

Master Mathématique et Application au Calcul Scientifique (MACS)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques (MST)

Problème de livraison des produits pétroliers

Réalisé par : BOURZIK Mohammed

Encadré par: Pr. EL HILALI ALAOUI Ahmed

Soutenu le 18/06/2018

Devant le jury composé de:

Pr. EL AYADI Rachid	Faculté des sciences et techniques Fès
Pr. EL HILALI ALAOUI Ahmed	Faculté des sciences et techniques Fès
Pr. EL KHOUKHI Fatima	Faculté des lettres et sciences humains Meknès
Pr. EL KHOMSSI Mohammed	Faculté des sciences et techniques Fès
Pr. HILALI Abdelmajid	Faculté des sciences et techniques Fès

Année Universitaire 2017 / 2018

Dédicace

Je tiens tout d'abord à dédier ce modeste travail à :

Mes parents

Si aujourd'hui je suis là, c'est grâce à vos prières, votre encouragement et votre sacrifice. Je ne saurais pour tout ce que vous faites pour moi.

QUE DIEU VOUS GARDE POUR MOI.

Ma famille.

Mes frères et mes sœurs.

JE VOUS SOUHAITE TOUTE LA REUSSITE.

Mes très chers ami(e)s.

Pour les beaux jours et moments que nous avons passé

QUE NOTRE AMITIÉ DURERA TOUJOURS

Remerciements

Je tiens à remercier en tout premier lieu le professeur EL HILALI ALAOUI Ahmed, pour son soutien et ses précieuses directives et ses encouragements, sa patience et tout en restant disponible, pendant la réalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent aux professeurs :

EL AYADI Rachid, EL KHOUKHI Fatima, EL KHOMSSI Mohammed et HILALI Abdelmajid, qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Mes remerciements éternels vont à ma famille pour leur soutien sans faille durant toutes ces années d'études. Finalement, un grand merci à tous mes amis qui m'ont été d'un soutien indispensable dans des moments quelque fois difficiles.

Table des matières

Introduction générale	8
1 Préliminaire	10
Introduction	11
1.1 La logistique	12
1.1.1 La logistique de distribution	13
1.1.2 Objectif de la logistique de distribution	14
1.2 Méthodes d'optimisation combinatoire	14
1.2.1 Méthodes exactes	15
1.2.2 Méthodes approchées	16
1.2.3 Classification des méthodes d'optimisation combinatoire	17
1.3 Conclusion	18
2 Transport du carburant	19
Introduction	19
2.1 La logistique du transport en produits pétroliers	20
2.1.1 Exploration et développement	20
2.1.2 Raffinage du pétrole	20
2.1.3 Ravitaillement	21
2.1.4 Livraison	21
2.1.5 Le schéma de distribution	23
2.2 Problématique	24
2.3 Présentation du problème	24
2.3.1 Hypothèses	24

2.3.2	Contraintes	25
2.3.3	Objectif	26
2.4	Modélisation	27
2.5	Évaluation du modèle mathématique	30
2.6	Conclusion	30
3	Approche de résolution du problème	31
	Introduction	31
3.1	Les Algorithmes Génétiques	32
3.1.1	Les composantes d'un algorithme génétique	33
3.1.2	Codage des chromosomes	33
3.1.3	Génération d'une population	34
3.1.4	Évaluation	34
3.1.5	Sélection	35
3.1.6	Croisement	35
3.1.7	Mutation	36
3.1.8	Critère d'arrêt	37
3.2	Adaptation de l'algorithme au problème	37
3.2.1	Données	37
3.2.2	Codage	38
3.2.3	Génération d'un individu	41
3.2.4	Génération de la population initiale(des in- dividus)	42
3.2.5	Évaluation	43
3.2.6	Sélection	43
3.2.7	Croisement	43
3.2.8	Mutation	46
3.2.9	Test d'arrêt	47
3.3	Conclusion	47
4	Simulation informatique	48
	Introduction	48

4.1	Description du langage C	49
4.2	Exemple d'application	49
4.3	Résultat numérique et interprétation	50
4.4	Conclusion	55
	Conclusion général	56
	Bibliographie	57

Table des figures

1.1	Classification des méthodes	17
2.1	L'exploration du pétrole	20
2.2	Le raffinage du pétrole	21
2.3	Livraison directe	22
2.4	Livraison en droiture	22
2.5	Le ballant longitudinal et transversal du carburant	23
2.6	La procédure de distribution	23
2.7	Schéma représentatif du problème	25
3.1	Codage binaire d'un chromosome	34
3.2	Croisement des deux parents	36
3.3	Mutation d'un parent	36

Liste des tableaux

4.1	Les structures des camions	49
4.2	Les commandes des clients	50
4.3	Matrice distance	50
4.4	Résultat après 3 itérations	51
4.5	Résultat après 10 itérations	51
4.6	Résultat après 100 itérations	51
4.7	Résultat après 1000 itérations	51
4.8	Résultat après 5000 itérations	52
4.9	La meilleure solution	52

Introduction

Le pétrole conserve une place prépondérante, en tête des différents sources d'énergie, cette ressource naturelle joue un rôle primordiale dans l'économie du pays. La distribution des produits pétroliers, est une activité logistique qui est constituée de plusieurs maillon, (dépôt, entrepôt, centre de production, moyen de transport) qui sont liées entre eux par des échanges de produits depuis l'extraction du pétrole, et sont évacuation des champs, suivi de son traitement au niveau des raffineries, jusqu'à la disposition des consommateurs. C'est le cas de diverses sociétés de transport de carburants qui a pour mission principale, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers, et d'assurer l'équilibre entre l'offre(production), et la demande(consommation). A cela s'ajoute le souci des entreprises de satisfaire l'ensemble de ses clients et les approvisionner. Le but de ce projet est d'élaborer un modèle d'optimisation permettant de mettre en place un plan de livraison des carburants de façon à satisfaire le plus possible toutes les consommateurs situent sur l'ensemble du territoire, et à minimiser le coût de distribution au niveau de la livraison. Ce mémoire est divisé en plusieurs chapitres. Le premier chapitre est consacré à une brève description du réseau logistique et les méthodes d'optimisation combinatoire. Le second chapitre, aborde la problématique avec ces différentes caractéristiques, à savoir les contraintes et les objectifs assignés, ensuite on va présenter le modèle mathématique du problème étudié. Le troisième chapitre est consacré à une approche de résolutions du problème.

En fin, la dernière partie c'est consacrée à la simulation informatique.

Chapitre 1

Préliminaire

Introduction

La logistique peut se définir comme l'art de gérer les flux au meilleur coût. Non seulement les flux de produits, mais aussi les flux d'information associés aux flux physiques, depuis le fournisseur initial jusqu'au client final. Elle permet l'adéquation entre une demande et une offre, ainsi qu'une meilleure rentabilité des investissements.

Aujourd'hui, « la logistique est un secteur essentiel de l'activité économique et constitue une nouvelle forme de l'activité industrielle et de services ». Elle s'est imposée comme un élément de différenciation par le service (respect des délais, conformité des commandes, capacité à gérer les retours clients et le service après-vente...) et offre une gamme d'activités de plus en plus large. Elle est indissociable des systèmes de production et de consommation et très imbriquée avec toutes les fonctions de l'entreprise (fonctions commerciales, achats, recherche et développement, marketing ...).

Elle a pour but de permettre :

- La gestion économique de la production, en supprimant les ruptures de stocks coûteuses, grâce à une information constante sur l'état du marché.
- La réduction des stocks grâce à une rotation accélérée des marchandises entreposées.

- La réponse adaptée à une demande très volatile
- La mise à disposition du produit chez le client final dans les délais les plus courts et au meilleur coût de distribution possible.
- La surveillance et l'amélioration de la qualité de la chaîne qui relie le producteur au consommateur pour parvenir au « zéro défaut » du produit servi et du service rendu.

Dans ce chapitre nous présentons quelques définitions concernant la logistique et la logistique de distribution, ensuite nous présentons une classification des méthodes d'optimisation combinatoire.

1.1 La logistique

La logistique est un domaine très vaste qui recouvre diverses fonctions et activités dans le monde de l'entreprise. D'amont en aval, elle englobe l'achat et l'approvisionnement, la production, la gestion des stocks, le transport et la distribution, le terme " logistique " [8] trouve ses origines dans l'armée en France au XVIIIe siècle. Il désigne l'ensemble des activités de soutien à la stratégie et aux opérations militaires. Il s'agit, en l'occurrence, d'activités de réapprovisionnement en armes, munitions, vivres, chevaux, uniformes, chaussures... Par la suite, ce terme s'est vu approprié par le milieu industriel pour faire référence à la maintenance et au transport de marchandises. Depuis, la logistique s'est longtemps limitée aux activités d'entrepôts c'est-à-dire la réception, le conditionnement et l'expédition des marchandises. Cependant, vers les années 90, dans un contexte de globalisation des marchés, la logistique a pris un nouvel essor. Une concurrence féroce sur les marchés, le raccourcissement du cycle de vie des produits, les exigences sans cesse croissantes des clients sont autant de facteurs qui ont contribué à complexifier les flux logistiques et ont poussé les entreprises à développer et à étendre le périmètre de la fonction logistique. Ainsi, la logistique a évolué et regroupe plusieurs fonctions dans l'industrie, qui sont principalement :

- **La logistique d'approvisionnement**[7] Qui permet d'apporter, d'une part, dans les usines les matières premières, composants et sous-ensembles nécessaires à la production et, d'autre part, dans les entreprises de service ou des administrations les produits requis pour leurs activités.
- **La logistique de production** (logistique interne)[6] : Qui consiste

à rendre disponibles à proximité des lignes de production les matières et composants nécessaires à la production et à planifier la production, cette logistique peut s'étendre jusqu'à la gestion de production toute entière .

- **La logistique de distribution ou de transport** [4] : Qui consiste à amener au consommateur final les produits dont il a besoin.
- **La logistique des retours**[4] : Qui consiste à traiter les retours des produits par les clients pour des raisons diverses comme (demandes de réparation, produits non conformes).

1.1.1 La logistique de distribution

La logistique de distribution [4], c'est la pratique des méthodes de la logistique traditionnelle pour une gestion optimisée des flux des commandes clients de l'entrepôt du fournisseur (entrepôt d'usine, entrepôt de distribution...) jusqu'au lieu de livraison convenu dans le contrat commercial.

Elle s'intéresse à la circulation des flux physiques à travers le réseau de distribution (gestion des transports, gestion des stocks...), mais aussi à la gestion des infrastructures logistiques qui composent ce réseau (implantations, gestion d'entrepôts...).

Essentiellement consacrée à la gestion des flux de marchandises, la finalité de la logistique de distribution est d'accomplir, dans les meilleures conditions économiques et les meilleurs délais, la livraison des commandes clients. Elle se traduit par l'organisation et la réalisation des acheminements des marchandises depuis le lieu de prélèvement chez le fournisseur (fabricant, distributeur...) jusqu'au lieu de consommation final.

La politique de la logistique de distribution est l'organisation de la mise à disposition d'un produit ou d'un service. Cette mise à disposition peut être réalisée par un intermédiaire revendeur

ou directement par un consommateur.

1.1.2 Objectif de la logistique de distribution

Les objectifs de la logistique de distribution [4] sont multiples, elle vise à satisfaire les clients en assurant la qualité et en réduisant les coûts. Ces objectifs se résument dans les points suivants :

- **Le service clientèle :**
 - Maximisation de la qualité de service (améliorer le service client).
 - Respect des dates de livraison.
 - Minimisation des délais.

- **La réduction des coûts :**
 - Minimiser les coûts de maintien en inventaire.
 - Minimiser la valeur totale des stocks.
 - Minimiser les coûts de distribution.
 - Minimiser les coûts de traitement de l'information.
 - Minimiser les coûts de manutention.
 - Minimiser les coûts de transport.

- **La qualité :**
 - Maximiser les efforts de détection des non conformités pour les expéditions.
 - Maximisation de la qualité des produits.

1.2 Méthodes d'optimisation combinatoire

L'optimisation combinatoire [2] définit un cadre formel

pour de nombreux problèmes de de l'industrie, de la finance ou de la vie quotidienne. Les problèmes d'optimisation combinatoire sont habituellement définis comme une problématique de choix d'une meilleure alternative dans un ensemble très grand mais fini d'alternatives.

Les problèmes d'optimisation combinatoire peuvent s'avérer très difficiles à résoudre bien qu'ils soient généralement faciles à formaliser. La difficulté de ces problèmes a pour origine soit la structure de l'ensemble réalisable soit la nature de la fonction objectif.

1.2.1 Méthodes exactes

On peut définir une méthode exacte comme étant une méthode qui fournit une solution optimale pour un problème d'optimisation.[5] L'utilisation de ce type de méthodes s'avère particulièrement intéressante dans les cas des problèmes de petites tailles.

- **La méthode de Branch and Bound :**

L'algorithme Branch and Bound consiste à placer progressivement les tâches sur les ressources en explorant un arbre de recherche décrivant toutes les combinaisons possibles. Il s'agit de trouver la meilleure configuration donnée de manière à élaguer les branches de l'arbre qui conduisent à de mauvaises solutions.

L'algorithme branch and bound effectue une recherche complète de l'espace des solutions d'un problème donné, pour trouver la meilleure solution .La démarche de l'algorithme *Branch and Bound* consiste à :

- Diviser l'espace de recherche en sous espaces.
- Chercher une borne minimale en terme de fonction objectif associée à chaque sous espace de recherche.

- Éliminer les mauvais sous-espaces.
- Reproduire les étapes précédentes jusqu'à l'obtention de l'optimum global.

- **La programmation dynamique :**

C'est une méthode qui consiste à construire d'abord les sous chemins optimaux et ensuite par récurrence le chemin optimal pour le problème entier. Cette méthode est destinée à résoudre des problèmes d'optimisation à vocation plus générale que la méthode de séparation et d'évaluation (branch and bound) sans permettre pour autant d'aborder des problèmes de tailles importantes.

- **programmation linéaire :**

C'est l'une des techniques classiques de recherche opérationnelle. Elle repose sur la méthode du simplexe et les algorithmes de points intérieurs de Karmarkar. Elle consiste à minimiser une fonction coût en respectant des contraintes, le critère et les contraintes étant des fonctions linéaires des variables du problème.

1.2.2 Méthodes approchées

- **Les heuristiques :**

Les heuristiques sont des méthodes empiriques qui donnent généralement de bons résultats sans pour autant être démontrables. Elles se basent sur des règles simplifiées pour optimiser un ou plusieurs critères. Le principe général de cette catégorie de méthodes est d'intégrer des stratégies de décision pour construire une solution proche de celle optimale tout en cherchant à avoir un temps de calcul raisonnable [5].

- **Les méta-heuristiques :**

Malgré l'évolution permanente de l'informatique, il existe toujours, pour un problème polynomial, une taille critique au-dessus de laquelle une énumération, même partielle, des solutions admissibles devient prohibitive. Compte tenu de ces difficultés, la plupart des spécialistes de l'optimisation combinatoire ont orienté leurs recherches vers le développement des méta-heuristiques. Une méta-heuristique est souvent définie comme une procédure exploitant au mieux la structure du problème considéré, dans le but de trouver une solution de qualité raisonnable en un temps de calcul aussi faible que possible [5].

1.2.3 Classification des méthodes d'optimisation combinatoire

Le schéma suivant illustre un résumé de la classification que nous avons clarifié dans les paragraphes précédents en distinguant entre les deux types des méthodes, les méthodes exactes et les méthodes approchées.

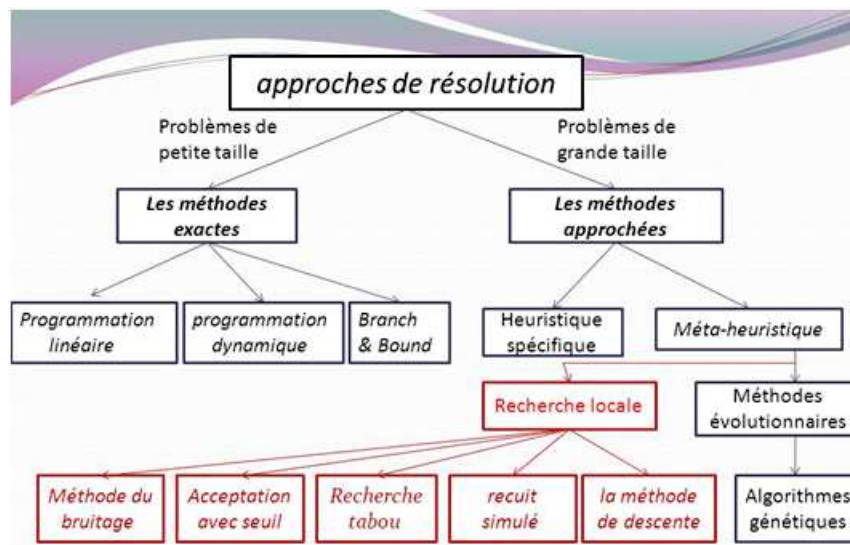


FIGURE 1.1 – Classification des méthodes

1.3 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la chaîne logistique et ses différents types. nous avons défini la chaîne logistique du transport qui peut être considérée comme étant le contexte général de notre travail, et nous avons cité les différentes méthodes d'optimisation de la chaîne logistique.

Chapitre 2

Transport du carburant

Introduction

Le transport de carburant considéré comme du transport de matières dangereuses, qui regroupe aussi bien le transport par route, voie ferrée, avion, voie fluviale et maritime que par canalisation. Comme chaque moyen de transport est très différent des autres, il existe une réglementation propre à chacun (ADR, RID, IMDG, ADNR et DGR ou IATA). C'est pourquoi la législation existante dans ce domaine est très abondante.

La distribution des produits pétroliers, est une activité logistique qui est constituée de plusieurs maillon, (dépôt, entrepôt, centre de production, moyen de transport) qui sont liées entre eux par des échanges de produits depuis l'extraction du pétrole, et sont évacuation des champs, suivi de son traitement au niveau des raffineries, jusqu'à la disposition des consommateurs.

Dans ce chapitre nous décrivons :

D'une part, le réseau de distributions en produits pétroliers, de l'exploration de pétrole brute jusqu'à la livraison.

D'autre part, le problème principale qui est traité dans ce mémoire, et plus précisément nous proposons une modélisation du problème sous forme de programme mathématique linéaire.

2.1 La logistique du transport en produits pétroliers

Le réseau du transport en produits pétroliers comprend quatre étapes essentielles qui sont : L'exploration et le développement, le raffinage du pétrole, le ravitaillement et la livraison [3].

2.1.1 Exploration et développement

- Tout commence par l'exploration du pétrole brut.
- Le pétrole est ensuite extrait par forage et par excavation, et autres techniques.
- Puis, il est acheminé par pipeline ou train jusqu'aux raffineries, où il sera transformé.



FIGURE 2.1 – L'exploration du pétrole

2.1.2 Raffinage du pétrole

Le raffinage est le procédé par lequel le pétrole brut est transformé en produits de consommation courante.

Dans les raffineries le pétrole brut est raffiné en essence, en diesel, en propane et en d'autres produits pétroliers, comme en matières

premières pour la fabrication du plastique que l'on retrouve dans les voitures, les téléviseurs à écran plasma et ailleurs.



FIGURE 2.2 – Le raffinage du pétrole

Le carburant est ensuite acheminé de la raffinerie jusqu'aux les entrepôts de distribution par pipeline, bateau ou train c'est une étape **d'approvisionnement**.

2.1.3 Ravitaillement

Lorsque les centres de stockages (primaires) sont bien chargé, alors on passe à l'étape d'acheminement des produits pétroliers d'un centre primaire vers les centres secondaires (dépôt), soit par rail(train), ou par camion(wagon-citerne), les dépôts n'ont aucune relation avec les raffineries, et chaque entrepôt couvre un ensemble des dépôts.

2.1.4 Livraison

C'est la phase finale, qui intervient au niveau du réseau de distribution son rôle est d'assurer la disponibilité des produits, dans les zones de consommation (stations-services)par deux manière différentes :

- **La livraison directe :**

Consiste à livrer les produits pétroliers d'un centre secondaire (dépôt) vers les clients, en utilisant des camions propre de l'entreprise.



FIGURE 2.3 – Livraison directe

- **La livraison en droiture :**

Elle consiste à livrer les produits d'un centre primaire, directement vers les clients c-à-d, à partir de l'entrepôt, vers les clients, avec des camions prives que l'entreprise avait loué (camions tiers).



FIGURE 2.4 – Livraison en droiture

Le transfert des carburants vers les stations services est fait par des camions citernes compartimentées qui doivent être plein ou vide car lors de la prise de virage ou les coups de frein, le mouvement du carburant se traduit par un ballant latéral qui tend à imprimer au camion un mouvement oscillatoire de gauche à droite ou l'inverse selon le sens de virage.

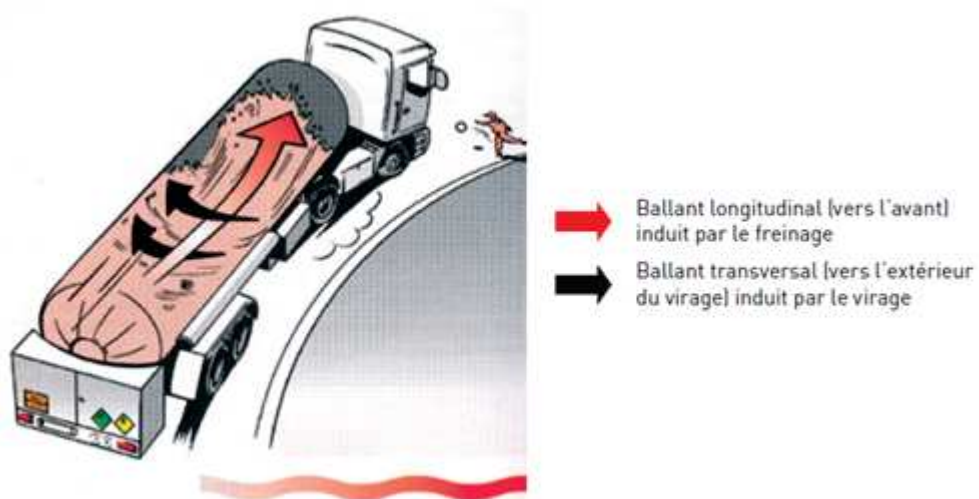


FIGURE 2.5 – Le ballant longitudinal et transversal du carburant

2.1.5 Le schéma de distribution

On peut résumer la distribution du carburant par le schéma suivant :

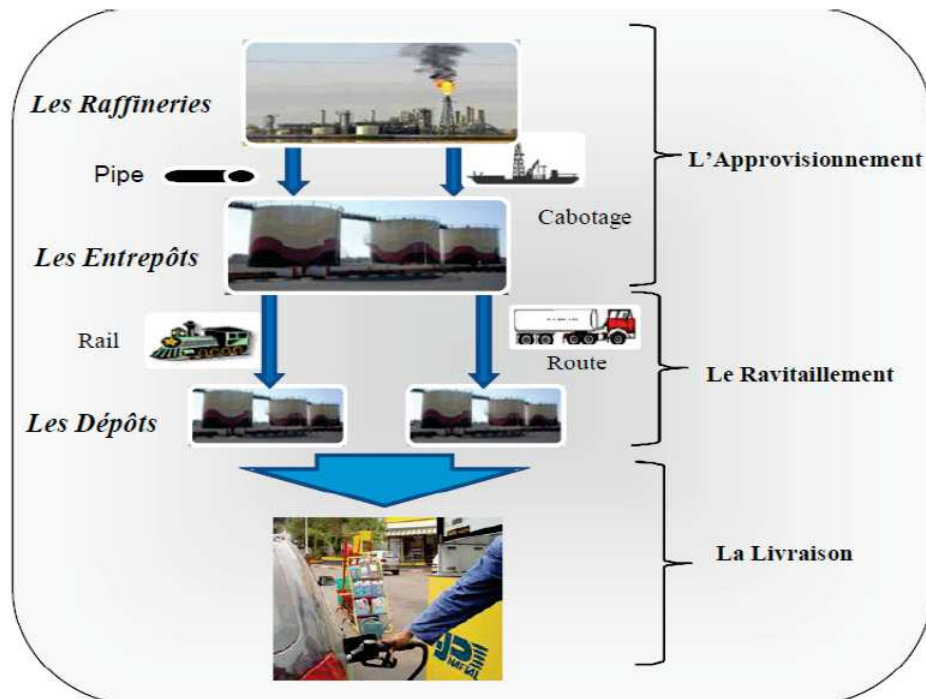


FIGURE 2.6 – La procédure de distribution

2.2 Problématique

Le coût induit par le transport et la distribution greffe lourdement le prix de revient des carburants dans la quasi totalité des pays, d'autant plus que ces produits, à forte demande, sont à des prix administrés (prix fixes sur tout le territoire). Les entreprises chargées de la commercialisation et de la distribution de ces produits se trouvent souvent appelées à supporter l'impact économique des surcoûts induits, pour cela les entreprises cherchent à optimiser plusieurs critères pendant la livraison du carburant :

- Minimiser la distance parcourus par la flotte de transport.
- Maximiser la quantité livrée.
- Minimiser le nombre de camions tiers au cas d'une livraison en droiture.
- Minimiser le temps de la préparation et de la planification.

2.3 Présentation du problème

Dans ce mémoire nous étudions principalement la phase de **livraison** . Cette étude pratique consiste à optimiser la distributions des produits pétroliers sur l'ensemble des clients (stations) à partir deux dépôts.

2.3.1 Hypothèses

- On utilise une livraison directe.
- Les camions doivent livrer les carburants et revenir à l'entrepôt.

- On suppose que les moyens de transport utilisés sont des camions de capacité 33 Tonnes, chaque camion se compose à 5 compartiments de capacité $h_{i=1,\dots,5} \in \{1, 3, 5, 8, 10\}$.
- Les camions sont placés dans un entrepôt noté "O".
- Les camions vont quitter l'entrepôt vers l'un de deux dépôt pour charger les produits pétroliers .

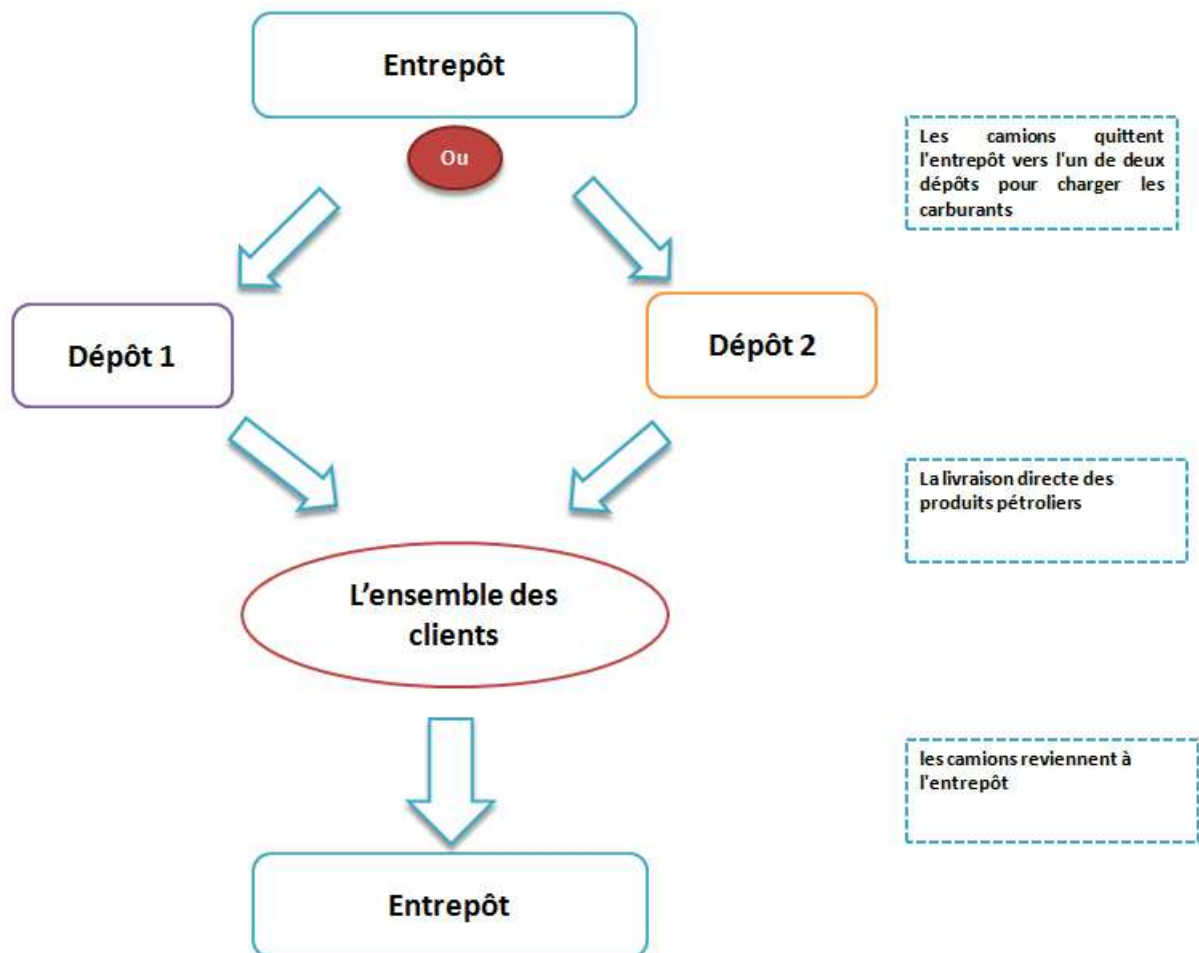


FIGURE 2.7 – Schéma représentatif du problème

- Le nombre des produits livrés égale à 4.

2.3.2 Contraintes

- Chaque camion débutera sa tournée au centre(l'entrepôt) et la terminera au centre.
- Il ne faut pas dépasser la capacité d'un compartiment.

- Chaque compartiment ne comprend qu'un seul produit qui est destiné pour un seul client, et qui ne peut être divisé pour deux clients.
- Un camion peut transporter plusieurs produits à la fois.
- Plusieurs commandes peuvent être satisfaites pour un même client.
- Une commande ne doit pas dépasser la capacité d'un camion.
- Un compartiment, il est plein ou vide.

2.3.3 Objectif

1. Le coût est l'une des caractéristiques de l'évolution économique dans les pays industriels et l'augmentation des frais de distribution des biens et services et le chiffre très élevé qu'ils allègent. Le prix ou coût de la distribution est donc un facteur important du coût de la vie, de la rentabilité des entreprises et de l'économie national en général, pour cela nous cherchons à minimiser la distance totale parcourues par l'ensemble des camions, ce que minimise le coût de transport.
2. Satisfaire le plus possible les demandes des clients pour maximiser la quantité livrée et aussi pour valoriser la qualité de service de l'entreprise.

2.4 Modélisation

Un problème quelconque, peut être modélisé d'une façon mathématique et tel qu'il existe afin de le traiter, lors de l'étude d'une situation réel, autrement dit, la modélisation, est un problème d'outils mathématique, permettant de synthétiser, d'interpréter et de structurer les données d'un phénomène réel, tout en tenant compte des objets présentés dans la réalité, ainsi les relations et les processus entre ces objets.

Modéliser un problème pratique, consiste à avoir des variables de décisions du problème, et déterminer une fonction objectif à optimiser (max ou min) soumise à des contraintes.

- **Données :**

- N : Le nombre de clients.
- K : Le nombre de camions.
- Q_{pi} : La demande du client i en produit p .
- Q_{ck} : La capacité du compartiment c de camion k .
- D_{ij} : La distance entre le lieu i et le lieu j .
- O : L'indice d'entrepôt.
- D_1 (resp. D_2) : L'indice de dépôt 1 (resp. 2).

- **Variables :**

q_{pi}^k : La quantité livrée de produit p au client i par le camion k .

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ visite le client } j \text{ juste après } i. \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

$$Z_{ip}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ donne le client } i \text{ le produit } p. \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

$$y_i^k = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ visite le client } i. \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

$$T_i^k = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ visite le centre } i \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$v_{ip}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le produit } p \text{ est alloué au camion } k \text{ pour le client } i. \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

$$Q_{cp}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le compartiment } c \text{ de camion } k \text{ est rempli en produit } p. \\ 0 & \text{s'il est vide.} \end{cases}$$

• **Contraintes :**

À partir de la définition des variables et les notations choisies au-dessus, les différentes contraintes du problème peuvent être écrites comme suit :

$$\sum_{j \in J} T_j^k \leq T_0^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad J = \{D_1, D_2\} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i^k \leq N \times \sum_{j \in J} T_j^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad J = \{D_1, D_2\} \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij}^k = y_j^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad I = \{D_1, D_2, 1, \dots, N\}, \quad j = 1, \dots, N \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ij}^k = \sum_{j=1}^N y_j^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad \forall i = 1, \dots, N. \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in J} X_{j0}^k = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad J = \{D_1, D_2, 1, \dots, N\}. \quad (2.5)$$

$$\sum_{k=1}^K y_i^k \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, N. \quad (2.6)$$

$$Z_{ip}^k = v_{ip}^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall i = 1, \dots, N, \forall p = 1, \dots, 4. \quad (2.7)$$

$$y_i^k \leq \sum_{p=1}^4 Z_{ip}^k \leq 4 \times y_i^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall i = 1, \dots, N. \quad (2.8)$$

$$Z_{ip}^k \times q_{pi}^k \leq Q_{pi} \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall i = 1, \dots, N, \forall p = 1, \dots, 4. \quad (2.9)$$

$$q_{pi}^k = \sum_{c=1}^5 Q_{pc}^k \times Q_c^k \times Z_{ip}^k \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall i = 1, \dots, N. \quad (2.10)$$

$$\sum_{p=1}^4 Q_{pc}^k = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall c = 1, \dots, 5. \quad (2.11)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij}^k \leq |S| - 1 \quad \forall k = 1, \dots, K, 2 \leq |S| \leq N - 2. \quad (2.12)$$

Les contraintes (2.1) et (2.2) garantissent que chaque tournée passe par l'entrepôt puis l'un des deux dépôts. Les contraintes (2.3) et (2.4) assurent que les camions entrent et sortent une seule fois au plus à chaque client. La contrainte (2.5) exige aux camions de revenir à l'entrepôt. Chaque client doit être visité une seule fois au plus, ce qui est assuré par la contrainte (2.6). La contrainte (2.7) signifie qu'un produit est livré par un camion pour un certain client, s'il est déjà alloué dans le même camion et pour le même client. Si un client est visité, alors au moins un produit lui sera livré, ce qui est assuré par la contrainte (2.8). La contrainte (2.9) signifie que la quantité livrée d'un produit ne doit pas dépasser la quantité demandée. La contrainte (2.10) signifie que la quantité livrée d'un produit pour un certain client est une combinaison des compartiments. Un compartiment s'il est utilisé alors ne peut contenir qu'un seul produit, ce qui est assuré par la contrainte (2.11). En fin, on retrouve la contrainte d'élimination des sous-tours en (2.12).

• **Objectif :**

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ij} X_{ij}^k, \quad I = J = \{O, D_1, D_2, 1, \dots, N\} \quad (2.13)$$

$$\text{Min } W = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^4 [(Q_{pi} - q_{pi}^k) \times Z_{ip}^k] \quad (2.14)$$

La fonction (2.14) permet de minimiser la distance parcourus par l'ensemble des camions. La fonction (2.15) permet de maximiser la quantité livrée.

2.5 Évaluation du modèle mathématique

La taille du problème est connue par le calcul du nombre de contrainte ainsi que le nombre de variables. Connaitre la taille du problème peut nous orienter vers la complexité du modèle mathématique et donc le choix de la méthode de résolution(soit exacte ou approchée).

2.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la chaîne logistique du transport en produits pétroliers. Nous avons défini et modélisé le problème de la livraison des produits pétroliers, et dans ce qui suit nous discuterons la résolution du problème.

Chapitre 3

Approche de résolution du problème

Introduction

Les méthodes de résolutions d'un modèles mathématiques sont nombreuses, le choix d'une méthode parmi d'autre est relatif selon la structure du modèle mathématique et la famille auquel il appartient.

De nombreuses méthodes se sont attaquées à ce problème mais leurs adaptations ont connu plus au moins de succès la difficulté réside dans la résolution avec des méthodes exactes telles que : le simplexe, la méthode des deux phases, car elles nécessitent un temps machine et un espace mémoire très important. Ainsi, s'impose le recours l'utilisation des méthodes heuristiques qui sont des approches simples, rapide et qui donnent des bons résultats.

Dans ce chapitre nous essayons de présenter les algorithmes génétiques, en particulier leur principe, les différentes étapes suivies à la construction des solutions, et les critères approuvés pour trouver ou générer la meilleure solution, ensuite nous présentons l'adaptation de cette méthode approchée sur notre problème.

Le choix de la méthode a été orienté vers une méthode approchée, cette décision a été prise à cause de l'importance de la taille de l'instance à résoudre, qui proscrit la tentative de le résoudre par des méthodes exactes, car on ne connaît pas un algorithme pouvant le résoudre en un temps polynomial. Pour notre approche de résolution, nous utiliserons un algorithme génétique du fait que presque la plupart des approches récemment publiées sont orientées vers ce type d'algorithmes, et les meilleurs résultats concernant ce problème sont obtenus à l'aide de ces algorithmes. On va utiliser une méta-heuristique d'amélioration successifs au sein de l'algorithme génétique en tant que l'opération de croisement et de mutation. Les algorithmes génétiques sont sans doute les méthodes les plus puissantes.

3.1 Les Algorithmes Génétiques

[1] L'algorithme génétique a été développé initialement par John Holland (1975) et ses étudiants à l'université du Michigan. Leurs recherches avaient pour but de concevoir des systèmes artificiels possédant certaines propriétés des systèmes naturels. La génétique a été très populaire au cours des dernières années pour les problèmes de tournées. En effet, huit articles se servent de cette approche. Le principe de l'algorithme génétique est très connu, il limite le principe de l'évolution des espèces. Une population solutions est maintenue et un procédé de reproduction permet aux solutions parents d'être sélectionnées parmi la population. Cette sélection est souvent en relation avec la qualité de la solution obtenue par ces parents. On effectue alors un croisement entre les parents afin de produire une descendance. Les solutions enfants présentent ainsi des caractéristiques des parents. Les meilleures solutions enfants ont de meilleures chances de survie puisqu'on élimine les individus ayant une moins bonne valeur.

À l'occasion, une mutation est appliquée afin d'ajouter des nouvelles propriétés et de la diversité dans l'ensemble des solutions générées. Cette analogie entre l'évolution des espèces et l'algorithme génétique qui à l'origine d'utilisait un vecteur binaire pour encoder les solutions.

3.1.1 Les composantes d'un algorithme génétique

Un algorithme génétique est défini par :

1. **Chromosome** : Un chromosome est constitué d'une séquence finie de gènes qui peuvent prendre des valeurs appelées allèles qui sont prise selon le problème étudié.
2. **Gène** : Plus petite entité existante symbolisée par un nombre (entier, réel, caractères,...).
3. **Allèle** : La valeur possible pour un gène.
4. **Individu** : Un Individu généré à partir d'un ou de plusieurs parents.
5. **Population** : Un ensemble de chromosome ou de points de l'espace de recherche.
6. **Environnement** : L'espace de recherche.
7. **Fonction fitness** : La fonction fitness c'est la fonction d'évaluation positive des individus que nous cherchons à maximiser ou à minimiser.
8. **Les opérateurs** : Permettent la construction d'une nouvelle population à partir de l'ancienne dans le but d'explorer l'avantage de l'environnement de l'algorithme génétique.

3.1.2 Codage des chromosomes

Il est évident que l'algorithme dépendra très fortement du type de codage choisi. Le codage se fait généralement sur un

nombre fini de bits, mais cela est lié surtout à la nature du problème traité. Une solution est un chromosome formé d'une (ou plusieurs) chaînes de bits, ou chaque bit représente un gène et son contenu l'allèle.

- **Exemple** (Codage binaire) :

Le gène est codé par un caractère binaire, 0 ou 1. C'est le plus courant et celui qui a été employé lors de la première application des algorithmes génétiques.

Exemple :

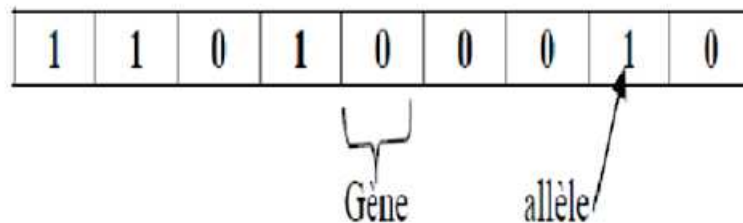


FIGURE 3.1 – Codage binaire d'un chromosome

3.1.3 Génération d'une population

Le mécanisme de génération de la population initiale doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global. Dans le cas où l'on ne connaît rien du problème à résoudre, il est essentiel que la population initiale soit répartie sur tout le domaine de recherche.

3.1.4 Évaluation

l'évaluation permet d'associer à chaque solution générée son score dans la fonction fitness. Elle permet par la suite de

sélectionner les individus qui formeront les génération futures.

3.1.5 Sélection

La sélection consiste à choisir les individus les mieux adaptés afin d'avoir une population de solution la plus proche de converger vers l'optimum global. Cet opérateur est l'application du principe d'adaptation de la *théorie de Darwin*.

Il existe plusieurs techniques de sélection. Voici les principales utilisées :

- **Sélection par rang** : Cette technique de sélection choisit toujours les individus possédant les meilleurs scores d'adaptation.
- **Probabilité de sélection proportionnelle à l'adaptation** : Technique de la roulette ou roue de la fortune, pour chaque individu, la probabilité d'être sélectionné est proportionnelle à son adaptation au problème.
- **Sélection par tournoi** : Cette technique utilise la sélection proportionnelle sur des paires d'individus, puis choisit parmi ces paires l'individu qui a le meilleur score d'adaptation.
- **Sélection uniforme** : La sélection se fait aléatoirement, uniformément et sans intervention de la valeur d'adaptation.

3.1.6 Croisement

Le croisement a pour but d'enrichir la diversité de la population en manipulant la structure des chromosomes. Les croisements sont envisagés avec deux parents qui génèrent deux enfants. Pour effectuer le croisement sur des chromosomes constitués de M gènes, on tire aléatoirement une position dans chacun des parents, on échange ensuite les deux sous-chaînes terminales de chacun des deux chromosomes, ce qui produit deux enfants. On peut étendre

ce principe en découpant le chromosome non pas en sous-chaines mais en plusieurs sous-chaines.

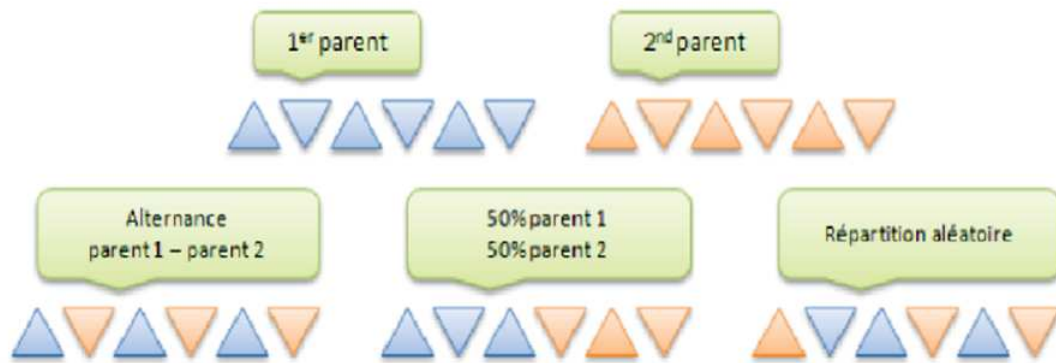


FIGURE 3.2 – Croisement des deux parents

3.1.7 Mutation

La mutation nous servira comme outil de diversification de la recherche, elle intervient avec une probabilité faible $P_m = 0,1$. Son principe dans notre cas est de forcer un véhicule à desservir un client en satisfaisant entièrement sa demande.

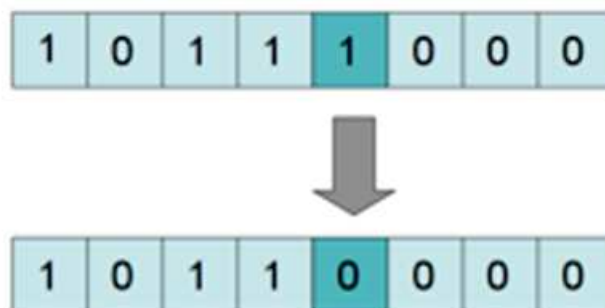


FIGURE 3.3 – Mutation d'un parent

3.1.8 Critère d'arrêt

Actuellement les critères d'arrêt les plus utilisés sont les suivants :

- Un nombre de génération fixé à l'avance qui spécifie le nombre d'itérations maximum que l'algorithme ne doit pas dépasser.
- Le temps limite qui est le temps maximum d'exécution du programme.
- Un nombre de génération effectuée sans amélioration de la fitness.
- Une fitness limite, le programme s'arrête dès qu'il atteint une bonne fitness fixée au préalable.

3.2 Adaptation de l'algorithme au problème

Nous allons présenter les différentes étapes d'adaptation de l'algorithme génétique aboutissant à construire un schéma de livraison. Cette méthode devra nous permettre de déterminer les tournées nécessaires qu'il faudra effectuer pour tous les véhicules durant la période de service.

3.2.1 Données

Avant d'arriver à la procédure d'optimisation, il est nécessaire de recueillir toutes les informations relatives à l'opération de la livraison des produits carburants.

- Le nombre des produits $N_p = 4$.
- Le nombre des compartiments de chaque camion $N_c = 5$.
- Données relatives à la flotte :

- Le numéro chaque camion.
- Capacités des camions.
- Capacité de chaque compartiment.
- La distance l'entrepôt-dépôt.
- Données relatives aux clients :
 - Le numéro de chaque clients.
 - Les demandes des clients.
 - Distance dépôt-client.
 - Distance client-client.

3.2.2 Codage

Nous avons adopté un codage multi-caractères où l'individu est une succession des camions et chaque camion est défini par six paramètres :

- **La structure du camion** : Est un vecteur $(h_i)_{i=1,\dots,5}$, avec h_i c'est la capacité du compartiment i .
- **La charge du camion** : Est une matrice $(C_{ij})_{i=1,\dots,4}^{j=1,\dots,5}$ de dimension 4×5 , avec :

$$C_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le produit } i \text{ est chargé dans le compartiment } j . \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

- **La chaîne de livraison du camion** : Est une matrice $(A_{ij})_{i=1,\dots,4+1}^{j=1,\dots,N+4}$ de dimension $(N + 4) \times (4 + 1)$.
 - $P_{i=1,\dots,4}$: Désigne le produit i .
 - P_0 : Est un produit fictive.

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Entrepôt	1	0	0	0	0
Dépôt 1	d ₁	0	0	0	0
Dépôt 2	d ₂	0	0	0	0
Client 1	a ₁₀	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄
Client 2	a ₂₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄
.....
Client N	a _{N0}	a _{N1}	a _{N2}	a _{N3}	a _{N4}
Entrepôt	1	0	0	0	0

$$- d_1 = \begin{cases} 1 & \text{si le camion visite le dépôt 1 .} \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

$$- d_2 = \begin{cases} 1 & \text{si le camion visite le dépôt 2 .} \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$

- a_{ij} = La quantité livrée de produit j au client i ; pour $j \geq 1$.

$$- a_{i0} = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_{j=1}^4 a_{ij} \neq 0 . \\ 0 & \text{si non .} \end{cases}$$

- **Le trajet utilisé** : Est un tableau a comme première valeur l'indice de l'entrepôt, puis l'indice de l'un de deux dépôts, la succession des clients visités par le camion et il se termine par l'indice de l'entrepôt.

- **Le coût du transport.**

- **La quantité livrée.**

- **Exemple :**

Supposons qu'on est dans le cas de :

- K camions.
- 3 clients.
- 2 produits.
- D_{ij} la matrice distance tel que :
 - 0 l'indice de l'entrepôt.
 - 1 l'indice de dépôt 1.
 - 2 l'indice de dépôt 2.

Alors un individu de K camions est donné par :

V_1	V_2	V_3	V_i	V_{K-1}	V_K
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----------	-------

avec V_i c'est le camion i qui est composé de :

- La structure du camion :

H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
-------	-------	-------	-------	-------

avec $H_j \in \{1, 3, 5, 8, 10\}$

- La charge du camion :

	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
P_1	1	1	1	0	1
P_2	0	0	0	1	0

- La chaîne de livraison du camion :

	P_0	P_1	P_2
Entrepôt	1	0	0
Dépôt 1	1	0	0
Dépôt 2	0	0	0
Client 1	1	a_{11}	a_{12}
Client 2	0	0	0
Client 3	1	a_{31}	a_{32}
Entrepôt	1	0	0

Avec :

- $a_{11} + a_{12} \neq 0$
- $a_{31} + a_{32} \neq 0$

- Le trajet :

Entrepôt	Dépôt(1 ou 2)	Client i	Client j	Entrepôt
----------	---------------	----------	-------	----------	----------

- La distance parcourue : $D = D_{01} + D_{13} + D_{35} + D_{50}$
- La quantité livrée : $a_{11} + a_{12} + a_{31} + a_{32}$

3.2.3 Génération d'un individu

Pour la construction d'une solution réalisable, on utilise la procédure suivante :

Début (crée individu)

- Soit \mathcal{S} l'ensemble des clients.
 - Soit \mathcal{T} l'ensemble des camions.
 - Choisir aléatoirement un client $j \in \mathcal{S}$.
1. Choisir un camion $k \in \mathcal{T}$ d'une façon aléatoire.

2. Satisfait le plus possible la demande de j par la procédure suivante :

Pour p allant de 1 à N_p faire :

- Soit d_{jp} la demande du client j en produit p .
- Chercher le compartiment c^* du camion k qui est vide et qui réalise : $\min_{1 \leq c \leq 5} \{(d_{jp} - h_{kc}) \geq 0\}$
- Charger le produit p au compartiment c^* pour le client j .

Fin pour.

a. Si le camion K alloue au moins un compartiment au client j alors : $\mathbb{S} = \mathbb{S} \setminus \{j\}$.

b. Si non :

- Si $\mathbb{S} \setminus \{j\} \neq \emptyset$: choisir un client i dans $\mathbb{S} \setminus \{j\}$ et revient à 2)
- Si $\mathbb{S} \setminus \{j\} = \emptyset$: $\mathbb{T} = \mathbb{T} \setminus \{k\}$, choisir aléatoirement un client $i \in \mathbb{S}$ et revient à 1).

3. S'il existe un compartiment vide dans le camion k : Chercher le client i voisin de j , et revient à 2).

4. Si non, choisir un client $i \in \mathbb{S}$ et revient à 1).

Fin (créé individu)

3.2.4 Génération de la population initiale(des individus)

La taille M de la population doit être constante durant toutes les générations, pour éviter la divergence de l'algorithme.

- Soit M la taille de la population.

Début

- $i \leftarrow 1$.

Faire :

- Choisi aléatoirement un client j de S .
- Créé individu (j).
- $i \leftarrow i + 1$

Jusqu'à ($i \geq M$).

Fin

3.2.5 Évaluation

Le problème traité est un problème multi-objectifs consiste à minimiser le coût du transport et à maximiser la quantité livrée.

La fonction fitness choisie est une fonction a deux valeur :

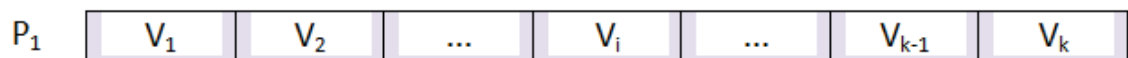
- La première valeur pour la distance parcourue par l'ensemble des camions.
- La deuxième valeur pour la quantité livrée par l'ensemble des camions.

3.2.6 Sélection

On sélectionne aléatoirement $\frac{M}{2}$ ($\frac{M+1}{2}$ si M est impaire) de la population initial pour faire le croisement, et le reste vont faire la mutation.

3.2.7 Croisement

Soit p_1 et p_2 deux parents sélectionnés :



Soit V_i un camion de p_1 et V_j un camion de p_2 . On va faire le croisement sur la charge et la chaîne de livraison de V_i et V_j au même temps de la manière suivante :

- Croisement sur la charge :

- Exemple :

V_i de Parent P1	H1	H2	H3	H4	H5
P1	1	0	0	1	0
P2	0	0	1	0	0
P3	0	0	0	0	0
P4	0	1	0	0	1



V_i de Parent P2	H1	H2	H3	H4	H5
P1	0	1	0	0	0
P2	0	0	0	1	1
P3	1	0	0	0	0
P4	0	0	1	0	0



V_i de l'enfant 1	H1	H2	H3	H4	H5
P1	0	1	0	1	0
P2	0	0	1	0	0
P3	1	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	1

V_i de l'enfant 2	H1	H2	H3	H4	H5
P1	1	0	0	0	0
P2	0	0	0	1	1
P3	0	0	0	0	0
P4	0	1	1	0	0

- Croisement sur la chaîne de livraison :

- Exemple :

V_i de Parent P1	P_0	P_1	P_2
Entrepôt	1	0	0
Dépôt 1	1	0	0
Dépôt 2	0	0	0
Client 1	1	a_{11}	a_{12}
Client 2	0	0	0
Client 3	1	a_{31}	a_{32}
Client 4	0	0	0
Entrepôt	1	0	0



V_i de Parent P2	P_0	P_1	P_2
Entrepôt	1	0	0
Dépôt 1	0	0	0
Dépôt 2	1	0	0
Client 1	0	0	0
Client 2	1	a_{21}	a_{22}
Client 3	0	0	0
Client 4	1	a_{41}	a_{42}
Entrepôt	1	0	0



V_i de l'enfant 1	P_0	P_1	P_2
Entrepôt	1	0	0
Dépôt 1	1	0	0
Dépôt 2	0	0	0
Client 1	0	0	0
Client 2	1	A_{21}	A_{22}
Client 3	0	0	0
Client 4	1	A_{41}	A_{42}
Entrepôt	1	0	0

V_i de l'enfant 2	P_0	P_1	P_2
Entrepôt	1	0	0
Dépôt 1	0	0	0
Dépôt 2	1	0	0
Client 1	1	A_{11}	A_{12}
Client 2	0	0	0
Client 3	1	A_{31}	A_{32}
Client 4	0	0	0
Entrepôt	1	0	0

Où les A_{ij} sont calculées à partir des nouvelles charges et de la nouvelle affectation des clients.

3.2.8 Mutation

Les populations non sélectionnés dans le croisement sont choisis maintenant pour la mutation.

Soit P^* un individu sélectionné, et soit V_i le véhicule i .

V_1	V_2	V_3	V_i	V_{K-1}	V_K
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----------	-------

Alors la mutation est faite sur la charge de chaque V_i de la manière suivante :

- On choisit aléatoirement deux produits p_i et p_j parmi les produits qui sont chargés dans V_i , et on va permuter leurs affectations dans les compartiments.

- Exemple :

La charge de V_i	H1	H2	H3	H4	H5
P1	1	0	0	1	0
P2	0	0	1	0	0
P3	0	0	0	0	0
P4	0	1	0	0	1

Soit p_1 et p_2 les produits aléatoirement sélectionnés. On applique la mutation et on retrouve la nouvelle charge de V_i :

La nouvelle charge de V_i	H1	H2	H3	H4	H5
P1	0	1	0	0	1
P2	0	0	1	0	0
P3	0	0	0	0	0
P4	1	0	0	1	0

3.2.9 Test d'arrêt

On a choisi comme test d'arrêt un nombre fixe d'itération.

3.3 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un rappel concerne les algorithmes génétiques. Nous avons décrit les différentes étapes de cette méthode approchée et leur adaptation à notre problème, et dans ce qui suit nous allons proposer un exemple d'application et le résoudre à l'aide de la programmation en *C*.

Chapitre 4

Simulation informatique

Introduction

Une première définition de la programmation indique que celle-ci est un ensemble d'outils et de techniques permettant de résoudre des problèmes mathématiques par ordinateur. Mais cette définition néglige le sens de la programmation, qui est de trouver une solution optimale à n'importe quel type de problème.

Dans ce chapitre nous présentons une simulation informatique d'un exemple d'application à l'aide de la programmation en *C*.

La programmation est l'art de résoudre les problèmes mathématique par l'utilisation des techniques qui lui sont spécifier, de maniéré efficace et concise.

4.1 Description du langage C

C est un langage de programmation impératif et généraliste. Il est qualifié de langage de bas niveau dans le sens où chaque instruction du langage est conçue pour être compilée en un nombre d'instructions machine assez prévisible en termes d'occupation mémoire et de charge de calcul. En outre, il propose un éventail de types entiers et flottants conçus pour pouvoir correspondre directement aux types de donnée supportés par le processeur. Enfin, il fait un usage intensif des calculs d'adresse mémoire avec la notion de pointeur [9].

4.2 Exemple d'application

- Données :
 - Le nombre de camions $N_c = 4$.
 - Le nombre de clients $m = 5$.
 - Le nombre de produits $N_p = 4$.
 - La structure des camions :

	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
camion 1	10	10	5	5	3
camion 2	10	8	5	5	5
camion 3	8	8	8	8	1
camion 4	8	8	8	8	1

TABLE 4.1 – Les structures des camions

- Les demandes des clients :

	Produit 1	Produit 2	Produit 3	Produit 4
Client 1	12	17	12	0
Client 2	5	11	14	8
Client 3	17	5	9	5
Client 4	12	2	11	0
Client 5	9	0	11	13

TABLE 4.2 – Les commandes des clients

- La matrice distance :

	O	D 1	D 2	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
O	0	10	18	11	10	22	13	22
D 1	13	0	5	15	16	17	14	15
D 2	15	5	0	19	20	15	16	11
C 1	11	15	19	0	7	5	10	10
C 2	10	16	20	7	0	9	11	5
C 3	22	17	15	5	9	0	13	13
C 4	13	18	16	10	11	13	0	17
C 5	22	15	11	10	5	13	17	0

TABLE 4.3 – Matrice distance

4.3 Résultat numérique et interprétation

Soit i le nombre d'itérations :

$i = 3$	Solution 1	Solution 2
Coût du transport	134	149
Quantité livrée	91	99

TABLE 4.4 – Résultat après 3 itérations

$i = 10$	Solution 1	Solution 2
Coût du transport	134	147
Quantité livrée	91	99

TABLE 4.5 – Résultat après 10 itérations

$i = 100$	Solution 1	Solution 2
Coût du transport	125	147
Quantité livrée	91	99

TABLE 4.6 – Résultat après 100 itérations

$i = 1000$	Solution 1	Solution 2
Coût du transport	125	147
Quantité livrée	91	99

TABLE 4.7 – Résultat après 1000 itérations

$i = 5000$	Solution 1	Solution 2
Coût du transport	125	147
Quantité livrée	91	99

TABLE 4.8 – Résultat après 5000 itérations

Après 100 itérations la solution reste la même, alors la meilleure solution fournie par le programme est :

	Solution 1	Solution 2
Coût du transport	125	147
Quantité livrée	91	99

TABLE 4.9 – La meilleure solution

- L'affichage de la meilleure solution :

- La solution 2 est donnée par :

Camion 1	Camion 2	Camion 3	Camion 4
----------	----------	----------	----------

- **Camion 1 :**

- La structure du camion :

H1	H2	H3	H4	H5
10	10	5	5	3

- La charge :

	H1	H2	H3	H4	H5
P1	1	0	0	0	0
P2	0	1	0	1	0
P3	0	0	1	0	1
P4	0	0	0	0	0

- La chaîne de livraison :

	P0	P1	P2	P3	P4
O	1	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0
D2	1	0	0	0	0
C1	1	10	15	8	0
C2	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0
O	1	0	0	0	0

- Le trajet :

O	D2	C1	O
---	----	----	---

• **Camion 2** : Non utilisé

• **Camion 3** :

- La structure du camion :

H1	H2	H3	H4	H5
8	8	8	8	1

- La charge :

	H1	H2	H3	H4	H5
P1	0	0	0	1	0
P2	1	0	0	0	0
P3	0	1	0	0	0
P4	0	0	1	0	1

- La chaine de livraison :

	P0	P1	P2	P3	P4
O	1	0	0	0	0
D1	1	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0
C2	1	0	8	0	8
C3	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0
C5	1	8	0	8	1
O	1	0	0	0	0

- Le trajet :

0	D1	C5	C2	0
---	----	----	----	---

• **Camion 4 :**

- La structure du camion :

H1	H2	H3	H4	H5
8	8	8	8	1

- La charge :

	H1	H2	H3	H4	H5
P1	1	1	0	1	1
P2	0	0	0	0	0
P3	0	0	1	0	0
P4	0	0	0	0	0

- La chaine de livraison :

	P0	P1	P2	P3	P4
O	1	0	0	0	0
D1	1	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0
C3	1	16	0	8	0
C4	1	9	0	0	0
C5	0	0	0	0	0
O	1	0	0	0	0

- Le trajet :

0	D1	C4	C3	0
---	----	----	----	---

• **Remarque :**

Pour afficher les autres composantes de la solution 1, vous pouvez utiliser le programme.

4.4 Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre un exemple d'application avec sa résolution à l'aide de la programmation en C . Notre programme fourni la meilleure solution après 100 itérations, ces deux solutions que nous avons présenté appartiennent au front de pareto et elles dominant plusieurs solutions.

Conclusion général

Nous avons fait une étude qui a pour objectif "l'optimisation de la distribution des produits carburants au niveau de la livraison", ce problème consiste à minimiser le coût du transport et aussi à maximiser la quantité livrée par l'ensemble des camions.

L'étude de la problématique du transport des produits carburants vers les régions et leurs chargement, a fait l'objet de notre étude, ainsi après avoir d'écrit le schéma de distribution, nous avons opté de résoudre le problème et compte tenu de sa complexité et de proposera une solution optimal.

Nous pensons que notre objectif est atteint, car le schéma de livraison des produits pétroliers élaboré par notre étude est réalisable, et à partir notre procédure nous avons minimisé le coût du transport et maximisé la quantité livrée.

Comme perspective nous souhaitons de faire une interface qui nous donne une meilleure chaine de livraison.

Finalement, nous espérons que ce travail soit bénéfique et qu'il ouvre une port pour l'exploitation de plus en plus effective et croissante des techniques de la recherche opérationnelle.

Bibliographie

- [1] S. Amédée. Algorithmes génétiques. *A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem*, P.30-80, 2004.
- [2] L. Belhoul. Résolution de problèmes d'optimisation combinatoire mono et multi-objectifs par énumération ordonnée. *Optimisation combinatoire*, P.44-90, 2014.
- [3] H. Dahbia. Optimisation de la distribution des produits pétroliers. *Recherche Operationnelle*, P.17-116, 2011.
- [4] P. Devernay. Le transport, moteur de la chaîne logistique. *Logistique et Management*, P.75-77, 1997.
- [5] P. Fouilhoux. Recherche opérationnelle et optimisation combinatoire. *Discrete variable extremum problems*, P.50-121, 2016.
- [6] J. Francois. Modélisation du système décisionnel et performance. *Planification des chaînes logistiques*, P.18-112, 2007.
- [7] F. Hnaien. Gestion des stocks dans des chaînes logistiques face aux aléas des délais d'approvisionnements. *Gestion des stocks*, P.61-107, 2008.
- [8] P. Toth. The vehicle routing problem. *Logistique et Management*, P.100-60, 2002.
- [9] www.wikipedia.org/wiki/c.