q_j \cdot x_j \geq q_{min} \cdot x_j \\
 q_j \cdot x_j \leq q_{max} \cdot x_j \\
 h_j \cdot x_{ij} \geq h_{min} \cdot x_j \\
 h_j \cdot x_{ij} \leq h_{max} \cdot x_j \\
 P_j \geq 0 \\
 x_j \in \{1, 2, 3\} \\
 q_j \geq 0 \\
 h_j \geq 0 \\
 v_j \geq 0
 \end{array} \right.$$

L'analyse du modèle mathématique du problème posé montre qu'on est en présence d'un problème non linéaire mixtes en nombre entiers MINLP (Mixed-Integer NonLineaire Programming)[20]. en fonction d'une variable bivalente (y_j), une variable entière (x_j) et des variables continues P_j , q_j , v_j et h_j .

Chapitre 4

Méthodes de résolution

Introduction

Face à la résolution d'un problème d'optimisation, il est important de bien identifier à quelle catégorie ce problème appartient. En effet, les algorithmes développés sont conçus pour résoudre un type de problème donné.

Dans certains problèmes d'optimisation, les méthodes de résolutions dites exactes, ne permettent pas de trouver la solution optimale dans une durée de temps raisonnable, ce qui fait recours à des méthodes dites métaheuristiques. En effet cette famille d'algorithmes permet de résoudre des problèmes d'optimisations complexes face auxquels les méthodes classiques manquent d'efficacité.

on peut classer les problèmes d'optimisation en fonction de leur expression mathématique, Le critère fondamental pour l'établir repose sur la nature des variables . Dans certains cas, les variables de décision sont discrètes, le plus souvent sous la forme d'entiers ou de binaires.

Le problème d'optimisation est dit discret. Au contraire, dans les problèmes d'optimisation continue, les variables peuvent prendre n'importe quelle valeur, ce sont des réels. Les problèmes d'optimisation continue sont généralement plus simples à résoudre. Un problème d'optimisation mêlant variables continues et variables discrètes est dit mixte[7].

Les problèmes d'optimisation sont classés en grandes catégories, linéaire(**LP**), non linéaire(**NLP**), programmation linéaire mixte en nombres entiers (**MINLP**). La formulation la plus complexe, rencontrée fréquemment à l'ingénierie, relève des problèmes non linéaires mixte en nombres entiers.

4.1 La programmation non linéaire mixte en nombres entiers

Un programme non linéaire mixte en nombres entiers MINLP est un problème d'optimisation consiste à minimiser une fonction objectif non linéaire à n variables mixtes, discrètes et continues soumises à un ensemble de contraintes non linéaire exprimées sous forme d'équations ou d'inéquations.

La formulation générale d'un problème MINLP est donnée par :

$$P = \begin{cases} \text{Min } f(x, y) \\ \text{sc :} \\ h(x, y) = 0 \\ g(x, y) \leq 0 \\ x \in X \\ y \in Y \text{ entier} \end{cases}$$

La variable x correspond généralement aux variables physiques (débit, pression, température, etc). Et la variable y correspond aux variables qui traduisent l'existence ou non d'une opération unitaire, le nombre d'unités d'une entité, etc.

La programmation non linéaire mixte en nombre entier combine la difficulté de l'optimisation combinatoire sur des ensembles de variables entières avec la difficulté de la manipulation d'une fonction objectif non linéaire et des contraintes non linéaires[15]. L'exécution des méthodes dites exactes (programmation dynamique, séparation et évaluation) pour la résolution de ce problème risque de prendre un temps de calcul considérable.

4.2 Méthodes de résolution d'un problème d'optimisation

Les problèmes d'optimisation combinatoire sont souvent des problèmes très difficiles dont la résolution par des méthodes exactes peut s'avérer très longue ou peu réaliste. L'utilisation de méthodes heuristiques permet d'obtenir des solutions de bonne qualité en un temps de résolution raisonnable. Les heuristiques sont aussi très utiles pour le développement de méthodes exactes fondées sur des techniques d'évaluation et de séparation (Branch and Bound).

Une heuristique est un algorithme qui a pour but de trouver une solution réalisable, sans garantie d'optimalité, contrairement aux méthodes exactes qui garantissent des solutions exactes. Comme les algorithmes de résolution exacte sont de complexité exponentielle pour les problèmes difficiles, il peut être plus judicieux de faire appel aux heuristiques pour calculer une solution approchée d'un problème ou aussi pour accélérer le processus de résolution exacte. Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, mais les approches peuvent contenir des principes plus généraux.

Les métaheuristiques peuvent être classées de nombreuses façons. Une manière de classer les métaheuristiques est de distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions et celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution, sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire. La méthode Tabou, le Recuit Simulé et la Recherche à Voisins Variables sont des exemples typiques de méthodes de trajectoire. Ces méthodes construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions meilleures. L'exemple le plus connu des méthodes qui travaillent avec une population de solutions, est l'algorithme génétique. La figure suivante donne un panorama des méthodes métaheuristiques les plus utilisées.

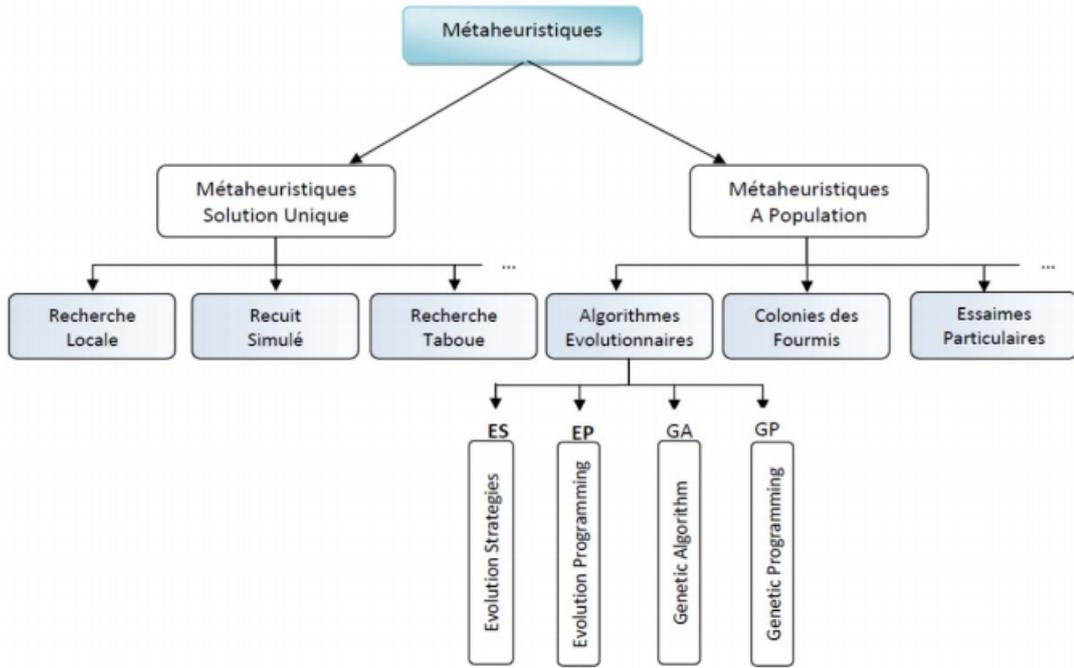


FIGURE 4.1 – Classes des méthaheuristiques.

4.3 Heuristique OOPC de calcul de puissance

Pour la résolution de notre problème, nous adaptons l'heuristique OOPC (optimization of oil pipeline consommation) basée sur le principe de construction progressive. Cette heuristique déroule en deux étapes la première étape consiste à générer aléatoirement la hauteur tan dis que la deuxième consiste à utiliser la hauteur trouvée la première phase afin de calculer la puissance de la pompe dans chaque station

4.3.1 Principe de l'heuristique OOPC

phase 1 :

pour chaque station de pompage de la canalisation, itérer les étapes suivantes :

1. calculer $H_{min(j)}$: la hauteur minimale qui permettrait l'acheminement du liquide jusqu'à la prochaine station .
2. tester si la hauteur d'aspiration de la station j permet d'atteindre la station j+1 sans passer par j.
Si oui, $h_j = 0$;
Sinon, aller a 3.
3. Générer un nombre compris entre $H_{min(j)} - H_{asp(j)}$ et H_{max} .
4. tester la hauteur de refoulement de la station .

Si celle-ci vérifie la contrainte $H_{ref(j)} \geq H_{min(j)}$ et $H_{ref(j)} > \frac{Pr_{max} \times 10^5}{\rho \times g}$ alors le nombre généré en 3 est h_j .

Sinon . reprendre depuis 3.

phase 2 :

dans cette phase, nous allons considérer les hauteurs obtenus dans une pour calculer la puissance de chacune des pompes tout en minimisant la valeur de l'objectif .

Nous avons :

$$h_j = a_2 q_j^2 + a_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right) q_j + a_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^2$$

pour obtenir la vitesse de rotation des pompes de la station j, il suffit de résoudre l'équation

$$av_j^2 + bv_j + c = 0$$

ou :

pour chaque station, répéter les étapes suivantes :

1. Fixer le nombre de pompes allumées dans la station j au nombre minimum vérifiant la contrainte $q_j < q_{max}$.
2. calculer v_j .
3. calculer la puissance de la pompe et tester si la solution obtenue est réalisable .
si oui , évaluer cette solution et la comparer avec la meilleure trouvée.
si la consommation totale obtenue est inférieure à la meilleure valeur trouvée alors conserver cette solution .
4. répéter 2. en incrémentant le nombre de pompes allumées.
le vecteur de sortie contiendra alors la meilleure solution trouvée.

OOPC : (Q : entier, $a_2, a_3, a_4, b_2, b_3, b_4, b_5$: rel)

phase une

Début

$$H_{asp}[1] = \frac{Pr_{min} \times 10^5}{\rho \times g}$$

pour $j := 1$ à 6 **faire**

$$H_{min}[j] := (Alt[j + 1] - Alt[j]) + \Delta h_j + \frac{Pr_{min} \times 10^5}{\rho \times g}$$

Si ($H_{asp}[j] > H_{min}[j]$) **alors**

$$H[j] := 0$$

$$H_{ref}[j] = H_{asp}[j]$$

Sinon

Répéter $H[j] = Random(H_{min}[j] - H_{asp}, H_{max})$

$$H_{ref}[j] = H_{asp}[j] + H[j]$$

Jusqu'à ($H_{ref} < \frac{Pr_{min} \times 10^5}{\rho \times g}$) et ($H_{ref}[j] \geq H_{min}[j]$)

fait

phase deux :

Pour $j = 1$ à 6 **faire**

$$Nbp_{min}[j] = \left\lceil \frac{Q}{q_{max}} \right\rceil$$

$i=1$

Pour $i = 1$ à 4 **faire**

$$q[j] = \left\lfloor \frac{Q}{Nbp_{min}[j]} \right\rfloor$$

$$a = \frac{d_h}{n_{max}^2}, b = \frac{c_h \cdot q_j}{n_{max}}, c = b_h q_j - h[j]$$

Si $H[j] = 0$ **alors**

$$v[j] = 0$$

$$x[j] = 0$$

$$P[j] = 0$$

$$q[j] = 0$$

Sinon

$$v[j] = Resolution(a, b, c)$$

$$P[j] = \left(b_1 \left(\frac{v_{max}}{v_j} \right) q[j]^4 + b_2 q[j]^3 + b_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right) q[j]^2 + b_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^2 q[j] + b_5 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^3 \right) \frac{1 - (1 - \eta) \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^{-0.1}}{\eta}$$

Si $0 \leq p(j) \leq P_{max}$ **alors**

$$Z = i \times p[j]$$

Si $Z \leq Z_{min}[j]$ **alors**

$$X_{min}[j] = X[j]$$

$$q_{min}[j] = q[j]$$

$$P_{min}[j] = P[j]$$

$$Z_{min} = Z$$

Sinon $i = i + 1$

fin Si

Sinon

$$i = i + 1$$

fin Si

fait

4.3.2 Algorithme génétique

les algorithmes génétiques (**AG**) ont été présentés la première fois par John Henry Holland en 1975 [9]. Ces algorithmes évolutionnaires se basent sur la théorie de la sélection naturelle (croisement, mutation, sélection.) il sont énoncée par Charles Darwin en 1859 [4]. En effet, les algorithmes génétiques s'inspirent de la notion de l'évolution naturelle en appliquant ses principes pour la résolution des problèmes d'optimisation.

Les algorithmes génétiques fournissent des solutions aux problèmes n'ayant pas de solutions calculables en temps raisonnable de façon analytique ou algorithmique. il ne s'agit pas de trouver une solution analytique exacte, ou une bonne approximation numérique, mais de trouver des solutions très proches de l'optimum et en un temps raisonnable.

A - Terminologie

On définit quelques termes de base rencontrés dans la littérature :

- **Gène** : partie élémentaire (caractère) non divisible d'un chromosome.
- **Chromosome** : solution potentielle du problème sous une forme codée (forme de chaîne de caractères).
- **Fitness** : terme anglo-saxon qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu (donc d'une solution).
- **Individu** : Les éléments d'une solution potentielle d'un problème sont illustrés sur la figure.

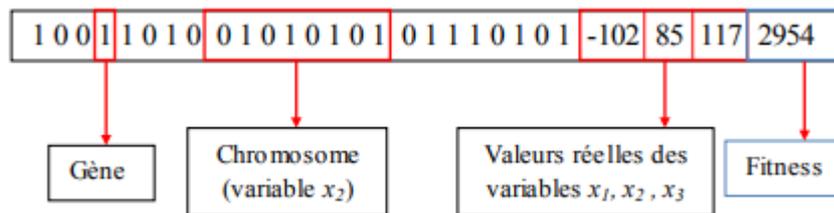


FIGURE 4.2 – Schéma explicatif d'un individu et ses composantes

- **Population** : ensemble fini d'individus (de solutions), peut être représentée par une matrice de taille $N \times M$, où N est la taille de la population et M le nombre total des bits y compris le nombre de variables et fitness.

La figure 4.3 montre la structure des éléments d'un AG de la plus petite composante qui est le Gène jusqu'à la Population qui contient un certain nombre d'individus.

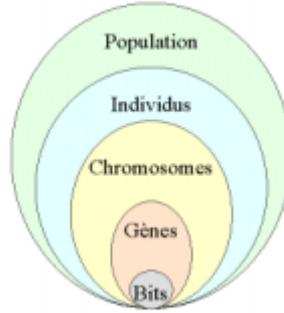


FIGURE 4.3 – les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique

B - Principe des Algorithmes Génétique

Un Algorithme Génétique recherche le / les extremums d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants :

1. Un principe de codage de l'élément de population. Cette étape associe à chacun des points de l'espace d'état, une structure de données. Elle se place généralement après une phase de modélisation mathématique du problème traité. Le choix du codage des données conditionne le succès des Algorithmes Génétiques. Les codages binaires ont été très employés à l'origine. Les codages réels sont désormais largement utilisés, notamment dans les domaines applicatifs, pour l'optimisation de problèmes à variables continues.
2. Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène, qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important, car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global. Dans le cas où l'on ne connaît rien du problème à résoudre, il est essentiel que la population initiale soit répartie sur tout le domaine de recherche.
3. Une fonction à optimiser. Celle-ci prend ses valeurs dans R^+ et est appelée fitness ou fonction d'évaluation de l'individu. Celle-ci est utilisée pour sélectionner et reproduire les meilleurs individus de la population.
4. Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population. L'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'état.
5. Des paramètres de dimensionnement : taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation.

Un algorithme génétique générique à la forme suivante :

1. Initialiser la population initiale P.
2. Evaluer P.
3. TantQue (Pas Convergence) faire :
 - P' = Sélection des Parents dans P.

- P' = Appliquer Opérateur de Croisement sur P' .
- P' = Appliquer Opérateur de Mutation sur P' .
- P = Remplacer les Anciens de P par leurs Descendants de P' .
- Evaluer P .

FinTantQue

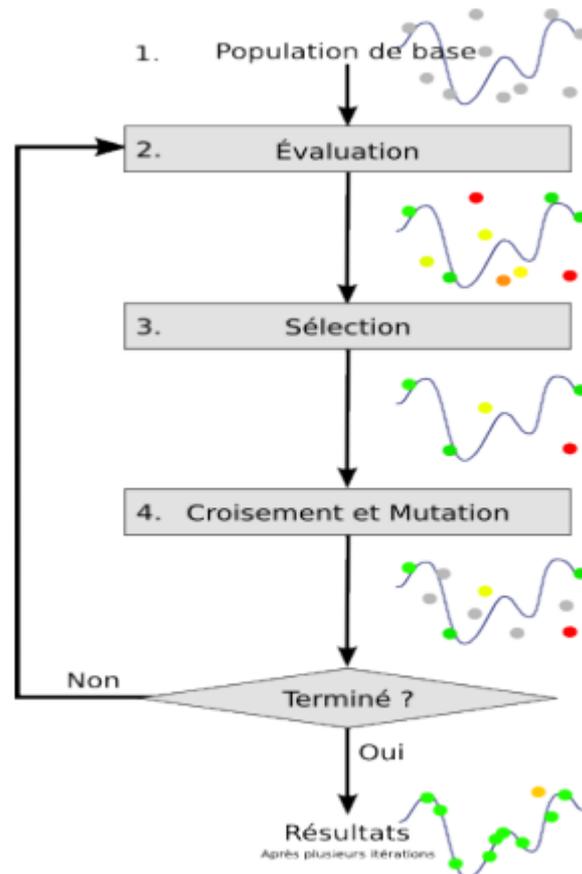


FIGURE 4.4 – Schéma d'un algorithme génétique

- Population Initiale

L'objectif de l'étape d'initialisation est de choisir un ensemble de solutions potentielles au problème d'optimisation posé. En fait, chaque solution potentielle va représenter un individu. Tous les individus représentés vont être rassemblés dans ce que l'on appelle la population initiale.

Dans l'initialisation, la première chose à faire est de décider la structure de codage. Le codage pour une solution, est habituellement décrit comme corde des symboles de 0, 1. Ces composants de la solution sont alors marqués comme gènes. Le nombre de bits qui doit être employé pour décrire les paramètres dépend du problème. Soit chaque solution dans la population de taille m $X_i; i = 1, 2, \dots, m$, une corde des symboles 0, 1 de longueur L . Typiquement, la population initiale

des solutions de taille m est choisie complètement au hasard, avec chaque bit de chaque solution ayant une possibilité de 50 de prendre la valeur 0 [29].

- Le codage

Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre l'allèle "réel" et sa représentation codée).

Un chromosome est une suite de gène, on peut par exemple choisir de regrouper les paramètres similaires dans un même chromosome (chromosome à un seul brin) et chaque gène sera repérable par sa position : son locus sur le chromosome en question.

Chaque individu est représenté par un ensemble de chromosomes, et une population est un ensemble d'individus[5].

Il y a trois principaux types de codage utilisables, et on peut passer de l'un à l'autre relativement facilement :

1. **le codage binaire** : c'est le plus utilisé.

Chaque gène dispose du même alphabet binaire 0,1, Un gène est alors représenté par un entier long (32 bits), les chromosomes qui sont des suites de gènes sont représentés par des tableaux de gènes et les individus de notre espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes.

Ce cas peut être généralisé à tout alphabet allélique n -aire permettant un codage plus intuitif, par exemple pour le problème du voyageur de commerce on peut préférer utiliser l'alphabet allélique $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ où c_i représente la ville de numéro i .

2. **le codage réel** : cela peut-être utile notamment dans le cas où l'on recherche le maximum d'une fonction réelle.

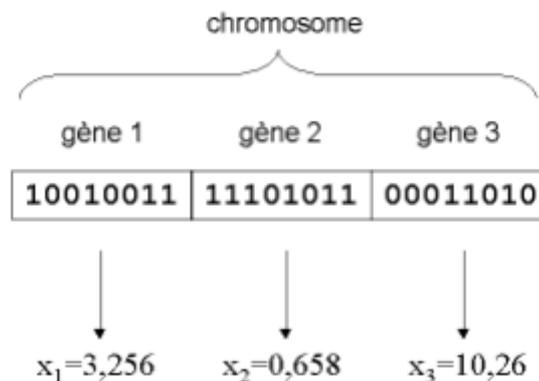


FIGURE 4.5 – illustration schématique du codage des variables réelles

3. **le codage de Gray** : dans le cas d'un codage binaire on utilise souvent la "distance de Hamming" comme mesure de la dissimilarité entre deux éléments de population, cette mesure compte les différences de bits de même rang de ces deux séquences.

Et c'est là que le codage binaire commence à montrer ses limites. En effet, deux éléments voisins en terme de distance de Hamming ne codent pas nécessairement deux éléments proches dans l'espace de recherche. Cet inconvénient peut être évité en utilisant un "codage de Gray" : le codage de Gray est un codage qui a comme propriété que entre un élément n et un élément $n + 1$, donc voisin dans l'espace de recherche, un seul bit diffère.

Fitness

Résoudre un problème d'optimisation, c'est rechercher, parmi un ensemble de solutions qui vérifient des contraintes données, les solutions qui rendent minimale (ou maximale) une fonction mesurant la qualité de cette solution. Cette fonction est appelée fitness. Les contraintes et la fonction objectif s'expriment à l'aide de relations mathématiques qui combinent les paramètres connus et les variables du problème [5].

Transformation de la fonction objectif en fonction d'adaptation (évaluation, fitness)

Les Algorithmes Génétiques travaillent sur la maximisation d'une fonction positive. Or dans beaucoup de problèmes, l'objectif est de minimiser une fonction coût $f(X)$. Par ailleurs, même dans un problème de maximisation, rien ne garantit que la fonction objectif reste positive pour tout individu X . Ainsi, il est souvent nécessaire de transformer la fonction objectif en une fonction appelée fonction d'adaptation.

Cette fonction permet de mesurer l'efficacité de la solution. La pertinence des solutions potentielles dépend essentiellement de la formulation de cette fonction. En effet, quelle que soit sa définition, l'algorithme convergera vers un optimum de cette fonction. Elle doit donc exprimer le plus fidèlement possible sous forme mathématique le ou les objectifs à atteindre [5].

L'opérateur de sélection

Cet opérateur est chargé de définir quels seront les individus de P qui vont être dupliqués dans la nouvelle population P' et vont servir de parents (application de l'opérateur de croisement). Soit n le nombre d'individus de P , on doit en sélectionner $n/2$ (l'opérateur de croisement nous permet de repasser à n individus).

Cet opérateur est peut-être le plus important puisqu'il permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement liée à son efficacité relative au sein de la population [5].

On trouve essentiellement quatre types de méthodes de sélection différentes :

- La méthode de la "loterie biaisée" (roulette wheel) de Goldberg .
- La méthode "élitiste".
- La sélection par tournois.
- La sélection universelle stochastique.

a. La loterie biaisée ou roulette wheel :

Cette méthode est la plus connue et la plus utilisée. Avec cette méthode chaque individu a une chance d'être sélectionné proportionnelle à sa performance, donc plus les individus sont adaptés au problème, plus ils ont de chances d'être sélectionnés.

Pour utiliser l'image de la "roue du forain", chaque individu se voit attribué un secteur dont l'angle est proportionnel à son adaptation, sa "fitness".

On fait tourner la roue et quand elle cesse de tourner on sélectionné l'individu correspondant au secteur désigné par une sorte de "curseur", curseur qui pointe sur un secteur particulier de celle-ci après qu'elle se soit arrêté de tourner.

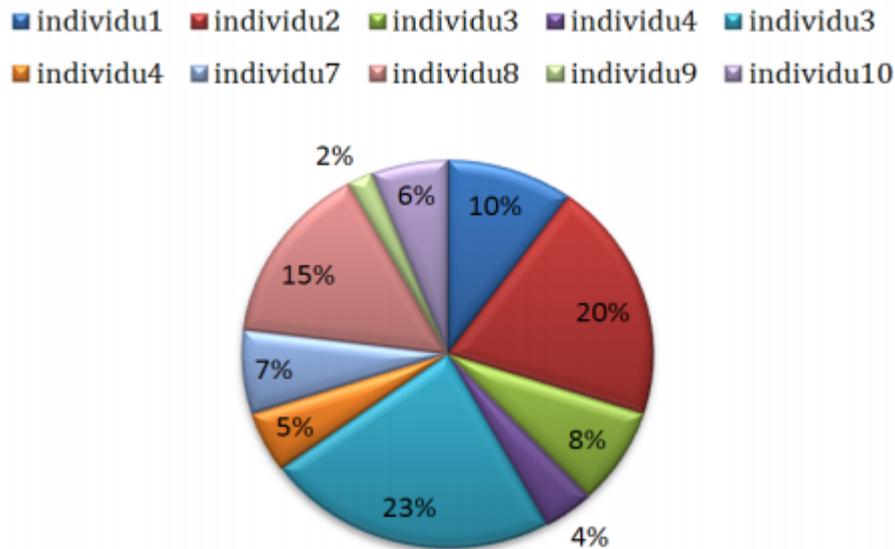


FIGURE 4.6 – Sélection par roulette

b. Sélection par élitisme :

Cette méthode consiste à sélectionner les n individus dont on a besoin pour la nouvelle génération P' en prenant les n meilleurs individus de la population P après l'avoir triée de manière décroissante selon la fonction d'adaptation (fitness) de ses individus. Il est inutile de préciser que cette méthode est encore pire que celle de la loterie biaisée dans le sens où elle amènera à une convergence prématurée encore plus rapidement et surtout de manière encore plus sûre que la méthode de sélection de la loterie biaisée, en effet, la pression de la sélection est trop forte, la variance nulle et la diversité inexistante.

c. Sélection par tournoi :

Cette méthode est celle avec laquelle on obtient les résultats les plus satisfaisants. Le principe de cette méthode est le suivant : on effectue un tirage avec remise de deux individus de P, et on les fait "combattre". Celui qui a la fitness la plus élevée l'emporte avec une probabilité p comprise entre 0.5 et 1. On répète ce processus n fois de manière à obtenir les n individus de P' qui serviront

de parents. La variance de cette méthode est élevée et le fait d'augmenter ou de diminuer la valeur de p permet respectivement de diminuer ou d'augmenter la pression de la sélection.

d. La sélection universelle stochastique :

Cette méthode semble être très peu utilisée et qui plus est possède une variance faible, donc introduit peu de diversité, nous n'entrerons donc pas dans les détails, on se contentera d'exposer sa mise en oeuvre : On prend l'image d'un segment découpé en autant de sous-segments qu'il y a d'individus. Les individus sélectionnés sont désignés par un ensemble de points équidistants.

L'opérateur de croisement

La naissance d'un nouvel individu, nécessite la prise aléatoire d'une partie des gènes de chacun des deux parents. Ce phénomène, issu de la nature est appelé croisement (crossover). Le croisement est le processus de prendre deux parents et de produire à partir d'elles des enfants. Il s'agit d'un processus essentiel pour explorer l'espace des solutions possibles. La littérature définit plusieurs opérateurs de croisement. Ils diffèrent selon le type de codage adapté et la nature du problème traité.

Croisement binaire

Ce croisement peut avoir recourt à plusieurs types en occurrence [5] :

1. Croisement en 1-point :

C'est le croisement le plus simple et le plus connu dans la littérature. Il consiste à choisir au hasard un point de croisement pour chaque couple de chromosomes. Les sous-chaînes situées après ce point sont par la suite inter changées pour former les fils, comme le montre la figure.

Parent1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0
Parent2	1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1
⋮	
Fils 1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1
Fils 2	1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0

FIGURE 4.7 – Croisement en un point de deux chromosomes

2. Croisement en 2-point :

Dans ce type de croisement, deux points de coupure sont choisis au hasard et le contenu entre ces points est inter-changé pour former les fils, comme le montre la figure.

3. Croisement en n-point :

Ce type de croisement s'énonce par un choix aléatoirement de n -points de coupure pour

Parent1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0
Parent2	1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1
Fils 1	1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
Fils 2	1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1

FIGURE 4.8 – Croisement en 2-points de deux chromosomes

dissocier chaque parent en $n+1$ fragments. Pour former un fils, il suffit de concaténer alternativement $n+1$ sous chaînes à partir des deux parents.

4. Croisement uniforme :

Il existe des versions distinctes de ce croisement. La plus connue consiste à définir de manière aléatoirement un masque, c'est-à-dire une chaîne de bits de même longueur que les chromosomes des parents sur lesquels il sera appliqué. Ce masque est destiné à savoir, pour chaque locus, de quel parent le premier fils devra hériter du gène s'y trouvant ; si face à un locus le masque présente un 1, le fils héritera le gène s'y trouvant du parent 1, s'il présente un 0 il en héritera du parent 2.

La création du fils 2 se fait de manière symétrique : si pour un gène donné le masque indique que le fils 1 devra recevoir celui-ci du parent 1 alors le fils 2 le recevra du parent 2, et si le fils 1 le reçoit du parent 2 alors le fils 2 le recevra du parent 1, comme le montre la figure.

Parent1	1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
Parent2	0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1
Masque	1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0
Fils 1	1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1
Fils 2	0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0

FIGURE 4.9 – Croisement uniforme

5. **Croisement avec trois parents :** Dans cette technique, trois parents sont aléatoirement choisis. Chaque bit du premier parent est comparé avec le bit du deuxième parent. Si tous

les deux sont les mêmes le bit est pris pour le résultat, sinon le bit du troisième parent est pris pour le résultat.

Parent1	1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
Parent2	0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1
Parent3	1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0
Fils	1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1

FIGURE 4.10 – Croisement trois parents

L'opérateur de mutation

C'est un processus où un changement mineur de code génétique est appliqué à un individu pour introduire de la diversité et ainsi d'éviter de tomber dans des optimums locaux. Différentes manières de mutation d'un chromosome sont aussi définies dans la littérature[5].

a. Mutation en codage binaire :

Cet opérateur consiste à changer la valeur allélique d'un gène avec une probabilité p_m très faible, généralement comprise entre 0.01 et 0.001. On peut aussi prendre :

$$p_m = 1/lg$$

où lg est la longueur de la chaîne de bits codant notre chromosome.

Une mutation consiste simplement en l'inversion d'un bit (ou de plusieurs bits, mais vu la probabilité de mutation c'est extrêmement rare) se trouvant en un locus bien particulier et lui aussi déterminé de manière aléatoire ; on peut donc résumer la mutation de la façon suivante :

On utilise une fonction censée nous retourner true avec une probabilité p_m .

Pour chaque locus **faire**

Faire appel à la fonction

Si cette fonction nous renvoie true **alors**

on inverse le bit se trouvant à ce locus

FinSi

FinPour

b. Mutation en codage réel :

Pour le codage réel, les opérateurs de mutation les plus utilisés sont les suivants :

1. Mutation par inversion :

Deux positions sont sélectionnées au hasard et tous les gènes situés entre ces positions sont inversés. La figure Fig 4.9, montre un exemple de mutation par inversion. L'individu i avant mutation est représenté dans la partie (a) avec le segment formé par les deux positions sélectionnées. L'inversion est effectuée à l'étape (b) afin de produire l'individu i' .

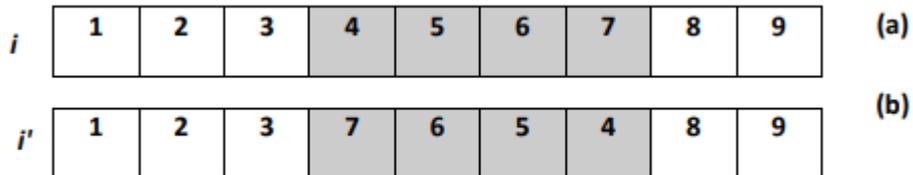


FIGURE 4.11 – Mutation par inversion

2. Mutation par insertion :

Deux positions sont sélectionnées au hasard et le gène appartenant à l'une est inséré à l'autre position. Dans la Figure Fig 4.10 partie (a), les gènes "3" et "6" de l'individu i sont sélectionnés. La deuxième étape, illustrée par la partie (b), montre l'insertion de "6" avant "3" et le décalage de tous les autres gènes.

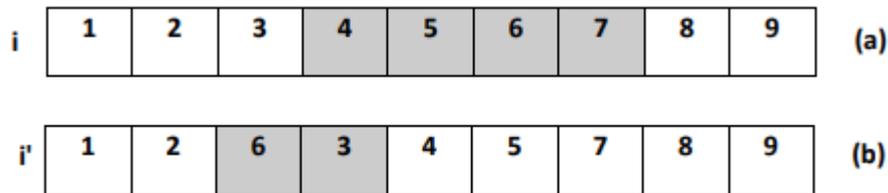


FIGURE 4.12 – Mutation par insertion

3. Mutation par déplacement :

Une séquence est sélectionnée au hasard et déplacée vers une position elle même tirée au hasard. Un exemple de mutation par déplacement est illustré à la figure Fig 4.11. Dans la partie (a), la séquence "3-4-5-6" est sélectionnée et déplacée à la première position pour former l'individu i' représenté dans la partie (b).

4. Mutation par permutation :

Deux positions sont sélectionnées au hasard et les gènes situés dans ces positions sont permutés. Comme il est illustré à la Figure Fig 4.12, les éléments "3" et "6" sont sélectionnés dans i (partie (a)) et permutés dans i' (partie (b)).

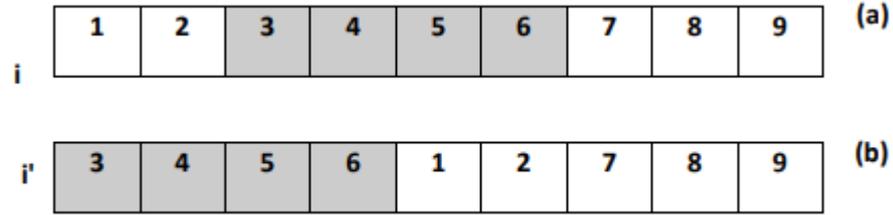


FIGURE 4.13 – Mutation par déplacement

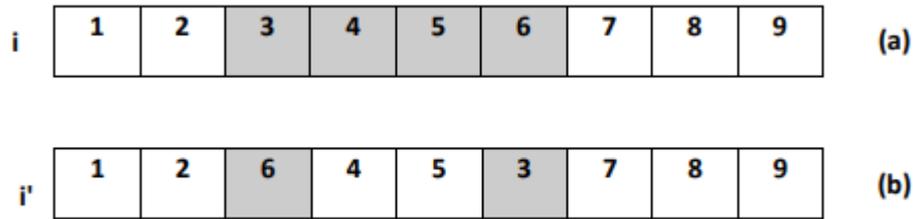


FIGURE 4.14 – Mutation par permutation

C- Convergence de l'AG et ajustement des paramètres

Le critère d'arrêt indique que la solution est suffisamment approchée de l'optimum. Plusieurs critères d'arrêt de l'algorithme sont possibles. On peut arrêter l'algorithme après un nombre de générations suffisant pour que l'espace de recherche soit convenablement exploré. Ce critère peut s'avérer coûteux en temps de calcul si le nombre d'individus à traiter dans chaque population est important.

L'algorithme peut aussi être arrêté lorsque la population n'évolue plus suffisamment rapidement. On peut aussi envisager d'arrêter l'algorithme lorsque la fonction d'adaptation d'un individu dépasse un seuil fixé au départ.

Comme les opérateurs génétiques utilisent des facteurs aléatoires, un AG peut se comporter différemment pour des paramètres et population identiques. Afin d'évaluer correctement l'algorithme, il faut l'exécuter plusieurs fois et analyser statistiquement les résultats [7].

4.4 Adaptation des algorithmes génétiques à notre problème

4.4.1 Codage des données

Nous définissons le chromosome comme étant un vecteur V de taille 18, composé de trois parties :

- **Partie 1** : Un vecteur de taille 6, de composante bivalentes (1 si la station de pompage est en marche, 0 sinon).

- **Partie 2** : Un vecteur de taille 6, de composantes entières(le nombre du pompe en marche dans la station de pompage correspondante).
- **Partie 3** : Un vecteur de taille 6, de composantes entières(les vitesses de rotation des pompes dans les stations de pompages).

La structure d'un individu est présentée dans la figure ci-dessous.

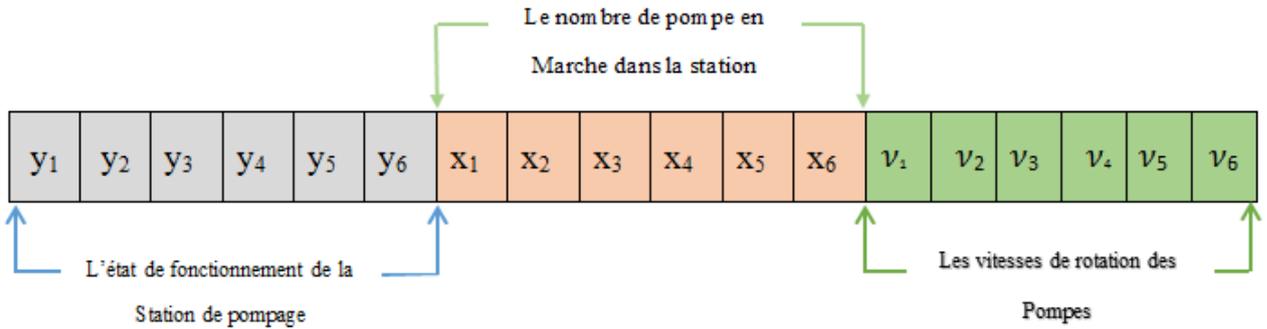


FIGURE 4.15 – La structure d'un individu.

4.4.2 Population initiale

On génère n solutions réalisables du problème par l'heuristique OOPC, qui constituera une population initiale pour l'algorithme génétique. Vu que les constantes n influencent pas sur la solution, on va pas les considérer dans l'évaluation des individus.

4.4.3 Évaluation

Procédure Évaluation : ($E : nTC; S; q; H : matrice; S : f : matrice; Z : vecteur$)

Début :

Pour $i := 1$ à n **faire**

$Y := 0$

Pour $j := 1$ à 6 **faire**

$$f[i, j] = \left(b_p \left(\frac{v_{max}}{v_j} \right) + b_2 q(j)^3 + b_3 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right) q(j)^2 + b_4 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^2 q(j) + b_5 \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^3 \right) \frac{1 - (1 - \eta) \left(\frac{v_j}{v_{max}} \right)^{-0.1}}{\eta};$$

$Y := Y + f[i, j];$

fait ;

$Z[i] := Y;$

fait ;

Fin.

4.4.4 Sélection

La sélection des individus pour la reproduction se fait par la sélection de deux individus aléatoirement. Pour chaque paire d'individus tirées aléatoirement on compare et on sélectionne le meilleur, ce qui produit deux parents P1 et P2. L'étape de sélection est décrite dans la partie (1) de la procédure croisement.

4.4.5 Croisement

Dans notre cas, nous avons utilisé le croisement en un point. Pour effectuer ce type de croisement sur des chromosomes, on tire aléatoirement une position de croisement dans chacun des parents. On échange ensuite les deux chaînes terminales de chacun des deux chromosomes, ce qui produit deux enfants E1 et E2. Pour ce qui est de la probabilité de croisement nous avons choisi $P_c = 0.9$.

Procédure Croisement : E : $P1, P2$: vecteur; v : $P1; P2; E1; E2; H1; H2; q1; q2$: vecteur.

Début

Pour $i := 1$ à n **faire**

/* **Partie(1)** */
 $x := \text{random}(n)$;

$u := \text{random}(n)$;

$\text{minimum} := \min(Z[x], Z[u])$;

Si($\text{minimum} = Z[x]$) **alors** $\text{indice 1} := x$

Si non $\text{indice 1} := u$;

$t := \text{random}(n)$;

$y := \text{random}(n)$;

$\text{minimum} := \min(Z[t], Z[y])$;

Si($\text{minimum} = Z[t]$) **alors** $\text{indice 2} := t$

Si non $\text{indice 2} := y$;

Pour $k := 1$ à 18 **faire**

$PB[k]1[k] := B[k, \text{indice1}]$;

$P2[k] := B[k, \text{indice2}]$;

Fait ;

/***Parite(2)***/

$r := \text{random}[0, 1]$;

Si($r < p_c$) **alors**

$v := \text{random}(6)$;

```

Pour  $k := 1$  à  $v - 1$  faire

 $E1[k] := P1[k];$ 

 $E2[k] := P2[k];$ 

 $E1[k + 6] := P1[k + 6];$ 

 $E2[k + 6] := P2[k + 6];$ 

 $E1[k + 12] := P1[k + 12];$ 

 $E2[k + 12] := P2[k + 12];$ 

fait ;

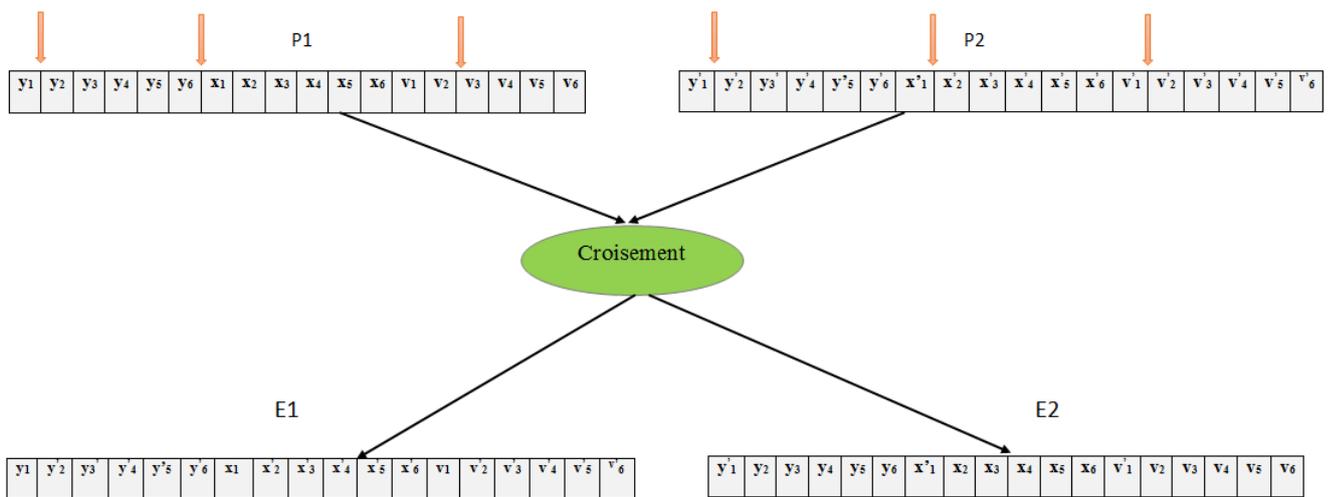
Sinon

– Garder les deux parents P1 et P2 ;

fin si ;

fait ;

fin.
    
```



On sélectionne un individu aléatoirement, selon la probabilité de mutation qui est égale à 0.002, un point (un gène) dans la troisième partie (vecteur des vitesses) sera choisi aléatoirement pour être changé.

La procédure de mutation est décrite ci dessous :

Procédure Mutation

Début

Pour $i := 1$ à n **faire**

$m := \text{random}(n)$; /* Soit l'individu F */

$r := \text{random}[0,1]$;

Si ($r < p_m$) **alors**

$i := \text{random}(12,18)$;

$id := i - 12$;

Si ($B[m,d] \neq 0$) **alors**

Répéter $H[d] = \text{Random}(H_{min}[d] - H_{asp}, H_{max})$

$H_{ref}[d] = H_{asp}[d] + H[d]$

Jusqu'à ($H_{ref} < \frac{Pr_{min} \times 10^5}{\rho \times g}$) et ($H_{ref}[d] \geq H_{min}[d]$)

$a = \frac{d_h}{n_{max}^2}$, $b = \frac{c_h \cdot q_d}{n_{max}}$, $c = b_h q_d - h[d]$

$v[d] = \text{Resolution}(a, b, c)$

$B[m,i] = v[d]$;

fin si;

fin si;

fin si;

fait;

fin.

Chapitre 5

Implémentation informatique

Introduction

Nous aboutissons maintenant à l'étape finale à savoir l'élaboration d'une application aussi convivial que possible, munie d'une interface claire et accessible, facilitant ainsi son utilisation. Avant de procéder à la présentation de notre application, une description de l'environnement de programmation utilisé (C++) s'avère nécessaire.

5.1 C'est quoi le C++ ?

Le C++ est un langage de programmation, c'est à dire un langage permettant à un humain de spécifier les opérations qu'un ordinateur doit effectuer dans un programme. Il existe un grand nombre de langages divers et variés, chacun étant adapté à des tâches particulières. Le C++ est l'évolution du langage C, un langage plus simple et surtout beaucoup plus anciens.

Tout comme son ancêtre, qui est encore beaucoup utilisé, il est très apprécié afin de mettre en place et de réaliser des programmes complexes travaillant au niveau système. Ces langages permettent tous les deux d'utiliser directement les fonctions des systèmes d'exploitation. Le langage C++ est donc utilisé, avec le C, pour écrire des programmes bas niveau qui interagissent directement avec le système, ou des programmes ayant des contraintes de rapidité et d'efficacité assez importantes [24].

5.2 Avantages du C++ et champs d'application

- Très répandu et apprécié, en effet le C++ fait partie des langages de programmation les plus utilisés dans le monde. Il est très facile d'avoir accès à de la documentation sur Internet et il existe de nombreux forums pouvant vous aider dans vos recherches ou si vous rencontrez un soucis durant le développement.
- Le langage C++ est très rapide, ce qui en fait un langage de choix pour les applications critiques qui ont besoin de performances. On pense notamment au cas des jeux vidéos mais aussi de certains outils financiers voire même des programmes militaires nécessitant de fonctionner en temps réels et par conséquent sans latence.

- Le C++ est aussi multi-paradigmes ce qui signifie qu'on peut programmer de différentes façons en C++. La plus célèbre des façons est donc d'utiliser la Programmation Orientée Objet (POO). C'est une technique qui permet de simplifier l'organisation du code dans un programme et de rendre facilement certains morceaux de codes réutilisables.

Actuellement, le C++ connaît toujours un succès éclatant dans le domaine de la finance et de nombreuses banques sont à la recherche de développeur C et C++.

5.3 Résultats de l'application

Après avoir programmé les méthodes exposées dans le chapitre précédent, nous avons illustré nos résultats en choisissant comme exemple un débit de $4000 \text{ m}^3/\text{jour}$:

Résultats obtenus par l'heuristique OOPC pour le débit choisi :

```

21     double Href[6];
22     double heuristique(double Q) {
23
24         static double H[6];
25         static double T[24];
26         double v[6];
27         double q[6];
28         int x[6];
29         int y[6];
30         double p[6];
31         double Xmin[6];
32         double Qmin[6];
33         double Vmin[6];
34         double Pmin[6];
35         double delta;
36         double a; double b; double c;
37         double a2=-0.00005; double a3= -0.00700
38         double b2=-0.0000001; double b3=0.00050
39         double pmax = 5000;
40         double vmax = 4600;
41         double qmax = 3000;
42
43         double ran =1;
44         double Z[6];
45         double Zmin[6];
46         int i;
47         int j;
48
49         cout << "phase 1 : calculer la hauteur
50         srand( (unsigned)time( NULL ) );
51
52         for ( j = 1; j < 7; ++j) {
53             H[j] = (rand() % (900-0) + 0 );
54
55             cout<<" H [ "<< j <<" ] = "<<H[j]<<e
56     }

```

```

*main.cpp - Code::Blocks 16.01
"C:\Users\Family computer\Desktop\53\main.exe"
heuristique
enter le debit Q
4000
phase 1 : calculer la hauteur H
H [ 1 ] = 25
H [ 2 ] = 311
H [ 3 ] = 751
H [ 4 ] = 270
H [ 5 ] = 861
H [ 6 ] = 463
phase 2 : calculer la puissance P
stations 1
Xmin [ 1 ] = 3
y [ 1 ] = 1
Qmin [ 1 ] = 1333.33
Umin [ 1 ] = 1562.94
Pmin [ 1 ] = 220.392
Zmin [ 1 ] = 661.177
stations 2
Xmin [ 2 ] = 3
y [ 2 ] = 1
Qmin [ 2 ] = 1333.33
Umin [ 2 ] = 2909.99
Pmin [ 2 ] = 1098.4
Zmin [ 2 ] = 3295.2
stations 3
Xmin [ 3 ] = 2
y [ 3 ] = 1
Qmin [ 3 ] = 2000
Umin [ 3 ] = 4486.68
Pmin [ 3 ] = 3957.87
Zmin [ 3 ] = 7915.73

```

```

143         cout<<" Xmin [ "<< j <<" ] = "
144
145         if (min==0)
146             y[j]=0;
147             else
148                 y[j]=1;
149
150         cout<<" y [ "<< j <<" ] = "<<y[j]<<endl;
151         cout<<" Qmin [ "<< j <<" ] = "<<Qmin[m
152         cout<<" Vmin [ "<< j <<" ] = "<<Vmin[m
153         cout<<" Emin [ "<< j <<" ] = "<<Pmin[m
154         cout<<" Zmin [ "<< j <<" ] = "
155
156         cout << "\n" << endl;
157
158     }
159
160
161
162     cout<<"consommation totale = "<<scm<<endl;
163
164
165
166
167 }
168
169
170 int main () {
171
172     double Q;
173     cout << "enter le debit Q "<< endl;
174     cout << "\n" << endl;
175     cin >> Q;
176     cout << "\n" << endl;
177     heuristique (Q);
178

```

```

*main.cpp - Code::Blocks 16.01
"C:\Users\Family computer\Desktop\53\main.ex

staions 4
Xmin [ 4 ] = 3
y [ 4 ] = 1
Qmin [ 4 ] = 1333.33
Umin [ 4 ] = 2757.9
Pmin [ 4 ] = 966.54
Zmin [ 4 ] = 2899.62

staions 5
Xmin [ 5 ] = 2
y [ 5 ] = 1
Qmin [ 5 ] = 2000
Umin [ 5 ] = 4737.26
Pmin [ 5 ] = 4504.68
Zmin [ 5 ] = 9009.37

staions 6
Xmin [ 6 ] = 3
y [ 6 ] = 1
Qmin [ 6 ] = 1333.33
Umin [ 6 ] = 3414.87
Pmin [ 6 ] = 1608.48
Zmin [ 6 ] = 4825.43

consommation totale = 28606.5

Process returned 0 (0x0)   execution time : 4.813 s
Press any key to continue.

```

FIGURE 5.1 – Résolution par l'heuristique

consommation Total : 28606.5 kw

Résultats obtenus par l'algorithme génétique :

```

650
651  /**Croisement_Mutation + Mutation*/
652  l=0;
653  while(l<25){
654      //croisement
655      i= rand_a_b(0,5);
656      X1_Hasp[0] = 7*pow(10,5)/(rho*g);
657      X_Hasp[0] = 7*pow(10,5)/(rho*g);
658      for (j=0; j<i+1 ; j++){
659          X_hauteur[j]=Generation[l+1][j+12];
660          X_Href[j]=X_Hasp[j]+X_hauteur[j];
661          while((X_Href[j]<Hmin[j]) || (X_Href[j]>Prmax*po
662              {X_hauteur[j]=Prmax*pow(10,5)/(rho*g)-
663                X_Href[j]=X_Hasp[j]+X_hauteur[j];
664              }
665          X_Hasp[j+1]=X_Href[j]-Hmin[j]+Prmin*po
666          while(X_Hasp[j+1]<Prmin*pow(10,5)/(rho*g)) {
667              X_hauteur[j]=Hmin[j]-X_Hasp[j];
668              X_Hasp[j+1]=X_Href[j]-Hmin[j]+Prmin*p
669              }
670
671          X1_hauteur[j]=Generation[l][j+12];
672          X1_Href[j]=X1_Hasp[j]+X1_hauteur[j];
673          while((X1_Href[j]<Hmin[j]) || (X1_Href[j]>Prmax*
674              {X1_hauteur[j]=Prmax*pow(1
675                X1_Href[j]=X1_Hasp[j]+X1_
676              }
677          X1_Hasp[j+1]=X1_Href[j]-Hmin[j]+Pr
678          while(X1_Hasp[j+1]<Prmin*pow(10,5)/(rho*g)) {
679              X1_hauteur[j]=Hmin[j]-X1_H
680              X1_Hasp[j+1]=X1_Href[j]-Hm
681              }
682          }
683          for (j=i+1; j<nbs ; j++){
684              X_hauteur[j]=Generation[l][j+12];
685              X_Href[i+1]=X_Hasp[i+1]+X_hauteur[i+1];
    
```

```

"C:\Users\Family computer\Desktop\53"
L'algorithme genetique
enter le Debit Q
4000
station 1:
y[ 1 ] = 1
Xmin [ 1 ] = 3
qmin [ 1 ] = 1333
Umin [ 1 ] = 3832.95
Pmin [ 1 ] = 2272.71
station 2:
y[ 2 ] = 1
Xmin [ 2 ] = 3
qmin [ 2 ] = 1333
Umin [ 2 ] = 3408.67
Pmin [ 2 ] = 1700.91
station 3:
y[ 3 ] = 1
Xmin [ 3 ] = 3
qmin [ 3 ] = 1333
Umin [ 3 ] = 3687.44
Pmin [ 3 ] = 2067.01
station 4:
y[ 4 ] = 1
Xmin [ 4 ] = 3
qmin [ 4 ] = 1333
Umin [ 4 ] = 4074.55
Pmin [ 4 ] = 2638.08
station 5:
y[ 5 ] = 1
Xmin [ 5 ] = 3
qmin [ 5 ] = 1333
Umin [ 5 ] = 3490.42
Pmin [ 5 ] = 1804.62
station 6:
y[ 6 ] = 1
Xmin [ 6 ] = 3
qmin [ 6 ] = 1333
Umin [ 6 ] = 2819.38
Pmin [ 6 ] = 1032.14
AG consommation totale :34546.4
    
```

FIGURE 5.2 – Résolution par l'algorithme génétique

consommation Total : 34546.4 kw

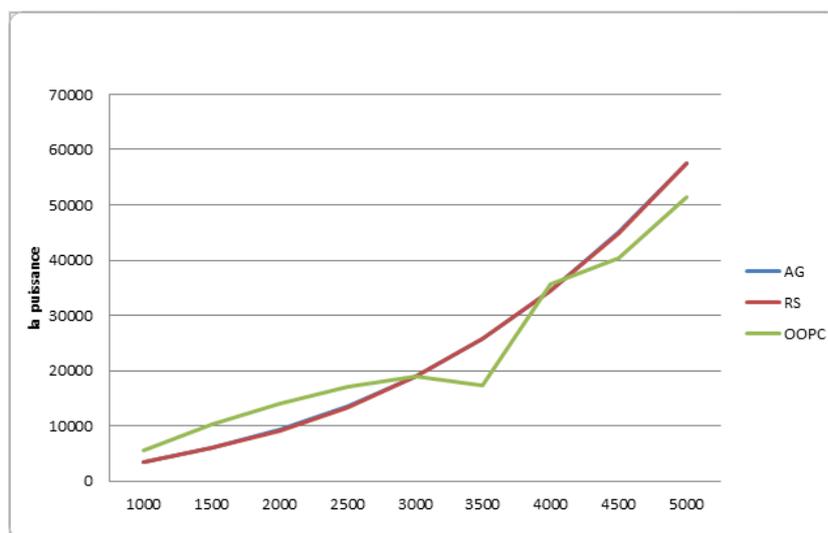
5.3. RÉSULTATS DE L'APPLICATION

Afin de mieux voir la performance des trois méthodes implémentées, nous donnons dans la suite, un tableau comparatifs sur le comportement de chaque méthode implémentée.

Pour des débits entre 1000 et 6000 $m^3/jour$, une exécution des trois méthodes a donné les résultats suivants :

Débit (m3/jour)	Configuration optimale						Puissance (kw)		
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	AG	RS	OOPO
1000	1	1	1	0	0	0	3547.65	3485.45	5494.48
1500	1	0	2	0	0	1	5979.53	5939.64	10298.9
2000	2	2	2	0	2	2	9245.7	9206.93	14069
2500	2	2	2	0	2	0	13535.9	13411.3	17175.5
3000	2	2	3	3	2	2	18933.9	18900.3	18877.1
3500	3	2	3	3	3	3	25880.7	25791.2	17438
4000	3	2	3	2	2	3	34546.4	34486.6	28606.5
4500	3	3	3	3	3	3	45025.4	4490.3	40316.4
5000	3	3	3	3	3	3	57524.2	57842.3	51440.9

FIGURE 5.3 – Résultats obtenus par des trois méthodes



A partir du graphique, on remarque que l'heuristique OOPO est plus performant que les deux autres méthodes pour certains débits, mais on vu que les heuristiques ont une caractéristique de l'aléatoire donc pour avoir une meilleure solution il faut exécuter plusieurs fois.

donc l'algorithme génétique et recuit simulé devient plus efficace surtout en temps d'exécution, ce qui justifie l'utilisation des deux métaheuristiques.

5.4 Comparaison des résultats obtenus avec les données réelles

Une comparaison entre la consommation pour le régime de fonctionnement usuel et la consommation pour le régime de fonctionnement obtenue avec l'optimisation pour les débits usuels est représentée dans les tableaux ci-dessous.

Débit m^3/h	Régime usuel	Régime optimisé	Gain
3200	22960	21541.5	1418.5
3500	29100	17834	11266
4000	34650	28606.6	6043.4
5200	63850	63287.6	562.4

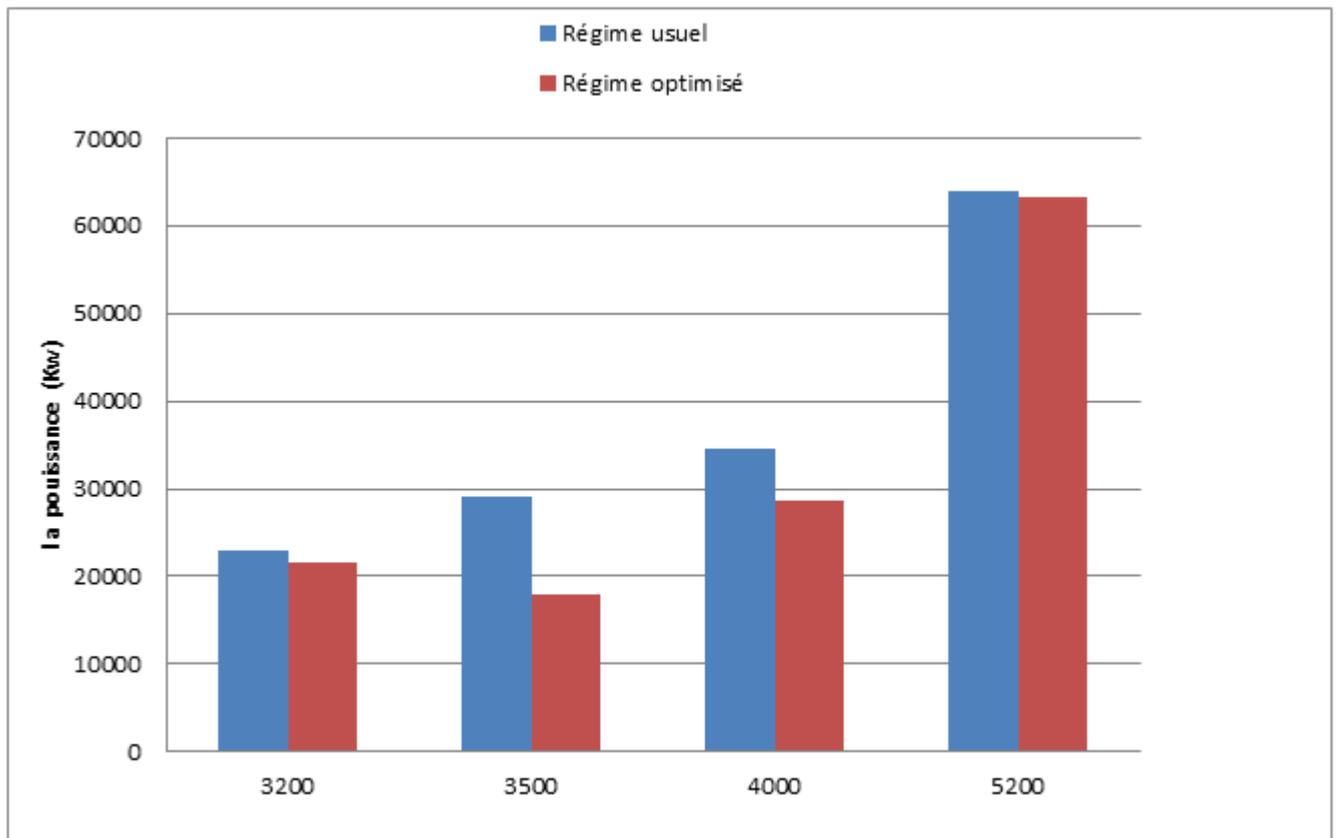


FIGURE 5.4 – Comparaison des résultats obtenus avec les données réelles

Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude nous a permis de nous confronter pour la première fois à un problème du monde réel avec le bagage académique dont nous disposons. L'entreprise SONATRACH nous a confié une étude qui a pour titre "Optimisation de transport du pétrole par canalisation".

Pour mener bien ce projet, il a fallu maîtriser et comprendre des notions hors notre domaine d'étude, nous avons appris certaines notions de mécanique des fluides et les calculs hydrauliques.

arrivé au terme de notre étude, il y a lieu de faire un bilan du travail fait. De nombreux algorithmes et méthodes de résolution exactes ont été développés afin de tenter de résoudre des problèmes pratiques. Ces algorithmes concernent certaines classes complètement caractérisées pour lesquelles la solution optimale est totalement déterminée par l'application de la méthode adéquate. La NP-complétude avérée de certains problèmes, fait que le quasi-unique moyen d'obtenir une solution est le recours à des méthodes approchées.

dans notre mémoire, nous avons présenté une contribution à la résolution de l'optimisation du transport de l'hydrocarbure par canalisation, cette contribution consiste en l'implémentation d'une heuristique nommée OOPC et de son hybridation avec des métaheuristiques, en l'occurrence la méthode basée sur le principe des algorithmes génétiques et la méthode Recuit simulé l'outil obtenu s'est avéré efficace dans la partie instances testées.

la simulation de notre méthode a donné lieu à une application nous avons baptisée pétrole linge et qui a été programmée en langage C++.

Bibliographie

- [1] A.V. Aho and J.E. Hopcroft. Design Analysis of Computer Algorithms. Pearson Education India, 1974.
- [2] B. Korte ; J Vygen, Optimisation combinatoire Théorie et algorithmes, Lavoisier, Paris, 2018.
- [3] C, Irène ; A Germa ; O Hudry, Méthodes d'optimisation combinatoire, Masson, Paris, 1996.
- [4] C. Darwin, On the origins of species by means of natural selection, Murray, London, 1859.
- [5] J. Teghem, Recherche opérationnelle - Tome 1 Méthode d'optimisation, Ellipses, 2012.
- [6] j.Dreo et al, Métaheuristiques pour l'optimisation difficile, Ouvrage (y compris édition critique et traduction), 2003.
- [7] J. Koza, Genetic Programming, MIT Press, 1992.
- [8] J.F. Maurras, Caractéristiques techniques du livre "Programmation linéaire", complexité, Springer Science Business Media, 2002.
- [9] J.H Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems : An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence (Anglais) Reli, MIT Press 55 Hayward St, Cambridge MA, United States, 1975.
- [10] J. Vincent-Genod, Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation, Éditions Technip, 1980.
- [11] K. Djebali, Modélisation et résolution de problèmes d'optimisation combinatoire par la programmation mathématique en variables mixtes, Diss CNAM, Paris, 2003.
- [12] M. Sakarovitch, Optimisation combinatoire : programmation discrete, Hermann, Paris, 1984.
- [13] P. L Violet et al, Mécanique des fluides appliquée, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1998.
- [14] R.A Bertrand, Transport maritime et pollution accidentelle par le pétrole, Éditions Technique, 2000.

[15] D. Cobos Zaleta, Modelos de Optimización Entera Mixta no Lineal en Sistemas de Transporte de Gas Natural, Thèse master en opción al grado de mastero en ciencias en ingenía de sistemas, 2003.

[16] Code réseau 2018.

[17] H, Mohamed ; T.adhari, A branch-and-bound-based local search method for the flow shop problem, Journal of the Operational Research Society, vol 54, n10, 2003, pp : 1076-1084.

[18] F, Marshall ; A. H.G Rinnooy Kan, The design, analysis and implementation of heuristics, Management Science, vol 34, n3, 1998, pp : 263-265.

[19] S. Patrick ; M. Gendreau, Fondements et applications des méthodes de recherche avec tabous, RAIRO-Operations Research, vol 31, n2 (1997) : pp :133-159.

Les sites d'internets

[20] www.Sonatrach.dz

[21]Solnon, Christine. "Résolution de problèmes combinatoires et optimisation par colonies de fourmis." Université Lyon 1 (2010).

[22]J.M Alliot ; D. Nicolas, Algorithmes génétiques, 2005, <http://pom.tls.cena.fr/GA/FAG/ag.pdf>

[23] Ricco Rakotomalala Econométrie La régression linéaire simple et multiple, Université Lumière Lyon 2, <https://www-perso.gate.cnrs.fr/monnery/rakotomalala.pdf>

[24] SUPINFO - Ecole Informatique - Formation en Informatique - Paris, ... "Qu'Est Ce Que Le C++ ? | SUPINFO, École Supérieure D'informatique", 2020.