

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH  
HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
-T L E M C E N-



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

## Mémoire de fin d'étude

### Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur

Filière : Génie industriel  
Spécialité : Management Industriel et logistique

Présenter par :  
CHAIF Mostefa  
BETAOUAF Mohammed Mortada

### Thème :

## Modélisation et Optimisation de la distribution des hydrocarbures dans un Pipeline d'hydrocarbures

Soutenu publiquement, le 00/ 07 / 2023, devant le jury composé de :

Mme GHOMRI Latifa	Professeur	UABB Tlemcen	Président
M BENNEKROUF Moham	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M BENNACER Djamel	Docteur	NAFTAL	Co- Directeur de mémoire
M MALIKI Fouad	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Mme ABDELAOUI Wassila	MCB	UABB Tlemcen	Examineur 2
M BENBOUZIANE Abdelbaki	INGENIEUR	NAFTAL	Invité 1

Année Universitaire : 2022/2023

# Dédicaces

*Nos dédicaces,*

*A nos parents qui nous aident à poursuivre nos études,*

*A nos précieux collègues,*

*A tous les membres de notre promotion.*

*A tous nos enseignants depuis nos premières années  
d'études,*

*A ceux et celles qui nous ont accompagné et soutenu  
durant cette année de formation.*

CHAIF Mostefa

BETAOUAF Med Mortada

## Remerciement

On tient tout particulièrement à exprimer toutes nos gratitude et nos vifs remerciements à notre encadreur Mr BENNAKROUF Mohammed. Qu'il veuille à croire à nos respectueuses estime et nos sincères reconnaissances pour ses conseils qui nous ont été très précieux et indispensables.

On se remercier profondément notre encadreur d'entreprise Dr. BENNACER Djamel, Responsable du Terminal Arrivée de la Canalisation ASR/ NAFTAL, qui nous a accordé son confiance en nous proposant ce sujet de mémoire, pour les conseils qu'il nous a donné pour commencer ce travail, pour sa rigueur du travail et sa disponibilité.

Nous tenons à remercier particulièrement mademoiselle GHOMRI Latifa, Dr MALIKI Fouad et Madame ABDELLOUI Wassila, d'avoir accepté d'être président et membres de jury.

Nos vifs remerciements à tout l'encadrement Supérieur et encadrement de l'Entreprise NAFTAL, nous citons, le Directeur du District Carburants Oran, le Chef de Centre Carburants de Remchi, le Chef d'Unité Canalisations ASR, les Ingénieurs du Terminal Arrivée Remchi, les services exploitation relevant de l'Unité Canalisations et du Centre Carburants, pour l'accueil réservé et la prise en charge adéquate sur tous les plans.

La liste est très longue pour ceux et celles non cités, que nous leur réservons les vifs remerciements.

# Table de matière

<b>Chapitre 1 : Le transport des hydrocarbures</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction:	1
1.1.1 Généralité sur les pipelines :	2
1.1.1.1 Les types de pipeline :	2
1.1.1.2 Le transport par oléoducs et gazoducs :	3
1.1.1.3 avantages du transport des hydrocarbures par pipeline :	4
1.2 Les réglementations et les normes du transport des hydrocarbures :	5
1.3 Les innovations technologiques pour améliorer le transport des hydrocarbures : ....	6
1.3.1 La fiabilité des réseaux de pipeline :	6
1.3.2 Le batching :	8
1.3.3 Le Contaminât ou interface :	9
1.4 Les initiatives durables pour le transport des hydrocarbures :	10
1.5 La sensibilisation et l'engagement des parties prenantes pour le transport des hydrocarbures :	10
1.6 Conclusion	11
<b>Chapitre 2 : Présentation de l'Entreprise "NAFTAL" et positionnement du problème</b>	<b>13</b>
2.1 Introduction :	13
2.1.1 Activités principales:	13
2.1.2 Initiative sociale et environnementale:	14
2.1.3 Réalisations:	14
2.2 Présentation de la canalisation Multi-produit ASR	14
2.3 Présentation du Centre de Stockage des Carburants de REMCHI :	15
2.4 Problème d'optimisation de transport des carburants par pipeline multi-produit	15
2.5 Position de problème au centre de distribution REMCHI :	17
<b>Chapitre 3 : Les travaux et les recherches utilisé dans le transport par pipeline</b>	<b>18</b>
3.1 Organisation de transport dans les pipelines multi-produit :	19
3.2 Revue de littérature :	19
3.2.1.1 L'approche continue et discrète :	19
3.2.1.2 Les travaux existants :	20
3.3 Les approches de résolution :	36
3.3.1 Programmation linéaire en nombre entier :	36
3.3.1.1 Définition :	36

3.3.1.2	Optimisation en nombres entiers : .....	36
3.3.1.3	Optimisation mixte en nombres entiers : .....	37
3.3.1.4	Condition d'optimalités d'un problème d'optimisation en nombres entiers : .....	37
3.3.2	Les méthodes exactes : .....	38
3.3.2.1	La méthode de Branch & Bound : .....	38
3.3.2.2	La méthode de Cutting-Plane : .....	39
3.3.2.3	la méthode du Branch and Cut : .....	40
3.3.3	Les métaheuristiques : .....	41
3.3.3.1	Algorithme génétique (GA): .....	42
3.3.3.2	Recuit simulé (SA) : .....	45
3.3.3.3	La recherche Tabou : .....	46
3.4	Conclusion : .....	47
<b>Chapitre 4 : Planification du Pompage dans le Pipeline</b> .....		<b>49</b>
4.1	Planification de transport dans le pipeline orienté vers l'exploitation max du stockage des produits au niveau du centre : .....	49
4.1.1	Modèle mathématique : .....	49
4.1.1.1	Nomenclature : .....	49
4.1.2	La formulation mathématique : .....	51
4.1.2.1	Hypothèses : .....	51
4.1.2.2	La fonction objective : .....	52
4.1.2.3	Les contraintes : .....	52
4.2	Simulation de modèle mathématique par Cplex : .....	57
4.2.1	Définition : .....	57
4.2.2	Historique : .....	57
4.2.3	Capacités de CPLEX : .....	58
4.2.4	Comment créer un projet sur Cplex : .....	59
4.2.5	Les résultats numériques : .....	61
4.2.6	Les scénarios d'étude: .....	62
<b>Bibliographie</b> .....		<b>64</b>

## *Table de figures*

Fig.1. 1 Marché du transport du pétrole brut par pipeline et navires aux USA.....	8
Fig.1.2 Les expéditions du pétrole par différents modes .....	8
Fig.1. 3 Séquence type avec deux produits et une zone de mélange .....	10
Fig.2. 1 Système de transport dans l'oléoduc multi-produit (14).....	16
Fig.2. 2 Procédure de distribution.....	16
Fig.3. 1 Modèle S-PPI.....	21
Fig.3. 2 Discrétisation de segment de pipeline .....	22
Fig.3. 3 Schéma de la méthode de décomposition .....	26
Fig.3. 4 Réseau de pipeline .....	30
Fig.3. 5 Fonctionnement de l'algorithme génétique .....	45
Fig.3. 7 la recherche de la valeur minimale .....	47
Fig.4. 1 diagramme de Gant sur Excel .....	57
Fig.4. 2 comment créer un projet sur Cplex.....	59
Fig.4. 3 la création des données et les paramètres d'un modèle sur Cplex.....	59
Fig.4. 4 l'interface de travail.....	60
Fig.4. 5 Résultat d'exécution .....	61

## *Liste des tableaux*

Tableau 1 : <b>Demande dans chaque période sur chaque centre</b> .....	62
Tableau 2 : La capacité et le volume initial des produits et du contaminât par dépôt .....	62

# Introduction Général

Actuellement le mode de transport par pipeline a connu une ample importance à l'échelle nationale comme à l'échelle internationale, qui s'explique par une hausse des quantités des produits transportés et des consommations en énergie. Cette situation exige des entreprises de développer davantage leur logistique, voir même de varier leur mode de transport afin de garantir un approvisionnement régulier, pour faire face à la progression de la demande sur le marché. C'est dans cette vision que les entreprises pétrolières algériennes ont abordé un programme d'investissement important, visant à sécuriser l'approvisionnement du pays en produits pétroliers, à travers un maillage intelligent de pipelines, répondant au vrai besoin des différentes zones du pays.

Le mode de transport par canalisation coopère sensiblement à la réduction à la fois des coûts, des délais de livraison, du trafic routier et assure aussi des transports massifs d'hydrocarbures, en veillant au respect de l'environnement avec des conditions les plus strictes de sécurité. S'il n'existait pas ! Il serait inévitable de faire circuler sur les routes, les autoroutes et les rails des milliers de camions et wagons citernes, pour assurer le même transport.

La technologie actuelle est révolutionnée et orientée vers les pipelines multiproduits. Cette dernière présente à son tour l'inconvénient de naissance d'une zone de mélange ou contaminât entre deux produits en contact, et qui circulent séquentiellement dans le pipeline. Le mélange en question est généré à chaque contact produit-produit lors du transport des carburants, donc une séquence de plusieurs batchs favorise proportionnellement plusieurs lots de contaminât, nécessitant un parc important pour leur stockage.

Dans le présent mémoire, nous avons focalisé notre étude sur une canalisation type de l'Entreprise Nationale de Commercialisation des Produits Pétroliers NAFTAL (Filiale à 100% à SONATRACH), il s'agit du pipeline multi-produit ASR (Abréviation d'Arzew, Sidi Bel Abbès et Remchi) qui transporte les carburants à partir de la Raffinerie d'Arzew vers les centres de stockage et de distribution de Sidi Bel Abbès et Remchi. Ces derniers desservent les régions Ouest et Sud-Ouest de l'Algérie en carburants (le Gasoil et les Essences). La demande subséquente de la région, a stipulé l'introduction dans le pipeline ASR, des séquences importantes de plusieurs batchs pour répondre aux besoins de la région, mais ces dernières favorisaient à chaque fois de nombreuses interfaces, zones de naissance des mélanges, amenant à des niveaux élevés du stock de contaminât au niveau du centre carburants de Remchi.

Devant les contraintes de contaminât et la demande importante des carburants, nous avons pensés à porter réflexion sur l'optimisation du transport du multi-produit pétrolier. Nous visons à minimiser le stock du contaminât d'une part, et d'assurer une



autonomie de stockage des produits purs au niveau des dépôts de Sidi Bel Abbès et Remchi d'autre part, afin de faire face à toute pénurie, qui peut être causée par l'indisponibilité des produits au niveau de la source, ou à des éventuelles pannes techniques.

Beaucoup d'investigateurs ont abordé les thématiques relatives aux problèmes d'optimisation du transport multi-produit, où plusieurs méthodes ont été développées et appliquées pour ces types de problèmes, nous citons : les métaheuristiques, l'intelligence artificielle, la programmation linéaire en nombre entier mixte (MILP).

La méthode MILP a fait l'objet de notre choix, cette dernière est habituellement classée comme approche discrète et continue. Nous avons opté pour l'approche continue vue qu'elle est adaptable avec les conditions d'exploitation et de planification du pipeline. Mais contrairement aux travaux des différents investigateurs qui recommandent le retour du contaminant à la source (Raffinerie), nous avons intégré la réinjection du contaminant à des proportions variables dans notre modèle.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

Dans un premier chapitre, on parle de transport des hydrocarbures par pipeline.

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation de l'entreprise et positionnement du problème.

Dans un troisième chapitre, on parle sur les travaux et les recherches utilisés dans le transport par pipeline.

Le quatrième chapitre est consacré à la planification de propagation par pipeline afin, nous terminons par une conclusion générale qui fera la synthèse sur le transport par pipeline multiproduit

## Chapitre 01 :

# Le transport des hydrocarbures

### **1.1 Introduction : (1)**

Le transport d'hydrocarbures fait référence au transport de produits pétroliers (tels que le pétrole brut, l'essence, le diesel, etc.) jusqu'à la fin (comme la station-service, l'usine, la porte, etc.). Les hydrocarbures sont transportés par différents modes de transport tels que les pipelines, les navires, les camions et les trains.

Les pipelines sont la méthode la plus courante de transport des hydrocarbures car ils sont sûrs, efficaces et économiques. Les pipelines peuvent être construits sur de grandes distances, de plusieurs milliers de kilomètres à travers des régions entières, et sont conçus pour transporter de grandes quantités de produits pétroliers. Les pipelines sont également plus respectueux de l'environnement que les autres modes de transport car ils ont une empreinte carbone plus faible. Les pétroliers sont un autre mode de transport important pour les hydrocarbures, car ils permettent le transport de produits pétroliers vers des ports éloignés et des zones difficiles d'accès. Cependant, ils sont plus chers que les tuyaux et peuvent être plus

dangereux en cas d'accident, comme une collision, un échouement ou un déversement.

Les camions et les trains sont également utilisés pour transporter les produits pétroliers sur de courtes distances. Ils sont particulièrement utiles pour le transport de produits pétroliers vers les zones rurales et éloignées où les pipelines ne sont pas disponibles. Cependant, ils sont plus chers et plus risqués que les pipelines et les pétroliers. En résumé, le transport des hydrocarbures est un aspect essentiel de l'industrie pétrolière et gazière, car il permet le transport de produits pétroliers sur de grandes distances, ce qui est vital pour l'économie mondiale. Cependant, il est important d'assurer la sécurité et la durabilité des modes de transport utilisés pour éviter les accidents et minimiser l'impact environnemental.

### **1.1.1 Généralité sur les pipelines : (2)**

Un pipeline est un tuyau utilisé pour transporter des liquides ou des gaz sur de longues distances. Les pipelines sont couramment utilisés pour transporter des hydrocarbures, tels que le pétrole brut et le gaz naturel, sur des distances allant de quelques kilomètres à des milliers de kilomètres. Les pipelines sont considérés comme l'un des moyens les plus sûrs et les plus efficaces de transporter les hydrocarbures et sont utilisés dans le monde entier pour répondre aux besoins énergétiques de nombreux pays.

#### **1.1.1.1 Les types de pipeline : (3)**

Il existe plusieurs types de pipelines qui peuvent être utilisés pour transporter des hydrocarbures. Les principaux types de tuyaux sont :

- **Canalisation terrestre** : Ce sont des conduites enfouies dans le sol pour transporter des hydrocarbures sur de longues distances par voie terrestre. Les pipelines terrestres sont les plus courants et sont couramment utilisés pour transporter du pétrole brut et du gaz naturel sur de longues distances.
- **Pipeline en mer** : Ce sont des conduites installées sous l'eau pour transporter les hydrocarbures des puits offshore vers les installations terrestres. Les

pipelines offshore peuvent être installés en eau peu profonde ou en eau profonde.

- **Canalisation flexible** : Les conduites flexibles des pipelines sont constituées de matériaux souples qui permettent de s'adapter au relief du fond marin ainsi qu'aux éventuels obstacles tels que les rochers et les récifs. Elles sont particulièrement adaptées pour le transport de gaz naturel liquéfié (GNL).
- **Conduite haute pression** : Ces conduites sont conçues pour transporter des hydrocarbures sous haute pression. Les pipelines à haute pression sont souvent utilisés pour transporter le gaz naturel sur de longues distances.

Et donc chaque type de tuyau a ses avantages et ses inconvénients selon l'application dans laquelle il est utilisé. Les entreprises doivent tenir compte de nombreux facteurs, tels que la distance, le coût, la sécurité et les risques environnementaux, lorsqu'elles choisissent le type de pipeline à utiliser.

#### **1.1.1.2 Le transport par oléoducs et gazoducs : (4)**

Le transport par pipeline de pétrole et de gaz est un moyen efficace et populaire de transporter des hydrocarbures tels que le pétrole brut et le gaz naturel sur de longues distances. Voici quelques informations générales sur le transport par oléoduc et gazoduc, avec des références pour chaque section :

##### **a) Transport par pipeline :**

Les oléoducs sont des pipelines utilisés pour transporter le pétrole brut sur de longues distances des champs de production aux raffineries et aux installations de stockage. Le pipeline peut transporter plusieurs types de pétrole brut, tels que du brut léger, du brut lourd et du bitume. Les oléoducs peuvent être enterrés ou installés au-dessus du sol.

##### **b) Transport de gazoducs :**

Un gazoduc est un gazoduc utilisé pour transporter du gaz naturel sur de longues distances d'un champ de production à une usine de traitement, une

installation de stockage et un client final. Les gazoducs peuvent transporter du gaz naturel sec, du gaz naturel liquéfié (GNL) et d'autres produits gaziers.

**c) Avantages du transport par oléoduc et gazoduc :**

Le transport par oléoduc et gazoduc offre un certain nombre d'avantages, notamment des coûts de transport réduits, des émissions de gaz à effet de serre réduites et une sécurité accrue par rapport aux autres modes de transport.

Ainsi, le transport par oléoduc et gazoduc est une méthode populaire et efficace pour transporter des hydrocarbures sur de longues distances. Cependant, il présente également des risques pour l'environnement et la sécurité qui doivent être pris en compte lors de la planification et de la construction de pipelines.

**1.1.1.3 Avantages du transport des hydrocarbures par pipeline :**

Le transport par pipelines d'hydrocarbures offre plusieurs avantages par rapport aux autres modes de transport. Voici quelques-uns des avantages les plus importants :

- **Efficace :**

Le transport par pipeline est l'un des moyens les plus efficaces de transporter des hydrocarbures sur de longues distances. Le pipeline peut transporter de grandes quantités de pétrole brut, de gaz naturel et d'autres produits pétroliers sur de grandes distances avec une efficacité énergétique élevée.

- **Rabais :**

Les pipelines sont également très avantageux en termes de coûts de transport. Les coûts de transport par pipeline sont généralement inférieurs à ceux d'autres modes de transport, comme le camion, le train ou le transport ferroviaire.

- **Protéger :**

Le transport par pipeline est considéré comme l'un des modes de transport les plus sûrs pour les hydrocarbures. Les tuyaux sont conçus pour résister aux

hautes pressions et aux changements de température, ce qui les rend très résistants aux fuites et aux déversements. De plus, les tuyaux sont surveillés en permanence pour tout problème potentiel.

- **Durabilité :**

Les pipelines sont des infrastructures durables qui peuvent durer des décennies avec un entretien régulier. Les pipelines peuvent également être réutilisés et adaptés pour transporter différents types de produits pétroliers.

- **Réduction des émissions :**

Le transport par pipeline peut également aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les émissions de GES du transport par pipeline sont généralement inférieures à celles des autres modes de transport parce que les pipelines sont plus efficaces et nécessitent moins de carburant pour transporter la même quantité de produit.

- **Coût :**

Mode de transport en vrac le moins cher sur les moyennes et longues distances, aucun traitement n'est nécessaire.

Par tonne et pour 100 Km sont :

- ✓ Pipeline : 1,8 à 2,1 €
- ✓ Train (2000 T) : 2,7 €
- ✓ Barge : 2,7 à 4,1 €
- ✓ Camion (38 T) : 4,1 €

Par conséquent, les pipelines représentent le moyen le plus fiable et le plus optimal en termes de coût et capable de transporter de gros volumes de produits raffinés des raffineries aux dépôts loin.

## ***1.2 Les réglementations et les normes du transport des hydrocarbures : (5)***

Pour assurer un transport sûr et durable des hydrocarbures, un certain nombre de réglementations et de normes ont été introduites par les gouvernements et l'industrie. Par exemple, les tuyaux doivent être vérifiés régulièrement pour s'assurer qu'ils sont en bon état de fonctionnement et qu'ils respectent les normes de sécurité.

Les pétroliers sont également soumis à des réglementations strictes pour minimiser les risques de déversements d'hydrocarbures. Les navires doivent être équipés de systèmes de prévention de la pollution et les équipages doivent suivre des procédures strictes pour minimiser les risques d'accidents.

Les camions et les trains transportant des produits pétroliers doivent également respecter des normes de sécurité strictes pour éviter les accidents et réduire les risques pour la santé et l'environnement.

### ***1.3 Les innovations technologiques pour améliorer le transport des hydrocarbures : (6)***

En outre, l'industrie pétrolière et gazière augmente ses investissements dans des technologies plus propres et plus durables afin de réduire l'impact environnemental du transport des hydrocarbures. Par exemple, des innovations telles que des pipelines de haute technologie, des pétroliers plus sûrs et plus efficaces et des carburants alternatifs tels que le gaz naturel liquéfié (GNL) sont développés et adoptés.

En résumé, si le transport des hydrocarbures est essentiel à l'économie mondiale, il est également important d'assurer la sécurité et la pérennité des modes de transport utilisés. Des réglementations et des normes rigoureuses ainsi que des innovations technologiques contribuent à assurer un transport sûr et durable des hydrocarbures.

#### ***1.3.1 La fiabilité des réseaux de pipeline : (7)***

La fiabilité d'un réseau de canalisations dépend de nombreux facteurs, notamment la qualité de la conception et de la construction des canalisations, la maintenance et l'entretien de routine, la surveillance et la détection précoce des problèmes potentiels, et le respect des normes et réglementations de sécurité applicables.

En général, les tuyaux sont conçus et construits pour être extrêmement robustes et résistants à la corrosion, aux chocs et aux conditions environnementales difficiles. Ils subissent également des tests rigoureux avant d'être mis en service pour s'assurer qu'ils répondent aux normes de sécurité et de qualité.

De plus, les pipelines sont surveillés en permanence à l'aide de technologies avancées telles que des capteurs de pression et de température, des systèmes de contrôle de débit et des dispositifs de détection de fuites. Cela permet aux exploitants de pipelines de détecter rapidement tout problème potentiel et de le résoudre avant qu'il ne devienne une urgence. Enfin, l'industrie pipelinère est réglementée par des organismes gouvernementaux qui imposent des normes de sécurité strictes et effectuent des vérifications régulières pour s'assurer que les exploitants de pipelines se conforment à ces normes. Les exploitants de pipelines sont également tenus d'avoir des plans d'urgence détaillés en cas d'incapacité à minimiser les risques pour les personnes et l'environnement.

De manière générale, les réseaux de canalisations sont généralement considérés comme très fiables, mais il est important de souligner que des pannes peuvent encore survenir, notamment en cas de non-respect des normes de sécurité, de négligence ou de force majeure. C'est pourquoi la sécurité et la fiabilité des réseaux pipeliniers continuent d'être une préoccupation majeure pour l'industrie et les organismes de réglementation, qui travaillent ensemble pour réduire les risques et assurer la sécurité des humains et de l'environnement.



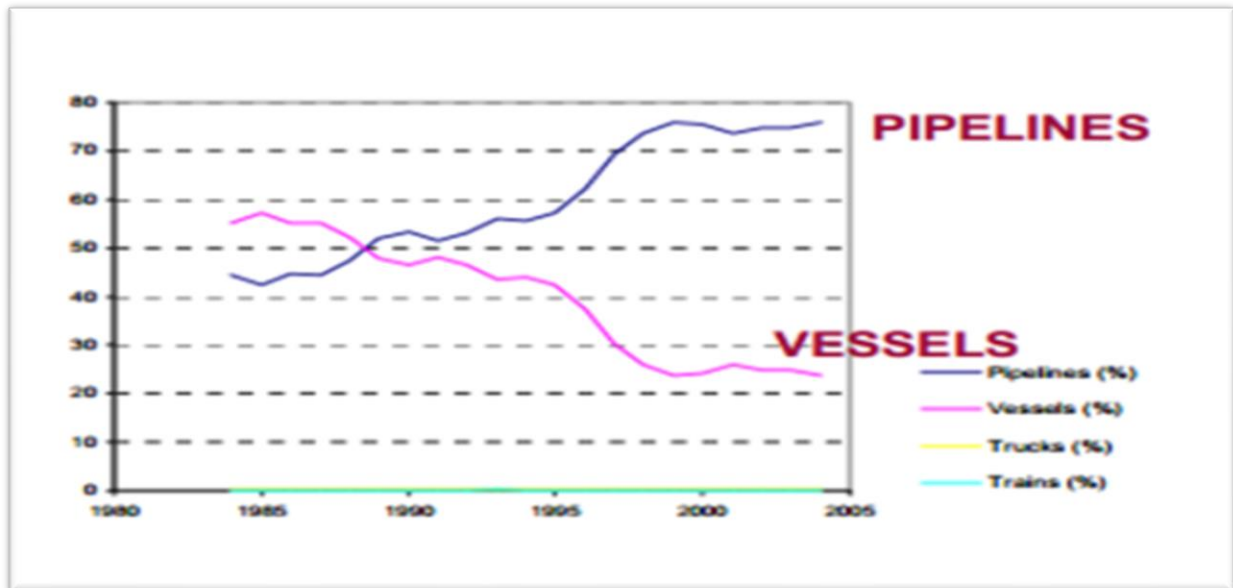


Fig.1. 1 Marché du transport du pétrole brut par pipeline et navires aux USA

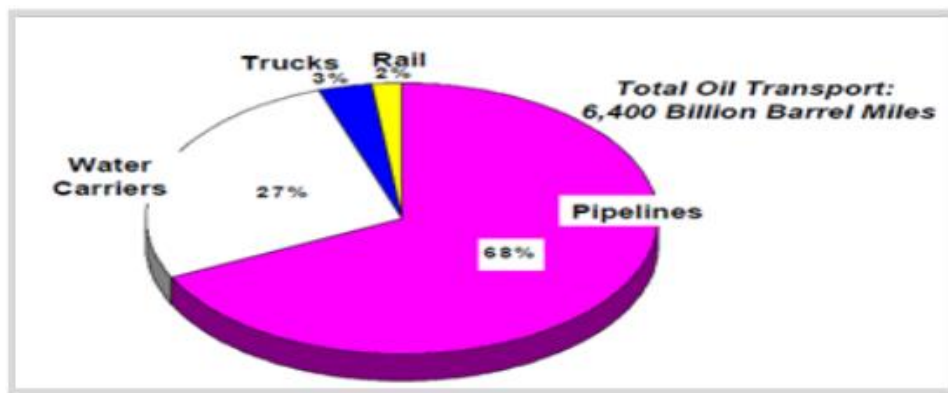


Fig.1.2 Les expéditions du pétrole par différents modes

### 1.3.2 Le batching: (8) (9)

Le Matching est une pratique courante dans le transport d'hydrocarbures par pipeline. Il s'agit de transporter différents types de produits pétroliers dans un même oléoduc, en les séparant les uns des autres en « lots » ou « chaînes ». Cette méthode permet d'optimiser l'utilisation du pipeline en transportant différents produits en même temps et en réduisant les coûts de transport.

Le batching est particulièrement utile pour les produits pétroliers ayant des caractéristiques différentes, telles que la densité, la viscosité ou la température. Par exemple, le brut léger et le brut lourd peuvent devoir être transportés dans le même pipeline, mais les produits peuvent avoir des propriétés différentes qui nécessitent une manutention et un transport différents. En les transportant en lots séparés, les produits peuvent être manipulés individuellement selon leurs spécificités.

Il est important de noter que le batching peut également présenter certains risques pour la sécurité et l'environnement. Les différents produits transportés doivent être convenablement séparés les uns des autres pour éviter toute contamination ou mélange accidentel. Les pipelines doivent également être conçus et exploités de manière à minimiser les risques de fuites ou d'accidents.

### **1.3.3 Le Contaminât ou interface : (10)**

Lors du transport d'hydrocarbures par pipeline, une interface ou un contaminant peut se former lorsque différents types de produits pétroliers sont transportés dans le même pipeline sans séparation appropriée. Cette interface peut être constituée d'un mélange de différents produits ou de dépôts de sédiments, d'eau ou d'autres matériaux non pétroliers.

Les interfaces peuvent avoir des conséquences négatives sur la qualité et la valeur des produits pétroliers transportés, ainsi que sur la sécurité et l'environnement. Lorsque différentes huiles sont mélangées, cela peut modifier les propriétés du produit et rendre leur raffinage plus difficile et plus coûteux. De plus, les contaminants tels que l'eau, les sédiments ou les produits chimiques peuvent corroder les tuyaux et causer des dommages à long terme. Pour éviter la formation d'interfaces, les canalisations doivent être conçues et exploitées de manière à minimiser le risque de mélange accidentel entre différents produits transportés. Des techniques telles que le mélange par lots, le raclage (nettoyage de l'intérieur des conduites à l'aide de "cochons" ou racleurs), la surveillance de la qualité des produits et l'entretien régulier des pipelines peuvent aider à prévenir la formation d'interfaces et à assurer un transport sûr et efficace des hydrocarbures.

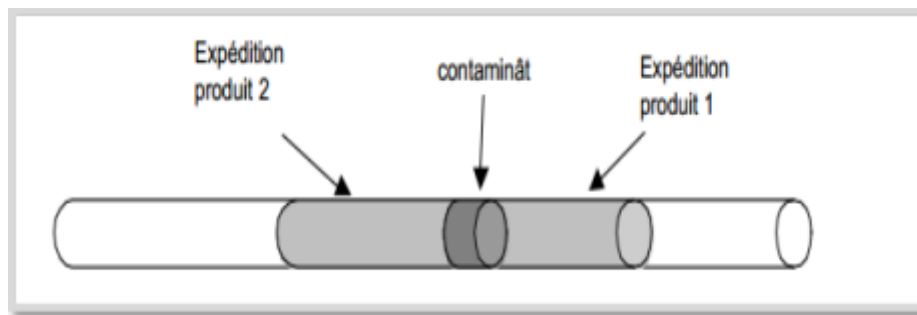


Fig.1. 3 Séquence type avec deux produits et une zone de mélange

#### **1.4 Les initiatives durables pour le transport des hydrocarbures : (11)**

De plus, les entreprises du secteur pétrolier et gazier s'efforcent également de réduire leur empreinte carbone en adoptant des méthodes plus durables et en investissant dans des technologies plus propres. Cela comprend des initiatives visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des installations de production d'électricité, des pipelines et des pétroliers, ainsi que des efforts pour développer des sources d'énergie renouvelables alternatives.

Par exemple, certaines entreprises investissent dans des projets de captage et de stockage du carbone, qui contribuent à réduire les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en les captant des installations de production de pétrole et de gaz et en les stockant dans des formations géologiques profondes.

D'autres initiatives incluent le développement de carburants alternatifs tels que les biocarburants et l'hydrogène vert, qui ont moins d'impact sur l'environnement que les hydrocarbures traditionnels. Certaines entreprises ont également commencé à investir dans des projets de production d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et éolienne.

#### **1.5 La sensibilisation et l'engagement des parties prenantes pour le transport des hydrocarbures : (12)**

Enfin, la sensibilisation et l'engagement des parties prenantes, y compris le gouvernement, les communautés locales et les groupes environnementaux, jouent également un rôle important dans la promotion d'activités de transport plus sûres et plus durables. Les entreprises du secteur pétrolier et gazier s'efforcent d'améliorer la transparence et la communication avec les parties prenantes afin de renforcer la confiance et la coopération, ainsi que d'améliorer la sécurité et la durabilité du transport des hydrocarbures.

En résumé, le transport des hydrocarbures est un aspect important de l'industrie pétrolière et gazière, mais assurer sa sécurité et sa durabilité est essentiel pour réduire les risques environnementaux et assurer un avenir énergétique durable. Des réglementations et des normes rigoureuses, l'innovation technologique et les initiatives visant à développer des sources d'énergie alternatives sont des éléments clés de cet effort.

## **1.6 Conclusion**

Enfin, la sensibilisation et l'engagement des parties prenantes, y compris le gouvernement, les communautés locales et les groupes environnementaux, jouent également un rôle important dans la promotion d'activités de transport plus sûres et plus durables. Les entreprises du secteur pétrolier et gazier s'efforcent d'améliorer la transparence et la communication avec les parties prenantes afin de renforcer la confiance et la coopération, ainsi que d'améliorer la sécurité et la durabilité du transport des hydrocarbures.

En résumé, le transport des hydrocarbures est un aspect important de l'industrie pétrolière et gazière, mais assurer sa sécurité et sa durabilité est essentiel pour réduire les risques environnementaux et assurer un avenir énergétique durable. Des réglementations et des normes rigoureuses, l'innovation technologique et les initiatives visant à développer des sources d'énergie alternatives sont des éléments clés de cet effort.



## Chapitre 02 :

### Présentation de l'Entreprise "NAFTAL" et positionnement du problème

#### **2.1 Introduction :**

L'entreprise NAFTAL est une filiale de la compagnie nationale algérienne des hydrocarbures SONATRACH. Elle a été créée en 1981 et est spécialisée dans la distribution et la commercialisation de produits pétroliers et gaziers en Algérie. Dans cette présentation, nous allons examiner les principales activités et réalisations de NAFTAL en tant que entreprise.

#### **2.1.1 Activités principales :**

NAFTAL gère un vaste réseau de stations-service à travers l'Algérie, fournissant du carburant pour les véhicules et les équipements industriels. L'entreprise fournit également du gaz de pétrole liquéfié (GPL) pour les usages domestiques et industriels, ainsi que des lubrifiants et des carburants spéciaux pour les besoins spécifiques de ses clients. En outre, NAFTAL fournit des services de maintenance pour les équipements pétroliers et gaziers, garantissant la qualité et la sécurité de ses produits et services.

### **2.1.2 Initiative sociale et environnementale:**

NAFTAL s'engage dans des initiatives sociales et environnementales, en participant à des projets de développement local dans les domaines de l'éducation, de la santé et de l'environnement. L'entreprise s'implique également dans des actions visant à réduire son empreinte carbone, en mettant en place des programmes de gestion environnementale, de recyclage des déchets et de promotion de l'utilisation de véhicules à faible émission de CO<sub>2</sub>.

### **2.1.3 Réalisations:**

NAFTAL a obtenu plusieurs certifications pour ses pratiques commerciales et environnementales, notamment les normes ISO 9001 pour la qualité et ISO 14001 pour l'environnement. L'entreprise a également remporté des prix pour sa performance, tels que le "Prix de la meilleure entreprise algérienne" décerné par l'Agence nationale de développement de l'investissement en 2019.

## **2.2 Présentation de la canalisation Multi-produit ASR (13)**

Le pipeline multi-produit ASR se situe à l'ouest de l'Algérie. Son profil s'étend sur une longueur d'environ 168 km, à partir de la raffinerie d'Arzew passant par Sidi Bel Abbès arrivant à la station finale de REMCHI (Figure 1.6). Cette dernière réceptionne les carburants liquides en provenance de la raffinerie d'Arzew et alimente les centres de stockage de Sidi Bel Abbès et REMCHI.

Ce pipeline est composé de trois tronçons de différents diamètres et longueurs (Figure 1.6).

- Ø12" épaisseur 9.52 mm de la raffinerie d'Arzew à Sidi Bel Abbès sur une distance d'environ 85 km
- Ø10" épaisseur 6.35 mm de Sidi Bel Abbès à Sidi Abdelli sur une distance d'environ 56 km
- Ø8" épaisseur 6.40 mm de Sidi Abdelli à REMCHI sur une distance d'environ 27 km.

### **2.3 Présentation du Centre de Stockage des Carburants de REMCHI**

:

Le centre de distribution de l'entrepôt de REMCHI couvre une superficie de quinze (15) *hectares*. La capacité de stockage de tous ses produits est de 38350  $m^3$ . Cette capacité Le stockage en fait le premier, dans la wilaya de Tlemcen à pouvoir sécuriser ses réserves de carburants.

Le Centre assure le stockage et la distribution de deux (02) produits principaux :

- Gasoil « GO »
- Essence sans plomb « SP »

### **2.4 Problème d'optimisation de transport des carburants par pipeline multi-produit**

Le problème d'optimisation du transport des carburants par pipeline multi-produit consiste à trouver la meilleure façon de transporter les produits pétroliers de la raffinerie aux clients via un pipeline. Ce pipeline est divisé en segments, avec un dépôt situé à la fin de chaque segment pour stocker et distribuer les différents produits en fonction des demandes des clients. Pour garantir une exploitation optimale du pipeline.

Donc pour optimiser l'exploitation du pipeline, il est important de :

- Réduire les coûts d'exploitation qui peuvent être de différentes natures.
- Notamment les coûts liés à la gestion des stocks dans les réservoirs.
- Les coûts de pompage.
- et les coûts engendrés par les éventuelles interférences entre les différents produits circulant dans la canalisation.

La figure ci-dessous illustre le processus de transport des produits pétroliers :



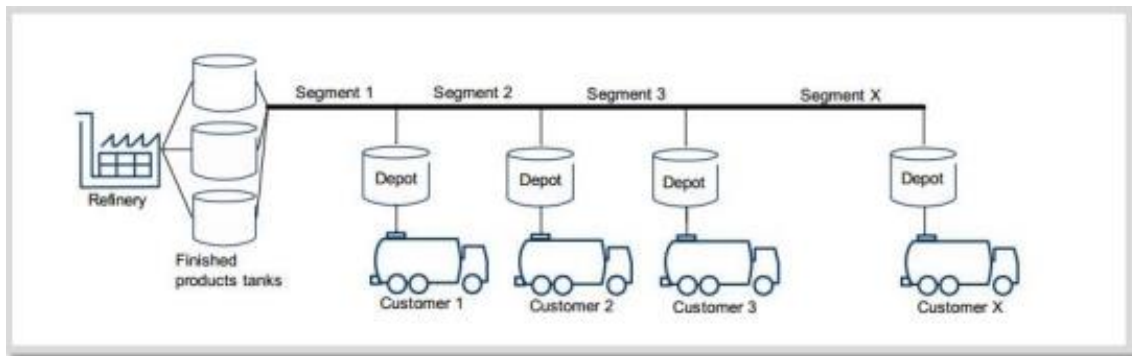


Fig.2. 1 Système de transport dans l'oléoduc multi-produit (14)

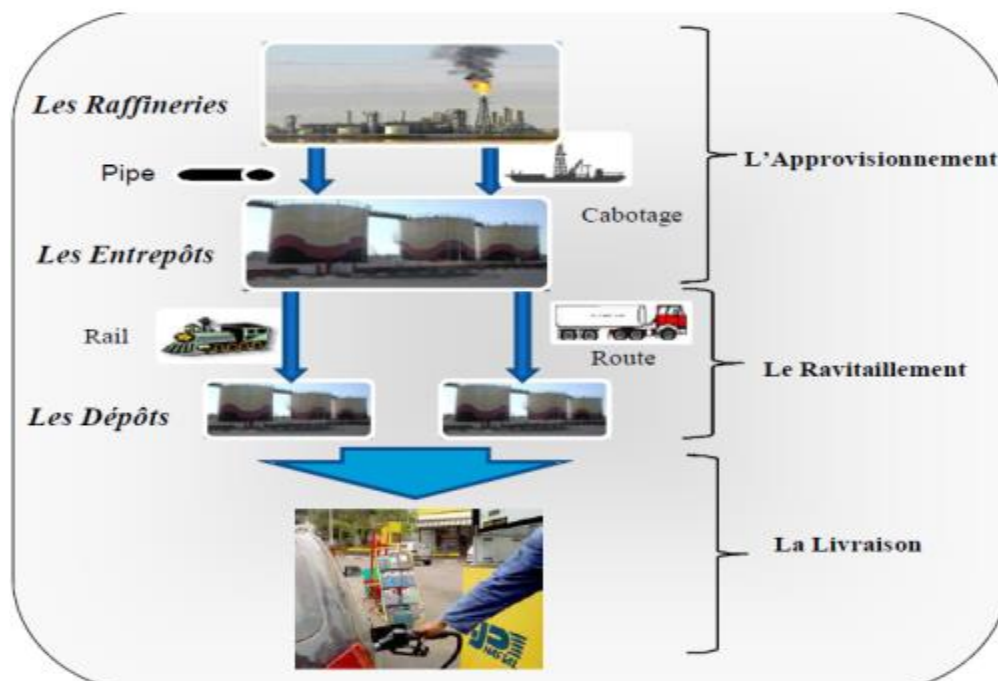


Fig.2. 2 Procédure de distribution

Afin de minimiser les coûts mentionnés précédemment, il est nécessaire d'établir un programme définissant les éléments suivants :

- Le volume et le moment de début de pompage pour chaque lot dans le pipeline
- La distribution des lots dans les différents dépôts
- L'emplacement et l'ordre des différents lots dans le pipeline
- Les niveaux d'inventaire de tous les réservoirs impliqués dans la raffinerie et les dépôts.

Cependant, il est important de prendre en compte les contraintes opérationnelles suivantes :

- Les capacités de stockage des produits dans les différents dépôts
- La capacité de la canalisation et la cadence de production maximale de la raffinerie
- Un seul produit peut être pompé dans la canalisation à la fois.

L'hypothèse principale de ce processus est que le pipeline doit rester complètement rempli à tout moment et que les produits transportés sont incompressibles. (14)

### ***2.5 Position de problème au niveau de la planification du pompage dans le pipeline :***

L'entreprise NAFTAL utilisé un planning de distribution d'hydrocarbure à travers les pipelines pour servir les deux centres de SIDI Belabbes et REMCHI. Durant notre stage au centre de Remchi notre encadrant de l'entreprise nous a sollicité a apporté une approche technique basée sur la recherche opérationnelle. En effet les responsable chargés du fonctionnement de pompage utilise l'historique en plus des niveaux de stock des deux types d'hydrocarbure et de contaminât de manière indépendante. D'ailleurs c'est la raison pour laquelle on a assisté a une rupture d'un type d'hydrocarbure au niveau du centre de sidi belabbes. Par la suite ce dernier a subit une perturbation dans l'alimentation de la chaine on avale de distribution par le mode de transport routier. Suite a ce dysfonctionnement temporaire nous nous somme intéressés à développés un modèle générique de programmation mathématique linéaire en nombre entier mixte qui respect au cahier de charge de ce système. L'approche proposée est intégrée multi périodes a capacité limitée sous contrainte de d'affectation du contaminât au dernier centre. Pour bien mener notre étude nous avons fait une recherche bibliographique sur les problèmes de planification de pompage dans les pipelines qui sera présenté dans le chapitre suivant.

## **2.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté une synthèse sur l'entreprise NAFTAL Dans la première partie nous avons exposé les activités principales, l'initiative sociale et environnementale, la canalisation Multi-produit ASR et la structures des centres stockage des carburants. En deuxième partie un état des lieux et décrits pour soulever la problématique réelle à exploiter pour développer notre PFE.

## Chapitre 03 :

### Les travaux et les recherches utilisés dans le transport par pipeline

## Chapitre 3 :

### **3.1 Organisation de transport dans les pipelines multi-produit :**

Afin de mettre en place un plan de transport efficace pour un pipeline multi-produit, il est essentiel que le client communique en amont les paramètres clés tels que :

- le volume et les caractéristiques des produits à transporter.
- la disponibilité en termes de dates et de volumes.
- spécifiée par les établissements chargeurs.
- ainsi que la capacité de réception signalée par les dépôts réceptionnaires.

Avec cette information, le service de planification peut élaborer un programme d'exploitation qui inclut l'ordonnancement des produits et la priorisation des cargaisons en fonction de leur compatibilité. (15)

### **3.2 Revue de littérature :**

#### **3.2.1.1 L'approche continue et discrète :**

Ces vingt dernières années, plusieurs approches ont été développées pour étudier les problèmes liés à la planification de la mise en place de canalisations. Parmi ces approches, on trouve les techniques heuristiques basées sur la connaissance ainsi que les approches de programmation mathématique telles que la programmation

linéaire en nombres entiers mixtes (MILP) et la programmation non linéaire en nombres entiers mixtes (MINLP). La programmation non linéaire en nombres entiers mixtes peut être de nature discrète ou continue.

On considère qu'un modèle est discret lorsque la période de planification est divisée en intervalles de temps et que la canalisation est également divisée en paquets de taille égale. Dans chaque intervalle de temps, un seul produit est contenu dans chaque paquet. (16)

Le modèle décrit que le volume de produit déversé dans les réservoirs des dépôts à partir du pipeline doit être un multiple du volume d'un paquet. Cependant, ce modèle présente des inconvénients car il ne permet qu'une seule opération de déchargement dans l'ensemble du système à la fois. (17)

Les modèles continus ne présentent pas ces limitations car ils permettent un pompage continu sans interruption, contrairement aux modèles discrets qui ne permettent qu'une seule opération de déchargement à la fois.

### **3.2.1.2 Les travaux existants :**

Le problème de planification et d'établissement de programme dans le pipeline pour le transport des hydrocarbures est un domaine important de l'industrie pétrolière et gazière. Depuis 1900 jusqu'à 2020, il y a eu de nombreux travaux et développements dans ce domaine pour améliorer la sécurité, l'efficacité et la rentabilité du transport des hydrocarbures.

Au début du 20ème siècle, les pipelines étaient principalement utilisés pour transporter du pétrole brut des champs de production aux raffineries. Les planificateurs utilisaient des méthodes manuelles pour déterminer les itinéraires et les tailles des tuyaux. Les pipelines étaient souvent construits de manière linéaire et les coûts étaient basés sur des estimations approximatives. (18)

Dans les années 1940 et 1950, la demande de produits pétroliers a augmenté considérablement, ce qui a nécessité la construction de pipelines plus importants et plus complexes pour répondre à la demande croissante. Les planificateurs ont commencé à utiliser des méthodes mathématiques pour optimiser les itinéraires et

les tailles des pipelines, ce qui a permis une utilisation plus efficace des ressources. (19)

Dans les années 1960 et 1970, les ordinateurs ont commencé à être utilisés pour la planification et l'établissement de programmes dans le pipeline. Les logiciels de simulation ont été développés pour aider les planificateurs à modéliser les flux de produits et à optimiser les itinéraires et les tailles des pipelines. (20)

Au cours des années 1980 et 1990, les pipelines ont continué à se développer en taille et en complexité, et les logiciels de planification et d'établissement de programmes ont été améliorés pour gérer ces défis. Les technologies de communication ont également été améliorées, ce qui a permis une meilleure surveillance et une plus grande efficacité opérationnelle des pipelines. (21)

Dans leur travail de 1995, Hane et Ratliff ont introduit une approche discrète pour la planification du transport de produits à travers un pipeline reliant une raffinerie unique à des dépôts. Cette méthode, appelée MIPL, divise le problème en sous-problèmes gérables, qui sont ensuite résolus efficacement à l'aide de la méthode de branch and bound. (22)

L'article de Sasikumar en 1997 expose une approche basée sur la recherche heuristique pour la planification d'un réseau de pipeline simple, connectant une unique raffinerie et un seul dépôt, sur une période de temps mensuelle afin de minimiser à la fois l'interface de contaminant et les coûts de pompage. (23)

Inspiré de la planification des pipelines pétroliers, Ruy Luiz Milidui a présenté en 2003 le problème de la planification d'un pipeline simple avec interface (S-PPI), qui consiste en un pipeline rectiligne à produits multiples avec une seule source et une seule destination. Ce modèle met l'accent sur la contrainte d'interface et l'auteur prouve qu'il est NP-complet. De plus, il souligne que la planification du transport dans un réseau de pipeline est une tâche complexe et difficile. (24)

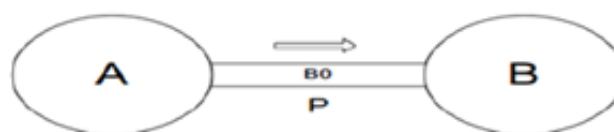


Fig.3. 1 Modèle S-PPI

Rejowski et Pinto, dans leur travail de 2003, sont considérés comme les premiers auteurs à avoir abordé le problème d'optimisation du transport de carburants dans un pipeline à produits multiples. Ils proposent une approche basée sur la méthode de programmation linéaire mixte entière (MIPL) pour résoudre ce problème. Leur formulation discrète divise également le pipeline en paquets pour une résolution efficace.

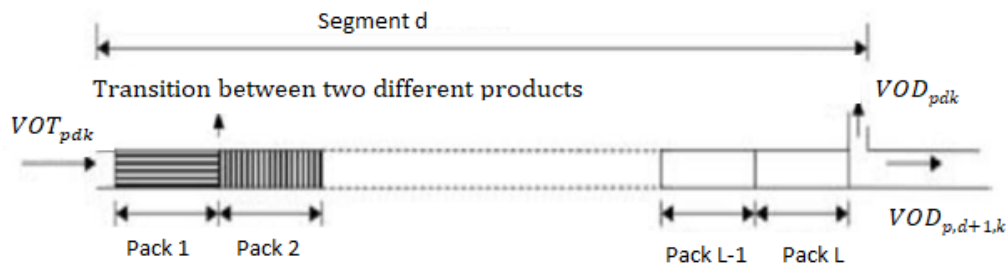


Fig.3. 2 Discrétisation de segment de pipeline

Le modèle proposé vise à minimiser la somme des coûts d'inventaire de stockage dans la raffinerie et dans les dépôts, les coûts d'interface entre les différents lots, ainsi que les coûts de pompage, dans le but d'optimiser le transport des produits à travers le pipeline. (25)

Les auteurs ont amélioré leur modèle un an après sa publication en y ajoutant des contraintes pratiques (Rejowski et Pinto, 2004). Dans ce nouveau modèle, ils ont pris en compte le fait que le pompage de carburant dans un segment de la canalisation ne peut être interrompu que si le segment stocke exactement un seul type de produit. (26)

En 2008, les mêmes auteurs ont présenté un nouveau modèle sous forme continue (Rejowski et Pinto, 2008). (27)

Dans leur étude, Cafaro et Cerdá (2004) ont proposé le premier modèle en représentation continue pour l'optimisation du transport de carburants par pipeline multi-produit. Le même problème a été également étudié par Rejowski et Pinto (2003), qui ont introduit d'autres variables continues telles que le volume du batch, le temps de début et de fin du pompage de chaque produit. Cela a permis de réduire le nombre de variables binaires, les contraintes et les temps de calcul. (28)

Cafaro et Cerdá (2008) ont développé un modèle de planification pour le transport d'un pipeline contenant une seule raffinerie et un seul dépôt sur un horizon mensuel. Leur approche repose sur une formulation continue efficace (*MILP*), qui permet de déterminer la séquence et les tailles optimales des lots de produits. Les lots sont injectés en synchronisation avec les dépôts afin de répondre aux demandes quotidiennes des différents dépôts. Les résultats obtenus pour plusieurs exemples concrets dans différents scénarios opérationnels ont montré que la méthode proposée offre une amélioration significative par rapport aux approches précédentes pour la planification des pipelines. (29)

Mir Hassani et Ghorbanalizadeh (2008) ont présenté une approche basée sur la programmation en nombres entiers mixtes (*MILP*) pour l'optimisation du transport de carburants dans un pipeline multi-produit et multi-branches, connectant une raffinerie à plusieurs dépôts devant satisfaire les demandes des clients. Dans cette approche, les lots sont pompés successivement sans séparation physique. L'objectif est de trouver la meilleure séquence de pompage des lots afin de minimiser le nombre d'interfaces, tout en satisfaisant les demandes des clients et les contraintes opérationnelles telles que la réduction de la contamination. Les auteurs ont utilisé une formulation discontinue, où l'horizon de planification est divisé en intervalles, et ont utilisé le solveur CPLEX pour résoudre ce problème. (30)

Relvas et al. (2009) ont développé une heuristique visant à trouver les séquences de produits les plus souhaitables à pomper dans le pipeline. Cette heuristique est utilisée pour un horizon de court à moyen terme, permettant ainsi d'optimiser la planification du transport des produits. (31)

Ghaffari et al. (2010) ont proposé une approche de planification intégrée qui combine la programmation linéaire et la simulation pour minimiser à la fois les coûts de transport et les coûts de stockage des produits, tout en prenant en compte les incertitudes de la demande. Cette approche permet d'optimiser la planification en prenant en considération les variations possibles de la demande, ce qui contribue à une meilleure gestion des coûts globaux et des niveaux d'inventaire. En utilisant à la fois la programmation linéaire pour définir les stratégies de transport et la simulation pour évaluer les performances du système, cette approche offre une méthode intégrée pour prendre des décisions éclairées dans un environnement incertain. (32)



MirHassani et ses collaborateurs (2011) présentent un algorithme pour la planification à long terme d'un simple pipeline multi-produit. L'algorithme repose sur une représentation continue MILP (Mixed Integer Linear Programming) et adopte une approche itérative pour déterminer un calendrier à court terme, qui est ensuite consolidé en un calendrier à long terme. L'objectif principal de cet algorithme est de minimiser les coûts liés à la non-utilisation de la capacité du pipeline, les coûts des interfaces entre produits, ainsi que les coûts résultant des retards dans la satisfaction de la demande.

De plus, MirHassani et Fani Jahromi (2011) se sont concentrés sur le problème à court terme de la distribution des produits pétroliers à partir d'une raffinerie unique vers plusieurs dépôts, via un pipeline arborescent. Ils ont proposé une formulation continue MILP pour minimiser les coûts de stockage dans les dépôts, les coûts de contamination entre les différents produits et les coûts de pompage. (33)

L'équipe de recherche dirigée par Broumandnia et ses collaborateurs en 2012 a développé une approche novatrice basée sur la théorie des jeux pour résoudre le défi complexe de la planification du transport dans un pipeline à produits multiples doté de multiples sources et destinations. Pour évaluer l'efficacité de leur méthode, ils l'ont soumise à des tests approfondis sur un pipeline de gaz naturel en Iran, démontrant ainsi sa pertinence et son applicabilité dans un environnement réel. Les résultats obtenus ont clairement démontré la capacité de cette approche à prendre en compte les contraintes multiples et à atteindre des objectifs concurrents dans le contexte du transport de produits au sein d'un pipeline complexe (34).

Dans leur publication, Paulo Cesar Ribas et ses collègues (2012) présentent un algorithme micro-génétique multi-objectifs pour résoudre le problème complexe de l'établissement du programme d'un réseau de pipeline dans un cas réel. Leur travail vise à proposer un modèle qui aborde les sous-problèmes d'ordonnancement et de synchronisation, avec pour objectif principal le développement d'une solution hybride combinant l'algorithme génétique (GA) et la programmation

linéaire en nombres entiers mixtes (MILP). Cette approche hybride permet de guider le transport efficace et simultané de différents produits pétroliers à travers le réseau de pipeline. (35)

Les auteurs présentent une approche basée sur la décomposition (MILP) pour la planification et l'ordonnancement de la distribution de produits dans un réseau de pipeline. Ils ont développé une approche hiérarchique qui permet de résoudre de manière efficace le problème complexe de planification et d'établissement du programme du réseau de pipeline.

Cette approche hiérarchique se divise en trois étapes principales. La première étape concerne la planification, où les décisions stratégiques telles que l'allocation des ressources et l'affectation des produits sont prises. La deuxième étape consiste à attribuer les ressources disponibles et à ordonnancer les différentes activités dans le réseau de pipeline. Enfin, la dernière étape consiste à déterminer la synchronisation optimale pour l'utilisation des ressources par ces activités.

Cette méthode de décomposition permet de résoudre le problème de manière progressive et efficace, en prenant en compte les contraintes et les objectifs spécifiques de chaque étape. La figure suivante schématise cette approche hiérarchique, démontrant la séparation des tâches et les interactions entre les différentes étapes du processus de planification et d'établissement du programme du réseau de pipeline. (36)

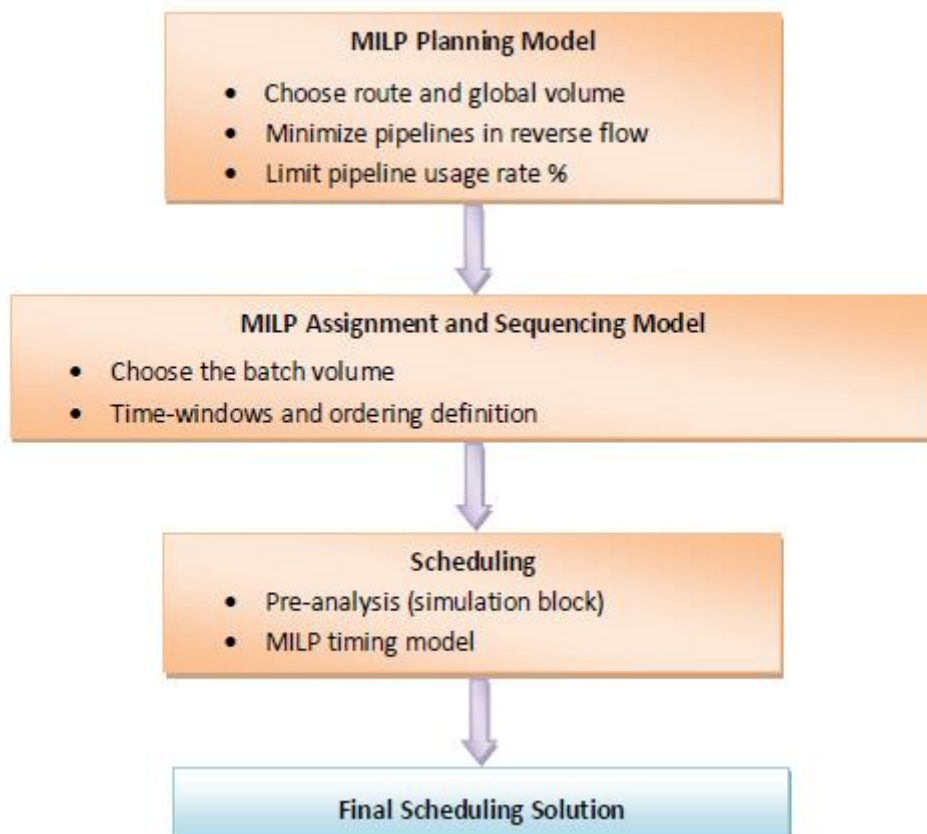


Fig.3. 3 Schéma de la méthode de décomposition

Dans leur étude, Ribeiro et ses collaborateurs (2014) ont introduit une méthode d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques pour résoudre le problème complexe de la planification de transport de produits pétroliers dans un pipeline à produits multiples. Leur approche novatrice a été mise à l'épreuve sur un pipeline de transport de pétrole brut situé au Brésil, afin d'évaluer sa performance dans un contexte réel.

En utilisant les principes des algorithmes génétiques, cette méthode permet de trouver une solution optimale en explorant de manière efficace l'espace de recherche. Les chercheurs ont pris en compte diverses contraintes et objectifs, tels que la capacité du pipeline, les demandes des clients et les coûts de transport, afin de parvenir à une planification optimale. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité et la pertinence de l'approche proposée pour résoudre ce problème complexe de planification de transport dans un contexte réel . (37)

Les métaheuristiques proposées combinent différentes méthodes d'amélioration pour traiter les solutions obtenues à partir de diverses heuristiques de construction. Ces méthodes d'amélioration explorent les voisinages de la solution courante en utilisant des techniques de méta-heuristiques telles que la recherche tabou et le recuit simulé.

Afin d'évaluer les performances des métaheuristiques par rapport à un solveur commercial standard basé sur la programmation linéaire en nombres entiers mixtes (MILP), des exemples numériques ont été résolus. Les résultats obtenus démontrent que les métaheuristiques sont capables d'atteindre des solutions de meilleure qualité tout en respectant des temps d'exécution raisonnables.

Cette approche permet donc d'améliorer significativement les performances de la résolution des problèmes de planification de transport dans les pipelines, en exploitant les avantages des métaheuristiques pour explorer efficacement l'espace des solutions. Elle offre ainsi une alternative viable et efficace aux solveurs commerciaux standards basés sur MILP.

(Hossein Mostafaei et Alireza Ghaffari Hadigheh, 2014) ont développé un modèle de planification à long terme pour les pipelines multi-produit, en prenant en compte les contraintes de livraison. Leur étude propose une approche basée sur la programmation en nombre entier mixte (MILP) pour résoudre ce problème complexe. Ils ont appliqué leur approche à un cas réel qui consiste en un pipeline reliant une seule raffinerie à plusieurs centres de distribution.

Leur modèle de programmation MILP vise à déterminer le programme à long terme optimal pour le pipeline multi-produit, en prenant en compte les demandes de chaque centre de distribution, les capacités du pipeline, les contraintes opérationnelles et les objectifs de performance. En utilisant cette approche, ils ont pu formuler mathématiquement le problème de planification et résoudre efficacement les instances réelles du problème.

En résumé, l'étude menée par (Hossein Mostafaei et Alireza Ghaffari Hadigheh, **2014**) propose une modélisation générale et une approche de résolution basée sur la programmation en nombre entier mixte pour l'établissement du programme à long terme des pipelines multi-produit avec des contraintes de livraison. Leur travail

contribue à améliorer la planification et l'efficacité opérationnelle des pipelines dans un contexte réel.

Cette approche développée permet de prendre en compte plusieurs aspects importants dans la planification du transport des produits pétroliers dans un pipeline.

Elle permet de considérer différentes échéances pour les demandes en fin de période, les limitations de débit sur certains segments de la canalisation, ainsi que les livraisons simultanées aux centres de distribution.

L'objectif principal de ce modèle est de répondre aux demandes des différents dépôts tout en minimisant les interruptions et les redémarrages inutiles des segments du pipeline. Cela contribue à optimiser l'utilisation des ressources et à améliorer l'efficacité globale du système de transport.

Pour valider l'approche proposée, les chercheurs ont résolu deux études de cas réels. Ces études de cas portaient sur la planification du programme d'un pipeline continu transportant quatre produits pétroliers à partir d'une raffinerie unique vers cinq dépôts. En résolvant ces études de cas, les chercheurs ont pu évaluer les performances et l'efficacité de leur approche, démontrant ainsi sa pertinence dans des situations réelles.

En résumé, l'approche développée par les auteurs vise à résoudre les défis complexes liés à la planification du transport des produits pétroliers dans un pipeline. Elle permet de prendre en compte plusieurs contraintes et objectifs tout en offrant des solutions optimisées. Les études de cas réalisées ont permis de valider l'approche et de démontrer son applicabilité dans des scénarios réels. (16)

(Hsieh et al., **2015**) ont proposé une approche basée sur la programmation linéaire en nombres entiers (MILP) pour résoudre efficacement le problème complexe de planification de transport dans un réseau de pipelines de produits pétroliers. Leur objectif était d'optimiser les décisions de planification afin de minimiser les coûts de transport tout en respectant les contraintes opérationnelles spécifiques du réseau de pipelines.

Leur approche a été appliquée et testée sur un réseau de pipelines de produits pétroliers à Taiwan, ce qui permet de vérifier son efficacité et son adaptabilité à des situations réelles. En utilisant des techniques de modélisation et de résolution avancées, ils ont réussi à formuler le problème de planification de transport sous forme de modèle MILP, ce qui permet une recherche exhaustive des meilleures solutions possibles.

En testant leur approche sur le réseau de pipelines de produits pétroliers à Taiwan, les auteurs ont pu évaluer ses performances et comparer les résultats obtenus avec d'autres approches existantes. Les résultats ont démontré l'efficacité de l'approche MILP proposée, montrant des améliorations significatives en termes de réduction des coûts de transport et de respect des contraintes opérationnelles.

En conclusion, l'approche basée sur la programmation linéaire en nombres entiers (MILP) proposée par (Hsieh et al.) constitue une solution prometteuse et efficace pour résoudre le problème complexe de planification de transport dans les réseaux de pipelines de produits pétroliers, avec des avantages en termes d'optimisation des coûts et de respect des contraintes opérationnelles. (38)

Dans leur étude, (S. N. B. Magatao et al., 2015) présentent une approche novatrice basée sur la décomposition en programmation linéaire en nombres entiers mixtes (MILP) pour établir un programme de distribution dans un réseau de pipeline.

Leur approche est spécifiquement appliquée à un réseau de canalisation complexe, où des dérivés de pétrole et d'éthanol sont transportés et distribués entre différentes entités telles que des raffineries, des bornes, des dépôts et des clients finaux. L'objectif principal de la décomposition est de réduire le temps de calcul nécessaire pour résoudre ce problème de planification complexe.

Dans leur étude, ils ont appliqué cette approche à un réseau de canalisation comportant 30 canalisations diversifiées bidirectionnelles, reliées à 14 nœuds comprenant quatre raffineries, deux ports, six dépôts et deux clients finaux. Les résultats obtenus ont été prometteurs en termes de performance informatique, avec des temps de calcul raisonnables allant de quelques secondes à quelques minutes.

En résumé, l'approche proposée par ces chercheurs vise à résoudre le défi de la planification du programme de distribution dans un réseau de pipeline complexe.

Leur approche basée sur la décomposition en MILP permet de réduire le temps de calcul tout en offrant des résultats informatiques satisfaisants pour un réseau de canalisation comprenant de nombreuses entités. (39)

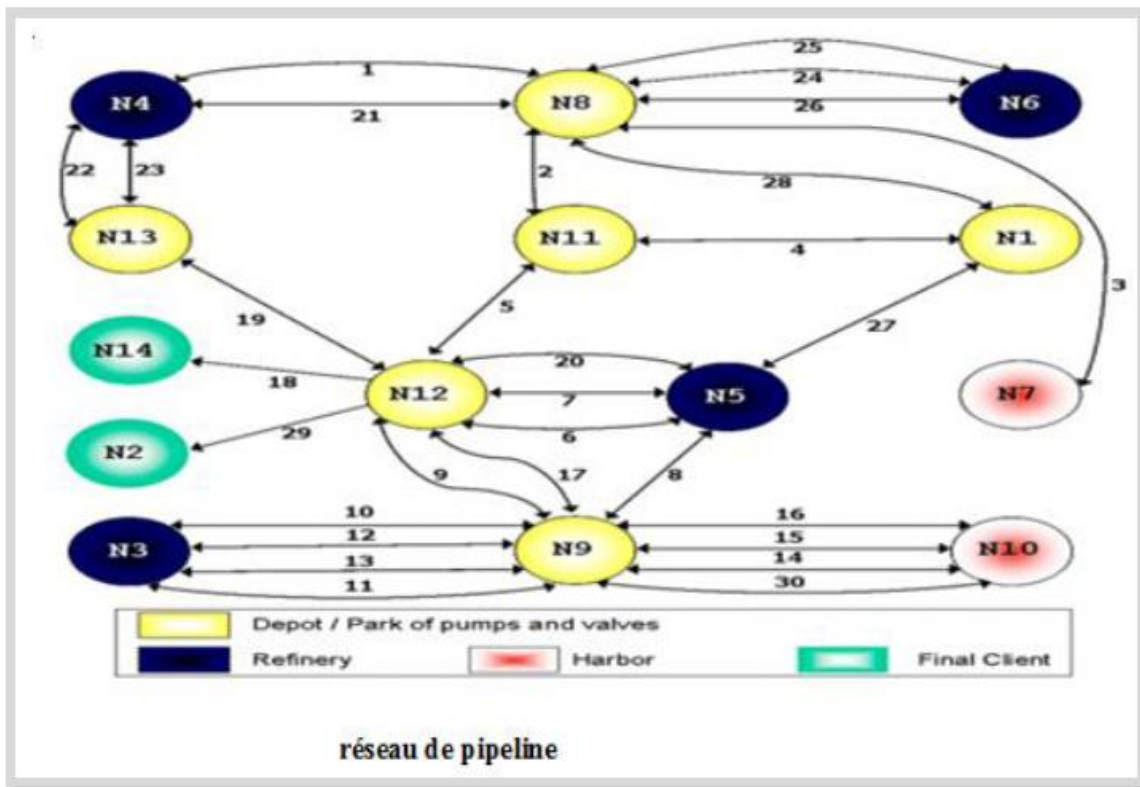


Fig.3. 4 Réseau de pipeline

Dans leur étude, (Pourvaziri et al., 2016) ont proposé une approche basée sur la programmation linéaire pour résoudre le problème de planification de transport dans un pipeline à produits multiples, tout en tenant compte des contraintes de capacité de pompage et de stockage.

L'objectif de leur approche était d'optimiser la planification du transport des produits dans un pipeline de gaz naturel en Iran, en prenant en considération les contraintes de capacité de pompage et de stockage. Ils ont utilisé une formulation en programmation linéaire pour modéliser le problème, permettant ainsi de déterminer la meilleure séquence de pompage des produits et d'optimiser l'utilisation des capacités de pompage et de stockage disponibles.

Pour valider leur approche, les chercheurs ont testé leur modèle sur un pipeline de gaz naturel en Iran, utilisant des données réelles. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité de leur approche pour résoudre le problème de planification de transport dans un pipeline à produits multiples, en tenant compte des contraintes de capacité de pompage et de stockage.

En résumé, l'approche proposée par (Pourvaziri et al., **2016**) repose sur la programmation linéaire et vise à optimiser la planification du transport dans un pipeline à produits multiples avec des contraintes de capacité de pompage et de stockage. Les résultats de leur étude, réalisée sur un pipeline de gaz naturel en Iran, ont confirmé l'efficacité de leur approche. (40)

Dans leur étude, (Bagheri et al., **2017**) ont proposé une approche basée sur la programmation linéaire en nombres entiers pour résoudre le problème de planification de transport dans un pipeline de gaz naturel liquéfié (GNL). Leur approche a été conçue pour prendre en compte les contraintes de capacité de stockage ainsi que l'incertitude associée à la demande de GNL.

L'objectif principal de leur approche était d'optimiser la planification du transport de GNL dans un pipeline en Iran en maximisant l'utilisation des capacités de stockage disponibles et en satisfaisant les demandes incertaines des clients. Pour cela, ils ont formulé le problème comme un modèle de programmation linéaire en nombres entiers, intégrant les contraintes de capacité de stockage, les coûts de transport et les incertitudes de demande.

Pour évaluer l'efficacité de leur approche, les chercheurs ont réalisé des tests sur un pipeline de GNL en Iran en utilisant des données réelles. Les résultats obtenus ont démontré que leur approche basée sur la programmation linéaire en nombres entiers était capable de résoudre efficacement le problème de planification de transport dans un pipeline de GNL, en prenant en compte les contraintes de capacité de stockage et l'incertitude de la demande.

En résumé, l'approche proposée par (Bagheri et al., **2017**) repose sur la programmation linéaire en nombres entiers pour résoudre le problème de planification de transport dans un pipeline de gaz naturel liquéfié. Leur étude a



démontré que cette approche était capable d'optimiser la planification de transport dans un pipeline de GNL en Iran, tout en considérant les contraintes de capacité de stockage et l'incertitude de la demande. (41)

Dans leur étude, (Alcolea et al., **2018**) ont proposé une approche basée sur la programmation dynamique pour résoudre le problème de planification de transport dans un réseau de pipelines de gaz naturel. L'objectif principal de leur méthode était d'optimiser la planification des flux de gaz naturel à travers le réseau de pipelines en Espagne.

L'approche utilisée par les chercheurs reposait sur la programmation dynamique, une technique mathématique permettant de résoudre des problèmes d'optimisation séquentiels en décomposant le problème global en sous-problèmes plus petits. Cela leur a permis de modéliser la dynamique du réseau de pipelines et d'obtenir une planification optimale des flux de gaz naturel sur une période de temps donnée.

Pour évaluer l'efficacité de leur méthode, les chercheurs ont testé leur approche sur un réseau de pipelines de gaz naturel en Espagne, en utilisant des données réelles. Les résultats obtenus ont démontré que leur approche basée sur la programmation dynamique était capable de fournir une planification optimale des flux de gaz naturel, en tenant compte des contraintes et des objectifs spécifiques au réseau de pipelines étudié.

En conclusion, l'approche proposée par (Alcolea et al., **2018**) reposait sur la programmation dynamique pour résoudre le problème de planification de transport dans un réseau de pipelines de gaz naturel en Espagne. Leur étude a démontré que leur méthode était efficace pour optimiser la planification des flux de gaz naturel à travers le réseau de pipelines, en prenant en compte les contraintes opérationnelles et les objectifs spécifiques au réseau étudié. (42)

Dans leur étude, (Liu et al., **2019**) ont proposé une approche novatrice basée sur l'optimisation par essais de particules pour résoudre le problème complexe de planification de transport dans un réseau de pipelines de produits pétroliers en Chine. L'objectif principal de leur méthode était d'optimiser la planification des flux de produits pétroliers tout en tenant compte des contraintes de qualité et de sécurité.

L'approche utilisée par les chercheurs reposait sur l'optimisation par essaims de particules, une technique bio-inspirée basée sur le comportement collectif des particules. Chaque particule représente une solution candidate, et en échangeant des informations avec les autres particules de l'essaim, elles sont capables de trouver une solution optimale globale.

Pour valider l'efficacité de leur méthode, les chercheurs ont appliqué leur approche à un réseau de pipelines de produits pétroliers en Chine, en utilisant des données réelles. Ils ont pris en compte les contraintes de qualité et de sécurité, telles que les normes de qualité des produits pétroliers et les règlements de sécurité, afin de garantir le respect des exigences réglementaires tout en optimisant la planification des flux.

Les résultats obtenus ont démontré que l'approche basée sur l'optimisation par essaims de particules était capable de fournir une planification efficace des flux de produits pétroliers dans le réseau de pipelines étudié. Cette méthode a permis d'optimiser la planification en prenant en compte à la fois les contraintes de qualité et de sécurité, ce qui est essentiel pour assurer le bon fonctionnement du réseau de pipelines de produits pétroliers en Chine.

En conclusion, l'approche proposée par (Liu et al., **2019**) reposait sur l'optimisation par essaims de particules pour résoudre le problème de planification de transport dans un réseau de pipelines de produits pétroliers en Chine. Leur étude a démontré que cette méthode était efficace pour optimiser la planification des flux tout en respectant les contraintes de qualité et de sécurité spécifiques au réseau étudié. (43)

Dans leur recherche, (Deng et al., **2019**) ont proposé une approche basée sur l'utilisation de l'algorithme génétique pour résoudre le problème complexe de planification de transport de gaz naturel dans un réseau de pipelines en Chine. L'objectif principal de leur étude était de trouver une solution optimale pour la planification des flux de gaz naturel tout en prenant en compte les différentes contraintes et spécificités du réseau de pipelines.

L'algorithme génétique est une technique d'optimisation inspirée par la théorie de l'évolution. Il fonctionne en générant une population de solutions candidates, puis en

utilisant des opérations génétiques telles que la sélection, le croisement et la mutation pour obtenir des solutions améliorées au fil des générations.

Dans le cas de l'étude de (Deng et al., **2019**), l'algorithme génétique a été adapté spécifiquement pour résoudre le problème de planification de transport de gaz naturel dans le réseau de pipelines chinois. Ils ont pris en compte diverses contraintes telles que la capacité des pipelines, la demande en gaz naturel, les contraintes de qualité et les réglementations spécifiques à l'industrie du gaz naturel.

Pour évaluer l'efficacité de leur approche, les chercheurs l'ont appliquée à un réseau de pipelines de gaz naturel en Chine en utilisant des données réelles. Ils ont comparé les performances de leur méthode avec d'autres approches existantes, en termes d'efficacité de la planification et de respect des contraintes du réseau.

Les résultats obtenus ont démontré que l'approche basée sur l'algorithme génétique était capable de fournir des solutions de planification efficaces pour le transport de gaz naturel dans le réseau de pipelines chinois. Cette méthode a permis d'optimiser la planification en prenant en compte les différentes contraintes et spécificités du réseau, ce qui est essentiel pour garantir un transport efficace et fiable du gaz naturel.

En résumé, l'étude menée par (Deng et al., **2019**) a utilisé une approche basée sur l'algorithme génétique pour résoudre le problème de planification de transport de gaz naturel dans un réseau de pipelines en Chine. Leur recherche a démontré que cette méthode était efficace pour optimiser la planification des flux de gaz naturel tout en prenant en compte les contraintes spécifiques du réseau de pipelines chinois. (44)

Dans leur étude, (Shi et al., **2020**) ont proposé une approche novatrice basée sur la méthode de la recherche tabou pour résoudre le défi complexe de la planification de transport dans un réseau de pipelines de produits pétroliers en Chine. Leur objectif principal était de trouver une solution optimale qui respecte les contraintes de qualité et de capacité du réseau, tout en minimisant les coûts opérationnels.

La méthode de la recherche tabou est une technique de recherche locale qui permet d'explorer efficacement l'espace des solutions en évitant les boucles répétitives. Elle utilise une mémoire à court terme pour empêcher le retour à des solutions déjà explorées, favorisant ainsi l'exploration de nouvelles solutions prometteuses.

Dans le contexte de la planification de transport dans un réseau de pipelines, l'approche développée par (Shi et al., **2020**) utilisait la méthode de la recherche tabou pour optimiser la répartition des flux de produits pétroliers tout en tenant compte des contraintes de qualité, telles que la compatibilité entre les produits transportés, ainsi que des contraintes de capacité des pipelines.

Pour évaluer l'efficacité de leur approche, les chercheurs l'ont testée sur un réseau de pipelines de produits pétroliers en Chine, en utilisant des données réelles. Ils ont comparé les performances de leur méthode avec d'autres approches existantes en termes d'optimisation des coûts opérationnels et de respect des contraintes du réseau.

Les résultats obtenus ont démontré que l'approche basée sur la méthode de la recherche tabou était capable de trouver des solutions de planification efficaces pour le réseau de pipelines chinois. Cette méthode a permis de réduire les coûts opérationnels tout en garantissant le respect des contraintes de qualité et de capacité. (45)

Dans leur étude, (Zhou et al. **2020**) ont adopté une approche basée sur l'optimisation multi-objectif pour résoudre le problème complexe de la planification de transport dans un réseau de pipelines de gaz naturel en Chine. Leur objectif principal était de trouver une solution qui optimise simultanément les coûts de transport, les contraintes de capacité et les émissions de gaz à effet de serre.

L'approche proposée par les chercheurs consistait à formuler le problème de planification de transport comme un problème d'optimisation multi-objectif. Ils ont utilisé des techniques d'optimisation avancées pour explorer l'espace des solutions et trouver des compromis entre les différents objectifs.

Dans le contexte du réseau de pipelines de gaz naturel en Chine, les critères de performance considérés étaient les coûts de transport, qui incluaient les coûts liés à la distance parcourue et à la capacité utilisée, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre résultant des opérations de transport. De plus, les contraintes de capacité des pipelines devaient être respectées pour garantir un fonctionnement sûr et efficace du réseau.

L'approche développée par (Zhou et al. **2020**) a été appliquée à un réseau de pipelines de gaz naturel en Chine, en utilisant des données réelles. Les chercheurs ont analysé et évalué les résultats obtenus en termes de compromis entre les différents objectifs, tels que la minimisation des coûts de transport et des émissions de gaz à effet de serre, tout en respectant les contraintes de capacité du réseau.

Les résultats ont démontré que l'approche basée sur l'optimisation multi-objective était capable de trouver des solutions de planification efficaces pour le réseau de pipelines de gaz naturel en Chine. Cette approche a permis de trouver des compromis optimaux entre les coûts de transport, les contraintes de capacité et les émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi à une gestion plus durable et efficace du réseau. (46)

### **3.3 Les approches de résolution :**

#### **3.3.1 Programmation linéaire en nombre entier :**

##### **3.3.1.1 Définition :**

Dans le cadre général de la programmation linéaire, les variables peuvent prendre des valeurs continues. Cependant, si l'on restreint toutes les variables du problème à prendre des valeurs entières, on se retrouve confronté à un problème de programmation linéaire à variables "entières" ou "en nombres entiers" pur. En revanche, si seules certaines variables sont soumises à cette contrainte supplémentaire d'intégralité, on parle alors d'un problème de programmation linéaire en variables "mixtes". (47)

##### **3.3.1.2 Optimisation en nombres entiers :**

Un problème d'optimisation en nombres entiers est caractérisé par le fait que toutes les variables impliquées dans le problème doivent prendre uniquement des valeurs entières. Cela signifie qu'elles sont soumises à des contraintes strictes de ne pas prendre des valeurs fractionnaires ou décimales. Ce type de problème pose des défis supplémentaires par rapport aux problèmes d'optimisation continue, car la recherche de solutions optimales doit tenir compte de cette contrainte d'intégralité

### **3.3.1.3 Optimisation mixte en nombres entiers :**

Effectivement, un problème d'optimisation mixte en nombres entiers (MILP) est un type de problème d'optimisation dans lequel certaines variables sont contraintes à prendre uniquement des valeurs entières, tandis que d'autres variables peuvent prendre des valeurs continues. Cela signifie que le problème implique à la fois des variables continues et des variables entières. La présence de variables entières ajoute une complexité supplémentaire à la résolution du problème, car il faut tenir compte à la fois des contraintes de l'optimisation continue et des contraintes d'intégralité. Les méthodes de résolution des problèmes MILP combinent généralement des techniques de programmation linéaire et de programmation entière pour trouver des solutions optimales ou proches de l'optimalité. (48)

MILP est largement utilisée dans les problèmes de planification des pipelines en raison de sa rigueur, de sa flexibilité et de sa capacité étendue de modélisation. Elle offre la possibilité de modéliser efficacement les contraintes complexes et les objectifs multiples associés à la planification des pipelines. Les variables entières permettent de représenter des décisions discrètes telles que le choix des chemins, l'allocation des ressources, la sélection des produits, etc. La combinaison de la programmation linéaire continue et de la programmation entière permet de trouver des solutions optimales ou proches de l'optimalité pour des problèmes de grande taille et de complexité. Ainsi, MILP est devenu l'un des modèles les plus couramment utilisés pour résoudre les problèmes de planification des pipelines. (49)

### **3.3.1.4 Condition d'optimalités d'un problème d'optimisation en nombres entiers :**

Dans le contexte de l'optimisation en nombres entiers, il n'est généralement pas possible de caractériser de manière explicite la solution optimale. En d'autres termes, il n'existe pas de conditions d'optimalité générales pour l'optimisation discrète, ce qui rend la résolution du problème plus complexe.

Il existe essentiellement deux approches pour aborder ce type de problème :

**a) Les méthodes exactes** : Les problèmes d'optimisation de transport multi-produit par pipeline peuvent être résolus de manière exacte en utilisant des algorithmes basés sur la programmation linéaire en nombres entiers. Ces méthodes exactes sont souvent efficaces pour des horizons de planification de courte durée, couvrant seulement quelques jours. Dans de tels cas, la taille du modèle reste raisonnable et une solution optimale peut être trouvée (50). Cependant, pour des problèmes plus complexes et des horizons de temps plus longs, le temps de calcul nécessaire augmente de manière exponentielle avec la taille du problème, rendant l'approche exacte peu pratique.

**b) Les méthodes heuristiques** : Pour les problèmes de plus grande taille ou avec des horizons de temps plus longs, les méthodes exactes peuvent devenir impraticables. Les méthodes heuristiques sont alors utilisées pour obtenir des solutions approchées. Contrairement aux méthodes exactes, les méthodes heuristiques ne garantissent pas l'optimalité, mais elles fournissent des solutions réalisables qui peuvent être de bonne qualité. Les performances de ces approches sont souvent évaluées empiriquement sur des problèmes connus. (51)

Le choix entre les méthodes exactes et les méthodes heuristiques dépend de la taille du problème, de la complexité des contraintes, de la durée de planification et des ressources disponibles en termes de temps de calcul.

### **3.3.2 Les méthodes exactes :**

Les méthodes exactes, également connues sous le nom de méthodes complètes, permettent de trouver la solution optimale d'un problème d'optimisation en examinant toutes les solutions possibles (48) . L'approche d'exploration exhaustive évalue chaque solution individuellement, mais elle n'est pas adaptée aux problèmes combinatoires. C'est pourquoi des méthodes exactes telles que l'algorithme de Séparation & Évaluation (Branch & Bound) explorent toutes les solutions possibles et éliminent les sous-ensembles de mauvaises solutions à l'aide de techniques d'élagage. L'avantage de cette approche est que les solutions éliminées sont évaluées de manière globale plutôt qu'individuellement. (52)

#### **3.3.2.1 La méthode de Branch & Bound :**

La méthode de Branch & Bound, également appelée procédure par évaluation et séparation progressive, vise à énumérer les solutions de manière intelligente en exploitant les propriétés spécifiques du problème. Cette approche permet d'éliminer efficacement des solutions partielles qui ne conduisent pas à la solution recherchée. Ainsi, il est souvent possible d'obtenir la solution souhaitée dans un délai raisonnable. Cependant, dans le pire des cas, il peut être nécessaire d'éliminer explicitement toutes les solutions du problème.

Pour ce faire, la méthode utilise une fonction qui permet de définir une borne sur certaines solutions, afin de les exclure ou de les maintenir comme solutions potentielles. La performance de la méthode de Branch & Bound dépend, entre autres, de la qualité de cette fonction, c'est-à-dire de sa capacité à exclure rapidement des solutions partielles.

La méthode de branch-and-bound est représentée sous forme d'une arborescence pour faciliter son exécution. La racine de cette arborescence représente l'ensemble de toutes les solutions possibles du problème considéré. Voici un résumé de la méthode de branch-and-bound pour les problèmes de minimisation. Pour appliquer cette méthode, nous avons besoin des éléments suivants :

- Un moyen de calculer une borne inférieure pour une solution partielle.
- Une stratégie pour subdiviser l'espace de recherche en créant des sous-espaces de plus en plus petits.
- Un moyen de calculer une borne supérieure pour au moins une solution.

Si une solution optimale est trouvée pour un sous-problème, elle est réalisable mais pas nécessairement optimale pour le problème initial. Étant donné qu'elle est réalisable, elle peut être utilisée pour éliminer tous ses descendants : si la borne inférieure d'un nœud dépasse la valeur d'une solution déjà connue, alors on peut affirmer que la solution optimale globale ne peut pas se trouver dans le sous-ensemble de solutions représenté par ce nœud. La recherche se poursuit jusqu'à ce que tous les nœuds soient soit explorés, soit éliminés. (53)

### **3.3.2.2 La méthode de Cutting-Plane :**



L'algorithme des plans de coupe résout les problèmes de programmation en nombres entiers en modifiant les solutions de programmation linéaire jusqu'à obtenir une solution entière. Contrairement aux approches de branchement et de bornage qui partitionnent la région admissible en sous-régions, cet algorithme travaille avec un seul programme linéaire qu'il affine en ajoutant de nouvelles contraintes. Ces nouvelles contraintes réduisent progressivement la région admissible jusqu'à ce qu'une solution optimale entière soit trouvée. Dans la pratique, les procédures de branchement et de bornage surpassent presque toujours l'algorithme des plans de coupe en termes de performance. Néanmoins, cet algorithme a joué un rôle important dans l'évolution de la programmation en nombres entiers. Historiquement, il a été le premier algorithme développé pour ce type de programmation qui a pu être prouvé converger en un nombre fini d'étapes. De plus, malgré sa réputation d'inefficacité, cet algorithme a fourni des connaissances précieuses sur la programmation en nombres entiers, ce qui a permis le développement d'autres algorithmes plus efficaces.

### **3.3.2.3 la méthode du *Branch and Cut* :**

L'algorithme du "Branch and Cut" est une méthode qui combine les efforts de l'algorithme du "Branch and Bound" et de la méthode des coupes polyédrales. Cette approche est utilisée pour résoudre des problèmes de programmation linéaire en nombres entiers. Voici comment fonctionne le "Branch and Cut" :

1. Tout d'abord, l'algorithme résout une relaxation du problème, ce qui signifie qu'il ignore temporairement les contraintes de nombre entier et cherche une solution optimale dans la forme linéaire continue.
2. Ensuite, la méthode des coupes polyédrales est appliquée à la solution obtenue. Les coupes polyédrales sont des inégalités qui permettent de réduire l'espace des solutions réalisables. Elles sont ajoutées au modèle pour renforcer les contraintes et améliorer la relaxation.
3. Si la solution après l'application des coupes polyédrales n'est pas entière, le problème est divisé en plusieurs sous-problèmes. Chaque sous-problème est résolu en utilisant la même approche du "Branch and Cut", c'est-à-dire en

résolvant une relaxation, en appliquant les coupes polyédrales, et en répétant le processus de division si nécessaire.

L'algorithme de base du "Branch and Cut" a été initialement utilisé pour résoudre le problème d'ordonnancement linéaire. Le terme "Branch and Cut" a été introduit par Padberg et Rinaldi pour décrire un algorithme de résolution du problème du voyageur de commerce. Depuis, des avancées ont été réalisées, notamment dans la génération de colonnes, les procédures sophistiquées de séparation des coupes, ainsi que l'utilisation efficace des solveurs de programmation linéaire. Ces développements ont permis d'établir un état de l'art de l'algorithme du "Branch and Cut", comme présenté par Padberg et Rinaldi dans leur publication de référence. (54)

### **3.3.3 Les métaheuristiques :**

Les métaheuristiques sont des méthodes qui permettent d'obtenir une valeur approximative de la solution optimale d'un problème en un temps polynomial. Leur principale caractéristique est leur capacité à résoudre efficacement une large gamme de problèmes différents sans nécessiter de modifications majeures de l'algorithme de base. Elles s'inspirent souvent de concepts et d'analogies provenant de divers domaines, tels que la physique, la biologie et l'éthologie.

Par exemple, le recuit simulé est une métaheuristique qui tire son inspiration du processus de recuit dans la métallurgie, où un matériau est chauffé puis refroidi lentement pour atteindre une configuration stable. Les algorithmes évolutionnaires, quant à eux, s'inspirent des principes de l'évolution biologique, tels que la sélection naturelle, la reproduction et la mutation, pour explorer l'espace des solutions.

D'autres métaheuristiques, telles que les colonies de fourmis et les essaims particuliers, s'inspirent respectivement du comportement social des fourmis et du vol en groupe des oiseaux. Ces approches utilisent des interactions et des communications entre les individus pour trouver des solutions prometteuses.

Un intérêt particulier est accordé à la méthode d'optimisation basée sur la biogéographie (BBO : Biogeography-Based Optimization), qui tire son inspiration des principes de la biogéographie, une discipline scientifique qui étudie la distribution des

espèces à travers les environnements géographiques. Cette métaheuristique utilise des concepts tels que la migration, la diversité des habitats et l'adaptation pour résoudre des problèmes d'optimisation.

Il convient de noter que ces métaheuristicues ont des domaines d'application étendus et peuvent être utilisées pour résoudre des problèmes qui vont au-delà de leur domaine d'origine. Leur flexibilité et leur capacité à trouver des solutions de qualité en un temps raisonnable en font des outils précieux dans de nombreux domaines de recherche et d'ingénierie. (55)

Pour le problème de transport par pipeline multi-produit, où l'objectif est d'optimiser le transport de différents produits à travers un réseau de pipelines, plusieurs métaheuristicues peuvent être appliquées. Voici quelques-unes des métaheuristicues les plus utilisées :

#### **3.3.3.1 Algorithme génétique (GA):**

Un algorithme génétique (GA) est une technique d'optimisation inspirée du processus de sélection naturelle observé dans l'évolution biologique. Il est utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation, de recherche et d'apprentissage automatique. Les GA fonctionnent en générant une population initiale d'individus, qui sont des solutions potentielles au problème donné. Chaque individu est représenté sous forme de chromosome, qui est généralement une chaîne de bits.

L'algorithme génétique suit un processus itératif pour évoluer la population vers des solutions de plus en plus performantes. Ce processus est divisé en plusieurs étapes clés :

- 1. Initialisation** : Une population initiale est générée de manière aléatoire ou en utilisant une heuristique spécifique au problème.
- 2. Évaluation** : Chaque individu de la population est évalué en utilisant une fonction d'évaluation prédéfinie qui mesure sa qualité ou son aptitude (fitness) par rapport à la solution souhaitée.

3. **Sélection** : Les individus les plus aptes sont sélectionnés pour la reproduction, basée sur leur aptitude relative. Les individus les plus performants ont une probabilité plus élevée d'être sélectionnés, mais des individus moins performants peuvent également être choisis pour maintenir la diversité génétique.
4. **Reproduction** : Les individus sélectionnés sont combinés pour créer de nouvelles solutions potentielles, appelées descendants. Les opérations de reproduction couramment utilisées sont la recombinaison (croisement) et la mutation. La recombinaison échange des parties des chromosomes parentaux pour créer des descendants, tandis que la mutation modifie aléatoirement certains bits du chromosome.
5. **Remplacement** : Les descendants remplacent une partie de la population précédente, généralement en remplaçant les individus les moins performants. Cela garantit que la population évolue vers de meilleures solutions au fil du temps.
6. **Convergence** : Les étapes de sélection, reproduction et remplacement sont répétées sur plusieurs générations jusqu'à ce qu'une condition d'arrêt soit atteinte. Cela peut être un nombre fixe de générations, l'obtention d'une solution suffisamment bonne ou l'expiration d'un certain laps de temps.

Un algorithme génétique (GA) est une technique d'optimisation inspirée du processus de sélection naturelle observé dans l'évolution biologique. Il est utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation, de recherche et d'apprentissage automatique. Les GA fonctionnent en générant une population initiale d'individus, qui sont des solutions potentielles au problème donné. Chaque individu est représenté sous forme de chromosome, qui est généralement une chaîne de bits.

L'algorithme génétique suit un processus itératif pour évoluer la population vers des solutions de plus en plus performantes. Ce processus est divisé en plusieurs étapes clés :

1. Initialisation : Une population initiale est générée de manière aléatoire ou en utilisant une heuristique spécifique au problème.
2. Évaluation : Chaque individu de la population est évalué en utilisant une fonction d'évaluation prédéfinie qui mesure sa qualité ou son aptitude (fitness) par rapport à la solution souhaitée.
3. Sélection : Les individus les plus aptes sont sélectionnés pour la reproduction, basée sur leur aptitude relative. Les individus les plus performants ont une probabilité plus élevée d'être sélectionnés, mais des individus moins performants peuvent également être choisis pour maintenir la diversité génétique.
4. Reproduction : Les individus sélectionnés sont combinés pour créer de nouvelles solutions potentielles, appelées descendants. Les opérations de reproduction couramment utilisées sont la recombinaison (croisement) et la mutation. La recombinaison échange des parties des chromosomes parentaux pour créer des descendants, tandis que la mutation modifie aléatoirement certains bits du chromosome.
5. Remplacement : Les descendants remplacent une partie de la population précédente, généralement en remplaçant les individus les moins performants. Cela garantit que la population évolue vers de meilleures solutions au fil du temps.
6. Convergence : Les étapes de sélection, reproduction et remplacement sont répétées sur plusieurs générations jusqu'à ce qu'une condition d'arrêt soit atteinte. Cela peut être un nombre fixe de générations, l'obtention d'une solution suffisamment bonne ou l'expiration d'un certain laps de temps.

Les algorithmes génétiques sont flexibles et peuvent être adaptés à différents types de problèmes. Ils ont été appliqués avec succès dans divers domaines, tels que l'optimisation de fonctions mathématiques, la conception de circuits, la planification des horaires, la conception de réseaux neuronaux, l'apprentissage automatique et bien d'autres.

Il convient de noter que les références spécifiques auxquelles vous pouvez vous référer dépendent du contexte ou du problème spécifique que vous souhaitez résoudre avec un algorithme génétique. Il existe de nombreux livres, articles et ressources en ligne sur le sujet, et vous pouvez trouver des références appropriées en fonction de vos besoins spécifiques. (51)

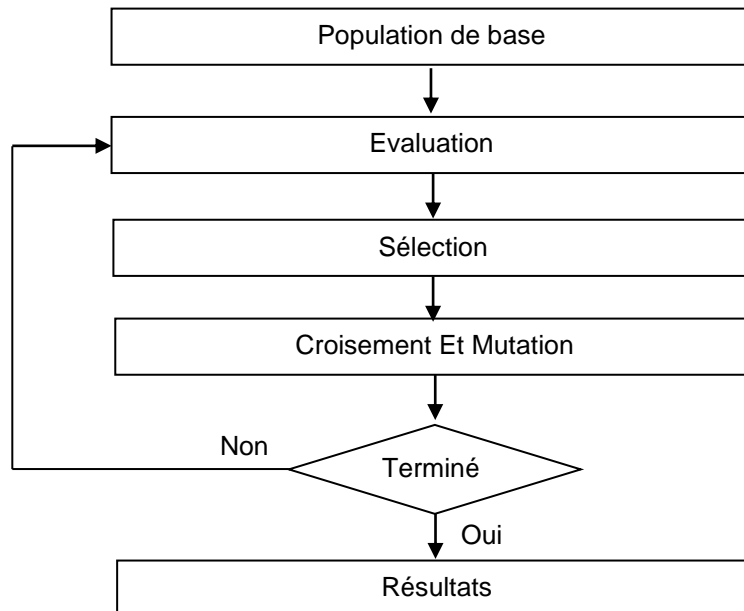


Fig.3. 5 Fonctionnement de l'algorithme génétique

### 3.3.3.2 Recuit simulé (SA) (56) :

Le recuit simulé est un algorithme probabiliste générique développé pour résoudre des problèmes d'optimisation globale pour une fonction définie dans un grand espace de recherche. Le recuit simulé a obtenu d'excellents résultats dans divers problèmes complexes connus pour leurs importantes propriétés combinatoires. Il s'inspire du recuit thermique physique. A chaque étape de calcul de cet algorithme, la solution courante est remplacée par une solution proche choisie avec une probabilité qui dépend de la variation d'une fonction d'aptitude (appelée fonction d'énergie par analogie avec le processus physique) via un paramètre  $T$  (appelé température) qui diminue progressivement et régulièrement au cours du processus. Dans cette approche, la solution évolue de manière quasi aléatoire pour la grande valeur de  $T$  et tend globalement à obtenir le minimum de la fonction d'énergie lorsque  $T$  tend vers zéro. L'évolution aléatoire permet des mouvements dans lesquels l'énergie peut parfois augmenter, ce qui évite de tomber et d'être piégé dans un

minimum local qui peut apparaître avec les méthodes de descente habituelles comme la méthode du gradient. Cet algorithme peut être présenté comme suit :

Notons  $s$ ,  $T$  et  $e$  respectivement l'état, la température et l'énergie actuels, et  $s_n$  et  $e_n$  respectivement le nouvel état et la nouvelle énergie.

Le processus est initialisé avec  $s := s_0$  et  $e := e_0$  qui correspondent à l'état initial  $s_0$  d'énergie  $e_0$  au temps  $k = 0$ . Tant que la condition d'arrêt n'est pas satisfaite (temps  $k < k_m$  et énergie  $e > e_m$ ), on choisit un état dans le voisinage et on calcule son énergie.

- **Exemple d'un algorithme de recuit simulé :**

*Initialization*

$s = s_0$  ,  $e = E(s)$  ,  $k = 0$  ,  $T = T_0$

*While*  $k < k_m$  and  $e > e_m$

$S_{k+1} = neighbour(S_k)$

$e_{k+1} = E(S_{k+1})$  ,  $\Delta e_k = e_{k+1} - e_k$

*if*  $random [0,1] < exp(-\Delta e_k/T_k)$

*then*  $S_k := S_{k+1}$  ,  $e_k = e_{k+1}$  ,  $T_{k+1} = T_k$  ,  $k = k + 1$

*return while*

### 3.3.3.3 La recherche Tabou :

La recherche Tabou est une méthode d'optimisation locale qui améliore les performances d'une méthode de recherche locale en utilisant la mémoire des solutions obtenues précédemment afin de permettre de s'échapper vers un optimum local. Il s'agit d'une procédure de recherche locale itérative qui permet de passer d'une solution à une autre solution dans son voisinage jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit satisfait. En pratique, l'approche principale de la recherche Tabou consiste à déterminer, à partir d'une solution, la meilleure solution dans son voisinage immédiat avec interdiction d'aller vers l'une des  $N$  solutions obtenues précédemment. Notons  $N(x)$  la liste des  $N$  solutions qui ont été visitées dans le passé récent, à chaque étape de l'itération nous éliminons la solution la plus ancienne de la

liste et nous ajoutons la nouvelle. Cette méthode permet d'éviter une évolution cyclique. Il peut apparaître que pendant un certain temps nous pouvons avoir une dégradation de la solution mais cela nous permet de sortir d'un optimum local et d'élargir l'espace de recherche.

Un autre type de recherche de Tabou correspond à une autre définition de la liste de Tabou : qui peut interdire les solutions qui ont certains attributs ou qui peut empêcher certaines solutions qui contiennent des attributs interdits. Un exemple de recherche Tabou correspond à la recherche de la plus petite valeur dans le tableau d'affichage suivant. La solution initiale correspond à un fitness égal à 12 et la liste de Tabou comporte 5 éléments, figure 13.

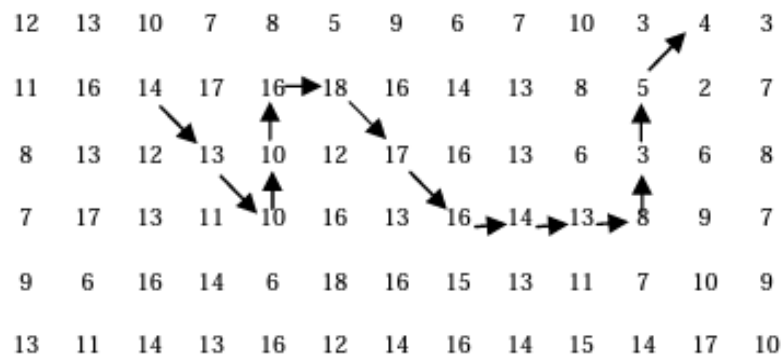


Fig.3. 6 la recherche de la valeur minimale

### 3.4 Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a abordé divers aspects des travaux et des recherches utilisés dans le domaine du transport par pipeline. Nous avons examiné en détail l'organisation du transport dans les pipelines multi-produit, mettant en évidence les défis et les opportunités qui se présentent lors de la gestion de flux de différents produits simultanément. Nous avons également effectué une revue de littérature approfondie, explorant les travaux de recherche existants sur le transport par pipeline et soulignant les avancées réalisées dans ce domaine.

De plus, nous avons étudié les différentes approches de résolution qui peuvent être appliquées pour optimiser le transport par pipeline, en prenant en compte des



aspects tels que la minimisation des coûts, la maximisation de l'efficacité et la gestion des risques. Ces approches offrent des solutions novatrices pour améliorer la performance des systèmes de transport par pipeline et répondre aux besoins croissants de l'industrie.

En somme, ce chapitre a permis de mettre en évidence l'importance des travaux et des recherches dans le domaine du transport par pipeline, en offrant des perspectives précieuses sur l'organisation du transport, les avancées scientifiques et les approches de résolution. Il constitue une base solide pour approfondir les connaissances et développer de nouvelles stratégies afin d'optimiser les opérations de transport par pipeline dans le futur.

## Chapitre 04 :

### Planification du Pompage dans le Pipeline

#### **4.1 Planification de transport dans le pipeline orienté vers l'exploitation max du stockage des produits au niveau du centre :**

##### **4.1.1 Modèle mathématique :**

##### **4.1.1.1 Nomenclature :**

##### **a) Les ensembles :**

- $ta$  : temps d'arriver d'un produit "p" tel que  $ta \in \{0, \dots, NTA\}$ .
- $tl$  : temps de lancement du produit  $p$  tel que  $tl \in \{0, \dots, TL\}$ .
- $c$  : l'ensemble des centres tel que  $c \in \{1, \dots, cf\}$ .
- $p$  : l'ensemble des produits tel que  $p \in \{1, \dots, NP\}$ .
- $tint$  : temps interdit de livrer au centre  $c$  tel que  $c \neq cf$  et  $tint \in \{1, \dots, TINTD\}$ .

##### **b) Les paramètres :**

- $dem_{(c, p, ta)}$ : la demande du centre "c" sur produit "p" pour l'intervalle de temps d'arrivé  $ta$ .
- $Capqtmp_{(cf, p)}$  : capacité de contaminât du produit  $p$  majoritaire mélangé avec d'autres produits  $p'$  au centre final "cf".
- $Capc_{(c, p)}$  : capacité de chaque produit "p" au centre "c".
- $Prc_{(p)}$  : pourcentage de contaminât pour corriger chaque produit "p" au centre final  $cf$ .
- $Disp_{(tl, c)}$  : représente la disponibilité de chaque centre "c" au temps de lacement " $tl$ ".
- $valeur\_interdite_{(tint)}$  : représente la valeur de temps interdit de livrer au centre  $c$  tel que  $c \neq cf$

### c) Les constantes :

- $VL$  : volume de produit injecté sur chaque injection .
- $qtm$  : volume de contaminât produit sur le pipe qui est supposer fixe (en moyenne).
- $Tinj$  : temps d'injection de chaque produit.
- $db$  : représente le débit moyen pompé par la raffinerie.

### d) Les variables de décisions binaires :

- $YL_{(tl, p)}$  : égale à 1 si on a un lancement sur le produit "p", et 0 sinon.
- $yc_{(t1, p1, t2, p2)}$  : égale à 1 si on a un contaminât entre  $p1$  à  $t1$ , et  $p2$  à  $t2$ , et 0 sinon.
- $ya_{(ta, c, p)}$  : égale à 1 si on a un arriver de produit "p" au temps d'arriver " $ta$ " dans le centre "c", et 0 sinon.

### e) Les variables de décisions continus :

- $Qcor_{(t,p)}$  : la quantité de correction pour chaque arriver de produits " $p$ " au centre final  $cf$ .
- $qstock_{(ta,p,c)}$  : quantité stocké de produit " $p$ " dans le centre " $c$ " au temps d'arriver " $ta$ ".
- $qstockqtm (ta, p1, p2, c)$  : quantité de contaminât stocké au temps d'arriver " $ta$ " de " $p1, p2$ " dans le centre final  $cf$ .
- $QSERV_{(c,p,ta)}$  : c'est la quantité servie de produit " $p$ " dans le centre " $c$ " au temps d'arriver " $ta$ ".
- $frqtm1_{(t1,t2,p1)}$  : représente la fraction de contaminât qui contient  $p1$  majoritaire.
- $frqtm2_{(t1,t2,p)}$  : représente la fraction de contaminât qui contient  $p2$  majoritaire.
- $frqtma1_{(ta,p,c)}$  : représente l'arriver de la fraction de contaminât qui contient  $p1$  majoritaire au temps d'arriver  $ta$  dans le centre final  $cf$ .
- $frqtma2_{(ta,p,c)}$  : représente l'arriver de la fraction de contaminât qui contient  $p2$  majoritaire au temps d'arriver  $ta$  dans le centre final  $cf$ .

#### 4.1.2 La formulation mathématique :

##### 4.1.2.1 Hypothèses :

Nous avons établi les hypothèses suivantes pour la formulation de notre modèle mathématique basé sur la programmation linéaire en nombres entiers mixtes :

- Un seul pipeline unidirectionnel est utilisé pour transporter plusieurs produits pétroliers depuis une raffinerie vers plusieurs centres de distribution.
- Aucun arrêt de pipeline.
- La capacité de stockage à propos *centre 1* est de  $1400 m^3$  sans plomb au lieu de 1300.
- Les produits pétroliers se déplacent dans le pipeline sans être physiquement séparés les uns des autres.
- Le pipeline est toujours plein, ce qui signifie que les produits sont considérés comme incompressibles. Ainsi, pour recevoir une quantité de produits dans

tous les dépôts, il est nécessaire d'injecter la même quantité à l'origine du pipeline.

- La durée de la planification est fixe.
- Le volume du contaminant entre deux types de produits différents est supposé fixe.
- Le contaminant est stocké dans des réservoirs spéciaux avant d'être injecté dans les réservoirs de carburant avec un faible pourcentage.
- Les demandes quotidiennes en produits doivent être satisfaites avant la fin de chaque période.
- La disponibilité de centre C2 (REM) est deux fois que la disponibilité de centre C1 (SBA) selon la capacité actuelle (juin-2023) de chacun de ces centres.

#### 4.1.2.2 La fonction objective :

La fonction objective consiste à maximiser la quantité stockée en "p1" et "p2" dans les cuves et de minimiser le volume total du contaminant qui résulte entre les différents batchs dans le pipeline.

$$Max \left[ \sum_{ta=TC(c)+1}^{ta \leq TF(c)} \sum_{c=1}^{cf} \sum_{p=1}^{NP} qstock_{(ta)(p)(c)} - \sum_{p1} \sum_{t1=1}^{TL-1} \sum_{t2=t1+1}^{TL} \sum_{p2 \neq p1} qtm \times yC_{(t1)(t2)(p1)(p2)} \right]$$

#### 4.1.2.3 Les contraintes :

$$1. \quad \sum_{p=1}^{NP} YL_{(t)(p)} \leq 1 \quad \forall t \in TL$$

Cette contrainte implique que le segment lancé à la période t au niveau de la raffinerie est réalisable ou non réalisable pour choisir un seul produit p.

$$2. \sum_{p=1} YL_{(t+1)(p)} \leq \sum_{p=1} YL_{(t)(p)} \quad \forall t \in TL, t < TL, p \in NP$$

La contrainte suivante est complémentaire a la précédente ; tel que un segment lancé à t doit contenir un seul produit p pour que le segment suivant a t+1 peut être candidat de lancé ou non lancé le produit p. ceci permet de **d'arrêter le pompage** du pipeline avant la fermeture de l'horizon de la planification a condition de satisfaire les contraintes des demandes et des capacités de stockage .

$$3. \quad ya_{(ta)(c)(p)} = YL_{(t)(p)} * Disp_{(t)(c)}$$

$$Tq \quad ta \in NTA, ta = t + AR(t), ta \leq NTA, et t \in TL.$$

L'égalité numéro 3 permet de classer le segment arrivé a la période ta par rapport a sa période de lancement au temps t selon la stratégie de choix d'affectation du lot expliquée dans le paragraphe suivant. (4.2.6) et explicité dans le diagramme de gant (Fig.4. 1).

$$4. Qcor_{(ta)(p)} = \min (prc_{(p)} \times VL \times ya_{(ta)(c)(p)}, qstockqtm_{(ta)(p)(c)}).$$

$$Tq \quad c = cf, ta \in NTA.$$

C'est la quantité de contaminât a corriger dans les cuves de stockage dédiée a chaque produit p égale au minimum entre la quantité permise de correction relative au segment de pompage arrivé a la période ta au centre finale c ou le peu de stocke restant dans le cuve de contaminât.

$$5. fraction_{(p1)} \times yc_{(t1)(t2)(p1)(p2)} \times qtm = frqtm1_{(t1)(t2)(p1)}$$

$$p1 \text{ et } p2 \in NP, \text{ et } p2 \neq p1, t1 \text{ et } t2 \in TL, t1 < TL, \text{ et } t2 = t1 + 1.$$

Cette égalité exprime la quantité du mélange du produit p2 qui contamine p1 tel que p1 est lancé a la période t1.

$$6. fraction_{(p2)} \times yc_{(t1)(t2)(p1)(p2)} \times qtm = frqtm1_{(t1)(t2)(p2)}$$

$$p1 \text{ et } p2 \in NP, \text{ et } p2 \neq p1, t1 \text{ et } t2 \in TL, t1 < TL, \quad t2 = t1 + 1.$$

Cette égalité exprime la quantité du mélange du produit p1 qui contamine p2 tel que p2 est lancé a la période t2.

$$7. frqtm1_{(t1)(t2)(p1)} = frqtma1_{(ta)(p1)(c)}$$

$$ta = t1 + AR(t), ta \leq NTA, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 = t1 + 1, c \in cf, c = cf.$$

Cette égalité exprime l'arrivé au temps  $ta$  du contaminât mélangé dans le produit  $p1$  tel que le segment  $p1$  est lancé a  $t1$ .

$$8. frqtm2_{(t1)(t2)(p2)} = frqtma2_{(ta)(p2)(c)}$$

$$ta = t2 + AR(t), ta \leq NTA, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 = t1 + 1, c \in cf, c = cf.$$

Cette égalité exprime l'arrivé au temps  $ta$  du contaminât mélangé dans le produit  $p2$  tel que le segment  $p2$  est lancé a  $t2$ .

$$9. frqtma2_{(ta)(p)(c)} + frqtma1_{(ta)(p)(c)} + qstockqtm_{(ta-1)(p)(c)}$$

$$- Qcor_{(ta)(p)} = qstockqtm_{(ta)(p)(c)}.$$

$$c \in cf, c = cf, p \in NP, ta \in NTA, 0 < ta.$$

Cette égalité définit le niveau de stock de contaminât de produit  $p$  au centre finale  $c$  a la période  $ta$ .

$$10. qstockqtm_{(ta)(1)(c)} = 190$$

$$qstockqtm_{(ta)(2)(c)} = 170, ta = 0, c \in cf, ta \in NTA, ta = 0.$$

Ces contraintes représente le niveau du stock initiale de contaminât a l'état initiale avant le lancement du pompage.

$$11. ya_{(ta)(c)(p)} \times VL + qstock_{(ta-1)(p)(c)} = qstock_{(ta)(p)(c)} + QSERV_{(c)(p)(ta)}$$

$$c \in cf, c \neq cf, p \in NP, ta \in NTA, 0 < ta.$$

Cette égalité exprime l'état de stock de produit  $p$  au centre  $c$  a la période  $ta$  avec la condition de satisfaction de la demande définit par  $QSERV$ .

$$12. qstock_{(0)(1)(1)} = 536$$

$$qstock_{(0)(2)(1)} = 2600$$

$$qstock_{(0)(1)(2)} = 5000$$

$$qstock_{(0)(2)(2)} = 7000$$

Représente les niveaux de stock initiale avant le lancement de pompage au centre de réception  $c$  pour chaque produit  $p$ .

$$13. qstock_{(60)(2)(1)} \leq 3000$$

$$qstock_{(60)(2)(2)} \leq 11000.$$

Représente les niveaux de stock a la fin d'horizon de planification pour permettre a la réalisation d'un pompage a l'horizon suivant ; c. à .d la permission de la distribution de quantité stocké dans le tube de pipeline.

$$14. ya_{(ta)(c)(p)} \times VL + qstock_{(ta-1)(p)(c)} + Qcor_{(ta)(p)} - frqtma1_{(ta)(p)(c)} - frqtma2_{(ta)(p)(c)} = qstock_{(ta)(p)(c)} + QSERV_{(c)(p)(ta)}.$$

$$c \in cf, c = cf, p \in NP, ta \in NTA, 0 < ta.$$

Cette contrainte calcule le niveau de stock au centre finale c de produit p a l'intervalle de temps ta.

$$15. qstock_{(ta)(p)(c)} \leq Capc_{(c)(p)}$$

$$c \in cf, p \in NP, ta \in NTA, 0 < ta.$$

Contrainte de limite de la capacité de stockage de produit p.

$$16. qstockqtm_{(ta)(p)(c)} \leq Capqtmp_{(c)(p)}$$

$$c \in cf, p \in NP, ta \in NTA, 0 < ta$$

Cette contrainte limite de la capacité de stockage de contaminât au centre finale cf pour chaque produit p durant l'intervalle de réception ta.

$$17. QSERV_{(c)(p)(ta)} = dem_{(c)(p)(ta)}$$

$$c \in cf, p \in NP, ta \in NTA, 0 < ta.$$

Contrainte de la satisfaction de la demande au niveau de chaque centre c pour chaque produit p durant de l'intervalle de réception ta.

$$18. yc_{(t1)(t2)(p1)(p2)} = \min (YL_{(t1)(p1)}, YL_{(t2)(p2)})$$

$$\forall p1 \text{ et } \forall p2 \in NP, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 = t1+1, p2 \neq p1.$$

Contrainte de confirmation de l'existence d'un contaminât.

$$19. yc_{(t1)(t2)(p1)(p2)} = 0$$

$$p1 \text{ et } p2 \in NP, p2 = p1, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 = t1 + 1.$$

Contrainte complémentaire de la contrainte précédente expriment l'absence d'un contaminât si deux segment lancé successivement portant le même produit.

$$20. yc_{(t1)(t2)(p1)(p2)} = 0$$



$p1 \text{ et } p2 \in NP, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 > t1 + 1.$

$p1 \text{ et } p2 \in NP, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 = t1 + 1, t1 = \text{valeur\_interdite}(t3), t3 \in TINTD.$

Contrainte de l'absence de contaminât entre deux segment non successivement lancé.

$$21. y^C_{(t1)(t2)(p1)(p2)} = 0$$

$p1 \text{ et } p2 \in NP, t1 \text{ et } t2 \in TL, t2 = t1 + 1, t2 = \text{valeur\_interdite}(t3), t3 \in TINTD.$

Contrainte confirmant l'interdiction de mélanger un segment qui n'est pas réservé au centre final cf de réception en cas ou t1 représente la dernière partie de segment qui peut être contaminée.

$$22. y^C_{(t1)(t2)(p1)(p2)} = 0$$

Contrainte confirmant l'interdiction de mélanger un segment qui n'est pas réservé au centre final cf de réception en cas ou t2 représente la première partie de segment qui peut être contaminée.



Nous avons décidé d'utiliser le logiciel Cplex pour résoudre ce modèle mathématique, qui consiste en un problème d'optimisation linéaire avec des variables entières mixtes. Grâce à sa capacité à traiter des problèmes de grande taille, Cplex peut gérer de nombreux problèmes, même ceux comprenant des milliers de variables et des centaines de milliers de contraintes.

Et le diagramme de Gant qui représente le séquençement des sous batch pendant 60 périodes sur Excel.

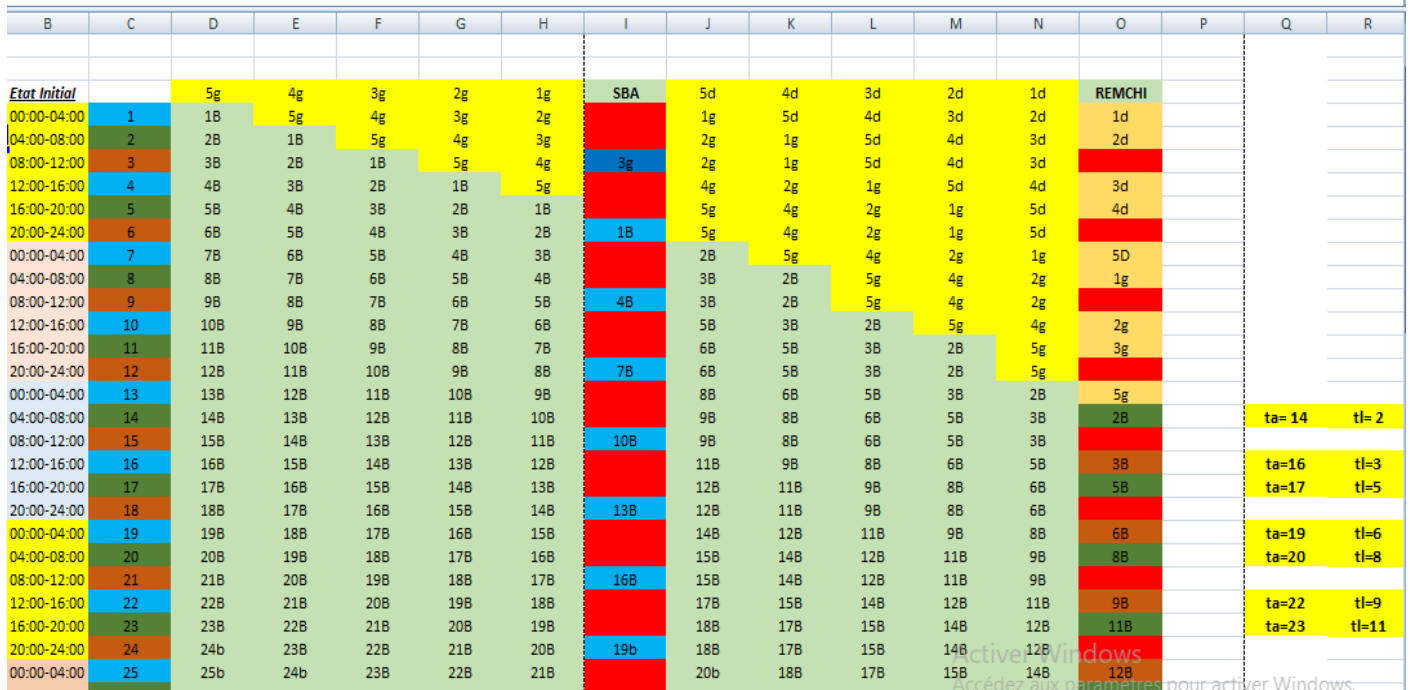


Fig.4. 2 diagramme de Gant sur Excel

## 4.2 Simulation de modèle mathématique par Cplex :

### 4.2.1 Définition :

Le logiciel Cplex est un puissant solveur d'optimisation mathématique développé par IBM. Il est largement utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation linéaire, entière et mixte. Cplex utilise des algorithmes sophistiqués pour trouver la meilleure solution possible, en prenant en compte les contraintes et les objectifs spécifiés. Il est couramment utilisé dans les domaines de la recherche opérationnelle, de l'ingénierie, de la logistique, de la finance et de la planification, entre autres. (57)

Il existe deux manières d'utiliser CPLEX. La première est de travailler d'une certaine manière.

Appelez un Shell dédié pour une exécution interactive. La seconde est appelez les fonctions du moteur directement à partir de votre propre code, même du code C, C++ ou Java. (58)

### 4.2.2 Historique :

CPLEX a été initialement développé par l'équipe de Robert Bixby pour disposer d'un solveur performant pour résoudre des instances du problème de voyageur de

commerce (TSP chez nos voisins d'outre-manche) de grande taille. Jusqu'à la version 6.0, il a été commercialisé par la société CPLEX. En 1996, cette société a été rachetée par ILOG pour étoffer son éventail de produits destinés à l'Aide à la Décision.

#### **4.2.3 Capacités de CPLEX :**

CPLEX est initialement un solveur de programmes linéaires qui repose sur une implémentation performante du simplexe primal. En plus du simplexe primal, il offre également le simplexe dual et le simplexe de réseau. CPLEX est capable de résoudre des programmes linéaires mixtes en combinant le simplexe, le branch and bound et la génération de coupes. Récemment, il a également intégré une technique basée sur les points intérieurs, lui permettant de traiter des problèmes quadratiques. Actuellement, CPLEX est l'un des solveurs les plus performants disponibles, voire le plus performant. Il peut ainsi gérer des problèmes avec des dizaines de milliers de variables et plusieurs centaines de milliers de contraintes. Pour les problèmes mixtes, la limite est généralement plus basse, mais elle dépend du type de problèmes et du modèle appliqué. Les types de problèmes que peut traiter la suite d'optimisation ILOG comprennent les programmes linéaires, linéaires mixtes, quadratiques, quadratiques mixtes, ainsi que les programmes avec contraintes quadratiques et contraintes quadratiques mixtes. (58)

#### 4.2.4 Comment créer un projet sur Cplex :

- on clique sur « fichier », « nouveau » puis « Projet OPL »

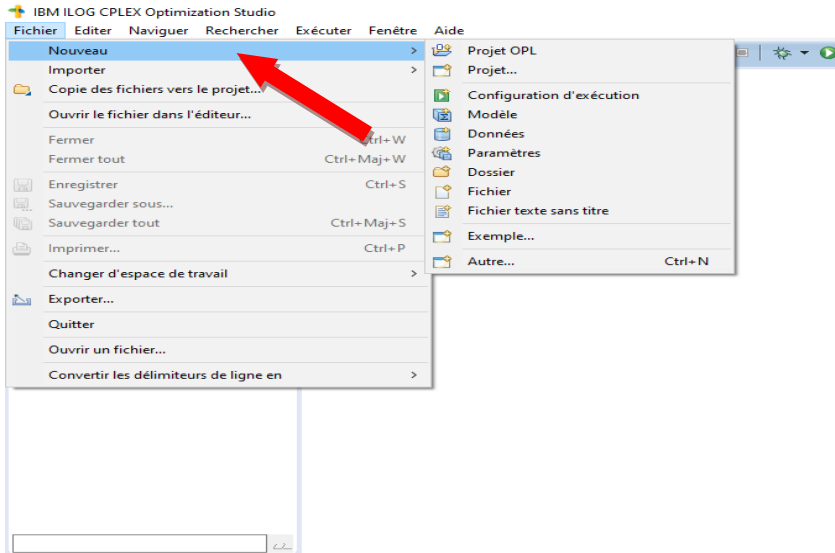


Fig.4. 3 comment créer un projet sur Cplex.

- On définit le nom de notre *projet*, son *emplacement* sur notre PC puis cochez les options tell que la création d'un modèle, création des paramètres, et les données (sont des champ obligatoire) .

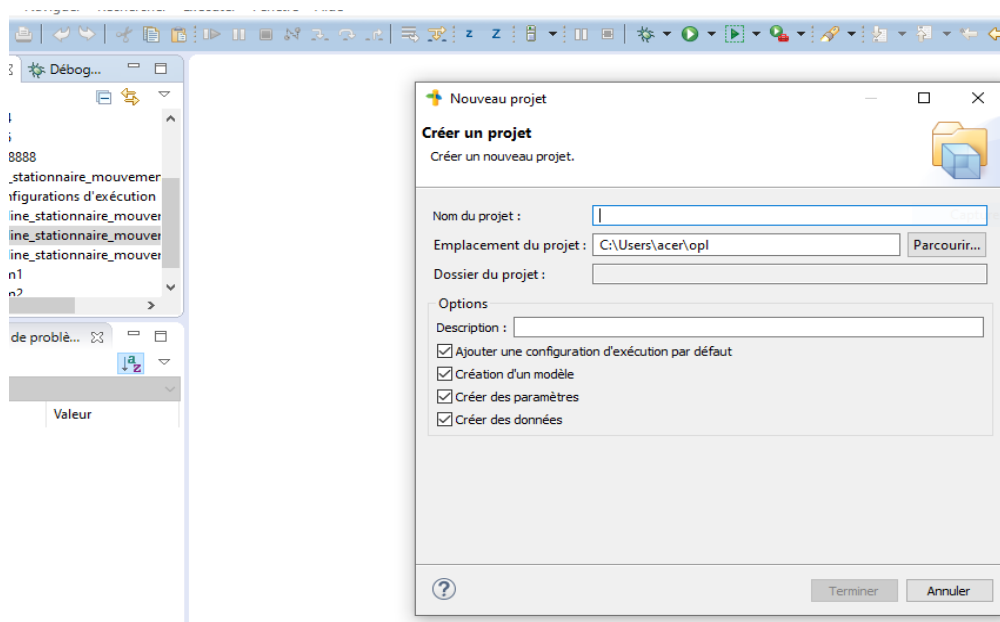
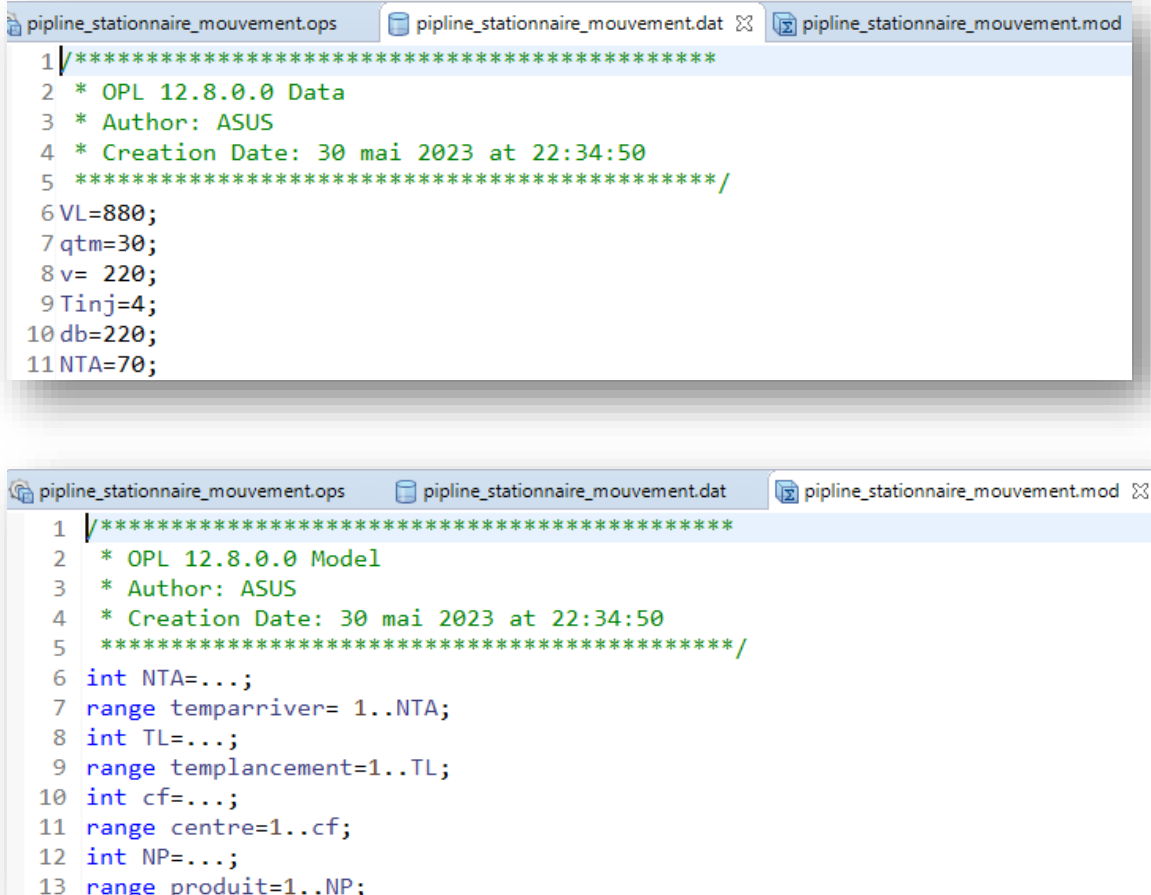


Fig.4. 4 la création des données et les paramètres d'un modèle sur Cplex



The figure shows two screenshots of a software interface. The top screenshot displays the 'Data' section of a model, and the bottom screenshot displays the 'Model' section. Both screenshots show a code editor with three tabs: 'pipeline\_stationnaire\_mouvement.ops', 'pipeline\_stationnaire\_mouvement.dat', and 'pipeline\_stationnaire\_mouvement.mod'. The code is as follows:

```

1 | ✓*****
2 | * OPL 12.8.0.0 Data
3 | * Author: ASUS
4 | * Creation Date: 30 mai 2023 at 22:34:50
5 | *****/
6 | VL=880;
7 | qtm=30;
8 | v= 220;
9 | Tinj=4;
10 | db=220;
11 | NTA=70;


```

```

1 | ✓*****
2 | * OPL 12.8.0.0 Model
3 | * Author: ASUS
4 | * Creation Date: 30 mai 2023 at 22:34:50
5 | *****/
6 | int NTA=...;
7 | range temparriver= 1..NTA;
8 | int TL=...;
9 | range templacement=1..TL;
10 | int cf=...;
11 | range centre=1..cf;
12 | int NP=...;
13 | range produit=1..NP;

```

Fig.4. 5 l'interface de travail

Après l'établissement de programme et les données nécessaires, il est temps d'exécuter le model. Une nouvelle configuration d'exécution est choisie et puis toute de suite elle est exécutée à l'aide de l'icône 

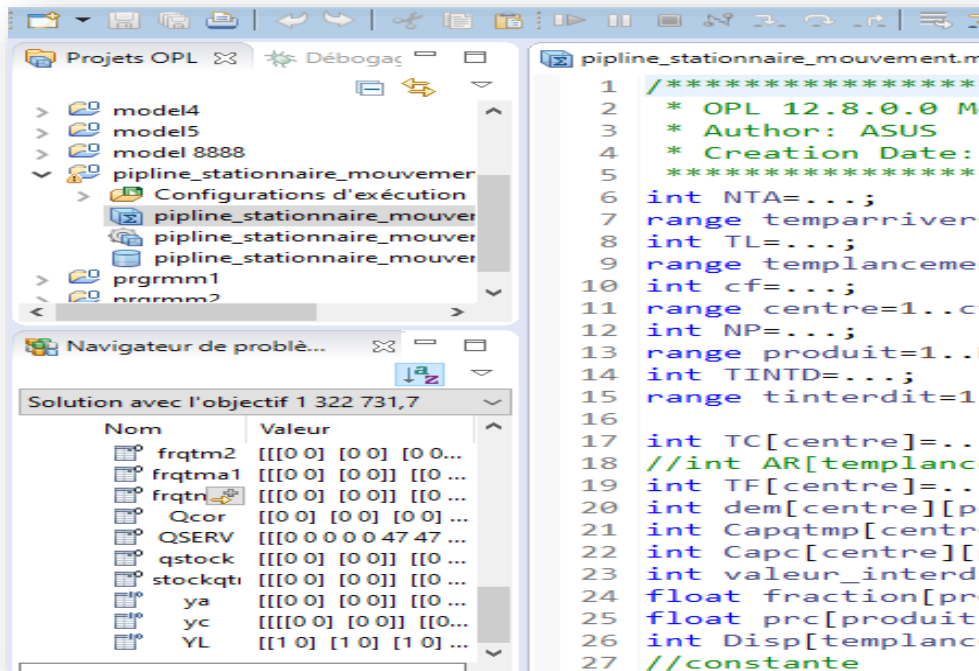


Fig.4. 6 Résultat d'exécution

#### 4.2.5 Le cahier de charge et les résultats numériques :

– L’approche proposée dans notre mémoire est adaptée sur le pipeline unidirectionnel (ASR) reliant la raffinerie d’Arzew aux centres de stockage et de distribution de Sidi-Bel-Abbès (centre 1) et de Remchi (centre 2). Le pipeline ASR transporte deux produits pétroliers :

1.  $P1$  : *Essence sans plomb* (SP),
2.  $P2$  : *Gasoil*(GO),

– L’horizon d’optimisation est choisi sur une décade (**10 jours**), c.à.d. **60 périodes** de pompage sans arrêt de pipeline chaque période prends **4H** de pompage tout dépend la disponibilité de chaque centre de distribution qui est **une seule période** de pompage pour le centre 1 et **deux période** de pompage pour le deuxième centre a cause de sont capacité qui est énorme par rapport aux premier. Aussi ce pompage sélective 2 dédié a Remchi et 1 didier a Sidi Bel Abbès et pries a raison que C1 consomme près de 1/3 de la totalité pompé pendant 10 jours. Les paramètres et les données utilisées dans le modèle d’optimisation sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous.

Centre	Demande / 4H en [m <sup>3</sup> ]	
	Produit 1 (GO)	Produit 2 (SP)
Centre 1	47	167
Centre 2	84	334

**Tableau 1** : Demande dans chaque période sur chaque centre

Produit	Centre 1		Centre 2	
	Capacité [m <sup>3</sup> ]	Stock initiale [m <sup>3</sup> ]	Capacité [m <sup>3</sup> ]	Stock initiale [m <sup>3</sup> ]
Sans plomb	3000	536	14000	5000
Gasoil	6000	2600	22000	7000
Contaminât type 1	-	-	500	190
Contaminât type 2	-	-	500	170

**Tableau 2** : La capacité et le volume initial des produits et du contaminât par dépôt

#### 4.2.6 Les scénarios d'étude :

Dans notre cas d'étude nous considérons que les deux dépôts peuvent faire la réception en alternance **une seule période** de pompage pour C1 et **deux périodes** pour C2, avec aucun arrêt de la pipe.

Les résultats numériques sont visualisés sur un tableau de bord fait par un logiciel *Power BI* pour une meilleure représentation

#### 4.2.7 Conclusion :

## Conclusion :

Ce travail de projet de fin d'étude porte sur le thème modélisation et optimisation de la distribution des hydrocarbures dans un pipeline, les pipelines présentent en générale la meilleure alternative de transport des hydrocarbures par le fait du coût faible et de l'importance de l'état sécuritaire du fonctionnement du système. Par rapport à la chaîne de valeur de l'approvisionnement et la distribution des hydrocarbures, le pipeline représente l'élément principal intermédiaire qui permet la coordination entre la raffinerie et les centres de distribution finaux dans la littérature plusieurs travaux de recherche sont publiés pour débattre le meilleur compromis entre l'approvisionnement et la distribution en respectant plusieurs critères fonctionnaires et objectifs économiques ou autres. Dans ce contexte nous avons fait une étude de conceptions d'un modèle de planification adapté aux besoins de l'entreprise de distribution des hydrocarbures NAFTAL Ouest Algérie. Après une concertation auprès des responsables de fonctionnement de pipeline chez cette entreprise un cahier de charge a été proposé puis un modèle de programmation mathématique en nombre entier a été adapté par rapport à la recommandation des responsables. Après plusieurs tests de dimensionnement des paramètres par rapport à la configuration de systèmes pipelines centre de distribution l'optimisation du modèle sur le solveur Cplex a donné de bons résultats qui peuvent aider les décideurs à savoir utiliser le système de pompage avec meilleure orientation et élimination de tout risque de rupture en misant à satisfaire la demande des deux centres de distribution. Comme perspective l'approche proposée est générique qui peut être adaptée sur d'autres cas d'étude. Aussi au-delà de cette étude des extensions sont envisagées pour discuter des cas multi-objectifs ou de voir la non-linéarité dans le cas des pipelines dynamiques avec plusieurs possibilités d'arrêt et de démarrage de pipeline au cours du planning du pompage. Pour mieux visualiser le pilotage de fonctionnement du système pompage pipeline, centres de distribution dans le projet de fin d'étude de Master qui suit ce projet d'ingénieur dont une partie a trait concernant le pilotage de fonctionnement de pipeline à travers d'un tableau de bord développé sur PBI sera discuté et analysé.



# ***Bibliographie***

1. **Slack, Michael Dooms et Brian.** "Maritime Transport and Regional Sustainability.
2. **Speight, R. Winston Revie et James G.** "Oil and Gas Pipelines: Integrity and Safety Handbook. Wiley, 2015.
3. l'American Petroleum Institute (API) . [En ligne] "Pipelines and Infrastructure" de <https://www.api.org/oil-and-natural-gas/pipelines-and-infrastructure>.
4. l'Association canadienne de pipelines d'énergie . [En ligne] <https://www.cepa.com/pipa/>.
5. **Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) aux États-Unis.** Normes de sécurité pour les pipelines .
6. *l'Organisation maritime internationale (OMI)* . [En ligne] <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>.
7. Pipeline Safety Regulations. [En ligne] l'Environmental Protection Agency (EPA) . "Pipeline Safety Regulations" de l'Environmental <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-pipeline-safety-regulations>.
8. **al, H. A. Ishida et.** Batching of Oil Pipeline Operations. 2016.
9. **Kumm, T. A. Burke et K. L.** Pipeline Batching: A Review of the Practice and Its Benefits. 2004.
10. **Baskerville, J.N.** Pipeline Pigging and Integrity Technology. 2016.
11. Shell investit dans des projets de capture et de stockage du carbone. [En ligne] <https://www.shell.com/sustainability/environment/climate-change/carbon-capture-and-storage.html>.
12. l'Association internationale du transport de pétrole . [En ligne] <https://www.iaphworldports.org/>.
13. **Djamel BENNACER, . Etude des phénomènes d'interfaces verticales des.** Mémoire de Magister Etude des phénomènes d'interfaces verticales des écoulements diphasiques dans un pipeline. *Cas des Carburants* . Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid , 2011.
14. **Oosterhuis, Sven B. J.** Robust pipeline flow scheduling at an oil company,. 2015.
15. *Transport par pipeline : Aspects économiques et environnementaux.*, **Alain, MAIRE.** 2011.

16. *On the scheduling of real multiproduct pipelines with simultaneous delivery, Optimization and engineering.* **Alireza Ghaffari-Hadigheh, Hossein Mostafaei.** 2014.
17. *Robust pipeline flow scheduling at an oil company, Master's thesis, Industrial Engineering and Management,.* **Oosterhuis, Sven B. J.** s.l. : University of Twente, 2015.
18. **Resende, J.C. Viana et M.G.C.** "Pipeline network design for oil and gas transportation". I Computers & Operations Research, 2013.
19. *Simulation and optimization of oil pipeline transportation systems.* **Onakoya, Simulation and optimization of oil pipeline transportation s K. Adewumi et O.** s.l. : Journal of Advanced Manufacturing Technology , 2015.
20. *A review of pipeline monitoring systems and their challenges.* **al, de M. Alyami et.** s.l. : le journal Measurement , 2018.
21. *Risk assessment in pipeline transportation of crude oil.* **al, de F. Jafarpoor et.** s.l. : Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2019.
22. *the scheduling of real world multiproduct pipelines with simultaneous delivery.* **Ratliff, Hane et.** 1995.
23. *A heuristic search model for pipeline schedule generation , Knowledge-Based Systems,.* **Sasikumar, M., Prakash, P. R., Patil, S. M., & Ramani, S.** 1997.
24. *Planning of Pipeline Oil Transportation with Interface.* **Milidiú, Ruy Luiz.** 2002.
25. *Scheduling of a multiproduct pipeline system.* **Rejowski, R., Jr., & Pinto, J. M.** 2003,.
26. . *Efficient MILP formulations and valid cuts for multiproduct pipeline scheduling, Computers and Chemical Engineering.* **Rejowski, R., Jr., & Pinto, J. M.** **2004. Efficient MILP formulations and valid cuts for.** 28,1511–1528, 2004.
27. **Rejowski, R., Jr., & Pinto, J. M.** A novel continuous time representation for the scheduling of pipeline systems with pumping yield rate constraint. 2008, 32, 1042–1066.
28. **Cafaro, D. C., & Cerdá, J.** Optimal scheduling of multiproduct pipeline systems using a non discrete MILP formulation. 2004, 28,2053–2068.
29. **Cafaro, D. C., & Cerdá, J.** Dynamic scheduling of multiproduct pipelines with multiple delivery due dates. 2008.
30. *The multiproduct pipeline scheduling system , Computers and Mathematics with Applications.* **Mirhassani, S. A, & Ghorbanalizadeh, M.** 56(4), 891–897, 2008.

31. *Heuristic batch sequencing on a multiproduct oil distribution*, *Computers and Chemical Engineering*. **Relvas, S., Matos, H. A., & Barbosa-Povoa, A. P. F. D.** 2009.
32. **al, Ghaffari et.** 2010.
33. **jahromi, MirHassani et afani.** A mathematical model for planning transportation of multiple petroleum products in a multi-pipeline system, *Computers and Chemical*. 2011, 34, 401–413.
34. **al., Broumandnia et.** 2012.
35. *A micro-genetic algorithm for multi-objective scheduling of a real world pipeline network.* **al., Paulo Cesar Ribas et.** 2012.
36. *A combined CLP–MILP approach for scheduling commodities in a pipeline,* *Journal of Scheduling*. **Suelen Neves Boschetto Magatao et al.** 2012. 14, 57–87..
37. **al.), (Ribeiro et.** 2014.
38. **al., Hsieh et.** 2015.
39. *A mixed integer programming approach for scheduling.* **S. N. B. Magatao et al commodities in a pipeline.** ESCAPE 12 Proceedings, The Hague, The Netherlands : s.n., 2015.
40. **al, Pourvaziri et.** 2016.
41. **al, Bagheri et.** 2017.
42. **al, Alcolea et.** 2018.
43. **al, Liu et.** 2019.
44. **al, Deng et.** 2019.
45. **al, Shi et.** 2020.
46. **al, Zhou et.** 2020.
47. *Algorithms, Transport Economics, Supply chain management.* **Péton, Olivier.** Ecole des Mines de Nantes. : s.n., 2008.
48. *Optimisation en nombres entiers.* **Bierlaire, Michel.** s.l. : Laboratoire Transport et Mobilite.
49. *Mixed Integer Linear Programming in Process Scheduling: Modeling, Algorithms, and Applications,*. **CHRISTODOULOS A. FLOUDAS,** . NJ 08544-5263, Princeton university ,USA : Princeton University, 2005.
50. **Solnon.** Résolution de problèmes combinatoires et optimisation par colonies de fourmis. 2010.

51. [En ligne] [www.chat.openai.com](http://www.chat.openai.com) .
52. **ABDELLAOUI Wassila, BERRICHI asma.** *Optimisation du transport des carburants dans le pipeline multiproduit.* 2016.
53. **Rebaïne, Djamal.** . *La méthode de branch and bound.* Québec : Université du Québec à Chicoutimi.
54. **BOUZGARROU, Mohamed Ekbal.** these de doctorat : Parallelisation de la methode du “Branch and Cut” pour resoudre le probleme du voyageur de commerce. Grenoble : Laboratoire de Modelisation et Calcul, 1998.
55. **BOUSSAÏD, Ilhem.** these de doctorat : PERFECTIONNEMENT DE MÉTAHEURISTIQUES POUR L’OPTIMISATION CONTINUE. s.l. : L’UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE, 2013.
56. **Borne, F. Tangour et P.** Presentation of Some Metaheuristics for the Optimization of Complex Systems. juin 2008. Vol. 17, 2.
57. IBM. *OPL.* [En ligne] IBM. [Citation : 07 juin 2023.] <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>.
58. *Introduction à CPLEX.* ISIMA. **Duhamel, Christophe et Andréa.** 2008/2009.
59. The Benefits and Drawbacks of Pipelines. *American Geosciences Institute.* [En ligne] [//www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/benefits-and-drawbacks-pipelines](http://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/benefits-and-drawbacks-pipelines).
60. Technologies for Sustainable Oil and Gas Industry. p. Lalit Kumar Singh.
61. **Smith, Brian Black et Richard G.** Sustainable Oil and Gas Development: Lessons from Pennsylvania and Beyond.
62. **Domenech, Ester Comellas et José Luis.** Sustainability Indicators for the Oil and Gas Industry: Measuring the Triple Bottom Line.
63. Risk Assessment of Crude Oil Transportation by Tankers. p. la revue Marine Pollution Bulletin.
64. **US Energy Information Administration (EIA).** Pipeline Transportation of Natural Gas and Crude Oil.
65. Pipeline Transportation of Natural Gas and Crude Oil. p. U.S. Department of Transportation.
66. Pipeline Transportation of Natural Gas and Crude Oil. p. la US Energy Information Administration (EIA).
67. **Beller, R.P. Singh and M.R.** Pipeline Integrity Handbook: Risk Management and Evaluation.
68. **al, M. Mohitpour et.** Pipeline Design & Construction: A Practical Approach.

69. **Singh, Ramesh.** Oil and Gas Pipelines: Integrity and Safety Handbook.
70. **Kennedy, John L.** Oil and Gas Pipeline Fundamentals.
71. **Gray, Andrew Palmer and Malcolm.** Offshore Pipelines.
72. High-Pressure Pipeline Systems. p. ASME B31.8.
73. Guidelines for Oil Spill Response in Fast Currents. p. l'Organisation maritime internationale (OMI).
74. **El-Reedy, Mohamed A.** Advances in Oil and Gas Industry: Insights from Oil Rig Operations and Midstream Activities.
75. **Smith, Brian Black et Richard G.** "Sustainable Oil and Gas Development: Lessons from Pennsylvania and Beyond.
76. **Footprint, Oil and Gas Industry's Carbon.** l'Energy Information Administration (EIA).
77. **Das, Sanjoy.** p. Flexible Pipes for Offshore Oil and Gas Production.
78. **al., Bagheri et.** 2017 .

## Résumé :

Le pipeline multi-produits offre des avantages indéniables, mais certaines contraintes peuvent entraver son efficacité et affecter la disponibilité des produits dans les centres de stockage et de distribution, impactant finalement négativement la satisfaction des clients. L'une de ces contraintes est le mélange de deux produits différents lors du transport, qui sont stockés dans deux cuves distinctes en fin de station. Des niveaux élevés de contaminants dans les réservoirs peuvent entraîner l'arrêt des opérations, entraînant une diminution des stocks et des perturbations de la distribution. De plus, le besoin d'un produit spécifique peut modifier la distribution et créer des pénuries puisque la réception du produit ne peut avoir lieu qu'après éjection des produits précédents. Pour résoudre ces problèmes et optimiser le transport multi-produits du pipeline ASR, nous avons utilisé l'approche MILP et le solveur Cplex pour la simulation. Les séquences optimisées ont réussi à réduire les contaminants et à atteindre un objectif de stock de 20 % pour les produits.

## ***Abstract:***

The multi-Product pipeline offers undeniable advantages, but certain constraints can hinder its efficiency and affect product availability in storage and distribution centers, ultimately negatively impacting customer satisfaction. One of these constraints is the mixing of two different products during transport, which are stored in two separate tanks at the end station. High levels of contaminants in the tanks can cause operations to stop, leading to a decrease in stock and distribution disruptions. Additionally, the requirement for a specific product can alter the distribution and create shortages since the product's receipt can only occur after rejecting the preceding products. To address these issues and optimize the multi-product transport of the ASR pipeline, we utilized the MILP approach and the Cplex solver for

simulation. The optimized sequences successfully reduced contaminants and achieved a 20% stock target for the products.

## ملخص:

يوفر خط الأنابيب متعدد المنتجات مزايا لا يمكن إنكارها، ولكن بعض القيود يمكن أن تعيق كفاءته وتؤثر على توفر المنتج في مراكز التخزين والتوزيع، مما يؤثر سلبيًا في النهاية على رضا العملاء. أحد هذه القيود هو خلط منتجين مختلفين أثناء النقل، والتي يتم تخزينها في خزانين منفصلين في المحطة النهائية. يمكن أن تتسبب المستويات العالية من الملوثات في الخزانات في توقف العمليات، مما يؤدي إلى انخفاض المخزون وتعطيل التوزيع. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي طلب منتج معين إلى تغيير التوزيع وخلق نقص حيث لا يمكن أن يحدث إيصال المنتج إلا بعد إخراج المنتجات السابقة. **Cplex** ومحلل **MILP** ، استخدمنا نهج **ASR** لمعالجة هذه المشكلات وتحسين النقل متعدد المنتجات لخط أنابيب المحاكاة. نجحت التسلسلات المحسنة في تقليل الملوثات وحقت هدف مخزون 20% للمنتجات.