

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUE



Mémoire Présenté
Pour L'obtention Du Diplôme De Master
En Recherche Opérationnelle
Option : Recherche Opérationnelle et Optimisation Management Stratégique
(ROOMS)

***Optimisation d'une chaîne
d'approvisionnement par les algorithmes
génétiques***

Réalisé par :

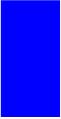
M^{lle}. AGROUM Meriem

M^{lle}. KARTOUS Feriel

Soutenu le 10/11/2020, devant membres de jury composé de :

Présidente	M ^{me}	W. DRICI	M.C.B	U.M.B.B.
Examineur	M ^r	B.ISSADI	M.C.A	U.M.B.B.
Promoteur	M ^r	F. CHEURFA	M.A.A	U.M.B.B.

Année Universitaire 2019 – 2020



Remerciements

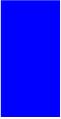
Ce n'est pas coutume que cette page figure au préambule de ce mémoire, mais c'est plutôt un devoir moral et une reconnaissance sincère qui nous poussent à faire.

Nous remercierons Dieu, le tout puissant de nous ouvrir les portes du savoir, de nous aider dans les moments difficiles, et de nous avoir permis être ce que nous devenus.

Nos chaleureux et sincères remerciements vont tout d'abord à notre promoteur Monsieur **CHEURFA Fateh** sans lui, ce travail ne pouvoir cette forme, nous lui témoignons tous notre gratitude et reconnaissance pour nous avoir encouragés, consacrés son temps précieux et nous avoir accordé son attention avec une extrême patience, nous le remercierons pour tous ces conseils qui étaient notre guide vers une vision plus étendue.

Nous exprimons nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu présider, examiner et évaluer notre travail.

Nous remercions également nos amis pour leurs aides respectives et la motivation que chacun nous a apporté à sa manière. Nous ne pouvons terminer sans remercier toute personne qui, d'une façon ou d'une autre, de près ou de loin, a contribué à la réalisation de ce modeste travail.



Dédicaces

En premier lieu je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir aidé et donner la volonté et la patience pour réaliser ce modeste travail, que je dédie :

À celle qui m'est la plus chère au monde qui n'a pas cessé de m'encourager, de prier pour moi, et qui a su m'entourer de toute son affection et son amour, que Dieu la protège, ma chère mère.

À celui qui m'a donné la force et la confiance qui s'est toujours sacrifié pour m'avoir réussi, qui m'a rendu ce qui je suis aujourd'hui, que Dieu le protège, mon cher père.

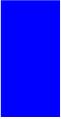
À mon frère, mes soeurs, pour votre soutien moral.

À mon binôme et amie Ferial.

À tous mes professeurs surtout mon promoteur Monsieur CHEURFA, je n'aurais jamais pu aller jusqu'à là sans vous.

À mes amies intimes avec les qui j'ai passé les meilleurs moments de ma vie et toute ma promo ROOMs 2020.

Meriem



Dédicaces

En premier lieu je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir aidé et donné la volonté et la patience pour réaliser ce modeste travail, que je dédie :

À celle qui m'est la plus chère au monde qui n'a pas cessé de m'encourager, de prier pour moi, et qui a su m'entourer de toute son affection et son amour, que Dieu la protège, ma chère mère.

À celui qui m'a donné la force et la confiance qui s'est toujours sacrifié pour m'avoir réussi, qui m'a rendu ce qui je suis aujourd'hui, que Dieu le protège, mon cher père.

À mon oncle Ahmed qui m'a toujours soutenu.

À mon frère, mes soeurs, pour votre soutien moral.

À mon binôme et amie Meriem.

À tous mes professeurs surtout mon promoteur Monsieur CHEURFA, je n'aurais jamais pu aller jusqu'à là sans vous.

À mes amies intimes avec lesquelles j'ai passé les meilleurs moments de ma vie et toute ma promo ROOMs 2020.

Feriel



Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces	III
Table des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Liste des algorithmes	XI
Introduction générale	1
1 Notions de base de gestion de stock	4
1.1 Introduction	4
1.2 Définitions et concept de base	4
1.2.1 Définitions	4
1.2.2 Types de stock	6
1.2.3 Objectif d'un stock	7
1.2.4 Avantages et Inconvénients	7
1.2.5 La fonction des stocks	7
1.2.6 Pourquoi il est nécessaire de bien gérer les stocks ?	8
1.3 Gestion des stocks	8
1.3.1 Définition de la gestion des stocks	8
1.3.2 Les activités de la gestion des stocks	8
1.3.3 Les objectifs de la gestion des stocks	9
1.3.4 Les coûts liés au stock	9
1.3.5 Graphique en dents de scie	10
1.3.6 Le point de commande ou niveau de réapprovisionnement	11

1.3.7	Délai d'approvisionnement	11
1.3.8	Les outils de gestion des stocks	12
1.3.9	Rotation des stocks	13
1.3.10	Stock tournant	14
1.4	La méthode <i>ABC</i> pour l'analyse des stocks	15
1.5	La gestion des approvisionnements	17
1.5.1	Définition	17
1.5.2	Les objectifs de l'approvisionnement	18
1.5.3	Les processus traditionnel d'approvisionnement	18
1.5.4	Politique d'approvisionnement	19
1.6	Conclusion	22
2	La théorie de la chaîne logistique	23
2.1	Introduction	23
2.2	Aperçus sur l'historique de logistique	23
2.3	Logistique	24
2.3.1	Les Types de la logistique	25
2.3.2	Les enjeux de logistique	25
2.3.3	L'intérêt de la logistique	25
2.4	La chaîne logistique	26
2.4.1	Activités d'une chaîne logistique :	26
2.4.2	Les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques	28
2.4.3	Chaînes logistiques et flux associés	28
2.4.4	Les types d'architecture au niveau des chaînes logistiques	29
2.4.5	Le rôle de la chaîne logistique	29
2.4.6	L'objectif de la chaîne logistique	29
2.5	Supply chain management	30
2.5.1	Supply chain management	30
2.6	Les objectifs de la supply chain management	30
2.7	Structuration des niveaux de décision des chaînes logistiques	31
2.7.1	La vente par internet « <i>e – Procurement</i> »	31
2.8	Gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile	32
2.9	Approvisionnement dans les chaînes logistiques	33
2.9.1	Problème de sélection de fournisseurs :	33
2.10	Conclusion	37

3	Problématique et modélisation	38
3.1	Introduction	38
3.2	Description du problème	38
3.3	Modélisation	39
3.3.1	Notation	39
3.3.2	Les variables de décision	39
3.3.3	Les contraintes	39
3.3.4	L'objectif	40
3.3.5	Le modèle mathématique	40
3.4	Méthodes de résolution	40
3.4.1	Méthodes exactes	41
3.4.2	Méthodes approchées	42
3.5	Conclusion	42
4	Heuristique et Métaheuristique	43
4.1	Introduction	43
4.1.1	Qu'est-ce qu'une métaheuristique?	43
4.1.2	Méthodes déterministes de recherche d'optimum local	45
4.1.3	Méthodes déterministes de recherche d'optimum global	46
4.1.4	Méthodes stochastiques de recherche d'optimum global	46
4.2	Métaheuristique à solution unique	46
4.2.1	Méthode de recherche locale	46
4.2.2	Descente	47
4.2.3	Recherche tabou	48
4.2.4	Recuit simulé	49
4.3	Metaheuristique à population de solutions	51
4.3.1	Colonies de fourmis	51
4.3.2	Les algorithmes génétiques	51
4.4	Quelle métaheuristique utiliser?	58
4.5	Conclusion	59

5	Algorithme génétique proposé et application au problème :	60
5.1	Introduction	60
5.2	Description de l'algorithme génétique classique appliqué au problème	60
5.2.1	Le codage	60
5.2.2	Initialisation	61
5.2.3	La sélection	61
5.2.4	Le croisement	62
5.2.5	La mutation	62
5.2.6	La sélection de remplacement	63
5.3	L'algorithme génétique proposé au problème	63
5.3.1	Description de l'algorithme génétique proposé	63
5.3.2	Gestion des contraintes	64
5.3.3	Avantages et inconvénients	65
5.4	Exemples d'applications	65
5.4.1	Premier exemple d'application	66
5.4.2	Deuxième exemple d'application	73
5.4.3	Résultats et analyse	73
5.5	Conclusion	74
	Conclusion générale	75
	Annexe	76
	Bibliographie	80
	Bibliographie	83
	Résumé	84
	Abstract	84



Table des figures

1.1	Flux d'entrée, Stock, Flux de sortie	6
1.2	Graphique en dents de scie	11
1.3	Les niveaux de stock	13
1.4	Courbe ABC	17
1.5	Approvisionnement à quantité fixe et période variable	21
1.6	Approvisionnement à quantité variable et période fixe	21
2.1	Présentation d'une chaîne logistique	26
2.2	Un exemple d'architecture d'une chaîne logistique	28
2.3	Différentes structures au niveau des chaînes logistiques	29
2.4	Les différents niveaux de décision	31
2.5	Le problème de sélection de fournisseurs	34
2.6	Critères de sélection de fournisseurs	34
4.1	Schéma des méthodes basées sur les métaheuristiques	44
4.2	Méthode déterministe de recherche de l'optimum local	45
4.3	Méthode déterministe de recherche de l'optimum global	46
4.4	Méthode stochastique de recherche d'optimum global	46
4.5	Les niveaux d'organisation d'une population d'un algorithme génétique	52
4.6	Principes de base d'un algorithme génétique simple	53
4.7	Codage binaire d'un chromosome	54
4.8	Codage réel d'un chromosome	54
4.9	La méthode de la sélection de la roue de loterie	55
4.10	Sélection de la roue de loterie par rang de classement	56
4.11	les différents types de croisements	56
4.12	Un exemple de mutation	57

5.1	Représentation chromosomique	61
5.2	Croisement à découpage	62
5.3	La mutation	63
5.4	La fonction fitness par rapport au nombre d'itération, scénario 1 (AGc)	68
5.5	La fonction fitness par rapport au nombre d'itération, scénario 1 (AGp)	68
5.6	La fonction fitness par rapport au nombre d'itération, scénario 2 (AGc)	70
5.7	La fonction fitness par rapport au nombre d'itération, scénario2 (AGp)	70
5.8	La fonction fitness par rapport au nombre d'itération, scénario 3 (AGc)	72
5.9	La fonction fitness par rapport au nombre d'itération, scénario 3 (AGp)	72
5.10	Résultats d'exemple 2 obtenus par AGp et AGc	74
5.11	Interface principale de MATLAB	77



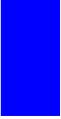
Liste des tableaux

1.1	Les quartes politiques d’approvisionnement du stock	19
2.1	Critères de sélection de fournisseurs	35
2.2	Les méthodes de sélection de fournisseurs	36
4.1	Comparaison générale des principales métaheuristiques	58
5.1	Initialisation de la population initiale	61
5.2	Paramètres d’algorithme génétique	65
5.3	Paramètres de l’exemple	66
5.4	Résultats de scénario 1	67
5.5	Résultats de scénario 2	69
5.6	Résultats de scénario 3	71
5.7	Paramètres de l’exemple	73
5.8	Résultats de deuxième exemple	73



Liste des algorithmes

1	Pseudo-code de la méthode de descente.	48
2	Algorithme Tabou standard TS[13].	49
3	Recuit simulé.	50
4	Algorithme de colonie de fourmis	51
5	Algorithme génétique	57



Introduction générale

La Recherche Opérationnelle (*RO*) est la discipline des mathématiques appliquées qui traite des questions d'utilisation optimale des ressources dans l'industrie. Depuis une décennie, le champs d'application de la *RO* s'est élargi à des domaines comme l'économie, la finance, le marketing, la planification et la gestion d'entreprise.

L'utilisation de la *RO* pour un agent économique est le moyen d'obtenir le meilleur résultat possible d'une action engagée, dans des conditions données, telle que la concevait Robert Faure [34] :

la Recherche Opérationnelle est une discipline carrefour puisque sa pratique fait appel à l'informatique, aux mathématiques, à l'organisation et l'économie de l'entreprise .

Quel que soit son domaine, l'être humain est confronté à différents problèmes dans toutes les sphères de la société. Un problème donné peut être défini par l'ensemble des propriétés que doivent vérifier ses solutions. Il peut être un problème de décision ou un problème d'optimisation. Un problème de décision peut se ramener à un problème d'existence de solution. Par contre, un problème d'optimisation peut se ramener à un problème d'existence de solution de bonne qualité. Il consiste à parcourir l'espace de recherche afin d'en extraire une solution optimale parmi un ensemble fini de solutions, la résolution d'un problème d'optimisation nécessite l'utilisation d'un procédé algorithmique permettant la maximisation ou la minimisation d'une ou de plusieurs fonctions «*objectives*» en respectant les contraintes posées par le problème[39].

Depuis plus de vingt ans, la gestion de la chaîne logistique (ou chaîne d'approvisionnement) s'impose comme un vecteur clé de la compétitivité des entreprises.

Peu de travaux traitent des problématiques réelles en général et des chaînes logistiques en particulier. Néanmoins des chercheurs se sont intéressés à une problématique de chaîne logistique. Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne selon [Chibani 2015] [26], Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées [Arda2008] [10].

Initialement, ce concept n'était qu'une extension des pratiques de la logistique à un nombre plus grand de partenaires d'affaires en amont ou avale des opérations d'une entreprise. Aujourd'hui, la chaîne est le point de jonction de pratiques provenant de multiples horizons comme la gestion de la qualité, la conception des produits, le service à la clientèle ou la gestion des données [8, 15].

Les chaînes logistiques cherchent à assurer leur pérennité en mettant en place les stratégies adéquates pour réagir face à des changements. Les chaînes logistiques contemporaines se composent

de nombreux échelons qui se spécialisent dans diverses activités : fournisseurs, distributeurs et détaillants. L'objectif de tout cet ensemble est d'acheminer le produit vers le client final en ayant une maîtrise des coûts et des ressources. La configuration du réseau logistique semble une étape primordiale dans la conception d'une structure logistique qui peut réagir rapidement face à l'instabilité de l'environnement. Cette tâche devient de plus en plus difficile à réaliser dans un environnement caractérisé par des changements fréquents qui se répercutent ainsi sur tout le réseau logistique. La volatilité des marchés induit une fluctuation constante de divers paramètres. La variation des capacités chez les fournisseurs ainsi que la variation des différents coûts logistiques sont des causes majeures de cette instabilité, ceci étant liée à la concurrence de plus en plus forte entre les entreprises.

En effet, la plupart de problèmes appartiennent à la classe des problèmes NP-difficiles. Les méthodes de résolution de problèmes ont été classées en deux catégories : les méthodes exactes et les méthodes approchées.

Les méthodes exactes : Le principe des méthodes exactes consiste à rechercher, souvent de manière implicite, une solution, la meilleure solution ou l'ensemble des solutions d'un problème. L'optimisation exacte concernent toutes les méthodes permettant d'obtenir un résultat dont on sait qu'il est optimal à un problème précis [50]. On peut classer les méthodes exactes en quatre grandes classes :

- La programmation dynamique,
- La programmation linéaire continue ou en nombres entiers,
- La programmation non linéaire avec ou sans contraintes,
- Les méthodes de recherche arborescente (Branch & Bound).

Les méthodes approchées : C'est une méthode d'optimisation qui a pour but de trouver une solution réalisable de la fonction objective en un temps raisonnable, mais sans garantie d'optimalité. L'avantage de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou difficiles. Les méthodes approchées englobent deux classes, les métaheuristiques et les heuristiques.

Une heuristique est une méthode approchée spécifique à un problème donné. Elle forme un ensemble de règles empiriques ou des stratégies qui fonctionnent, les métaheuristiques sont des méthodes approchées polyvalentes, elles peuvent être appliquées sur de nombreux problèmes.

Parmi ces métaheuristiques, nous pouvons citer le recuit simulé, les algorithmes à estimation de distribution et l'optimisation par colonie de fourmis, les algorithmes génétiques qui nous utilisons pour la résolution de notre problématique.

Problématique

Les entreprises ont toujours besoins des fournisseurs afin de commander les produits. La chaîne d'approvisionnement représente une des fonctions de l'entreprise à savoir la fonction d'achat et ce pour un niveau décisionnel opérationnel dans le but de s'approvisionner en matières ou produits auprès d'un ou plusieurs fournisseurs susceptibles d'être sélectionnés pour livrer les quantités commandées.

La problématique se focalise sur le choix des fournisseurs, de telle sorte le coût total adopté sera minimum, au cours de cette problématique nous devons respecter les contraintes suivantes :

La première contrainte : La somme des quantités commandées auprès des fournisseurs doit être égales à la demande du client,

La deuxième contrainte : La quantité demandée doit être inférieure ou égale à sa capacité maximale (la disponibilité du produit chez le fournisseur).

Le manuscrit s'articule autour de cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux notions de base, nous rappelons les notions élémentaires de la gestion des stocks, nous donnons aussi des définitions fondamentales et quelques concepts de base dont nous avons besoin au cours de ce mémoire,
- Le deuxième chapitre présente notre domaine d'application, la théorie de chaîne logistique. Nous commencerons avec des concepts de base de la logistique et la chaîne logistique. Ensuite nous entamerons le supply chain management, nous finirons par l'approvisionnement dans les chaînes logistiques ou nous discuterons sur le problème de sélection de fournisseurs,
- Le troisième chapitre présente la problématique et modélisation. Nous commencerons par une description du problème traité. Ensuite nous proposerons une modélisation mathématique, nous finirons par une brève discussion sur les méthodes de résolution (méthodes exactes et approchées),
- Le quatrième chapitre présente les heuristiques et méta-heuristiques ou nous mettrons en revue les principales techniques méta-heuristiques,
- Le cinquième chapitre présente une application sur MATLAB proposerons un algorithme génétique.

Une conclusion générale ou nous présentons quelques perspectives prévues termine ce manuscrit.

Notions de base de gestion de stock

"Plus une entreprise possède de stocks, moins elle aura ce dont elle a besoins"

Taiichi Ôno,(1912-1990)

1.1 Introduction

Dans une entreprise, les stocks peuvent présenter une proportion importante des actifs, ils engendrent un besoin important d'investissement et immobilisent le fond qui pourrait être consacré à d'autres activités aussi rentables.

L'approvisionnement est un métier hautement stratégique dans les entreprises industrielles d'aujourd'hui, qui repose sur l'acquisition de nombreuses compétences et connaissances. Donc l'approvisionneur a pour mission de définir quand et combien commander.

Ce chapitre introduit la notion de stock et le concept de la gestion des stocks ainsi la gestion des approvisionnements.

1.2 Définitions et concept de base

1.2.1 Définitions

— **Fournisseur :**

Le fournisseur est la personne ou l'entité qui fournit des biens et / ou des services à un client. Les relations de l'entreprise avec ses fournisseurs sont étudiées d'un double point de vue :

- Économique : L'entreprise a un pouvoir de négociation variable, elle peut être en position de dépendance vis-à-vis d'un fournisseur qui détient un monopole pour un produit ; elle peut contrairement être en position de domination en tant que donneur d'ordre.
- Juridique[6] : Les relations entreprise / fournisseur sont variées en raison de :
 1. La nature des biens et des services proposés,
 2. La nature des contrats conclus : contrat de location ou contrat de crédit,
 3. Bail de matériel, contrat de sous-traitance.

— **Client :**

Le client est la personne ou l'entité qui achète un bien ou un service à un commerçant, à une société de services, à un fournisseur.

— **Commande [6] :**

Ordre par lequel est déclenché un processus de mise à disposition de celui dont il émane, de certains produits, dans les conditions déterminées. La commande peut se faire par tout moyen de communication : oralement, par téléphone, courrier, télécopie, minitel, internet. Toutefois, pour pouvoir servir de preuve en cas de différents éventuels, la commande est passée par écrit. Dans certains cas, des documents préétablis (Bon de commande, bulletin de commande) sont utilisés.

— **La demande[36]**

Est la somme des produits ou bien des services que les consommateurs sont disposés à acquérir en un temps et un prix donnés. Elle constitue l'élément directeur du système de stockage. Elle peut être dépendante ou bien indépendante du temps, stationnaire ou dynamique. Elle peut apparaître seulement dans des points précis de temps ou tout au long d'intervalles finis ou bien infinis. La demande peut aussi être discrète (cas de pièce électroniques par exemples), ou bien continue (cas de demande en gaz, eau...)

— **Livraison[55] :**

Acte par lequel le fournisseur remet les articles (produits) commandés au donneur d'ordre. Le fournisseur exécute là son obligation de délivrance.

— **Article :**

Nous appelons article ou produit tout objet manufacturé clairement identifiable dans l'entreprise, le stock est alors l'ensemble des articles détenus par l'entreprise.

— **Référence article :**

Chaque article est repéré par une référence qui le distingue de tous les autres et qui doit suffire pour retrouver son identification, ses caractéristiques.

— **Disponibilité :**

C'est le pouvoir satisfaire la demande d'un client, aussi bien interne qu'externe.

— **Rupture de stock :**

Un produit est en rupture de stock lorsqu'il est impossible de satisfaire immédiatement une demande exprimée.

— **Magasin[2] :**

C'est l'endroit où les articles achetés ou fabriqués sont reçus, rangés, conservés, perçus, prélevés, distribués.

— **Stock :**

Selon Jean Derrupe, un stock est la conséquence d'un écart entre le flux d'entrée et de sortie sur une période de temps[29].

Le stock est l'ensemble des marchandises ou des articles accumulés dans l'attente d'une utilisation ultérieure plus au moins proche et qui permet d'alimenter les utilisateurs au fur et à mesure de leur besoin sans leur imposer les délais et les à-coups d'une fabrication ou d'une livraison par des fournisseurs[53].

Flux d'entrée



Flux de sortie

FIGURE 1.1 – Flux d'entrée, Stock, Flux de sortie

1.2.2 Types de stock

— En fonction de leurs nature[20] :

- Stock de produits finis,
- Stock de produits semi-finis,
- Stock de matières premières,
- Stock de maintenance,
- Stock d'outils.

— En fonction de leurs destinations[20] :

- Stock affecté(ou réserve),
- Stock commun.

1.2.3 Objectif d'un stock

- Éviter les ruptures de stocks, pour satisfaire la demande des clients,
- Limiter les quantités en stock pour éviter les coûts de stockage trop élevés,
- Le gestionnaire doit donc :
 - Connaître en permanences le niveau des stocks pour commander aux bons moments,
 - Optimiser les quantités à la commande.

1.2.4 Avantages et Inconvénients

Il est nécessaire pour toute entreprise d'avoir des produits en stock afin de mieux assurer la continuité de la production. Néanmoins, ce procédé n'a pas que des avantages :

— **Avantages du stock :**

- Réguler le processus de production,
- Se prémunir contre les aléas de livraison (délais trop importants par exemple),
- Prévoir la demande future (avantage concurrentiel),
- Robustesse par rapport à des indisponibilités de ressources de production.

— **Inconvénients du stock :**

- Périssabilité de certains produits,
- Risque de détérioration sur l'aire de stockage,
- Immobilisation de moyens financiers importants,
- Immobilisation de surface,
- Risque de désuétude de certains produits.

1.2.5 La fonction des stocks

Plusieurs raisons peuvent nous pousser à constituer des stocks :

— **Des raisons de sécurité :**

Lorsque les marchés sur lesquels l'entreprise s'approvisionne sont caractérisés par une certaine instabilité, (conflits armés, conditions climatiques variables) il est de l'intérêt de l'entreprise de constituer des réserves (stocks) pour faire face aux imprévus. D'autre part, la demande des clients de l'entreprise est généralement variable. Un stock de sécurité est alors constitué pour faire face à cette variabilité.

— **Des raisons financières :**

Le prix des matières premières est sujet à des fluctuations souvent importantes dues aux variations de l'offre et de la demande.

Lorsque les prix sont bas l'entreprise achète des quantités qui dépassent ses besoins et elle les stocks, pour ne pas être obligée d'en acheter lorsque les prix augmentent de nouveau.

— **Des raisons économiques :**

Plaçons-nous dans la situation d'une unité de production, le lancement de la production entraîne des coûts appelés coûts de lancement : réglage des machines, organisation des équipes. Pour minimiser ces coûts, l'entreprise est amenée à produire la plus grande quantité possible afin d'éviter de supporter ces coûts à chaque fois en produisant de petites quantités. Par contre, cette quantité que l'entreprise produira ne se vendra pas très vite, ce qui l'obligera de la stocker.

En général, l'entreprise a toujours intérêt à produire en grande quantité, car ceci lui permet de répartir les coûts fixes de la production sur un nombre important de produits, d'où la diminution du coût de revient par unité : c'est ce que l'on appelle le phénomène d'économies d'échelle.

— **Raisons techniques :**

Le stockage est parfois indispensable aux différents procédés, comme par exemple, le séchage du bois, l'affinage des fromages ou le vieillissement des vins et spiritueux.

1.2.6 Pourquoi il est nécessaire de bien gérer les stocks ?

Gérer un stock c'est faire en sorte qu'il soit constamment apte à répondre aux demandes des clients, des utilisateurs des articles stockés[28].

Il ne faut pas oublier que la constitution des stocks se fait au détriment des ressources, notamment financière de l'entreprise : le capital investi dans les stocks ne peut plus être utilisé ailleurs. C'est pour cela qu'il faut réaliser un bon compromis entre les bénéfices et les coûts engendrés par les stocks.

1.3 Gestion des stocks

1.3.1 Définition de la gestion des stocks

La gestion de stocks se définit comme l'ensemble des activités se rapportant à la planification, à la constitution, au dénombrement, à l'entreposage des stocks. Elle vise à assurer, de façon optimale, la disponibilité des matières, des composants, des articles dans le but de satisfaire, dans les conditions les plus économiques, les besoins de la production et de la vente[59].

1.3.2 Les activités de la gestion des stocks

La gestion de stocks soulève trois grandes questions [59] :
Quoi commander, quand commander et combien commander ?

— **Quoi commander ?**

Cette question nous ramène au contrôle du niveau des stocks pour chacun des articles. Les activités du gestionnaire s'orientent autour de la recherche, de l'organisation et du traitement d'informations touchant le niveau des stocks et la nature de ceux-ci.

Cette information doit, en principe, être d'une grande précision afin :

- D'éviter les situations de rupture de stocks ou de sur-stockage,
- D'organiser et contrôler l'inventaire périodique .

— **Quand commander ?**

Cette question illustre la problématique décisionnelle entourant la détermination des dates de réapprovisionnement.

Pour déterminer le moment opportun de lancement d'une commande certaines méthodes reposent sur l'utilisation du point de réapprovisionnement :

- Intervalles de réapprovisionnement variables ,
- Intervalles de réapprovisionnement fixes.

Le calcul de ce dernier tient généralement compte de trois facteurs :

- La durée du délai de livraison,
- Le taux moyen de la demande,
- La variabilité de la demande.

— **Combien commander ?**

Cette question s'articule autour de la détermination des quantités à commander et des stocks de sécurité.

Pour ce faire, le gestionnaire détermine, grâce à des méthodes quantitatives ou qualitatives, les quantités qui feront l'objet de la prochaine commande. Elles sont donc fixées sur la base de plusieurs considérations :

- La demande moyenne durant le délai de livraison,
- La quantité optimale devant être maintenue à l'entrepôt,
- Les coûts de maintien en stocks et les coûts de commande.

1.3.3 Les objectifs de la gestion des stocks

— Répondre à la demande :

Avoir du stock permet toujours à l'entreprise de répondre à la demande, le cas contraire, mène celle-ci à la perte d'un chiffre d'affaire considérable.

— Réduire le prix de revient [24] :

Acheter en grandes quantité permet à l'entreprise de bénéficier de remises et d'augmenter le coût de revient mais sous la contrainte du coût de stockage. Par exemple : le risque de mortalité, et le risque de perte de caractéristiques d'un produit.

— Réduire les délais de livraison :

Avoir le produit le plus vite possible (produit saisonnier), et éviter les fluctuations des prix.

1.3.4 Les coûts liés au stock

La minimisation du coût global de stockage est l'un des objectifs prioritaires de nombreuses entreprises, notamment celles dont les stocks de distribution sont par nature élevés. Il est donc indis-

pensable d'étudier avec précision les composantes de ce coût de stockage, et notamment[67] :

- Coût de possession de stock,
- Coût de passation de commande (Coût de lancement),
- Coût d'acquisition,
- Coût de rupture.

— **Coût de possession de stock :**

Le fait de garder des produits en stock nous conduits à assumer des coûts :

- Coûts de construction ou de location des entrepôts de stockage,
- Salaire des gardien et du personnel chargé de gérer les magasins,
- Assurance des produits stockés,
- Dégradation des produits ou leur obsolescence.

Le coût annuel de possession du stock est généralement estimé comme un pourcentage de la valeur moyenne du stock sur l'année.

— **Coût de passation de commande (Coût de lancement) :**

C'est l'ensemble des coûts liés à la passation d'une commande ou d'approvisionnement.

Les coûts annuels de passation de commande ou lancement de fabrication dépend principalement de nombre de commande lancées et lancement annuels.

Pour stocker des produits, il faut d'abord les commander. La commande engendre des coût : préparation de la commande, frais de communication,...

— **Coût d'acquisition :**

C'est l'ensemble des coûts liés à l'acquisition d'un article. Ce coût est composé pour un article acheté du montant des achats plus les différents frais y relatifs.

C'est le prix qu'on paye pour acheter des produits mis en stocks, y compris éventuellement le prix du transport et tous les frais accessoires à l'achat.

— **Coût de rupture :**

C'est l'ensemble de coût attribué à l'absence de l'article demandé entraînant ainsi la non satisfaction d'une commande. Il représente la perte de la clientèle, le remplacement par un article plus cher, l'utilisation de moyen de livraison improvisée pouvant coûter trop cher, la modification de l'ordonnancement.

1.3.5 Graphique en dents de scie

Le graphique en dents de scie montre sous une forme simplifiée comment varie le niveau de stock d'un article.

- Sur la ligne des abscisses on porte le temps,
- Sur les ordonnées figurent l'importance du stock (quantité) ,
- Les segments obliques illustrent les sorties qui diminuent le stock,
- Les segments verticaux représentent les entrées qui renouvellent le stock.

Par souci de simplification, nous avons supposé que les sorties ou consommations sont parfaitement régulières et les délais de livraison parfaitement respecté par les fournisseurs.

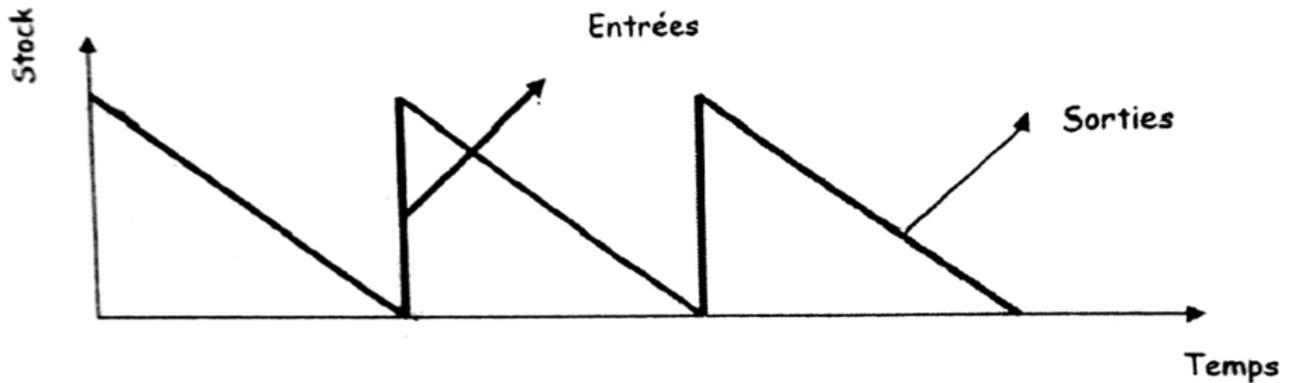


FIGURE 1.2 – Graphique en dents de scie

1.3.6 Le point de commande ou niveau de réapprovisionnement

C'est un niveau de stock (point de commande) qui doit permettre de satisfaire les besoins durant le délais allant de la date de déclenchement de commande à la date de livraison. Le point de commande s'appelle également seuil de commande ou seuil de réapprovisionnement.

Calcul de point de commande :

Le calcul du point de commande implique une parfaite connaissance :

- De la consommation,
- De la production.

La formule est la suivante :

point de commande(P_c) = (Stock d'origine / Délai de consommation) Délai de livraison

1.3.7 Délai d'approvisionnement

C'est le temps qui s'écoule entre le moment où le stock atteint le point de commande et l'arrivée de la commande s'appelle délai d'approvisionnement.

Le délai d'approvisionnement ne comprend pas uniquement le temps que met le fournisseur pour livrer. Il commence dès l'instant où on décide de commander et ne se termine qu'après que la commande ait été reçue, contrôlée et stockée.

Le délai d'approvisionnement est composé de quatre éléments :

- **Le délai de passation de commande :** C'est le temps compris entre le moment où le besoin (Prévission ou commande) devient supérieur aux ressources (Stock) et le moment où la commande est envoyée au fournisseur.
- **Le délai du fournisseur :** C'est le délai nécessaire au fournisseur pour traiter la commande.
- **Le délai de transport :** C'est le temps nécessaire pour acheminer une commande depuis l'usine du fournisseur jusqu'au quai de réception du client.
- **Le délai de réception :** C'est le temps utilisé sur les quais pour décharger les camions, contrôler les pièces et effectuer les réceptions informatiques.

1.3.8 Les outils de gestion des stocks

- **Stock initiale (SI) [57]** : C'est le stock au début d'une période.
- **Stock final (SF) [57]** : C'est le stock à la fin de la période.
- **Stock minimum (S_{min})** : C'est le stock qui correspond aux ventes pendant les délais de livraisons. C'est le niveau le plus bas du stock déclenchant la passation de commande lorsqu'il est atteint. Il permet de couvrir la consommation durant le délai d'approvisionnement.

Exemple :

Un fournisseur demande une semaine de livraison. Si les ventes d'un article sont de 20 unités par semaine, c'est le stock minimum. Si le magasin attend pour commander qu'il en reste 15, il sera en rupture de stock avant la fin de la semaine prévue pour la livraison.

- **Stock maximum (S_{max}) [49]** : C'est le niveau maximal, le plafond de stock à ne pas dépasser pour un article donné.
- **Stock de sécurité (S_s) ou stock tampon** : C'est une quantité de produit à avoir en stock en plus du stock minimum qui permet de faire face à un retard éventuel de livraison ou à des ventes supplémentaires durant ce délai de livraison.

Exemple :

Pour un stock minimum de 20 articles (exemple ci-dessus), un stock de sécurité de 2 articles paraît suffisant.

Lorsque le stock de sécurité différent de 0 Le point de commande = (Stock d'origine / Délai de consommation) Délai de livraison + stock de sécurité

- **Stock d'alerte [49]** : C'est le stock qui déclenche la commande.
C'est le niveau de stock prédéfini par le gestionnaire, supérieur au stock de sécurité qui déclenche le réapprovisionnement.
Il est égale à Stock minimum + Stock de sécurité.
Exemple : (exemple précédent) stock d'alerte = 20 + 2 = 22
- **Stock de couverture** : C'est un indicateur qui mesure selon les sorties quotidiennes et du niveau des stocks, le nombre de jours de consommation auxquels le niveau de stock actuel peut faire face.
La couverture journalière de stock = Valeur moyenne des stocks / Coût des ventes journalier moyen.
- **La périodicité (T)** :

$$T = \frac{12}{N}$$

- **Nombre de commandes (N) :** C'est le nombre de fois ou l'entreprise passe commande pendant une année. Le nombre de consommation dépend de la quantité commandée et de la demande au cours d'une année.

D : La consommation annuelle .

Q_c : La quantité commandé.

$$N = \frac{D}{Q_c}$$

- **Le taux de rupture :** Il y a différentes façon de mesurer le taux de rupture.

La mesure la plus simple est le pourcentage du nombre de demandes non satisfaites immédiatement à partir du stock par rapport au nombre de demandes à satisfaire. Le complément du taux de rupture est le taux de service, qui est la proportion de la demande qui est satisfaite sans rupture.

Si sur 100 lignes, 10 n'ont pas été livrées à temps, le taux de rupture sera de 10%.

Représentation graphique :

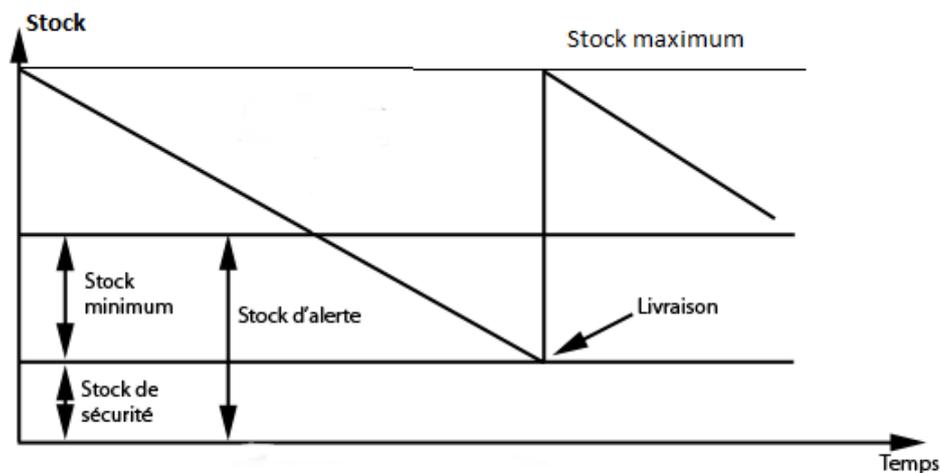


FIGURE 1.3 – Les niveaux de stock

1.3.9 Rotation des stocks

Le coefficient de rotation des stock

Détermine le nombre de fois ou le stock est complètement renouveler pour réaliser un chiffre d'affaire donné dans une période donné.

Dans le commerce l'expression "mon stock tourné 3,4,5 fois" dans telle ou telle période est très utilisé.

Le coefficient de rotation des stock(CR) = Achat en quantité ou en valeur / Stock moyen en quantité ou en valeur.

La durée de rotation des stocks

La durée de rotation des stocks ou couverture de stock se mesure en jour. C'est un indicateur très important pour le point de vente. Il permet de savoir combien de jour il faut pour renouveler le stock moyen. C'est la vitesse d'écoulement du stock moyen.

L'objectif de tout point de vente est de baisser au maximum la durée de rotation des stocks car garder longtemps des produits en stock coûte cher.

Le calcul est le suivant :

La durée de rotation des stocks = Durée de la période / Coefficient de rotation

- Si la période de référence est un an, la formule est : 360 jours / coefficient de rotation,
- Si la période de référence est un mois, la formule est : 30 jours / coefficient de rotation.

1.3.10 Stock tournant

Le stock qui varie entre le maximum et le minimum est dit stock tournant ou stock actif (S_{tr}). Comme son nom l'indique, c'est un stock qui tourne. Il est destiné à faire faces aux sorties prévues.

Stock tournant moyen

Au cours d'une période le niveau du stock varie. On peut déterminer une quantité moyenne en stock relative à cette période : le stock moyen.

$$S_{tm} = (\text{stock initial} + \text{stock final}) / 2.$$

Ici le stock initial est égal à Q_c , le stock final est égal à zéro (0). D'où

$$S_{tm} = \frac{Q_c}{2}$$

- Pour une année comportant plusieurs périodes, quand les Q_c sont fixes le stock moyen sera bien égale à, $\frac{Q_c}{2}$.
- Pour une année comportant plusieurs périodes différentes et que les quantités sont variées le stock moyen est égale à :

$$S_{tm_i} = \frac{\sum S_{tm_i} \cdot T_i}{\sum T_i}$$

S_{tm_i} : Le stock total moyen de la période.

T_i : Période correspondante.

Les coûts induits par la possession du stock (immobilisation d'argent, magasinage) ne pourront être estimés qu'à partir du stock moyen.

Si on veut réduire ces coûts il y a lieu de réduire ce stock moyen.

Comment ? En réduisant les quantités commandées.

Or, en diminuant ces Q_c on est obligé d'augmenter le nombre de commandes pour satisfaire un niveau de consommation annuel donné que la demande est égale à :

$$D = \text{Quantité commandé} \times \text{Nombre de commande.}$$

1.4 La méthode ABC pour l'analyse des stocks

Dans les espaces de stockage souvent un nombre d'article très important à gérer. Les ressources affectées à la tâche de gestion des stocks et des approvisionnement ne sont pas limitées. C'est pour cette raison qu'il faudra appliquer des méthodes de gestion de stock différents selon l'importance des articles.

Comment définir qu'un article est important ? On pourrait citer différents critères :

- Difficulté d'approvisionnement (délai, rareté des fournisseurs ,...),
- Place occupée dans les magasins de stockage,
- Quantités consommées annuellement,
- Prix des articles.

Pour avoir une fine gestion des stocks, les entreprises retiennent fréquemment une méthode simple de classement des composants et des produits ; il s'agit de la méthode ABC, issue de la loi des 20 – 80, ou loi de Pareto.

La loi ou le principe de Pareto ne date pas d'hier. Elle (II) a été élaborée par l'économiste italien Vilfredo Pareto à la fin du 19^{ème} siècle. C'est un principe de probabilité qui s'applique à un grand nombre de domaines.

Dans le domaine de gestion des stocks, (20 %) de composants assurent (80%) de la valeur du stock. Au cours des années un autre économiste, Juran, a remarqué que le principe (20/80) permet seulement de séparer les composants en deux parties : et en réalité, il existe trois parties telles que la troisième est un résidu qui prend place entre les composants prioritaires et les articles secondaires. Et c'est ce qui s'appelle la méthode de classement ABC[51].

La méthode ABC (ou diagramme de pareto) [1]

La méthode ABC propose de retenir le critère de la valeur annuelle consommée pour classer les articles.

Ce critère permet de prendre en compte à la fois le prix des articles et la quantité consommée. On constate souvent que 20% des articles représentent 80% de la valeur consommée, c'est la fameuse règle des 20 – 80.

Même si ces pourcentages ne sont pas strictement respectés, l'idée est que tous les articles n'ont pas la même importance financière et ne doivent donc pas être gérés de la même manière.

La méthode ABC propose donc de ranger les articles dans 3 classes :

- les articles A 75% de la valeur consommée pour 10% des articles (Articles prioritaires),
- les articles B 20% de la valeur consommée pour 25% des articles (Articles secondaires),
- les Articles C 5% de la valeur consommée pour 65% des articles (Articles résidus).

Remarques :

- Bien sûr, ces pourcentages fluctuent légèrement selon les entreprises,
- Il est possible de mener une analyse plus fine (ABCDEF...),
- Le même type d'analyse peut être mené sur d'autres critères (surface occupée, délai de péremption, etc).

Les étapes de la méthode

1. Calcul de la consommation annuelle par article (en valeur),
2. Classement des articles dans l'ordre des valeurs décroissantes,
3. Calculs du pourcentage par rapport au total, et du pourcentage cumulé,
4. Définition des tranches A, B, C,
5. Représentation graphique (éventuellement).

La représentation graphique

Elle permet d'avoir une représentation visuelle des trois tranches A, B, C.

On porte :

En abscisse : Le nombre d'articles,

En ordonnée : La valeur totale consommée.

On obtient pour la courbe l'allure suivante :

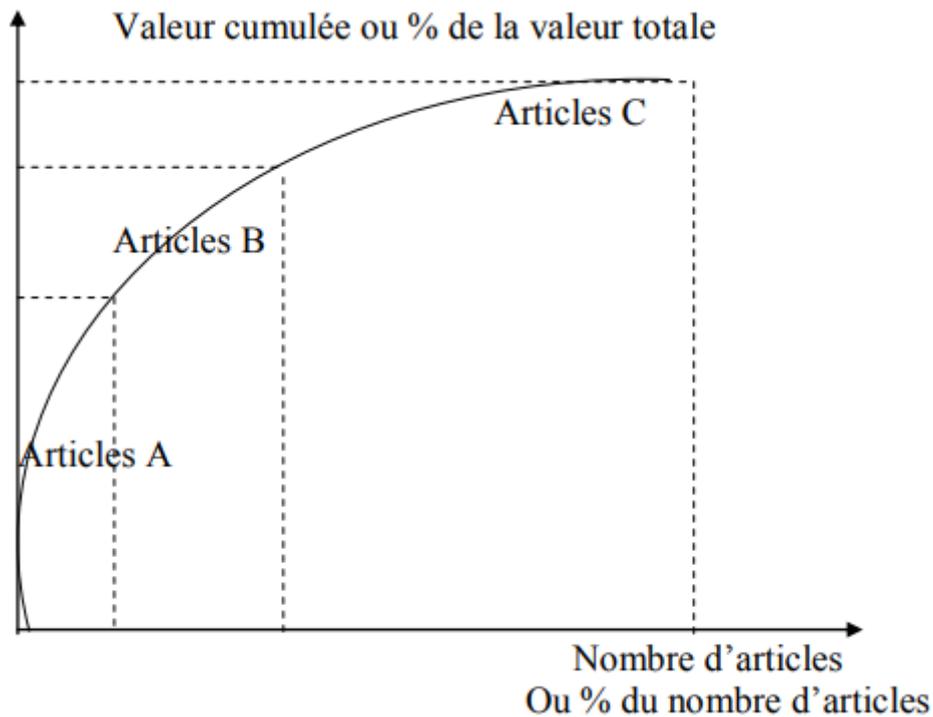


FIGURE 1.4 – Courbe ABC

1.5 La gestion des approvisionnements

La gestion d'approvisionnement au sein d'une entreprise est une composante centrale de son activité. Lorsqu'elle est performante, elle limite le surstockage et encourage la rentabilité de la société dans son ensemble. Plusieurs méthodes existent, la meilleure est celle qui tient compte des spécificités du secteur d'activité de la société et de ses besoins.

1.5.1 Définition

La politique d'approvisionnement est un ensemble d'actions prises par l'entreprise en vue de se doter de biens ou de services. Cette politique peut être interne (cas des produits fabriqués au sein de l'entreprise) ou bien externe (achats et commandes auprès des fournisseurs). Elle est aussi conditionnée par un certain nombre de données ou de choix qui représentent pour le gestionnaire des contraintes à gérer :

- Que faut-il commander ?
- A qui faut-il commander ?
- Comment faut-il commander ?
- Comment stocker les biens commandés ?

La fonction approvisionnement est en tête de la production dans le cycle d'exploitation de l'entreprise. La nature des approvisionnements est très diversifiée : matières premières, pièces de rechange, matières consommables, emballage, marchandise, mais aussi énergie, sous-traitance, transport, investissements...

L'approvisionnement a pour but de répondre aux besoins de l'entreprise en matière de produit ou de service nécessaire à son fonctionnement. Il consiste à procurer au bon moment et au meilleur prix, les quantités nécessaires de produit de qualité à des fournisseurs qui respecteront les délais.

1.5.2 Les objectifs de l'approvisionnement

La mission essentielle de l'approvisionnement est de fournir des unités de production des biens en qualités et en quantité suffisante, cela se fait selon les objectifs suivants :

— **Objectif de fonctionnement :**

Le service achat doit mettre à la disposition du service production des quantités de matières suffisantes pour son bon fonctionnement afin d'éviter tout arrêt ou ralentissement de la fabrication dans la mesure où toute rupture de stock implique une perte des clients ou un retard dans le programme de production.

— **Objectif de qualité :**

La qualité est une condition importante pour la réussite d'un produit. Le choix du produit et de fournisseur de qualité assure une sécurité indispensable pour l'entreprise. Par un tel choix, l'entreprise réduit les coûts inutiles.

— **Objectif de coût :**

Réduire les coûts d'achat et les coûts de stockage.

1.5.3 Les processus traditionnels d'approvisionnement

— **Calcul de besoin :**

S'approvisionner relève d'un constat, chaque fois qu'il y a un manque de matières, fournitures, marchandises. La détermination de ces besoins dans tous les services de l'entreprise permet d'établir des programmes d'approvisionnement : les achats à effectuer, les délais de livraison, les prix...

— **Choix de fournisseur :**

Lorsque les besoins sont déterminés, l'entreprise passe à la prise de décision d'achat et pour cela elle est obligée de consulter plusieurs fournisseurs et de choisir le fournisseur le plus avantageux.

Les fournisseurs sont généralement sélectionnés sur les critères suivants :

- Le prix,
- La qualité,
- Délai de livraison,
- Le mode et les conditions de paiement ,
- La réputation.

— **La commande :**

Sur le plan de traitement administratif une opération d'achat entraîne l'exécution d'un certain nombre de travaux et la création d'un certain nombre de documents.

- La demande d'achat : c'est document émis par le service demandeur(le magasin),
- La commande : elle est rédigée par les services achats aux fournisseurs par le biais d'un bon de commande, ou bulletin de commande,
- La réception et le contrôle : une fois passé, la commande doit être suivie : les libellés de livraison sont surveillés.

Après le contrôle, ils seront stockés au magasin ce qui posera le problème de l'importance de leur gestion.

1.5.4 Politique d'approvisionnement

A fin de définir une politique d'approvisionnement il faut répondre aux trois questions :

- QUOI? : (quel article)?
- COMBIEN? : quantité d'articles ou de produits.
- QUAND? : la période de réapprovisionnement.

La demande Q :

C'est la quantité de marchandise consommée par le client utilisée par l'entreprise .

La période T :

La période dépend de délais de livraison et de la consommation moyen par unité de temps . c'est deux paramètres "Q , T" peuvent être constants ou variables.

Suivant ces deux paramètres il est possible de définir 4 politiques d'approvisionnement du stock :

Quantité	Fixe	Fixe	Variable	Variable
Période	Fixe	Variable	Fixe	Variable
Nom de la méthode	Réapprovisionnement fixe	Point de commande	Recomplètement périodique	Achats opportunistes

TABLE 1.1 – Les quatre politiques d'approvisionnement du stock

Approvisionnement à quantité et période fixes

On commande la même quantité "Q" chaque unité de temps "T". Bien que ce soit des méthodes les plus simples, si la consommation n'est pas régulière, le risque de sur-stock ou de ruptures est important. Cette méthode s'applique aux produits de classe "C" dans la consommation est régulière.

— **Avantages :**

- Simplicité de la gestion des stocks,
- Gains d'échelle négociables par les acheteurs.

— **Inconvénients :**

- Si la quantité de réapprovisionnement est mal calculée ou si la consommation n'est pas régulière, il y a risque "d'inflation" ou de rupture de stock,
- Les livraisons urgentes ou hors contrat, peuvent être très coûteuses (recours au fret aérien, lancement spécial chez le fournisseur.

Approvisionnement à quantité fixe et période variable

On commande la même quantité Q chaque fois que le niveau du stock atteint le point de commande, il est défini comme le niveau de stock nécessaire pour couvrir les besoins durant le délai de livraison. Cette méthode est utilisée pour les articles de classe A ou B .

Un choix optimale du point de commande et de la quantité permet de minimiser les coûts de gestion.

— **Avantages :**

- Permet d'éviter les ruptures de stocks,
- Adapté à une consommation partiellement irrégulière.

— **Inconvénients :**

- Impose un suivi permanent des stocks pouvant entraîner des administratifs importants,
- Peut encourager à faire des stocks de sécurité.

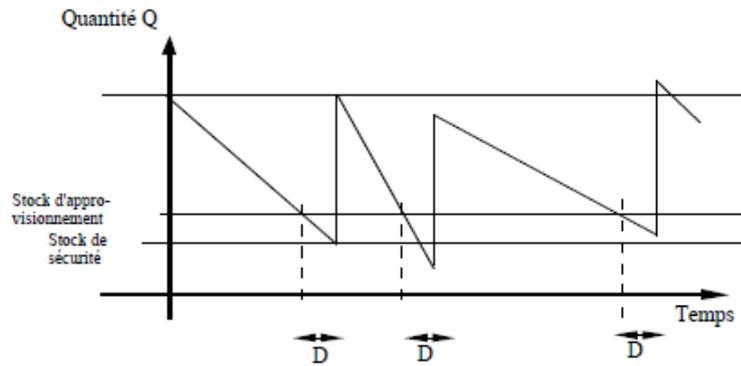


FIGURE 1.5 – Approvisionnement à quantité fixe et période variable

Approvisionnement à quantité variable et période fixe

On définit pour chaque produit un niveau de stock optimum, à période fixe, le fournisseur analyse le stock de son client et reconstitue ce stock d'une quantité permettant d'atteindre le niveau voulu. Cette méthode est simple à mettre en œuvre mais elle ne permet pas d'éviter les ruptures.

Cette méthode s'applique à des produits :

- Dont la consommation est régulière,
- Coûteux, périssables ou encombrants.

— **Avantages :**

- Gestion des stocks simple,
- Immobilisation financière faible ou maîtrisée.

— **Inconvénients :**

- Possibilité de rupture de stock.

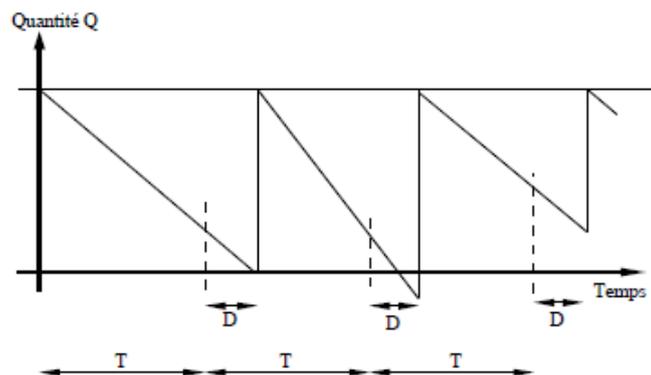


FIGURE 1.6 – Approvisionnement à quantité variable et période fixe

Approvisionnement à période et quantité variables

On commande ce que l'on veut et quand on veut. Cette méthode est principalement utilisée pour les articles de la classe A, dont les prix varient fortement au la disponibilité.

— **Avantages :**

- Permet, éventuellement, de profiter de tarifs très intéressants

— **Inconvénients :**

- Il faut faire un suivi permanent des coûts du marché pour effectuer les achats les plus intéressants,
- Il ne peut être utilisé que pour un nombre réduit d'articles sinon l'entreprise risque de se fragiliser,
- Il peut favoriser la spéculation.

1.6 Conclusion

Le succès d'une organisation est déterminé entre autres, par sa capacité de proposer le bon produit (ou service) au bon moment et au bon endroit. Un stockage intelligent contribue de manière décisive à cet objectif stratégique.

Une production sans stock est quasi inconcevable vu les nombreuses fonctions que remplissent les stocks.

La théorie de la chaîne logistique

"Un client qui n'a qu'un seul fournisseur cesse d'être intelligent. L'absence de concurrence conduit à une perte de substance phénoménale"

François Michelin, (1926-2015)

2.1 Introduction

En raison de l'évolution des conditions commerciales, le monde économique actuel s'enrichit d'entreprises qui ont placé la logistique et la gestion de la chaîne d'approvisionnement au cœur de leurs activités industrielles. Aujourd'hui, la logistique est devenue une fonction essentielle de l'entreprise si elle veut rester compétitive, car c'est la connaissance et la maîtrise de la logistique qui détermineront sa performance. Pour être plus efficace, le système logistique doit chercher à intégrer tous ces acteurs[3]. Et pour cela, le concept de *supply chain* est né.

La chaîne logistique joue un rôle clé dans le fonctionnement de l'entreprise, qui commence du fournisseur et se termine au client, tout en passant par la fabrication et le stockage des produits en amont et en aval, pour permettre à la concurrence de le faire. Chaque entreprise a donc intérêt à contrôler ce processus afin de disposer de toutes les informations nécessaires à la concurrence et de préserver ses positions sur le marché.

Nous avons donc commencé ce chapitre par un bref historique de la logistique et l'avons ensuite divisé en trois parties, dont la première est consacrée à la présentation des concepts de base de la logistique. Dans la deuxième partie, nous avons présenté la chaîne logistique et à la fin, dans la dernière partie, nous nous concentrerons sur l'approvisionnement dans la chaîne logistique.

2.2 Aperçus sur l'historique de logistique

La logistique a toujours été un élément essentiel dans l'act de guerre, elle en simplifie les déplacement, assure l'approvisionnement et le transport de blessés.

D'après Larousse le mot « logistique » est soustraire de mot latin « logisticus » (grec = logistikos) qui est relatif à l'art du raisonnement.

L'institution militaire a utilisé ce terme pour définir l'activité qui réussit à combiner deux facteurs nécessaires dans la gestion des flux : l'espace et le temps. Donc la logistique a été un sujet de réflexion intensif pour les grands chefs militaires.

Alexandre le grand, comme Jules César puis Napoléon, ont organisé la logistique en lui donnant une certaine forme d'autonomie. Sous Alexandre, le général Parménion avait le commandement d'un corps logistique chargé des activités de soutien ; appartenant à l'état-major, il participait à l'élaboration des plans de bataille. Jules César est connu pour avoir créé la fonction *logista* à la tête de laquelle un officier devait organiser les campements précédant les mouvements des légions, et prévoir les dépôts d'approvisionnement en territoire soumis.

En fin, Napoléon a créé le train d'artillerie en 1800, le train du génie et le train des équipages en 1807 face à la taille croissante de l'armée napoléonienne, aux exigences de très forte mobilité imposée par l'empereur et à l'éloignement des champs de batailles, les compagnies civiles privées ne furent plus jugées assez efficaces. Ainsi, toutes les opérations de transports militaires sont maintenant effectuées par des militaires. En utilisant quelques expressions à la mode, on pourrait dire que l'activité de soutien non stratégique assurée par des prestataires extérieurs devient stratégique et intégrée ces changements d'organisation logistique au sein des armées préfigurent de l'évolution qui sera plus tard constatée au sein des entreprises.

L'apparition de la pensée logistique en entreprise

Les premières références en matière de logistique ont été recensées au début du XX^e siècle mais ce n'est qu'au milieu des années 70 aux États-Unis et au début des années 80 en Europe que la logistique a été intégrée.

Le premier développement des articles de logistique a été réalisé dans les années 1960 et au début des années 1970, elle est devenue un outil généralisé, c'est-à-dire qu'elle a traversé le domaine de l'économie puis de l'entreprise, pour être à ce jour, un véritable concept de gestion d'entreprise [54].

2.3 Logistique

On cite souvent la définition d'origine militaire : "**La logistique consiste à apporter ce qu'il faut et quant il faut**" [60]

C'est l'ensemble des méthodes et moyens relatifs à l'organisation d'une entreprise comprenant les manutentions, les transports, les conditionnements et les approvisionnements.

D'autre part on peut définir la logistique comme un ensemble des activités et des méthodes qui ont pour objet de gérer les flux physiques d'une organisation, mettant ainsi à disposition des ressources correspondant aux besoins, aux conditions économiques et pour une qualité de service déterminée dans des conditions de sécurité et de sûreté satisfaisantes[9].

2.3.1 Les Types de la logistique

Aujourd'hui, elle prend en considération la plupart des cycles de vie d'un produit ou d'un service. Il existe plusieurs types de logistiques[66] :

- **Logistique d'approvisionnement** : utilisé pour fournir l'inventaire de l'entreprise et les matières premières, pièces et composants nécessaires à la production en usine.
- **Logistique de production** : qui consiste à rendre disponibles les matériaux et les composants nécessaires à la production au pied des lignes de production.
- **Logistique de distribution** : qui consiste à acheminer vers le client final ou le consommateur les produits dont il a besoin.
- **Logistique militaire** : qui a pour objectif de transporter sur un théâtre d'opérations les forces et les ressources nécessaires pour assurer leur mise en œuvre opérationnelle et maintenir leur soutien.
- **Rétro-logistique** : qui consiste à reprendre des produits dont le client ne veut pas ou qu'il veut faire réparer, ou encore des produits à traiter en déchets industriels.

2.3.2 Les enjeux de logistique

La logistique est une fonction charnière. Tout problème dans la préparation, l'expédition ou toute autre activité sur l'entrepôt entraîne des dysfonctionnements dans l'approvisionnement des clients[9].

2.3.3 L'intérêt de la logistique

La logistique est importante pour tous les acteurs de l'entreprise car elle influence son activité, c'est, dans la plupart des entreprises, une fonction transversale qui concerne l'ensemble des services et permet de les lier le plus efficacement possible[61].

La logistique est un véritable outil de compétitivité qui a pour but d'améliorer la coordination des services de l'entreprise et de les mobiliser pour poursuivre un objectif commun : la satisfaction des clients. Dans certains secteurs d'activité, la logistique peut constituer un avantage concurrentiel.

L'objectif de la logistique en entreprise porte à la fois sur du court terme (optimisation des flux physiques quotidiens) et sur du moyen à long terme (mise en place de plans d'actions pour optimiser les paramètres de production et de stockage).

2.4 La chaîne logistique

La chaîne logistique peut être considérée comme un ensemble d'activités en réseaux dont l'exécution est corrélée par les flux qu'elles échangent, visant à satisfaire au mieux les besoins exprimés par un ensemble de clients.

Une chaîne logistique peut être vue comme un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client.

Elle peut être modélisée par ces processus :

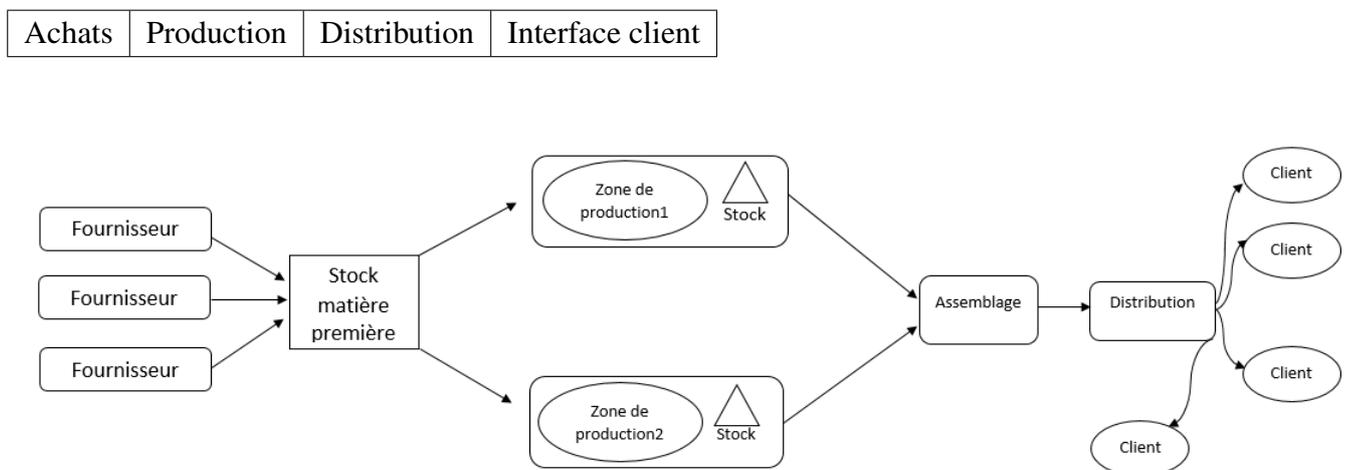


FIGURE 2.1 – Présentation d'une chaîne logistique

2.4.1 Activités d'une chaîne logistique :

Parmi les principales fonctions des chaînes logistiques, nous distinguons [26] :

— L'approvisionnement :

Le but de l'approvisionnement est de répondre aux besoins de l'entité produits ou services. L'objectif est de pouvoir fournir des ressources (entrepôt, fabrication, client) au meilleur moment au meilleur prix tout en s'assurant de la qualité afin de réduire les déchets. Le problème le plus répandu lié à cette activité [38, 30].

— **La production :**

La production est une activité qui représente le développement des connaissances de l'entreprise ou convertir des matériaux en produits ou services. Pour cela, l'entreprise combine différents facteurs afin de créer de la valeur. Le processus de production passe généralement grâce à un ensemble ordonné de tâches tout en répondant à l'évolution des besoins clients.

— **Le stockage :**

Un stock est généralement constitué de l'ensemble des besoins susceptibles d'être utilisés dans l'activité de production. Il est partagé entre les différents liens qui composent le lien chaîne d'approvisionnement. Le but est d'assurer une réponse aux fluctuations des besoins de clients sur le marché en essayant d'ajuster les flux de livraison et de consommation pour minimiser des coûts qui leur sont rattachés. La problématique de gestion est extrêmement importante pour les entreprises.

— **La distribution et le transport :**

La distribution a lieu à tous les niveaux de la chaîne logistique, englobant les entrepôts, les centres de distribution, les magasins, etc.

Cette activité se fait au moyen de ressources ou moyens de transport qui transportent les commandes d'un fournisseur à un client.

Le problème de transport consiste par exemple à trouver le meilleur chemin possible pour assurer la livraison entre plusieurs points de collecte et aussi de sélectionner les meilleurs modes de transport ainsi que de déterminer les quantités optimales des produits en minimisant le coût de transport.

— **La vente :**

Les opérations de vente sont souvent associées à d'autres fonctions de la chaîne d'approvisionnement. En étant l'activité ultime de ce processus, une bonne optimisation de tout l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement se répercutera sur le bon déroulement des ventes en raison de la qualité du produit ou du service qui est mis en disposition des commerciaux qui vont se trouver dans une situation confortable vis à vis de la clientèle en proposant des prix attractifs et un service personnalisé.

2.4.2 Les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques

Parmi les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques nous pouvons citer[26] :

- La logistique de production,
- La logistique de soutien,
- La logistique de service,
- La logistique inverse,
- La logistique d'approvisionnement.

Dans cette thèse nous nous positionnerons dans le cas de la logistique d'approvisionnement en favorisant les échanges entre différents fournisseurs d'un réseau logistique et leurs clients.

2.4.3 Chaînes logistiques et flux associés

Un schéma classique d'une chaîne d'approvisionnement est donné par la figure ci-dessous. Différentes entités peuvent être distinguées. L'ensemble des fournisseurs, les usines, les centres de distribution et enfin les clients constituent des maillons d'une même chaîne d'approvisionnement.

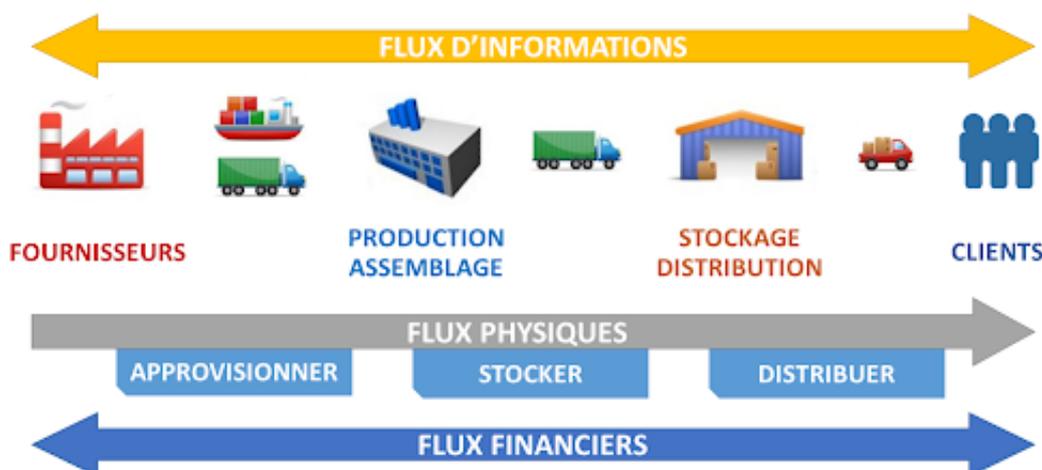


FIGURE 2.2 – Un exemple d'architecture d'une chaîne logistique

Cela dit, nous distinguons trois types de flux. La fonction logistique gère directement les flux matières (physiques), et indirectement les flux immatériels associés : flux d'informations et flux financiers. Pour résumer[26] :

- **Le flux physique** : est constitué des flux matériels (achat de matières premières, transformation des matières premières en produit, livraison des produits.)
- **Le flux d'information** : est composé de flux de données qui circulent dans les deux sens dans le but d'aider dans la prise de décision et afin de coordonner les activités et prévoir les demandes futures.
- **Le flux financier** : présente les échanges en termes de valeur monétaire entre les entités de la chaîne logistique.

2.4.4 Les types d'architecture au niveau des chaînes logistiques

Une chaîne logistique présente une interaction entre différents maillons qui travaillent ensemble en gérant les différents flux. Néanmoins dans les stratégies ou dans les objectifs peut déformer ce schéma classique pour laisser place à différents types de structures.

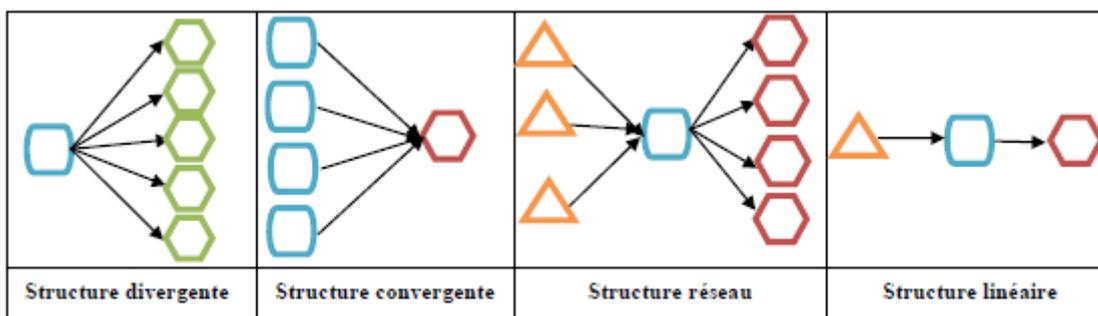


FIGURE 2.3 – Différentes structures au niveau des chaînes logistiques

Une structure convergente présente une chaîne où un client est alimenté par plusieurs fournisseurs. Le cas contraire, une structure divergente est une chaîne caractérisée par l'approvisionnement de plusieurs clients via un seul fournisseur. La combinaison entre ces deux structures constitue en réseau. Bien que l'utilisation de la structure linéaire reste limitée et concerne que des champs d'application précis, il est possible qu'une chaîne d'approvisionnement soit composée d'un fournisseur, d'une usine et d'un client[26].

2.4.5 Le rôle de la chaîne logistique

C'est un rôle central et essentiel. Il s'agit d'assurer le meilleur traitement possible des marchandises ainsi que l'optimisation du stockage, du transport et de la distribution aux clients.

2.4.6 L'objectif de la chaîne logistique

Maximiser la création de la valeur totale [66] :

- Valeur de la chaîne est définie par la différence entre la valeur du produit pour un client et les coûts déployés dans la chaîne pour satisfaire la demande du client.
- Cette valeur est corrélée avec la profitabilité de la chaîne logistique. Soit la différence entre le revenu et les coûts de la chaîne.

2.5 Supply chain management

Le terme « Gestion de la chaîne logistique » (Supply Chain Management) fut introduit en 1982. En effet, depuis les années 90, l'engouement pour le concept de la gestion des chaînes logistiques résulte du fait de la mondialisation de l'activité d'approvisionnement, de l'importance de la concurrence ainsi que de la croissance de l'incertitude liée aux changements fréquents des consommateurs[52].

Le supply chain management est devenu un thème très courant. Le moteur de recherche Google peut trouver plus de 25 millions de pages contenant le thème supply chain management. Tous les grands groupes industriels mis en place une fonction supply chain management. Mais quelle est la définition de supply chain management ?

2.5.1 Supply chain management

Supply chain management définit l'ensemble des ressources, moyens, méthodes, outils et techniques destiné à piloter le plus efficacement possible la chaîne d'approvisionnement depuis fournisseur jusqu'au client final.

2.6 Les objectifs de la supply chain management

La supply chain management a pour but d'améliorer la gestion administrative et de réduire ainsi un nombre d'erreurs important. L'entreprise vise différents objectifs lorsqu'elle décide de passer en gestion de la chaîne d'approvisionnement globale. La gestion en supply chain permet d'atteindre des objectifs tels que[42] :

- Le passage du flux poussé au flux tiré . Cela permet de réduire les stocks et surtout d'éviter la surproduction. Le produit ne va plus être fabriqué pour ensuite peut-être vendu mais la production va dépendre des commandes clients, cela va limiter les stocks et ainsi être plus proche des besoins des consommateurs.
- L'amélioration de la traçabilité. Par la gestion en supply chain l'entreprise dispose d'une meilleure visibilité sur la production grâce à l'étroite collaboration qui s'installe entre les acteurs. De même, il est plus facile de suivre le processus de production et de connaître l'endroit exact où se trouve le bien fabriqué,
- L'amélioration de l'exécution de la commande. Le consommateur aura tendance à avoir son produit plus rapidement car selon le délai de fabrication, l'entreprise mettra en place un système qui évitera de faire trop attendre le client. Ce dernier sera alors livré plus rapidement et ainsi il sera généralement plus satisfait .

2.7 Structuration des niveaux de décision des chaînes logistiques

Trois niveaux sont relatifs à la prise de décision pour les différentes activités dans une chaîne logistique.

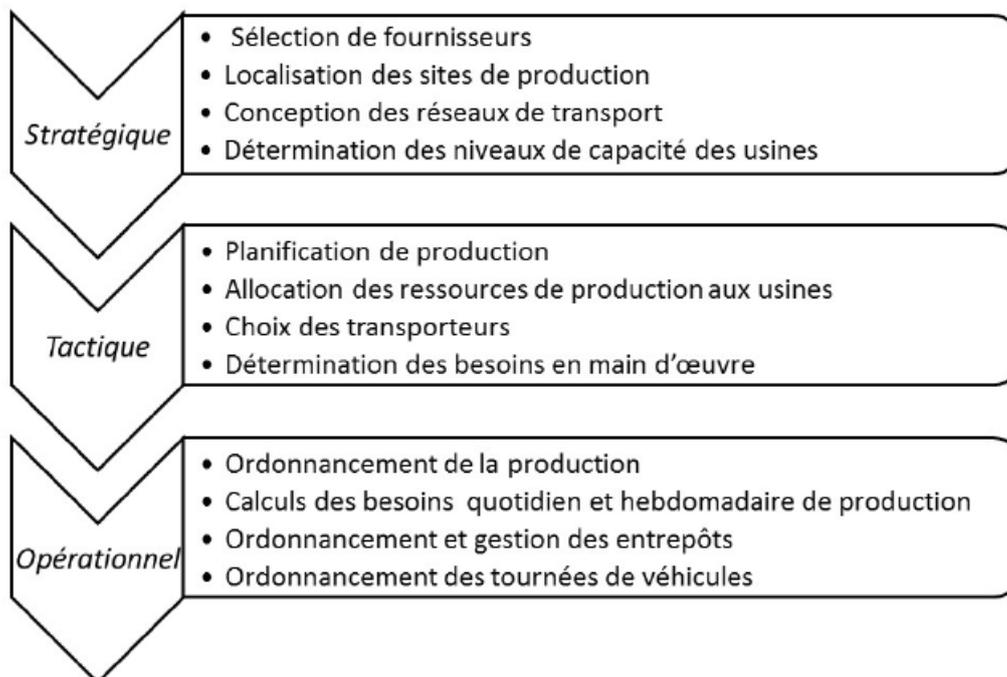


FIGURE 2.4 – Les différents niveaux de décision

Le niveau stratégique englobe des décisions prises pour le long terme, généralement entre 4 et 5 années. À un niveau plus bas, **les décisions** sont prises à moyen terme à un intervalle de temps qui peut aller de 6 mois à 2 ans. Enfin, **le niveau opérationnel** concerne les décisions les plus urgentes à traiter en termes de temps et sont le plus souvent exécutées dans la semaine voire la journée.

La figure ci dessus met en évidence ces trois phases en évoquant à chaque fois quelques problématiques de chaînes logistiques aux quels les décideurs sont confrontés[37].

2.7.1 La vente par internet « e – Procurement »

Le soutien électronique des chaînes d'approvisionnement internes pour les biens directs ou de production a été un élément majeur lors de la mise en œuvre des systèmes de planification des ressources de l'entreprise qui a eu lieu depuis la fin des années 1980.

Toutefois, les chaînes d'approvisionnement des fournisseurs indirects de matières n'étaient généralement pas incluses en raison des faibles volumes de transactions, de la faible valeur des produits et de la faible importance stratégique de ces biens. Des systèmes d'information dédiés à la rationalisation des chaînes d'approvisionnement en biens indirects sont apparus depuis la fin des années 1990 et ont ensuite connu une large diffusion dans la pratique. Le concept de ces solutions d'achats électroniques a également été décrit de manière générale dans la littérature.

Toutefois, les études sur la manière dont les entreprises utilisent ces solutions d'achats en ligne et sur les facteurs essentiels à leur mise en œuvre ne font qu'émerger. Cette recherche vise à explorer l'introduction des systèmes d'achats électroniques et leur contribution à la gestion de la chaîne d'approvisionnement indirecte des biens[62].

2.8 Gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile

La flexibilité a fait l'objet de plusieurs recherches dans les systèmes manufacturiers [48] mais lors des dernières années, les chercheurs se sont intéressés de plus en plus à ce concept au niveau de la chaîne logistique. De ce fait, plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature :

La flexibilité de la chaîne logistique est une propriété qui concerne la capacité de changer rapidement, structurellement et d'une façon fonctionnelle en réponse à un changement au niveau du comportement et de la structure du réseau logistique[46].

Afin de garantir la flexibilité de la chaîne logistique, deux stratégies ont été distinguées dans cet article [41] :

- La flexibilité du vendeur (fournisseur),
- La flexibilité d'approvisionnement.

Ces deux derniers éléments forment ensemble les éléments de la flexibilité interne qui vont déterminer par la suite la flexibilité externe. En d'autres termes, les spécificités qu'on trouve chez chaque vendeur au niveau de la production, du stockage et du transport, par exemple, vont assurer une flexibilité au niveau des produits (au cours et à la fin de la production), des dates de livraison et de couverture géographique pour différents clients.

Gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile

Le dynamisme de la chaîne d'approvisionnement est présenté par **Ivanov et Sokolov** [45] en tant que des entités directement liés. Selon eux, la synergie entre les différents acteurs et ressources d'une chaîne logistique permet une exécution dynamique et ce en suivant des horizons temporels différents[44]. Plusieurs caractéristiques ont été mises en évidence pour décrire une chaîne d'approvisionnement dynamique. Parmi elle nous citons :

- Le processus d'exécution de la chaîne d'approvisionnement n'est ni stationnaire ni linéaire,
- On ne dispose d'aucune information « *apriori* » sur de nombreux paramètres de la chaîne d'approvisionnement.

2.9 Approvisionnement dans les chaînes logistiques

Le problème de la sélection des fournisseurs est l'une des décisions stratégiques qui ont un impact significatif sur la performance de la chaîne d'approvisionnement. La question de la sélection des fournisseurs est généralement très complexe, car divers critères incontrôlables et imprévisibles affecteront le processus d'évaluation et de prise de décision.

2.9.1 Problème de sélection de fournisseurs :

Parmi les différents travaux qui s'intéressent à la modification de la structure de la chaîne logistique, le problème de la sélection des fournisseurs apparaît comme l'un des problèmes les plus fréquents d'ordre stratégique. Ce problème résulte essentiellement de l'activité d'achat au niveau de l'entreprise qui essaye d'acquérir un bien ou un service avec un coût minimum pour offrir au client un produit de qualité.

Il existe deux points de vue concernant la décision d'achat[5] :

- La plus importante décision d'achat est de maintenir une relation étroite avec un nombre réduit de fournisseurs qui offrent la meilleure qualité dans l'objectif de réduire les coûts et proposer au client le meilleur produit ou service.
- Il y a un besoin imminent d'approches systématiques pour la décision d'achat pour l'identification des meilleurs fournisseurs et la commande des quantités adéquates auprès de chacun d'eux.

Il existe trois grandes décisions liées au problème de sélection de fournisseurs :

- **Quel(s) produit(s) ?** Généralement les fournisseurs sont sélectionnés pour l'acquisition d'un seul produit. Dans ce cas, diverses interdépendances qui pourraient exister entre les différents produits ne sont pas prises en compte. Par exemple, la possibilité d'un rabais basé sur le volume total des ventes, quel que soit le produit commandé. Seulement quelques modèles traitent l'achat simultané de produits. Ces modèles doivent respecter un processus itératif pour sélectionner des fournisseurs[47].
- **Quel(s) fournisseur(s) et quelle quantité ?** Au-delà de l'aspect mono « sourcing » ou multi « sourcing », la plupart des modèles proposés estiment que tous les paramètres du problème sont connus avec certitude. Les modèles qui incorporent l'incertitude ou encore la volatilité des paramètres, surtout dans les prix, ne sont pas largement étudiés[21].
- **Quelle(s) période(s) ?** Les approches développées pour modéliser la sélection des fournisseurs peuvent être classées comme les modèles à période unique où on ne considère pas la gestion des stocks et les modèles à plusieurs périodes qui considèrent le problème de la gestion des stocks en déterminant une politique d'approvisionnement, telle que la quantité de commande économique, tout en sélectionnant les fournisseurs[22].

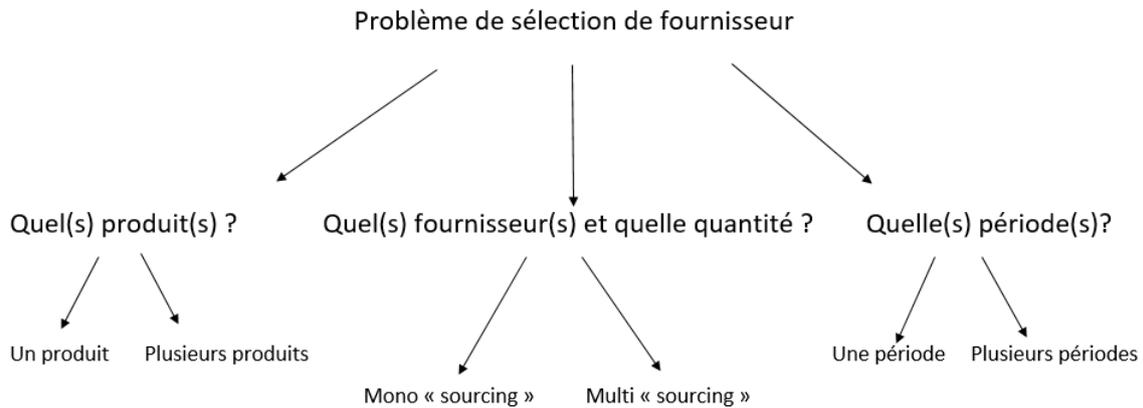


FIGURE 2.5 – Le problème de sélection de fournisseurs

Les critères pour la sélection de fournisseurs

Le choix des critères est une étape incontournable pour la sélection des fournisseurs. Plusieurs recherches ont été menées pour identifier les critères susceptibles d’être déterminants dans le choix des fournisseurs.

Dans les travaux de plusieurs chercheurs nous pouvons distinguer 4 critères essentiels à savoir, la livraison, le prix, le service et la qualité[18]. Des dérivés de ces critères ont été identifiés par les auteurs. Pour la livraison, par exemple, son coût ainsi que le respect des délais constituent les deux dérivés. La figure au dessous résume l’ensemble des critères mis en évidence.

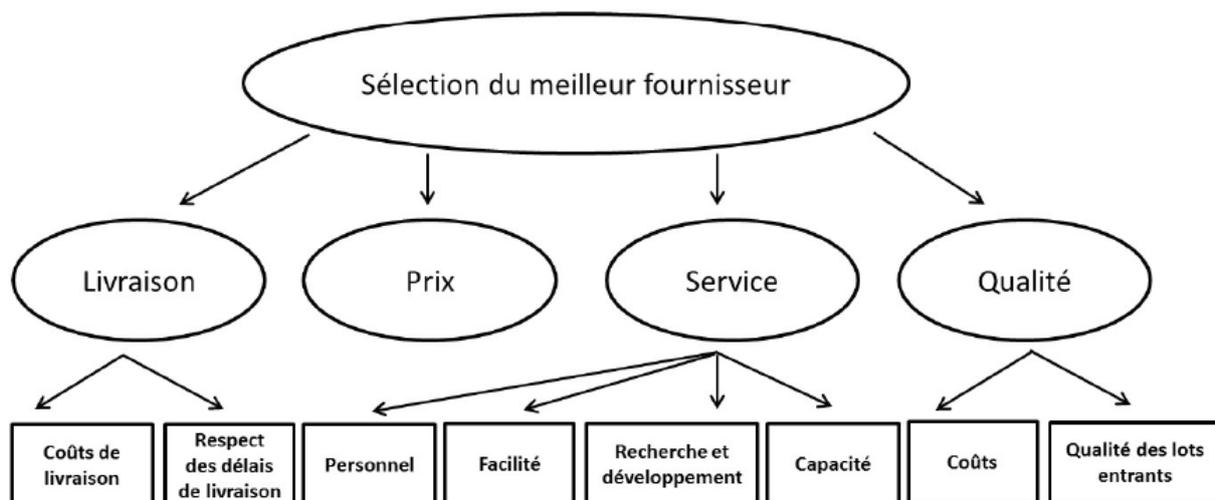


FIGURE 2.6 – Critères de sélection de fournisseurs

Critères de fournisseurs	Critères de performance de service	Critères de performance de produit	Critère du coût
Position financière	Aide au client	Facilité d'utilisation	Prix
Capacité de gestion	Satisfaction du client	Manutention	
Capacité technique	Suivi	Qualité	
Équipement	Livraison	Environnement	
Système qualité	Professionalisme		
Pays d'origine	Garantie		
Histoire de performance	Réparation		
Réputation			
Enviede collaborer			
Localisation			
Relation			
Nouveauté			
Volonté de coopérer			

TABLE 2.1 – Critères de sélection de fournisseurs

Comme il y a des chercheurs ont classé selon les catégories suivantes[33] :

- Critères de fournisseurs,
- Critères de performance de service,
- Critères de performance de produit,
- Critère de coût.

Les méthodes pour la sélection de fournisseurs

Plusieurs méthodes ont été proposées pour le problème de sélection de fournisseurs. Ces méthodes se sont adaptées à l'évolution en suivant les évolution des marché[26].

Le tableau suivant présente quelque méthodes de sélection de fournisseurs[4].

Catégorie	Méthode(s)
Modèles linéaires de pondération	<ul style="list-style-type: none"> — AHP(Analytic Hierarchy Process) — FST(Fuzzy Sets Theory)
Modèles de programmation mathématique	<ul style="list-style-type: none"> — La programmation linéaire / non linéaire à variables entières mixtes — MOP(Multi-Objectives Programming) — DEA(Data Envelopment Analysis)
Méthodes basées sur le coût total	<ul style="list-style-type: none"> — TCO(Total Cost of Ownership) — ABC(Activity Based Costing)
Méthodes statistiques,probabilistes	<ul style="list-style-type: none"> — CA(Cluster Analysis) — Payoff Matrix — VPA (Vendor Profile Analysis) — ISM(Interpretive Structural Modeling) — UT(Utility Theory) — MNL (Multi-Nominal Logic) — FA(Factor Analysis)
Intelligence artificielle	<ul style="list-style-type: none"> — CBR(Case Based-Reasoning system) — ES(Expert System)

TABLE 2.2 – Les méthodes de sélection de fournisseurs

2.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la logistique, ses définitions et ses types, ses enjeux puis l'intérêt de la logistique. Nous avons ensuite cité la définition de la chaîne logistique, ses activités et ses rôles et ses objectifs, comme nous avons présenté la vente par internet et la gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile ensuite les critères et les méthodes de problème de sélection de fournisseurs.

Problématique et modélisation

"Les coûts ne sont pas là pour être calculés, ils sont là pour être réduits"

Taiichi Ôno,(1912-1990)

3.1 Introduction

La modélisation d'un problème donné est une étape qui consiste à extraire une image aussi fidèle que possible du système a étudié. Cette image peut prendre plusieurs formes : Mathématique comme en programmation linéaire, statistique comme des modèles statistiques et sous forme d'un graphe comme en théorie des graphes ou sous forme virtuelle comme en simulation.

La première partie de ce chapitre sera consacrée à une description du problème. Ensuite la deuxième partie, nous proposerons une modélisation mathématique du problème abordé.

3.2 Description du problème

Les problèmes d'approvisionnement ont été largement étudiés dans la littérature(Chibani 2015)[26]. L'objectif est de déterminer le nombre approprié de fournisseurs ainsi que la quantité optimale à commander.

Généralement, ces décisions sont réévaluées régulièrement lorsque des changements importants se produisent simultanément touchant les paramètres liés aux clients et aux fournisseurs. Les méthodes d'approvisionnement utilisées pour ce contexte procèdent toujours par un traitement par lots périodique pour établir des stratégies à moyen ou long terme.

La sélection de fournisseurs est l'une des activités les plus importantes d'acquisition car ses résultats ont un grand impact sur la qualité des biens et la performance des organisations et des chaînes logistiques. Par sélection de fournisseur il est également possible d'anticiper l'évaluation du potentiel de fournisseurs pour établir une relation de collaboration.

Notre problème basé sur les chaînes d'approvisionnement, nous supposons qu'il existe deux types d'acteurs : Un client qui veut être livré en produit par un ensemble de fournisseurs. La capacité de tous ces fournisseurs permet la livraison des produits au client.

Notre objective est de sélectionner des fournisseurs parmi l'ensemble de fournisseurs proposé dans le but de minimiser le coût d'acquisition et d'assurer la satisfaction des clients.

3.3 Modélisation

3.3.1 Notation

Pour ce problème la notation suivante est adoptée :

S =Ensemble des fournisseurs $s \in S : \{1, 2, \dots, n\}$,

K_s = Capacité maximale chez un fournisseur s ,

D = Demande totale de produit pour tous les clients,

Cu_s = Coût unitaire d'achat d'un produit chez le fournisseur s ,

Ca_s = Coût d'affectation d'un produit pour un fournisseur s .

3.3.2 Les variables de décision

Deux décisions sont prises par le client lors d'un approvisionnement :

- La première décision est liée à la quantité de produit qu'il souhaite acquérir auprès des fournisseurs. La quantité peut être attribuée à tous les fournisseurs disponible à un moment donné. C'est-à-dire en raison d'une indisponibilité ou Capacité, certains fournisseurs peuvent être exclus de ce processus d'approvisionnement.

Cette variable est entière et elle est exprimé ainsi :

- Q_s = Quantité de produit commandée chez le fournisseur s .

- La deuxième variable de décision est utilisée pour linéariser le modèle que nous allons proposer. Nous avons décidé de définir une variable binaire pour indiquer l'affectation ou non du fournisseur lors de l'opération d'approvisionnement.

- $V_s : \begin{cases} 1 & : \text{Si on choisi fournisseur } s \\ 0 & : \text{sinon} \end{cases}$

3.3.3 Les contraintes

Le problème abordé ici est confronté à différentes contraintes. En effet, pendant l'opération d'approvisionnement, les fournisseurs doivent satisfaire la totalité de la demande du client. Pour cela, la somme des quantités commandées auprès de tous les fournisseurs doit être égales à la demande du client. Cette contrainte est mise en évidence dans l'équation en dessous :

$$\sum_{s \in S} Q_s = D \quad (3.1)$$

La deuxième contrainte de notre problème est liée à la capacité des fournisseurs susceptibles de satisfaire la demande du client. Quel que soit le fournisseur choisi, la quantité demandée doit être inférieure ou égale à sa capacité maximale. L'équation en dessous met en relief cette contrainte :

$$\sum_{s \in S} Q_s \leq K_s \cdot V_s \quad (3.2)$$

Enfin, les équations suivantes présentent les contraintes d'intégrité :

$$Q_s \in \mathbb{N} \quad \forall s \in S \quad (3.3)$$

$$V_s \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S \quad (3.4)$$

3.3.4 L'objectif

L'objectif du client est de réduire le coût d'acquisition des produits auprès des fournisseurs. La fonction objective n'est autre que le produit de la quantité commandé avec le coût unitaire plus le coût d'affectation du fournisseur s'il est choisi et ce pour tous les fournisseurs sélectionnés.

Cette fonction est exprimée de la manière suivante :

$$MinZ = \sum_{s \in S} C u_s Q_s + \sum_{s \in S} C a_s V_s \quad (3.5)$$

3.3.5 Le modèle mathématique

$$\left\{ \begin{array}{l} MinZ = \sum_{s \in S} C u_s Q_s + \sum_{s \in S} C a_s V_s \\ \sum_{s \in S} Q_s = D \\ \sum_{s \in S} Q_s \leq K_s V_s \\ V_s \in \{0, 1\} \\ Q_s \in \mathbb{N} \end{array} \right.$$

3.4 Méthodes de résolution

La résolution de différentes sortes de problèmes rencontrés dans notre vie quotidienne a poussé les chercheurs à proposer des méthodes de résolution et à réaliser de grands efforts pour améliorer leurs performances en termes de temps de calcul nécessaire et / ou de la qualité de la solution proposée.

Au fil des années, de nombreuses méthodes de résolution de problèmes de différentes complexités ont été proposées. Ainsi, une grande variété et des différences remarquables au niveau du principe, de la stratégie et des performances ont été discernées. Cette variété et ces différences ont permis de regrouper les différentes méthodes de résolution de différents problèmes en deux classes principales : la classe de méthodes exactes, la classe des méthodes approchées [12].

3.4.1 Méthodes exactes

Dans Les méthodes exactes toutes les solutions de l'espace de recherche sont énumérées implicitement en utilisant des mécanismes qui détectent des échecs (calcul de bornes). Grâce à ces méthodes on peut trouver des solutions optimales. Mais ces méthodes s'avèrent, malgré les progrès réalisés, plutôt inefficaces à mesure que la taille du problème devient importante.

Les méthodes exactes ont permis de trouver des solutions optimales pour des problèmes de taille raisonnable et rencontrent généralement des difficultés face aux applications de taille importante. Dans cette classe des méthodes exactes, on peut trouver les algorithmes classiques suivants : la programmation dynamique, la programmation linéaire, les méthodes de recherche arborescente (Branch & bound).

La programmation linéaire

La programmation linéaire est une technique d'optimisation pour un système de contraintes linéaires et une fonction d'objectif linéaire. Une fonction objective définit la quantité à optimiser, et le but de la programmation linéaire est de trouver les valeurs des variables qui maximisent ou minimisent la fonction objective.

Branch & bound

La méthode par séparation et évaluation (en anglais Branch and Bound, *B&B*) est une technique qui permet la résolution exacte de problèmes d'optimisation, notamment les problèmes d'optimisation combinatoires. Elle propose un mécanisme de recherche très intelligent. Ce mécanisme se base sur la technique "Diviser pour régner". Il consiste à dissocier le problème en sous-problèmes de manière à représenter le problème sous forme d'une arborescence, tel que chaque nœud correspond à une solution partielle. Ces solutions se forment de manière incrémentale en s'enfonçant dans l'arbre. Chacune d'elles possède une borne supérieure et une autre inférieure. Ces dernières sont utilisées pour couper quelques branches de l'arbre et donc éviter d'explorer tout l'arbre. En fait, si l'évaluation partielle d'un nœud a montré que sa qualité est supérieure à la borne supérieure, le sous-arbre en question sera coupé; sinon, le nœud sera divisé en sous-nœuds. Ce processus se répète tant qu'il reste des branches non parcourues et la recherche continue jusqu'à trouver la solution optimale si elle existe.

Plusieurs améliorations de l'algorithme *B&B* ont été proposées, y compris les algorithmes : Branch and Cut (*B&C*), Branch and Price (*B&P*) et Branch and Cut and Price (*B&C&P*).

Programmation dynamique

La programmation dynamique est une méthode ascendante, car nous commençons généralement par les plus petits sous-problèmes et nous progressons jusqu'aux sous-problèmes de plus en plus complexes. Le concept de base est simple : une solution optimale est la somme de sous-problèmes résolus de façon optimale. Il faut donc diviser un problème donné en sous-problèmes et les résoudre un par un, en évitant de calculer la même chose deux fois, généralement à l'aide d'un tableau des résultats déjà calculés, remplis au fur et à mesure que les sous-problèmes sont résolus. La programmation dynamique est utilisée pour résoudre des problèmes polynomiaux[19].

3.4.2 Méthodes approchées

Une méthode approchée (incomplètes) est une méthode d'optimisation qui a pour but de trouver une solution réalisable de la fonction objective en un temps raisonnable, mais sans garantie d'optimalité. L'avantage principal de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou très difficiles.

Ils peuvent être classés en deux catégories : les heuristiques et les métaheuristiques.

Les heuristiques

L'heuristique est une méthode de recherche qui permet de trouver rapidement des solutions (presque) optimales à des problèmes d'optimisation. Par rapport aux approches exactes, elles ne garantissent pas de trouver des solutions optimales.

Beaucoup d'heuristiques ont l'avantage d'être applicables à un large éventail de problèmes, de sorte que le temps pour développer un algorithme d'optimisation pour un nouveau problème est généralement court. Ces heuristiques peuvent facilement être modifiées pour tenir compte des changements dans la fonction objectif. Si une contrainte qui n'était pas considérée auparavant est ajoutée à la description du problème, l'heuristique peut être facilement modifiée pour faire face au problème modifié.

Les métaheuristiques

Les métaheuristiques sont des stratégies, approximatives et généralement non déterministes, qui guident le processus de recherche pour explorer efficacement l'espace de recherche afin de trouver des solutions de bonne qualité, en utilisant des techniques qui font des procédures de recherche locales simples aux processus d'apprentissage complexes.

Ils ne sont pas spécifiques à un problème, et peuvent incorporer des mécanismes pour éviter les "pièges" (les optima locaux), peuvent utiliser des connaissances spécifiques à un domaine pour exploiter les domaines les plus prometteurs et finalement ils peuvent mémoriser l'expérience de recherche afin de guider la recherche future (forme de mémoire à long et court terme).

3.5 Conclusion

Le problème de sélection de fournisseur devient un vrai challenge pour les décideurs; pour cela nous avons présenté dans ce chapitre une problématique qui consiste à choisir des fournisseurs dans le but de minimiser le coût total des produits.

Heuristique et Métaheuristique

"Nous sommes gouvernés par des algorithmes. Mais on ne décide jamais de leurs critères"

Alain Damasio,(1969)

4.1 Introduction

Les métaheuristiques sont une nouvelle génération de méthodes approchées puissantes et générales apparues à partir des années 80 [56] avec une ambition commune : résoudre au mieux les problèmes dits "d'optimisation difficile".

Le mot "métaheuristique" est composé d'un suffixe "méta" qui signifie niveau supérieur et du mot "heuristique" qui vient du grec "heurein" signifie "découvrir" et qualifie tout ce qui sert à la découverte, à l'invention et à la recherche. Donc, le terme métaheuristique signifie trouver un niveau supérieur ou un niveau meilleur de recherche. Elles constituent une classe de méthodes très puissantes qui permettent d'explorer l'espace de recherche efficacement. Ces méthodes ont permis de trouver des solutions de bonne qualité, en un temps raisonnable, à des problèmes réputés difficiles.

Les métaheuristiques sont généralement appliquées à des problèmes d'optimisation pour lesquels aucune méthode heuristique spécifique n'est capable de les résoudre de manière satisfaisante ou non pratique.

On suppose que le problème à résoudre est un problème de minimisation :

$$\begin{cases} \min f(x), \\ x \in S \end{cases}$$

Sa résolution par une méthode exacte n'est pas recommandée. On se retourne alors, soit vers des heuristiques, soit vers des métaheuristiques pour trouver une bonne solution réalisable.

4.1.1 Qu'est-ce qu'une métaheuristique ?

Les métaheuristiques sont des méthodes générales de recherche dédiées aux problèmes "d'optimisation difficile". Ces méthodes sont, en général, présentées sous la forme de concept. Comme nous le verrons plus tard, elles reprennent des idées que l'on retrouve parfois dans la vie courante. Les principales métaheuristiques sont le recuit simulé, la recherche tabou et les algorithmes génétiques.

Ces méthodes ont des inspirations de l'éthologie comme les colonies de fourmis, de la physique comme le recuit simulé, et de la biologie comme les ; algorithmes évolutionnaires[13].

Dans la figure suivante 4.1, on voit un classement de ces méthodes selon le principe d'inspiration utilisé, est ce qu'il est basé.

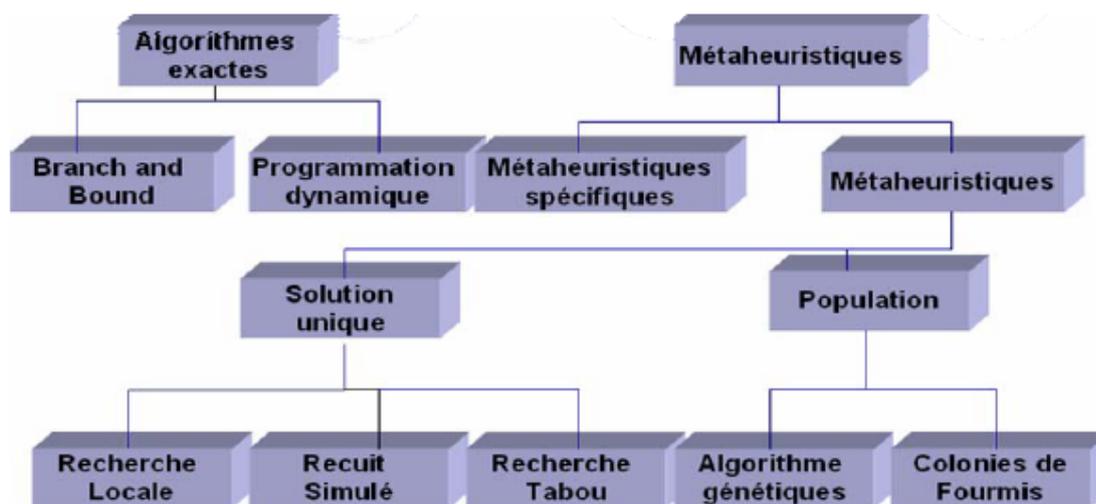


FIGURE 4.1 – Schéma des méthodes basées sur les métaheuristiques

Les métaheuristiques ont les caractéristiques suivantes en commun [17] :

- Elles sont, au moins pour une partie, stochastique : la plupart des métaheuristiques utilisent des processus aléatoires et itératifs comme moyens de rassembler de l'information, d'explorer l'espace de recherche.
- Elles sont inspirées par des analogies : avec la physique (recuit simulé, diffusion simulée, etc), avec la biologie (algorithme génétique, recherche tabou, etc) ou avec l'éthologie (colonies de fourmis, essaims de particules, etc).
- Elles sont capables de guider, dans une tâche particulière, une autre méthode de recherche spécialisée (par exemple, une autre heuristique, ou une méthode d'exploration locale).
- Elles partagent aussi les mêmes inconvénients : les difficultés de réglage des paramètres mêmes de la méthode, et le temps de calcul élevé.

Plusieurs définitions ont été données pour clarifier le concept de l'heuristique, parmi les quelles on trouve les définitions suivantes :

Définition 1

Une heuristique est une technique trouvant de bonnes solutions pour un coût de calcul raisonnable, sans pouvoir garantir l'admissibilité ou l'optimalité, ou même dans de nombreux cas, préciser la distance à l'optimum d'une solution particulière.

Typiquement, ce genre de méthodes est particulièrement utile pour les problèmes nécessitant une solution en temps réel (ou très court) ou pour résoudre des problèmes difficiles sur des instances numériques de grande taille. Elles peuvent aussi être utilisées afin d'initialiser une méthode exacte (Branch and Bound par exemple). A côté des méthodes heuristiques, sont apparues des méthodes qualifiées de métaheuristiques. Plusieurs définitions ont été proposées pour décrire leurs particularités par rapport aux heuristiques.

Définition 2

(Métaheuristique selon Osman et Laporte) Une métaheuristique est un processus itératif de génération guidant une heuristique subordonnée en combinant intelligemment différents concepts ; pour explorer et exploiter l'espace de recherche en utilisant des stratégies pour structurer l'information de manière à trouver efficacement des solutions proches de l'optimum [58].

Malgré la grande diversité de métaheuristiques (algorithmes génétiques, méthode de bruitage, méthode GRASP, recherche à voisinage des variable, recherche dispersée, recherche tabou, recuit simulé, systèmes de fourmis, ...), leurs principes sont souvent assez proches. Taillard [64] distingue trois éléments principaux constitutifs de toutes les métaheuristiques :

- La structure de voisinage permettant de modifier une solution,
- La mémoire des solutions déjà obtenues,
- La construction de solutions entièrement nouvelles.

Ainsi, chaque métaheuristique utilise au moins l'un de ces trois éléments. De plus, l'hybridation de différentes métaheuristiques est une pratique de plus en plus courante permettant d'obtenir des heuristiques performantes. Taillard [63] propose d'ailleurs une unification de la plupart des métaheuristiques telles qu'elles sont implémentées actuellement sous la dénomination de programmation à mémoire adaptative.

Une métaheuristique est donc une méthode très générale, qui nécessite quelques transformations (mineures en générale) avant de pouvoir être appliquée à la résolution d'un problème particulier. Si l'on considère les différentes métaheuristiques, on constate que celles-ci se répartissent principalement en trois familles :

4.1.2 Méthodes déterministes de recherche d'optimum local

Ces méthodes convergent rapidement mais, la plupart du temps, elles ne trouvent pas l'optimum global. Elles se contentent de trouver un optimum local et ne reposent pas sur un processus stochastique pour la recherche de l'optimum.

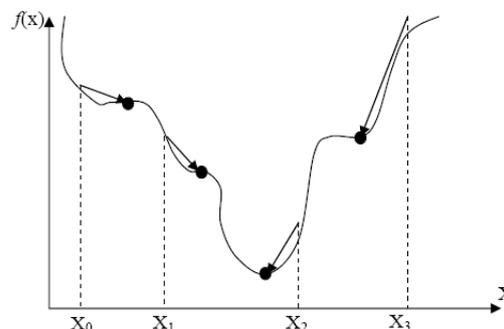


FIGURE 4.2 – Méthode déterministe de recherche de l'optimum local

4.1.3 Méthodes déterministes de recherche d'optimum global

Ces méthodes permettent de trouver un optimum global rapidement et ne reposent pas sur un processus stochastique pour la recherche de l'optimum.

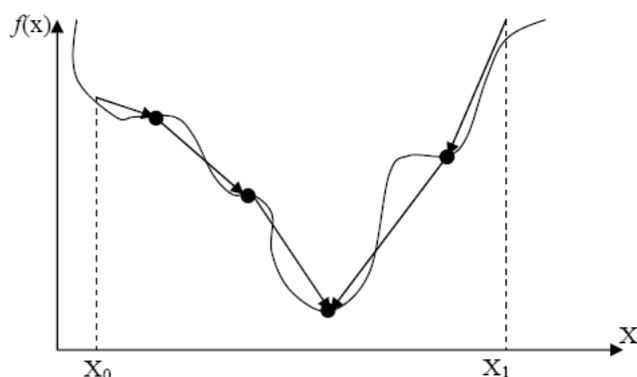


FIGURE 4.3 – Méthode déterministe de recherche de l'optimum global

4.1.4 Méthodes stochastiques de recherche d'optimum global

Ces méthodes reposent sur un processus stochastique chargé d'effectuer la recherche de l'optimum. Elles sont moins performantes (du point de vue rapidité) que les méthodes déterministes, mais elles peuvent trouver, un optimum global difficile à atteindre.

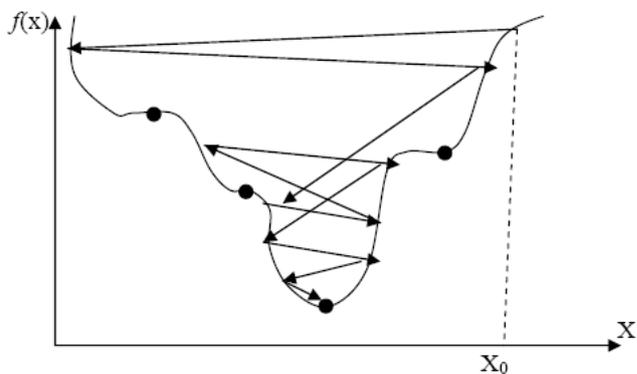


FIGURE 4.4 – Méthode stochastique de recherche d'optimum global

4.2 Métaheuristique à solution unique

4.2.1 Méthode de recherche locale

La première classe des métaheuristiques présentées regroupe les méthodes utilisant les principes de la recherche locale. Ces méthodes résolvent le problème d'optimisation de manière itérative. Elles font évoluer la configuration courante en la remplaçant par une autre issue de son voisinage, ce changement de configuration est couramment appelé mouvement. Parmi les méthodes de recherche locale la plus simple et la plus utilisée dans la littérature est La descente[13].

voisinage :**Définition 3**

Soit X l'ensemble des configurations admissibles d'un problème (P), on appelle voisinage $V(S)$ de $S \in X$, un sous ensemble de solutions obtenues à partir de S en faisant des changements élémentaires sur S .

mécanisme d'exploration du voisinage :**Définition 4**

On appelle mécanisme d'exploration du voisinage toute procédure qui précise comment la recherche passe d'une configuration $S \in X$ à une configuration $S' \in V(S)$. Une configuration S est un optimum (minimum) local par rapport au voisinage V si $f(S) \leq f(S')$ pour toute configuration $S' \in V(S)$.

Une méthode typique de voisinage débute avec une configuration initiale, et réalise ensuite un processus itératif qui consiste à remplacer la configuration courante par l'un de ses voisins en tenant compte de la fonction de coût. Ce processus s'arrête et retourne la meilleure configuration trouvée quand la condition d'arrêt est réalisée. Cette condition d'arrêt concerne généralement une limite pour le nombre d'itérations ou un objectif à réaliser.

Un des avantages des méthodes de voisinage réside précisément dans la possibilité de contrôler le temps de calcul : la qualité de la solution trouvée tend à s'améliorer progressivement au cours du temps et l'utilisateur est libre d'arrêter l'exécution au moment qu'il aura choisi. Les méthodes de voisinage diffèrent essentiellement entre elles par le voisinage utilisé et la stratégie de parcours de ce voisinage. La recherche locale est un exemple simple de cette classe de méthodes.

4.2.2 Descente

La descente est une méthode d'amélioration itérative simple permettant d'atteindre le premier optimum local. Elle est fondée sur deux éléments essentiels : un voisinage et une procédure exploitant le voisinage. Plus précisément, elle consiste à :

- Débuter avec une configuration quelconque S de X ,
- Choisir un voisin S' de S tel que $f(S') < f(S)$ et remplacer S par S' et a répéter 2) jusqu'à ce que pour tout voisin S' de S , $f(S') \geq f(S)$.

Cette procédure fait intervenir à chaque itération le choix d'un voisin qui améliore la configuration courante. Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour effectuer ce choix. Il est possible d'énumérer les voisins jusqu'à ce qu'on en découvre un qui améliore strictement (première amélioration).

On peut également rechercher le meilleur voisin (meilleure amélioration). Cette dernière solution peut sembler plus coûteuse, mais le voisin découvert sera en général de meilleure qualité.

Comme l'espace des solutions X est fini, cette procédure de descente s'arrête toujours, et la dernière configuration trouvée ne possède pas de voisin strictement meilleur qu'elle-même. Autrement dit, la recherche locale retourne toujours un optimum local.

L'avantage principal de cette méthode réside dans sa grande simplicité et sa rapidité. Mais les solutions produites sont souvent de qualité médiocre et de coût très supérieur au coût optimal. Pour remédier à ce problème, la solution la plus simple est la méthode de relance aléatoire qui consiste à générer une nouvelle configuration de départ de façon aléatoire et à recommencer une descente.

La descente pour un problème de minimisation peut être définie très simplement :

Algorithm 1 Pseudo-code de la méthode de descente.

Require: Paramètres d'entrée : N ; f ; x_0

$x_{suiv} \leftarrow x_0$;

repeat

$x \leftarrow x_{suiv}$;

$x_{suiv} \in \{x' | x' \in N(x) \wedge f(x') = \min(\{f(y) | y \in N(x)\})\}$;

until $f(x_{suiv}) > f(x)$;

Renvoyer x .

Où N est la fonction de voisinage, f la fonction d'évaluation, et x_0 la configuration initiale servant de point de départ à l'algorithme.

4.2.3 Recherche tabou

Cette méthode, mise au point par F. Glover 1986[40], est conçue en vue de surmonter les minima locaux de la fonction objectif. C'est une technique d'optimisation combinatoire que certains présentent comme une alternative au recuit simulé.

A partir d'une configuration initiale quelconque, Tabou engendre une succession de configurations qui doit aboutir à la configuration optimale. A chaque itération, le mécanisme de passage d'une configuration, soit x_n , à la suivante, soit x_{n+1} , est le suivant :

- On construit l'ensemble des "voisins" de x_n , c'est-à-dire l'ensemble des configurations accessibles en un seul "mouvement" élémentaire à partir de x_n (si cet ensemble est trop vaste, on en extrait aléatoirement un sous-ensemble de taille fixée) : soit $\text{Voisinage}(x_n)$ l'ensemble (ou le sous-ensemble) envisagé,
- On évalue la fonction objectif f du problème pour chacune des configurations appartenant à $\text{Voisinage}(x_n)$. La configuration x_{n+1} , qui succède à la configuration x_n dans la chaîne de Markov construite par Tabou, est la configuration de $\text{Voisinage}(x_n)$ en laquelle f prend sa valeur minimale.

Notons que la configuration x_{n+1} est adoptée même si $f(x_{n+1}) > f(x_n)$: c'est grâce à cette particularité que Tabou permet d'éviter les minima locaux de f .

Cependant, telle quelle, la procédure ne fonctionne généralement pas, car il y a un risque important de retourner à une configuration déjà retenue lors d'une itération précédente, ce qui provoque l'apparition d'un cycle. Pour éviter ce phénomène, on tient à jour, à chaque itération, une "liste Tabou" de mouvements interdits; cette liste qui a donné son nom à la méthode contient les mouvements inverses ($x_{n+1} \rightarrow x_n$) des m derniers mouvements ($x_n \rightarrow x_{n+1}$) effectués (typiquement $m = 7$). La recherche du successeur de la configuration courante x_n est alors restreinte aux voisins de x_n qui peuvent être atteints sans utiliser un mouvement de la liste tabou. La procédure peut être stoppée dès que l'on a effectué un nombre donné d'itérations, sans améliorer la meilleure solution atteinte jusqu'ici.

Le pseudo-code de cette méthode est représenté dans l'algorithme suivant :

Algorithm 2 Algorithme Tabou standard TS[13].

```

1: Soit  $x$  une configuration réalisable, et  $L$  le nombre d'itérations
2:  $x^* = x$  ( $x^*$  est la meilleure solution obtenu auparavant);
3: for  $i = 0$  jusqu'à  $L$  do
4:   Choisir le meilleur mouvement  $m$  autorisé selon  $opt(x)$  qui est une fonction d'évaluation définie par le décideur;
5:   Mettre à jour la liste Tabou en fonction de  $m$ 
6:   if  $f(x) < f(x^*)$  then
7:      $x^* \leftarrow x$ ;
8:   end if
9: end for
10: Renvoyer ( $x$ ).

```

4.2.4 Recuit simulé

Cette méthode de recherche a été proposée par des chercheurs d'IBM qui étudiaient les verres de spin. Ici, on utilise un processus métallurgique (le recuit) pour trouver un minimum. En effet, pour qu'un métal retrouve une structure proche du cristal parfait (l'état cristallin correspond au minimum d'énergie de la structure atomique du métal), on porte celui-ci à une température élevée, puis on le laisse refroidir lentement de manière à ce que les atomes aient le temps de s'ordonner régulièrement .

Ce processus métallurgique a été transposé à l'optimisation et a donné une méthode simple et efficace. Le pseudo-code du recuit simulé est représenté dans l'algorithme qui suit. Le fonctionnement de cet algorithme est le suivant :

- On commence par choisir un point de départ au hasard (x);
- On calcule un voisin de ce point ($\gamma = \mathcal{V}(x)$);
- On évalue ce point voisin et on calcule l'écart par rapport au point d'origine ($\Delta C = C(\gamma) - C(x)$);
- Si cet écart est négatif, on prend le point γ comme nouveau point de départ, s'il est positif, on peut quand même accepter le point γ comme nouveau point de départ, mais avec une probabilité $e^{-\frac{\Delta C}{T}}$ (qui varie en sens inverse de la température T);

- Au fur et à mesure du déroulement de l’algorithme, on diminue la température $T(T = \alpha(T))$, souvent par paliers ;
- On répète toutes ces étapes tant que le système n’est pas figé (par exemple, tant que la température n’a pas atteint un seuil minimal).

Au début de la simulation, les points ont une grande capacité d’exploration de l’espace d’état car l’algorithme accepte des déplacements très importants. Au fur à mesure que T diminue P augmente, la capacité de déplacement d’un point diminue et les points améliorant leur valeur sont de plus en plus nombreux, la chance d’une solution négative d’être acceptée diminue. Quand $T \rightarrow 0$ seuls les points améliorant leurs valeurs sont acceptés. A la fin il y a une chance de zéro que n’importe quel changement négatif de température peut être alloué. A ce point, le « refroidissement » est dit d’avoir lieu, et le système doit avoir convergé à la solution optimale.

Algorithm 3 Recuit simulé.

```

1: Init  $T$  (température initial), Init  $x$  (point de départ), Init  $\Delta T$  (temperature);
2: while Condition do
3:   Nblter=0;
4:   while Nblter<Maxiter do
5:     Nblter=Nblter+1;
6:      $y = Voisin(x)$ ,
7:      $\Delta C = C(y) - C(x)$ ;
8:     if  $\Delta C < 0$  then
9:        $y = x$ ;
10:    else
11:      if  $alea(0,1) < e^{-\frac{\Delta C}{T}}$  then
12:         $y = x$ 
13:         $T = \alpha(T)$ ;
14:      end if
15:    end if
16:    if  $T < \Delta T$  then
17:      Arrêter
18:    end if
19:  end while
20: end while

```

4.3 Metaheuristique à population de solutions

4.3.1 Colonies de fourmis

L'optimisation des colonies de fourmis (en anglais Ant Colony Optimisation, noté *ACO*) a été proposée par Dorigo [32]. Dans chaque itération, un certain nombre de fourmis artificielles sont utilisées de manière gourmande, pour générer des solutions. Ensuite, chaque fourmi choisit la quantité de phéromone à inclure dans la solution partielle actuelle. Lorsqu'une solution complète est générée, la procédure est répétée avec les niveaux de phéromones mis à jour, jusqu'à atteindre un critère d'arrêt. De nombreux travaux ont été développés à l'aide de *ACO* comme le problème de la coloration des graphes.[32], le problème d'ordonnancement des ateliers [31], le problème de l'acheminement des véhicules [16] et le problème multidimensionnel du sac à dos [25].

Algorithm 4 Algorithme de colonie de fourmis

Require: Soit A un ensemble de k fourmis :

```

repeat
  for  $i=1$  à  $k$  faire do
    Construire Trajet( $i$ )
  end for
  Mettre à Jour Pheromones()
until Jusqu'à ce que le critère de terminaison soit satisfait.

```

4.3.2 Les algorithmes génétiques

Avec les algorithmes évolutionnaires, nous passons à une autre catégorie de métaheuristiques, celles des méthodes dites évolutionnaires, qui manipulent un ensemble de plusieurs solutions simultanément.

La métaheuristique la plus connue dans cette branche est celle reposant sur un algorithme génétique, inspiré du concept de sélection naturelle élaboré par Darwin. L'idée des **GA** est vaguement inspirée des chaînes d'ADN, qui composent tout organisme vivant. Leur but principal est d'améliorer le profit des solutions candidate dans une population contre une fonction de coût du domaine du problème[14].

Il utilise le même vocabulaire que celui de la biologie et la génétique classique, on parle donc de : gène, chromosome, individu, population et génération[39](Ce que nous définissons plus tard).

Nous parlerons donc d'individus, pour parler de solutions (complètes, ou partielles). L'ensemble des *individus* formera une *population*, que nous ferons évoluer pendant une certaine succession d'itérations appelées *générations*, jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit vérifié. Pour passer d'une génération à une autre, nous soumettrons la population à des opérateurs de *sélection*. Les opérateurs de *variation*, eux, permettront de transformer la population, de façon à favoriser l'émergence de meilleurs individus.

On définit également la fonction de performance(*fitness*), qui traduit la capacité d'adaptation des individus au problème considéré. Cette fonction, que l'algorithme génétique cherche à maximiser ou à minimiser, est étroitement dépendante de la fonction objective.

- **Un gène** : est un ensemble de symboles représentant la valeur d'une variable. Dans la plupart des cas, un gène est représenté par un seul symbole (un bit, un entier, un réel ou un caractère).
- **Un chromosome** : est un ensemble de gènes, présentés dans un ordre donné de manière qui prend en considération les contraintes du problème à traiter. Par exemple, dans le problème du voyageur de commerce, la taille du chromosome est égale au nombre de villes à parcourir. Son contenu représente l'ordre de parcours de différentes villes. En outre, on doit veiller à ce qu'une ville (représentée par un nombre ou un caractère par exemple) ne doit pas figurer dans le chromosome plus qu'une seule fois.
- **Un individu** : est composé d'un ou de plusieurs chromosomes. Il représente une solution possible au problème traité.
- **Une population** : est représentée par un ensemble d'individus (i.e. l'ensemble des solutions du problème).
- **Une génération** : est une succession d'itérations composées d'un ensemble d'opérations permettant le passage d'une population à une autre.

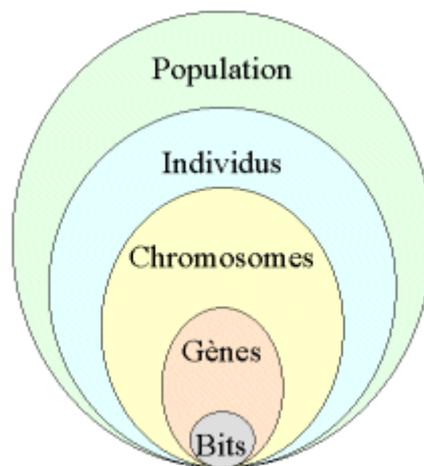


FIGURE 4.5 – Les niveaux d'organisation d'une population d'un algorithme génétique

Principe de l'algorithme génétique

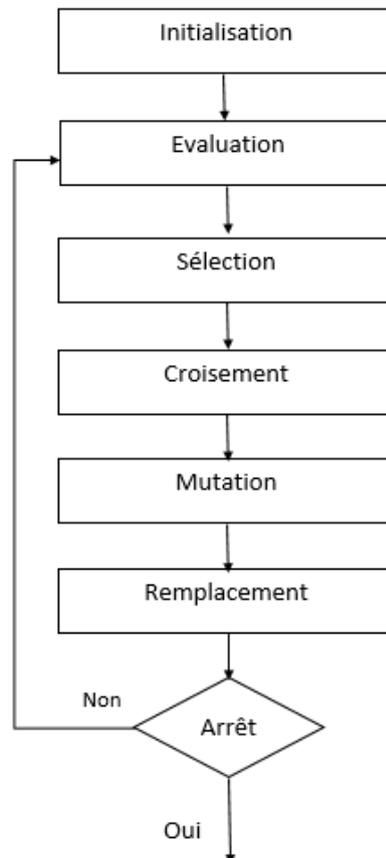
L'algorithme génétique a été développé par Holland [43]. L'algorithme génétique repose sur une boucle qui enchaîne des étapes de *sélections* et des étapes de *croisements*. Dans un premier temps, à partir d'une *population* de α individus, on désigne ceux autorisés à se reproduire.

On croise ensuite ces derniers, de façon à obtenir une population d'enfants, dont on peut faire muter aléatoirement certains gènes.

La performance des enfants est évaluée, grâce à la fonction fitness, et l'on désigne, dans la population totale résultante parents + enfants, les individus autorisés à survivre, de telle manière que l'on puisse repartir d'une nouvelle population de α individus.

La boucle est bouclée, et l'on recommence une phase de sélection pour la reproduction, une phase de mutation, et ainsi de suite.

Comme pour les métaheuristiques vues précédemment, un critère d'arrêt permet de sortir de la boucle, par exemple un certain nombre d'itérations sans amélioration notable de la performance des individus.



Résultat après plusieurs itérations

FIGURE 4.6 – Principes de base d'un algorithme génétique simple

Le codage[26] :

Le codage utilisé par les algorithmes génétiques est généralement représenté sous forme de chaînes de bits contenant toute l'information nécessaire à la description d'un point dans l'espace de recherche. Le choix du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques. Les codages binaires ont été très employés à l'origine. Les codages réels sont désormais largement utilisés, notamment dans les domaines applicatifs, pour l'optimisation de problèmes à variables continues.

1	0	1	0	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

FIGURE 4.7 – Codage binaire d'un chromosome

0.23	1.25	10.5	0.48	3.00	-20.87
------	------	------	------	------	--------

FIGURE 4.8 – Codage réel d'un chromosome

Génération de la population initiale[26] :

Le choix de la population initiale d'individus conditionne de manière significative la rapidité de l'algorithme. Vu que la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est naturel d'engendrer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans chacun des domaines associés aux composantes de l'espace d'état, en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes du problème traité.

Principes de sélection :

Une manière de sélectionner les meilleurs individus du problème abordé. Cette sélection permettra aux individus ayant un « fitness » au-dessus de la moyenne de continuer le processus de reproduction.

Plusieurs techniques sont utilisées pour cette fin, nous citons ici les plus connues :

1. Sélection par tournoi :

L'idée de cette méthode est de sélectionner aléatoirement un nombre k d'individus dans la population, et de choisir parmi eux celui qui a la meilleure performance. On organise autant de tournois qu'il y doit y avoir d'individus à sélectionner. On peut décider de faire des tirages avec, ou sans remise.

Le tirage sans remise permet d'éviter de favoriser excessivement un individu. Dans la mesure où seul l'ordre des éléments importe dans la sélection par tournois, il est parfois possible de simplifier l'évaluation de la fonction objectif, et donc de gagner en temps de calcul.

2. La sélection de la roue de loterie[7] :

La méthode la plus courante et la plus utilisée est celle introduite par Goldberg : le tirage à la roulette (Roulette Wheel Selection (*RWS*)). C’est une méthode stochastique qui exploite la métaphore d’une roue de loterie. Elle consiste à associer chaque individu un secteur (ou case de la roue) dont l’angle est proportionnel à sa performance. La roue étant lancée, l’individu sélectionné est celui sur lequel la roue s’est arrêtée. On répète cette opération *N* fois afin de sélectionner les *N* individus qui vont se reproduire dans la prochaine étape. C’est clair que les individus ayant la plus grande valeur de fitness (plus de surface) auront plus de chance d’être choisis. L’inconvénient de cette approche vient du fait qu’elle risque cependant de favoriser excessivement un très bon individu au détriment des autres. Cela peut engendrer une perte de diversité et mener à une convergence prématurée. Pour éviter ce comportement, il existe d’autres modes de sélection (ranking, tournoi).

En appliquant l’approche de roulette, avec une population de quatre individus, dont les valeurs de performance sont de 70, 15, 10 et 5, on obtient les résultats suivants :

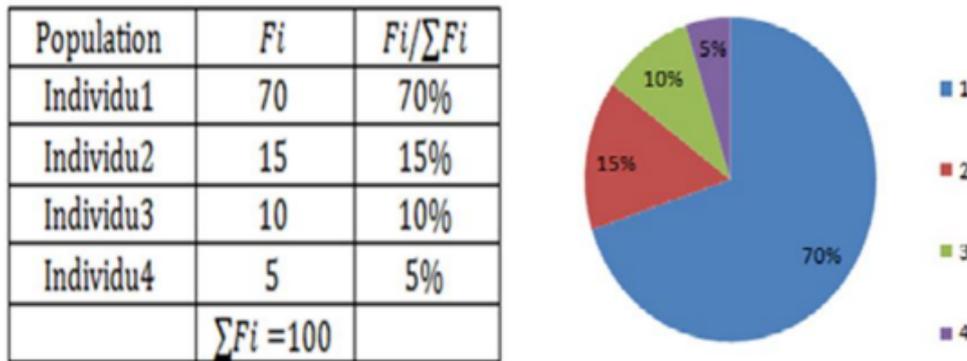


FIGURE 4.9 – La méthode de la sélection de la roue de loterie

3. La sélection par rang trie[7] :

La sélection par rang trie d’abord la population par évaluation. Ensuite, chaque individu se voit associé un rang en fonction de sa position. Ainsi, le plus mauvais individu aura le rang 1, le suivant 2, et ainsi de suite jusqu’au meilleur individu qui aura le rang *N*, pour une population de *N* individus. La sélection par rang d’un individu est identique à la sélection par roulette, mais les proportions sont en relation avec le rang plutôt qu’avec la valeur de l’évaluation. Avec cette méthode de sélection, tous les individus ont une chance d’être sélectionnés. Cependant, elle conduit à une convergence plus lente vers la bonne solution. Ceci est dû au fait que, avec cette approche, on n’a pas une grande différence entre les meilleurs et les plus mauvais individus. C’est ce qu’on constate après avoir transformé la fitness en rang dans l’exemple précédent :

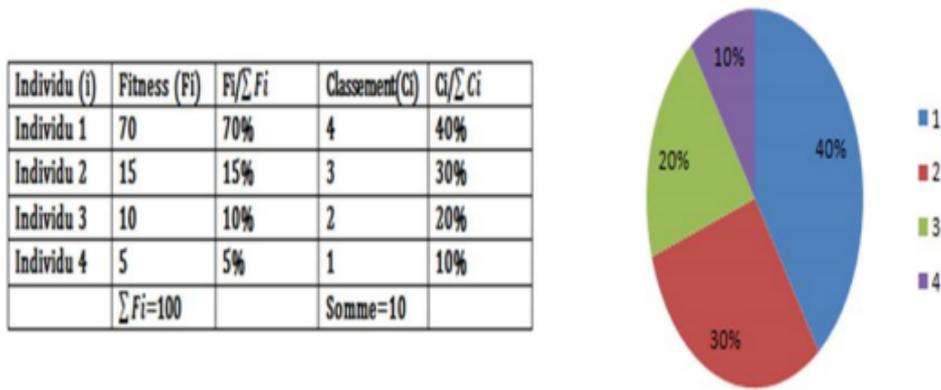


FIGURE 4.10 – Sélection de la roue de loterie par rang de classement

Le croisement[26] :

Initialement, le croisement associé au codage par chaînes de bits est le croisement à découpage de chromosomes. Pour effectuer ce type de 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.

Il existe plusieurs méthodes :

Dans le croisement par point, le génome des deux enfants est constitué d’une partie de chacun des deux parents, par coupure et échange. Dans le croisement uniforme, on génère un masque binaire, de même longueur que le gène, qui détermine l’opération appliquée sur le gène des enfants (copie intacte, ou croisement des bits, selon la valeur des bits du masque). **La mutation[26] :**

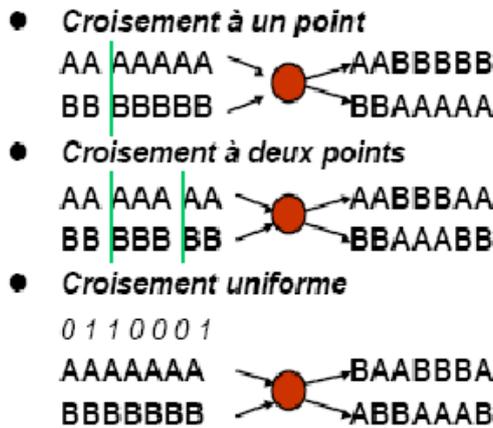


FIGURE 4.11 – les différents types de croisements

C’est un opérateur appliqué avec une faible probabilité en ayant comme orientation l’exploration de l’espace de recherche. Les propriétés de convergence des algorithmes génétiques sont donc fortement dépendantes de cet opérateur sur le plan théorique. Pour les problèmes discrets, par exemple, l’opérateur de mutation consiste généralement à tirer aléatoirement un gène dans le chromosome et à le remplacer par une valeur aléatoire.

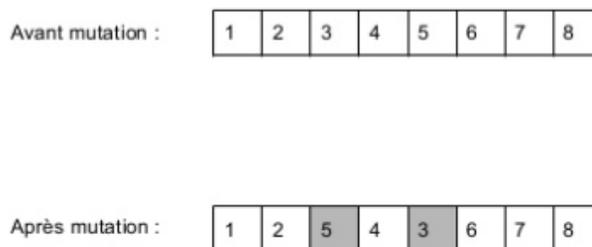


FIGURE 4.12 – Un exemple de mutation

La sélection de remplacement :

La sélection permet d'identifier les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais pour les prochaines générations.

Nous citons quelques exemples d'algorithmes génétiques qui résolvent le problème de l'assignation quadratique [65], le problème de l'acheminement des véhicules [23], le problème multidimensionnel du sac à dos [27], etc.

Algorithm 5 Algorithme génétique

```

1:  $t = 0$ 
2:  $p(0) \leftarrow$  Population-initiale
3: évaluer-population( $p(0)$ )
4: while la condition d'arrêt n'est pas atteinte do
5:    $P' \leftarrow$  Sélectionner-Parents ( $P(t)$ )
6:    $P' \leftarrow$  Recombine( $P'$ )
7:    $P' \leftarrow$  muter ( $p'$ )
8:   évaluer-population ( $P'$ )
9:    $p(t+1) \leftarrow$  UpDate-population ( $p(t), p'$ )
10:   $t = t + 1$ 
11: end while

```

Avantages et inconvénients[50]

Un des grands avantages des algorithmes génétiques est qu'ils autorisent la prise en compte de plusieurs critères simultanément, et qu'ils parviennent à trouver de bonnes solutions sur des problèmes très complexes. L'avantage principal des algorithmes génétiques par rapport aux autres techniques d'optimisation consiste en une combinaison de l'exploration de l'espace de recherche, et de l'exploitation des meilleures solutions disponibles à un moment donné. Ils doivent simplement déterminer entre deux solutions quelle est la meilleure, afin d'opérer leurs sélections. Leur utilisation se développe dans des domaines aussi divers que l'économie, la bioinformatique ou la vérification formelle.

L'inconvénient majeur des algorithmes génétiques est le coût d'exécution important par rapport à d'autres métaheuristiques. Les algorithmes génétiques nécessitent de nombreux calculs, en particulier au niveau de la fonction d'évaluation. Mais avec les capacités calculatoires des ordinateurs récents, ce problème a perdu de son importance. D'un autre côté, l'ajustement d'un algorithme génétique est délicat : des paramètres comme la taille de la population ou le taux de mutation sont parfois difficiles à déterminer. Or le succès de l'évolution en dépend et plusieurs essais sont donc nécessaires, ce qui limite encore l'efficacité de l'algorithme. Néanmoins, la limite la plus importante des algorithmes génétiques est celle des optima locaux. En effet, lorsqu'une population évolue, il se peut que certains individus, qui à un instant occupent une place importante au sein de cette population, deviennent majoritaires. À ce moment, il se peut que la population converge vers cet individu et s'écarte ainsi d'individus plus intéressants mais trop éloignés de l'individu vers lequel on converge. Il faut mentionner également le caractère indéterministe des algorithmes génétiques. Comme les opérateurs génétiques utilisent des facteurs aléatoires, un algorithme génétique peut se comporter différemment pour des paramètres et populations identiques. Afin d'évaluer correctement l'algorithme, il faut l'exécuter plusieurs fois et analyser statistiquement les résultats.

4.4 Quelle métaheuristique utiliser ?

Le premier problème pratique qui se pose à un utilisateur confronté à une application concrète est d'effectuer un choix parmi les différentes métaheuristiques disponibles. Ce choix est d'autant plus difficile qu'il n'existe pas de comparaison systématique et fiable des différentes métaheuristiques. Cependant, il est possible de caractériser les métaheuristiques selon quelques critères généraux, de manière à faciliter ce choix.

Le tableau ci-dessous met en relation 4 critères avec 4 métaheuristiques classiques. Les indications sont subjectives, mais reflètent l'expérience. Comme nous l'avons dit, la qualité des solutions trouvées par une méthode peut être très variable, et dépend de l'implémentation réalisée.

	A. du Recuit Simulé	Méthode Tabou	A. génétique	A. à colonies de fourmis
Facilité d'adaptation		—	—	—
Connaissance		+	+	+
Qualité	+	++	+	+++
Rapidité	—	—	---	--

TABLE 4.1 – Comparaison générale des principales métaheuristiques

Ce tableau compare les principales métaheuristiques que nous avons vues, et les compare à l'algorithme de recherche locale simple (descente) Les critères de comparaisons retenus sont les suivants :

- Facilité d'adaptation au problème,
- Possibilité d'intégrer des connaissances spécifiques au problème,
- Qualité des meilleures solutions trouvées,
- Rapidité, c'est-à-dire temps de calcul nécessaire pour trouver une telle solution.

Le critère de qualité utilisé dans le tableau correspond à la meilleure qualité qu'il est possible d'obtenir par une exécution prolongée. Le critère de rapidité représente le temps de calcul typiquement nécessaire pour obtenir une telle solution.

4.5 Conclusion

Les métaheuristiques constituent une classe de méthodes approchées adaptables à un grand nombre de problèmes d'optimisation. Mais, si l'on a pu constater leur grande efficacité sur de nombreuses classes de problèmes, il existe en revanche très peu de résultats permettant de comprendre la raison de cette efficacité, et aucune méthode particulière ne peut garantir qu'une métaheuristique sera plus efficace qu'une autre sur n'importe quel problème.

Algorithme génétique proposé et application au problème :

"Si nous avons pas de mutation génétique, nous ne nous aurions pas. Il faut une erreur pour ouvrir la porte à la possibilité adjacente "

Steven Johnson,(1968)

5.1 Introduction

Le présent chapitre est consacré à l'application de l'algorithme génétique au problème de gestion de la chaîne d'approvisionnement et de la mise en œuvre d'une approche génétique adapté au problème de réapprovisionnement.

Notre approche génétique est décrite en quatre sous sections. Dans la première nous définissons le principe de génération d'une population initiales avec lequel interagit notre application. Dans la deuxième partie, nous allons présenter la méthode de croisement utilisée par l'implémentation des divers algorithmes. Par la suite nous détaillerons notre procédure de mutation (mutation adaptative), la dernier section consister à tester les contraintes.

5.2 Description de l'algorithme génétique classique appliqué au problème

5.2.1 Le codage

Lors de cette phase, chaque solution est associée à une représentation chromosomique. Chaque solution est représentée par un chromosome P_i qui sera constitué d'un ensemble de gènes dont le nombre correspond au nombre de fournisseurs. Ces gènes contiennent les quantités que le client commande auprès de chaque fournisseur noté Q_s .

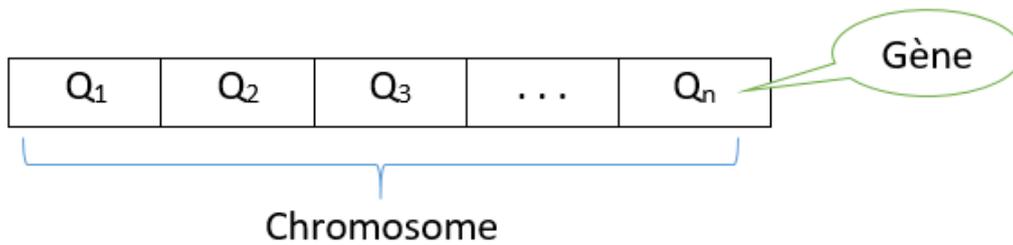


FIGURE 5.1 – Représentation chromosomique

5.2.2 Initialisation

Cette étape génère une population d’individus qui servira de base aux futurs générations. De manière progressive, chaque quantité est répartie de manière aléatoire dans un intervalle qui correspond aux capacités des fournisseurs sans dépasser la demande totales du clients.

Ainsi, les contraintes du problème sont respectés. Tous les gènes sont limités à des entiers non négatif satisfaisant à la contrainte de non négativité.

Après l’initialisation, l’ensemble de la population doit être évalué par le calcul de *fitness* de chaque individu (chromosome) en se basant sur la fonction objective.

Q_1	Q_2	Q_3	...	Q_n
Q'_1	Q'_2	Q'_3	...	Q'_n
.
.
.
$Q^{m'}_1$	$Q^{m'}_2$	$Q^{m'}_3$...	$Q^{m'}_n$

TABLE 5.1 – Initialisation de la population initiale

5.2.3 La sélection

Une fois la génération et l’évaluation de la population initiale terminée, l’étape suivante consiste en la détermination des individus à se reproduire (les parents de la prochaine génération). Le principe de notre méthode de sélection consiste à trie d’abord la population par sa fonction objective. Ensuite, chaque chromosome se voit associer un rang en fonction de sa position. Ainsi le meilleur chromosome aura le rang 1 , le suivant 2 et ainsi de suite jusqu’au le plus mauvais qui aura le rang N (pour une population de N individus). Après, nous faisons une sélection aléatoire en tenant compte du rang de chaque individu.

5.2.4 Le croisement

Le croisement associé à l'algorithme génétique généralement est le croisement à découpage de chromosomes. Le principe est de tirer aléatoirement une position dans chacun des parents P_1 et P_2 , puis on échange les deux sous-chaînes terminales de chacun des deux chromosomes ce qui produit deux enfants E_1 et E_2 .

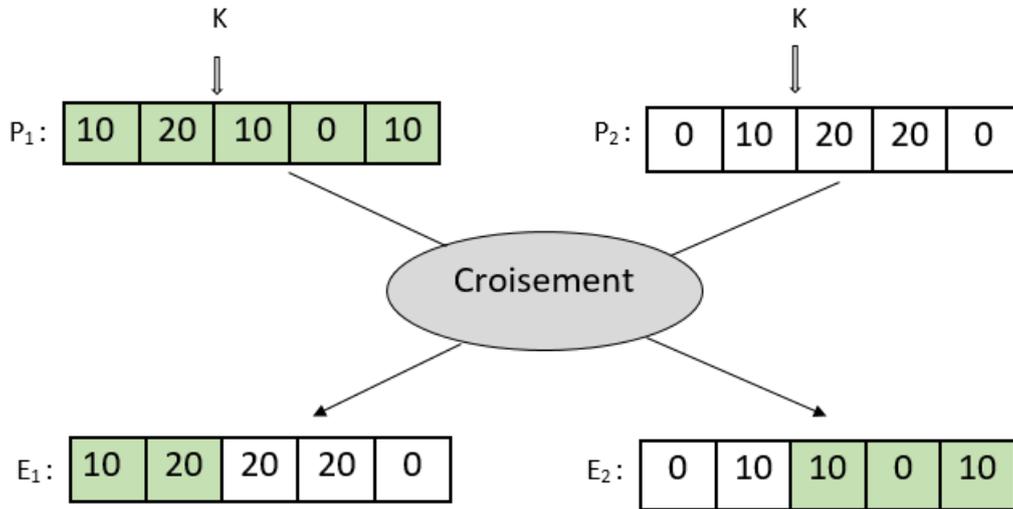


FIGURE 5.2 – Croisement à découpage

Ce type de croisement à découpage de chromosomes est très efficace pour les problèmes discrets. Pour les problèmes continus, un croisement "barycentrique" est souvent utilisé, qui est la sélection de deux gènes $P_1(i)$ et $P_2(i)$ dans chacun des parents à la même position i . Ces deux derniers définissant deux nouveaux gènes $E_1(i)$ et $E_2(i)$ par combinaison linéaires.

$$\begin{cases} E_1(i) = \alpha P_1(i) + (1 - \alpha)P_2(i) \\ E_2(i) = \alpha P_2(i) + (1 - \alpha)P_1(i) \end{cases}$$

Où α est un coefficient de pondération aléatoire adapté au domaine d'extension des gènes.

5.2.5 La mutation

L'opérateur de mutation est un opérateur de diversification de l'espace de recherche. Leur principe est cité dans les étapes ci dessous :

- Tirer aléatoirement avec une probabilité de mutation P_{mut} un chromosome ;
- Générer un vecteur V dans un intervalle précis $[-m, m]$;
- Faire la somme de ces derniers on obtenant un nouveau chromosome, pour $m = 2$:

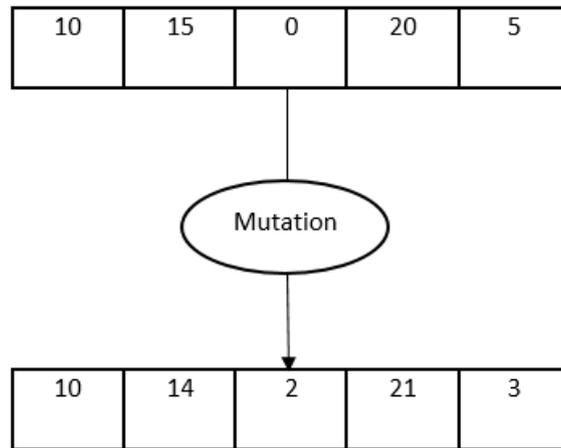


FIGURE 5.3 – La mutation

5.2.6 La sélection de remplacement

La sélection permet d'identifier les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais pour les prochaines générations. Nous utilisons le même principe utilisé dans l'étape de sélection de reproduction.

Note 1

Pendant l'opération de croisement et de mutation, les contraintes de notre problème (contrainte de capacité des fournisseurs et contrainte de demande des clients) peuvent être violées. Pour cette raison, nous avons ajouté une section dans notre algorithme qui corrige le problème au cas où les contraintes ne sont pas satisfaites.

5.3 L'algorithme génétique proposé au problème

5.3.1 Description de l'algorithme génétique proposé

Afin d'améliorer la convergence vers la meilleure solution du problème, nous proposons un algorithme génétique dont quelque amélioration et modification. Nous apportons des modification à la phase de mutation.

Note 2

Pour l'initialisation, la phase de sélection et la phase de croisement, nous utilisons le même principe que celui utilisé dans l'algorithme génétique mentionné ci-dessus.

Opérateur de mutation

L'opérateur de mutation apporte aux algorithmes génétiques la propriété d'ergodicité de parcours d'espace. Cette propriété indique que l'algorithme génétique sera susceptible d'atteindre tous les points de l'espace d'état, sans pour autant les parcourir tous dans le processus de résolution. Ainsi en toute rigueur, l'algorithme génétique peut converger sans croisement, et certaines implantations fonctionnent de cette manière [35]. Les propriétés de convergence des algorithmes génétiques sont donc fortement dépendantes de cet opérateur sur le plan théorique.

Mutation adaptative

Dans notre algorithme l'opérateur de mutation est modifié (adapté) pour avoir une convergence rapide à la meilleur solution du problèmes.

La première étape de la mutation adaptative consiste à tirer non pas aléatoirement un gène dans le chromosome mais tire un gène dont le coefficient $C(i)$ dans la fonction fitness est le meilleur et ajouter une valeur aléatoire uniforme positive généré dans un intervalle $[0, M]$ tel que $M = \min(K_s)$ avec $s \in S$ (M est la valeur la plus petite des capacités maximal des fournisseurs). La deuxième étape de la procédure de mutation adaptative est de soustraire la même valeur M au gène dont le plus faible coefficient dans la fonction fitness.

On résume le principe de cette mutation dans ces deux étapes :

1. Étape 1 :

$$\begin{cases} C_{i1} \leq C_j & j = \overline{1, n} \\ C_{i1} = C_{i1} + a_{i1} & a_{i1} \sim U [0, M] \end{cases}$$

2. Étape 2 :

$$\begin{cases} C_{i2} \geq C_j & j = \overline{1, n} \\ C_{i2} = C_{i2} - a_{i1} & a_{i1} \sim U [0, M] \end{cases}$$

5.3.2 Gestion des contraintes

Dans l'algorithme proposé on a introduit une procédure qui teste si un élément de la population viole une contrainte. Dans le cas l'élément se verra attribuer une mutation des gène le plus faible.

5.3.3 Avantages et inconvénients

Avantage

- Réduire le temps d'exécution et le nombre d'itération,
- Une bonne convergence local grâce à la mutation adaptative qui raffine l'algorithme génétique,
- Les croisements et les mutations se font sur la population reproduite, et non sur la population initiale.

Inconvénient

Les inconvénients de l'algorithme est qu'il génère une population d'individus homogène, alors que la diversité de la population doit être entretenue au cours des générations afin de parcourir le plus largement possible l'espace d'état.

5.4 Exemples d'applications

Afin d'analyser et de tester le comportement de notre algorithme génétique proposé, nous présenterons deux exemples et appliquerons l'algorithme génétique proposé et l'algorithme génétique classique sur eux, et nous comparerons les résultats.

Les deux algorithmes sont codés dans matlab, on a utilisé les mêmes paramètres dans chacun d'eux, que nous résumerons dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Valeur
Fitness	Coût total définis dans l'équation (3.5)
Taille de population	10
Probabilité de croisement	0.6
Probabilité de mutation	0.9
Nombre de répliation	10

TABLE 5.2 – Paramètres d'algorithme génétique

5.4.1 Premier exemple d'application

Dans ce premier exemple, nous nous intéresserons à la précision de la solution optimale.

Paramètre	Valeur
La demande totale de client	400
Nombre de fournisseurs	20

TABLE 5.3 – Paramètres de l'exemple

Pour cela nous avons testés ces trois scénarios :

Scénarios 1 :

Pour ce premier scénario, nous avons testé les performances des deux algorithmes lorsqu'il existe un petit écart de coût entre les fournisseurs. par exemple : $C_u = [10.20, 10.25, 10.35, 10.50, 10.15, 10.22, 10.05, 10.15, 10.50, 10.10, 10.12, 10.12, 10.55, 10.65, 10.00, 10.12, 10.20, 10.25, 10.25, 10.18]$.

Scénario 2 :

Dans ce scénario, nous avons testé les performances des deux algorithmes à de faibles capacités des fournisseurs. Par exemple : $CP_{max} = [38, 39, 35, 41, 34, 40, 40, 36, 38, 30, 31, 32, 40, 36, 37, 30, 30, 33, 35, 40]$.

Scénario 3 :

Dans ce dernier, nous avons testés les performances à de faible capacités chez les les fournisseurs et un petit écart de coût entre eux.

Après expérimentations, l'ensemble des résultats obtenus pour les trois scénarios testés pour ce exemple sont détaillés ci-dessous :

Résultats et analyses

Résultats du premier scénario :

Les meilleurs solutions mémorisés(AGc)						Les meilleurs solutions mémorisés (AGp)					
Q_f _i	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	Q_f _i	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)
x ₁	33	34	45	0	23	x ₁	0	0	0	0	0
x ₂	0	15	42	0	0	x ₂	0	0	0	0	0
x ₃	0	17	38	0	32	x ₃	0	0	0	0	0
x ₄	0	0	0	15	0	x ₄	0	0	0	0	0
x ₅	0	32	36	19	0	x ₅	45	38	53	49	38
x ₆	23	0	0	44	25	x ₆	0	0	0	0	0
x ₇	44	39	44	43	45	x ₇	45	45	45	45	45
x ₈	32	22	22	17	31	x ₈	35	42	27	31	42
x ₉	10	7	0	0	26	x ₉	0	0	0	0	0
x ₁₀	44	50	24	34	29	x ₁₀	50	50	50	50	50
x ₁₁	44	51	38	0	35	x ₁₁	75	75	75	75	75
x ₁₂	35	34	0	40	33	x ₁₂	40	40	40	40	40
x ₁₃	0	0	0	33	0	x ₁₃	0	0	0	0	0
x ₁₄	0	0	0	0	0	x ₁₄	0	0	0	0	0
x ₁₅	52	0	0	38	30	x ₁₅	60	60	60	60	60
x ₁₆	28	0	37	33	34	x ₁₆	50	50	50	50	50
x ₁₇	0	17	14	29	0	x ₁₇	0	0	0	0	0
x ₁₈	19	0	16	0	23	x ₁₈	0	0	0	0	0
x ₁₉	36	50	23	32	0	x ₁₉	0	0	0	0	0
x ₂₀	0	32	21	23	34	x ₂₀	0	0	0	0	0
Val_f	4222.65	4245.91	4252.43	4254.98	4251.21	Val_f	4147.05	4147.05	4147.05	4147.05	4147.05

TABLE 5.4 – Résultats de scénario 1

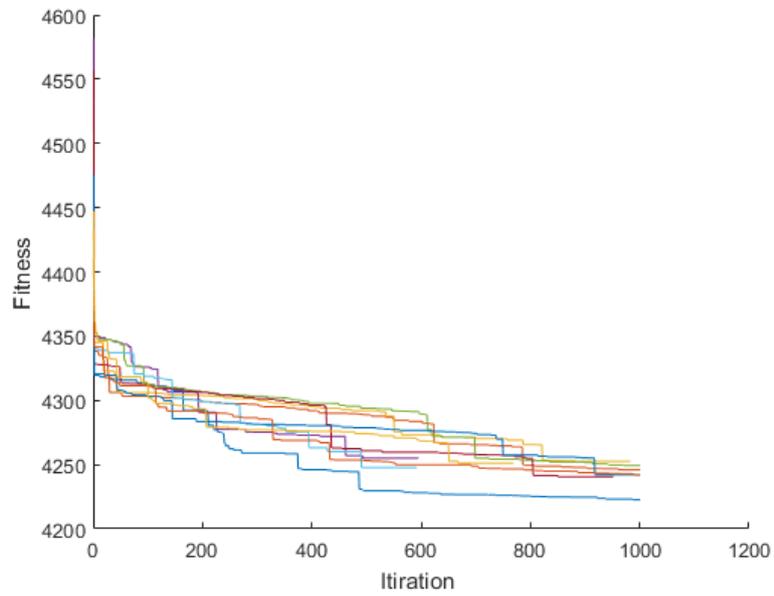


FIGURE 5.4 – La fonction fitness par rapport au nombre d’itération, scénario 1 (AGc)

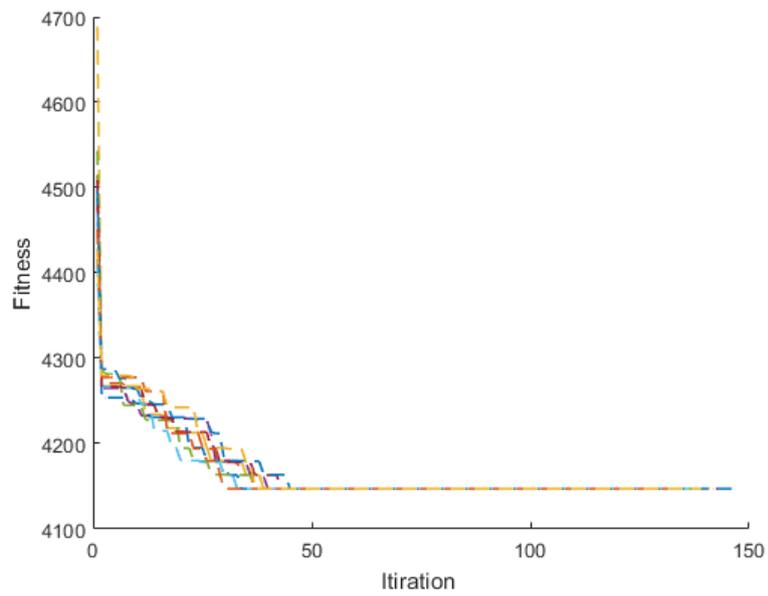


FIGURE 5.5 – La fonction fitness par rapport au nombre d’itération, scénario 1 (AGp)

Résultats de deuxième scénario :

Les meilleurs solutions mémorisés(AGc)						Les meilleurs solutions mémorisés (AGp)					
Q_f _i	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	Q_f _i	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)
x ₁	25	29	29	38	38	x ₁	38	38	38	38	38
x ₂	38	39	39	39	39	x ₂	39	39	39	39	39
x ₃	33	34	33	35	35	x ₃	35	35	35	35	35
x ₄	33	28	20	35	40	x ₄	41	41	41	41	41
x ₅	0	0	0	0	0	x ₅	0	0	0	0	0
x ₆	3	10	4	0	0	x ₆	0	0	0	0	0
x ₇	0	0	0	0	0	x ₇	0	0	0	0	0
x ₈	16	0	12	20	20	x ₈	10	10	10	10	10
x ₉	0	0	0	0	0	x ₉	0	0	0	0	0
x ₁₀	22	28	26	11	0	x ₁₀	0	0	0	0	0
x ₁₁	31	31	28	28	31	x ₁₁	31	31	31	31	31
x ₁₂	30	29	31	21	30	x ₁₂	32	32	32	32	32
x ₁₃	40	40	40	40	40	x ₁₃	40	40	40	40	40
x ₁₄	35	36	36	36	36	x ₁₄	36	36	36	36	36
x ₁₅	0	0	0	0	0	x ₁₅	0	0	0	0	0
x ₁₆	26	30	29	30	27	x ₁₆	30	30	30	30	30
x ₁₇	8	0	10	0	0	x ₁₇	0	0	0	0	0
x ₁₈	33	32	31	33	31	x ₁₈	33	33	33	33	33
x ₁₉	27	34	32	34	33	x ₁₉	35	35	35	35	35
x ₂₀	0	0	0	0	0	x ₂₀	0	0	0	0	0
Val_f	7829.12	7744.88	7822.68	78651.74	7622.33	Val_f	7584.05	7584.05	7584.05	7584.05	7584.05

TABLE 5.5 – Résultats de scénario 2

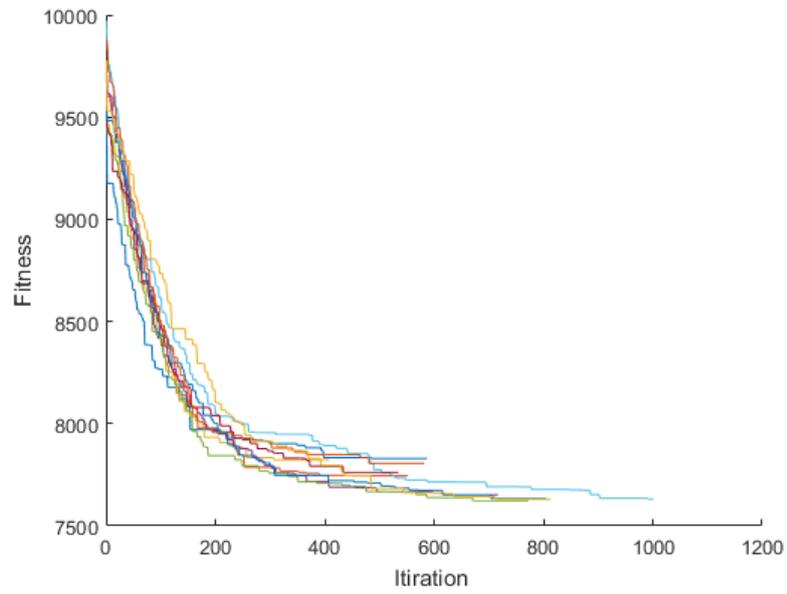


FIGURE 5.6 – La fonction fitness par rapport au nombre d’itération, scénario 2 (AGc)

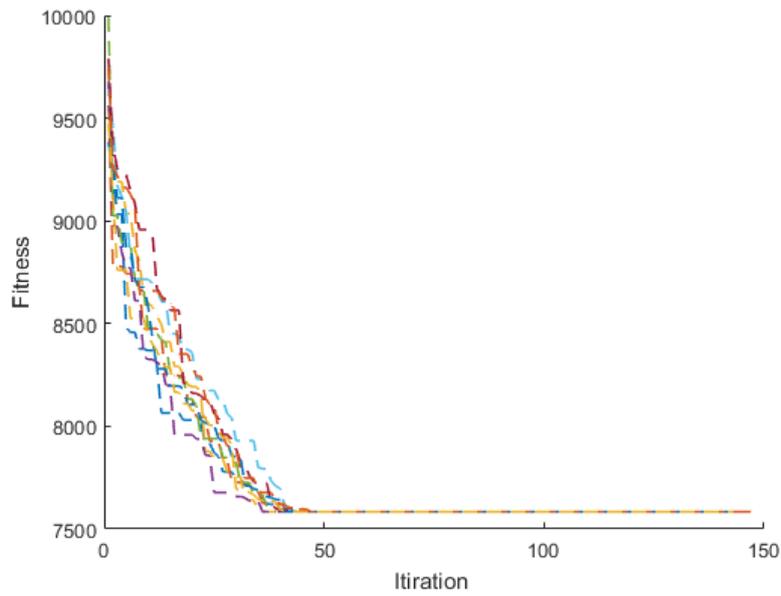


FIGURE 5.7 – La fonction fitness par rapport au nombre d’itération, scénario2 (AGp)

Résultats de troisième scénario :

Les meilleurs solutions mémorisés(AGc)						Les meilleurs solutions mémorisés(AGp)					
Q_f _i	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	Q_f _i	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)
x ₁	32	18	38	23	0	x ₁	38	38	38	38	38
x ₂	26	15	12	29	24	x ₂	0	0	0	0	0
x ₃	18	0	27	0	15	x ₃	0	0	0	0	0
x ₄	0	0	0	0	0	x ₄	0	0	0	0	0
x ₅	33	29	29	33	31	x ₅	34	34	34	34	34
x ₆	22	0	28	18	40	x ₆	22	22	22	22	22
x ₇	0	40	39	40	27	x ₇	40	40	40	40	40
x ₈	36	35	33	17	24	x ₈	36	36	36	36	36
x ₉	0	0	0	0	0	x ₉	0	0	0	0	0
x ₁₀	30	28	30	28	30	x ₁₀	30	30	30	30	30
x ₁₁	30	27	20	31	0	x ₁₁	31	31	31	31	31
x ₁₂	25	32	31	32	30	x ₁₂	32	32	32	32	32
x ₁₃	0	0	0	0	6	x ₁₃	0	0	0	0	0
x ₁₄	0	0	0	0	0	x ₁₄	0	0	0	0	0
x ₁₅	37	37	37	37	37	x ₁₅	37	37	37	37	37
x ₁₆	29	29	0	30	30	x ₁₆	30	30	30	30	30
x ₁₇	27	25	0	29	20	x ₁₇	30	30	30	30	30
x ₁₈	32	17	14	10	23	x ₁₈	0	0	0	0	0
x ₁₉	0	28	29	13	28	x ₁₉	0	0	0	0	0
x ₂₀	23	40	33	30	35	x ₂₀	40	40	40	40	40
Val_f	4264.01	4263.76	4274.27	4274.22	4278.20	Val_f	4238.30	4238.30	4238.30	4238.30	4238.30

TABLE 5.6 – Résultats de scénario 3

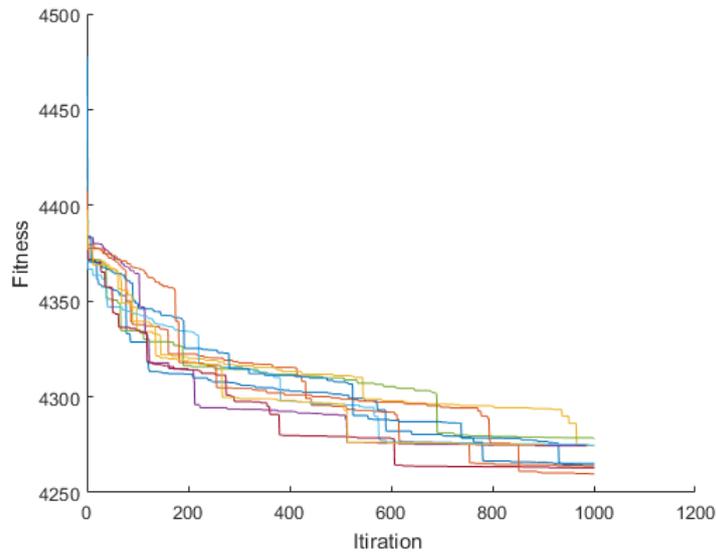


FIGURE 5.8 – La fonction fitness par rapport au nombre d’itération, scénario 3 (AGc)

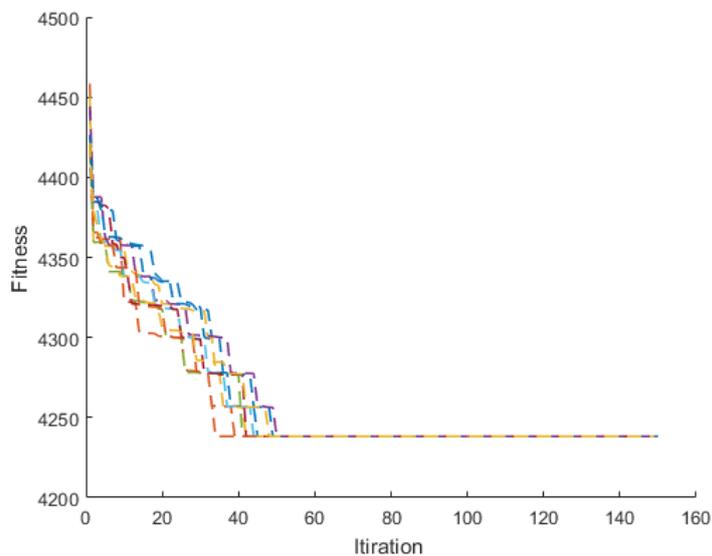


FIGURE 5.9 – La fonction fitness par rapport au nombre d’itération, scénario 3 (AGp)

Analyse des résultats

D’une manière générale, pour ce premier exemple (les trois scénarios testés) nous remarquons :

- AGp s’améliore à chaque itération et se stabilise à la solution optimale après un maximum de 50 itérations pour l’ensemble des dix répliques,
- D’autre part, l’AGc s’améliore à chaque itération mais reste instable au bout de plus de 1000 itérations et s’éloigne de la meilleure solution à chaque réplique (la valeur de la fonction objective dans la première réplique est meilleure que dans la dixième réplique).

5.4.2 Deuxième exemple d’application

Dans cette exemple, nous nous intéresserons à la vitesse de convergence de l’algorithme vers la solution optimale. Pour cela nous nous proposerons un exemple avec les paramètre détaillés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
La demande totale de client	20000
Nombre de fournisseurs	1000

TABLE 5.7 – Paramètres de l’exemple

5.4.3 Résultats et analyse

Après expérimentations, les résultats obtenus pour cet exemple sont les suivants :

Résultats par AGc				Résultats par AGp			
N	Val_f	itération	T_exécution (s)	N	Val_f	itération	T_exécution (s)
1	708623	20237	1194,30431	1	654068	2673	25,5894474
2	716231	12018	757,130186	2	654068	2639	25,2893023
3	710884	18927	1079,60974	3	654068	2656	26,1308691
4	709782	21916	1194,30651	4	654068	2663	25,8509646
5	704868	29957	1776,91808	5	654068	2646	25,9339398
6	713558	14782	892,679766	6	654068	2621	25,9432728
7	712037	17171	1028,90227	7	654068	2662	26,4296843
8	709635	22957	1289,63893	8	654068	2633	25,9946124
9	714047	18782	1135,85556	9	654068	2649	26,4148082
10	710191	17907	1107,83787	10	654068	2633	25,7261797
Moy	710985,6	19465,4	1145,71832	Moy	654068	2647,5	25,9303081

TABLE 5.8 – Résultats de deuxième exemple

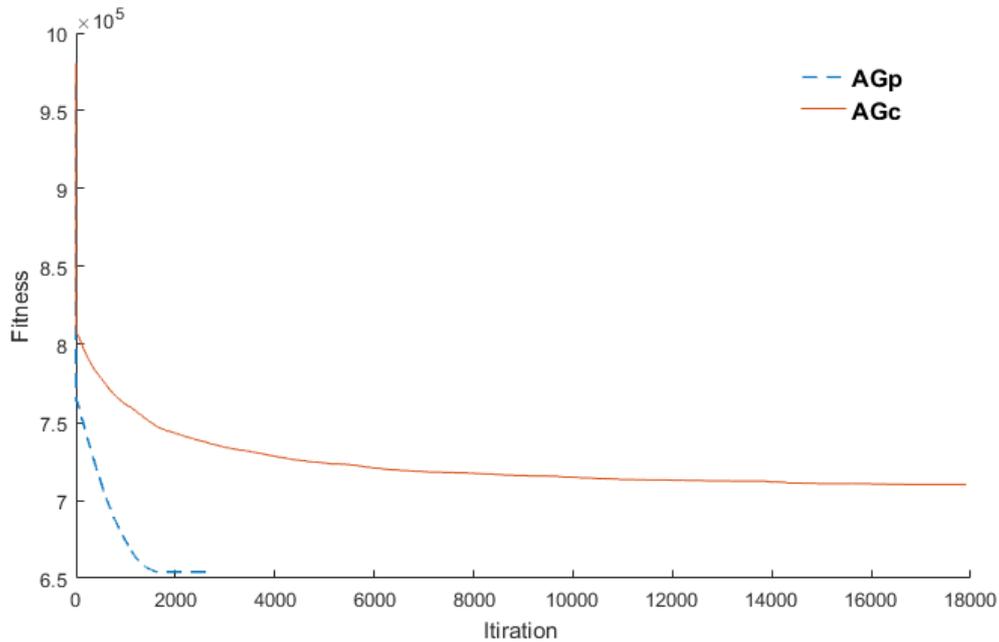


FIGURE 5.10 – Résultats d'exemple 2 obtenus par AGp et AGc

Discussion des résultats

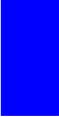
Les deux tableaux présentés juste au-dessus, sont bien visibles et bien représentés dans ces deux courbes dans la figure 5.10, où on remarque que :

- La première courbe présente par un ligne discontinue bleu AGp : une décroissance accentuée vers une solution qui restera stable à partir de 1600 itération.
- La deuxième courbe présente par un ligne continue rouge AGc : amélioration légèrement jusqu'à 13000 itérations. En 16000 itération la courbe stabilise dans la solution optimale

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'algorithme génétique adapté à notre problème ainsi que l'algorithme génétique classique.

Après implémentations des deux algorithmes sur l'environnement MATLAB, nous avons procédé à une comparaison des performances. D'après les résultats obtenus, l'AG adapté est meilleur que l'AG classique sur les critères à savoirs le temps d'exécution et la précision de la solution optimale, cela signifie que la mutation adaptative est extrêmement efficace pour accélérer le temps d'exécution des algorithmes génétique et améliorer leurs performances.



Conclusion générale

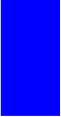
Le concept de gestion de la chaîne d'approvisionnement est devenu essentiel dans l'économie d'aujourd'hui et dans plusieurs secteurs industriels en raison de son impact sur l'avantage concurrentiel des entreprises.

Les problèmes logistiques sont, pour la recherche opérationnelle, un sujet d'étude à l'intérêt constamment renouvelé, alors que les mathématiques semblent à court d'arguments pour les résoudre, une famille de méthodes appelées métaheuristiques permet d'apporter des réponses en proposant une approche à la fois flexible, robuste et efficace.

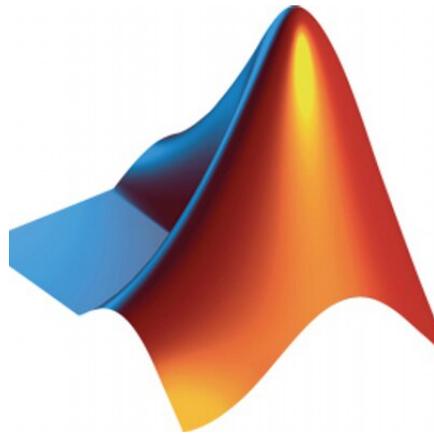
Nous nous sommes intéressé dans ce mémoire au problème de choix de fournisseurs dans le but de minimiser le coût total d'acquisition.

Pour la résolution de notre problème on a proposé un algorithme génétique adapté pour améliorer la convergence vers la meilleure solution du problème.

Nous avons comparé notre algorithme avec l'algorithme génétique classique. Les résultats obtenus sont très satisfaisants, parce que notre algorithme arrive à surpasser la métaheuristique dans le temps d'exécution et la qualité des solutions dans la majorité des cas testés.



Annexe



Le choix de langage

Le choix s'est porté sur l'emploi du langage du logiciel Matlab, car il répond aux critères suivants :

- Programmation infiniment plus rapide pour le calcul et pour l'affichage,
- Une librairie très riche,
- Langage interprété : Pas de compilation donc pas d'attente pour compiler,
- Possibilité d'exécuter du code en dehors du programme,
- Code facile à comprendre et très lisible,
- Une aide très bien faite,
- Le bagage du langage : il contient une interface graphique puissante ainsi qu'une grande variété de méthodes scientifiques implémentées (prédéfinies).

Présentation du Matlab

MATLAB est une abréviation de Matrix LABoratory. Écrit à l'origine, en Fortran, par C. Moler, MATLAB était destiné à faciliter l'accès au logiciel matriciel développé dans les projets LINPACK et EISPACK.

MATLAB est un environnement puissant, complet et facile à utiliser destiné au calcul scientifique. Il apporte aux ingénieurs, chercheurs et à tout scientifique un système interactif intégrant calcul numérique et visualisation. C'est un environnement performant, ouvert et programmable qui permet de remarquables gains de productivité et de créativité.

MATLAB est un environnement complet, ouvert et extensible pour le calcul et la visualisation. Il dispose de plusieurs centaines (voire milliers, selon les versions et les modules optionnels autour du noyau Matlab) de fonctions mathématique, scientifiques et techniques. L'approche matricielle de MATLAB permet de traiter les données sans aucune limitation de taille et de réaliser des calculs numériques et symbolique de façon fiable et rapide. Grâce aux fonction graphiques de MATLAB, il devient très facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos souhaits.

L'approche ouverte de MATLAB permet de construire un outil sur mesure. On peut inspecter le code source et les algorithmes des bibliothèques de fonction (Toolboxes), modifier des fonction existantes et ajouter d'autres.[11]

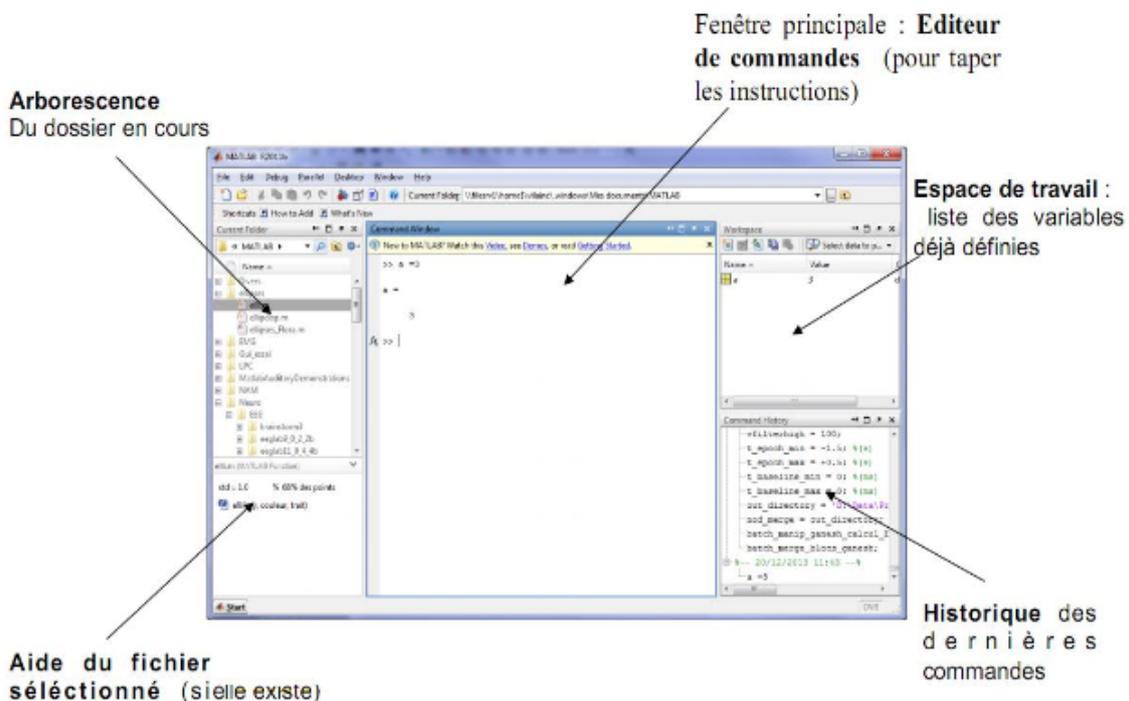


FIGURE 5.11 – Interface principale de MATLAB

Quelles sont les particularités de MATLAB?[11]

MATLAB permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation, tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques.

Considéré comme un des meilleurs langages de programmations (C ou Fortran), MATLAB possède les particularités par rapport à ces langages :

- La programmation facile,
- La continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes,
- La gamme étendue des nombres et leurs précisions,
- La bibliothèque mathématique très compréhensives,
- L'outil graphique qui inclut les fonctions d'interface graphique et les utilitaires,
- La possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmation (C ou Fortran).

Dans MATLAB, aucune déclaration n'est à effectuer sur les nombres. En effet, il n'existe pas distinction entre les nombres entiers, les nombres complexes et la simple ou double précision. Cette caractéristique rend le mode de programmation très facile et très rapide. En Fortran par exemple, une subroutine est presque nécessaire pour chaque variable simple ou double précision, entière, réelle ou complexe. Dans MATLAB, aucune nécessité n'est demandée pour la séparation de ces variables.

La bibliothèque des fonctions mathématiques dans MATLAB donne des analyses mathématiques très simples. En effet, l'utilisateur peut exécuter dans le mode commande n'importe quelle fonction mathématique se trouvant dans la bibliothèque sans avoir à recourir la programmation.

Pour l'interface graphique, des représentations scientifiques et même artistiques des objets peuvent être créés sur l'écran en utilisant les expressions mathématiques. Les graphiques sur MATLAB sont simples et attirent l'attention des utilisateurs, vu les possibilités importantes offertes par ce logiciel.

Programmation avec Matlab

Il y a deux façons pour écrire des fonctions Matlab :

- Soit directement dans la fenêtre de commandes.
- Soit en utilisant l'éditeur de développement de Matlab, en sauvegardant les programmes dans des fichiers texte avec l'extension ".m".

Fichiers *.m

Les programmes sauvegardés dans les fichiers Matlab (*.m) sont alors directement utilisables comme des fonctions Matlab à partir de la fenêtre de commande. Pour cela, le fichier doit se trouver dans le répertoire Matlab, qui est en pratique le dossier Work.

Création d'une fonction

La création d'une fonction dans Matlab se fait par la syntaxe suivante :

fonction[$s_1; s_2; \dots; s_n$]=nom-fonction($e_1; e_2; \dots; e_n$). Les variables $s_1; s_2; \dots; s_n$ sont les arguments de sortie (S) de la fonction et les variables $e_1; e_2; \dots; e_n$ sont les arguments d'entrée (E).

Attention : le fichier M(M-file) doit avoir le même nom que la fonction qu'il contient.

Les commandes et les fonctions prédéfinies utilisées

- **size** : size(M) fourni les dimensions de la matrice M.
- **errordlg** : Crée et affiche une boîte de dialogue de titre Erreur dialogue.
- **sum** : si A est un vecteur sum(A) rend la somme des éléments, si A une matrice, la somme (A) traite les colonnes de A comme vecteurs, rendre un vecteur de la ligne des sommes de chaque colonne.
- **zeros** : zeros(n,n) retourne n-par-n matrice de zéros, (zeros(m,n))retourne un m-par-n matrice de zéros).
- **ones** : A = ones(n,m) matrice de un avec n lignes et m colonnes.

- **length** : `length(x)` trouve la longueur de vecteur ou plus grande dimension de la collection.
- **plot** : `plot(x,y)` tracé "y" en fonction de "x".
- **cumsum** : `cumsum (A)` renvoie un vecteur contenant la somme cumulée des éléments de A.
- **sortrows** : `sortrows (A)` trie les lignes de A par ordre croissant. L'argument A doit être une matrice ou un vecteur colonne.
- **rand** : `r= rand (n)` renvoie une matrice n-par-n contenant des valeurs pseudo-aléatoires tirées de la distribution uniforme standard sur l'intervalle]0, 1[. `rand ([m,n])` renvoie une matrice m par n. `rand` renvoie un scalaire.
- **randi** : `r= randi (imax, n)` renvoie une matrice n-par-n contenant des valeurs entières pseudo-aléatoires tirées de la distribution uniforme discrète sur 1 : imax. `randi (imax, m, n)` renvoie une matrice m par n.
- **floor** : `floor(A)` arrondit les éléments de A aux nombres entiers les plus proches inférieurs ou égaux à A.
- **hold on/ off** : Pour superposer ou non des courbes.
- **C = A'** : Transposée de A.
- **tic / toc** : La commande `tic` démarre un chronomètre, `MATLAB` exécute le bloc d'instructions et `toc` arrête le chronomètre, affichant le temps écoulé en secondes.
- **xlabel / ylabel (fname)** : Évalue la fonction `fname`, qui doit retourner une chaîne de caractères, puis affiche cette chaîne à côté de l'axe des x / y.
- **max** : `max(x)` retourne la valeur maximale de vecteur x.
- **min** : `min(x)` retourne la valeur minimale de vecteur x.
- **inf / -inf** : `Inf` renvoie la représentation pour une infinité positive /négative.



Bibliographie

- [1] Y. Abbou. *Développement d'une base de données pour la gestion des pièces de rechange*. PhD thesis.
- [2] A. Adaïka and M. Rezig. *Conception et réalisation d'un système de gestion de stock pour une entreprise de production : Cas de l'entreprise TPL*. PhD thesis.
- [3] B. Ageron, O. Lavastre, and V. Carbone. *Les grands auteurs en logistique et Supply Chain Management*. Éditions EMS, 2016.
- [4] A. Aguezoul and P. Ladet. *Sélection et évaluation des fournisseurs : Critères et méthodes*. 2006.
- [5] N. Aissaoui, M. Haouari, and E. Hassini. *Supplier selection and order lot sizing modeling : A review*. *Computers & operations research*, 34(12) :3516–3540, 2007.
- [6] M. Alcoof. *Gestion des stocks méthodes et applications*, 1987.
- [7] N. Ali Saoucha. *Étrage des algorithmes génétiques pour l'optimisation de la QoS dans les réseaux radios cognitifs*. PhD thesis, Université de M'Sila-Mohamed Boudiaf, 2013.
- [8] D. Anderson and A. Delattre. *Supply chain innovations : Five big, bold trends*. *Outlook—Point of view, Accenture, o. Jg*, pages 1–2, 2003.
- [9] B. Aouf and K. Boubekeur. *Conception de la chaîne logistique de l'entreprise Toudja : Localisation des entrepôts et optimisation du flux de transport*. PhD thesis.
- [10] Y. Arda. *Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées*. PhD thesis, 2008.
- [11] F. Baba Hamed. *Le calcul scientifique appliqué au Génie Civil Sous MATLAB*. 2015.
- [12] H. Bara. *Développement et implémentation d'une méthode hybride pour la résolution du problème d'assignation quadratique*. PhD thesis, Université Mohamed Boudiaf-M'sila faculté des mathématiques, 2019.
- [13] V. Barichard. *Approches hybrides pour les problèmes multiobjectifs*. PhD thesis, Ecole Doctorale d'Angers, 24 Novembre 2003.
- [14] A. Bechir. *Résolution de problèmes d'optimisation par les systèmes multi-agents et les approches évolutionnaires*. PhD thesis, Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.
- [15] C. Bechtel and J. Jayaram. *Supply chain management : a strategic perspective*. *The international journal of logistics management*, 8(1) :15–34, 1997.
- [16] J. Bell and P. McMullen. *Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem*. *Advanced engineering informatics*, 18(1) :41–48, 2004.
- [17] R. Benabid. *Optimisation multiobjective de la synthèse Des facts par les particules en essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques*. PhD thesis, Université de Laghouat-Amar Telidji, 2007.
- [18] L. Benyoucef, H. Ding, and X. Xie. *Supplier selection problem : selection criteria and methods*. 2003.

- [19] F. Beutler. *Dynamic programming : Deterministic and stochastic models (dimitri p. bertsekas)*. *SIAM Review*, 31(1) :132, 1989.
- [20] F. Bezouane and O. Mahi. *La gestion financière des stocks au sein d'une entreprise industrielle : cas de l'ENIEM*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2015.
- [21] L. Boer and L. Wegen. *Practice and promise of formal supplier selection : a study of four empirical cases*. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(3) :109–118, 2003.
- [22] JS. Bonser and SD. Wu. *Procurement planning to maintain both short-term adaptiveness and long-term perspective*. *Management Science*, 47(6) :769–786, 2001.
- [23] O. Bräysy and M. Gendreau. *Genetic algorithms for the vehicle routing problem with time windows*. *Arpakannus,(1)*, pages 33–38, 2001.
- [24] J. Briffaut. *Systèmes d'information en gestion industrielle*. Hermès Science Publications, 2000.
- [25] C. Changdar, G. Mahapatra, and R. Pal. *An ant colony optimization approach for binary knapsack problem under fuzziness*. *Applied Mathematics and Computation*, 223 :243–253, 2013.
- [26] A. Chibani. *Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne*. PhD thesis, 2015.
- [27] P. Chu and J. Beasley. *A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem*. *Journal of heuristics*, 4(1) :63–86, 1998.
- [28] R. Clément. *Gestion des stocks et performance commerciale de l'entreprise «cas de la société BLANCHE BIRGER Madagascar»*.
- [29] J. Derruppé. *Les opérations de l'entreprise*. Librairies techniques, 1972.
- [30] H. Ding, L. Benyoucef, and X. Xie. *A simulation optimization methodology for supplier selection problem*. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18(2-3) :210–224, 2005.
- [31] M. Dorigo, V. Maniezzo, and M. Trubian. *Ant system for job-shop scheduling*. *Belgian Journal of Operations Research*, 34 :39–53, 1994.
- [32] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni. *The ant system : An autocatalytic optimizing process*. 1991.
- [33] NG. Eric, L. Brown, K. Hastings, and F. Cassidy. *Supplier selection in industrial supply-chains : the case of Taiwanese agribusiness*. In *Proceedings of the 2006 Australian and New Zealand Marketing Academy Conference (ANZMAC 2006)*. Queensland University of Technology, School of Advertising, Marketing and . . . , 2006.
- [34] R. Faure, B. Lemaire, and C. Picouleau. *Précis de recherche opérationnelle*. Dunod (Paris 1979), 1996.
- [35] L. Fogel, A. Owens, and M. Walsh. *Artificial intelligence through simulated evolution*. 1966.
- [36] P. Fournier and J. Ménard. *Gestion de l'approvisionnement et des stocks*. Gaëtan Morin, 2004.
- [37] F. Galasso. *Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible*. PhD thesis, 2007.
- [38] P. Ghadimi, A. Azadnia, C. Heavey, A. Dolgui, and B. Can. *A review on the buyer–supplier dyad relationships in sustainable procurement context : past, present and future*. *International Journal of Production Research*, 54(5) :1443–1462, 2016.
- [39] A. Gherboudj. *Méthodes de résolution de problèmes difficiles académiques*. Université de Constantine2, 2013.
- [40] F. Glover. *Future paths for integer programming and links to artificial intelligence*. *Computers operations research*, 13(5) :533–549, 1986.

- [41] J. Gosling, L. Purvis, and M. Naim. *Supply chain flexibility as a determinant of supplier selection*. *International Journal of Production Economics*, 128(1) :11–21, 2010.
- [42] R. Guillaume. *Gestion des risques dans les chaînes logistiques : planification sous incertitude par la théorie des possibilités*. PhD thesis, Toulouse 2, 2011.
- [43] J. Holland. *Adaptation in natural and artificial systems*, university of michigan press, ann arbor,. Cité page, 100, 1975.
- [44] D. Ivanov, A. Dolgui, F. Werner, and M. Ivanova. *A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0*. *International Journal of Production Research*, 54(2) :386–402, 2016.
- [45] D. Ivanov and B. Sokolov. *Adaptive supply chain management*. Springer Science & Business Media, 2009.
- [46] D. Ivanov, B. Sokolov, and J. Kaeschel. *A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations*. *European journal of operational research*, 200(2) :409–420, 2010.
- [47] B. Kingsman. *Purchasing raw materials with uncertain fluctuating prices*. *European Journal of Operational Research*, 25(3) :358–372, 1986.
- [48] L. Koste and M. Malhotra. *A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility*. *Journal of operations management*, 18(1) :75–93, 1999.
- [49] L. Lamri and S. Sbargoud. *Optimisation de la gestion des stocks Naftal Tizi Ouzou*. PhD thesis, UMMTO, 2019.
- [50] A. Layeb. *Utilisation des Approches d’Optimisation Combinatoire pour la Vérification des Applications Temps Réel*. PhD thesis, Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine, 2010.
- [51] S. Lipovetsky. *Pareto 80/20 law : derivation via random partitioning*. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 40(2) :271–277, 2009.
- [52] J. Mahmoudi. *Simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaînes logistiques : application au secteur de l’électronique et des télécommunications*. PhD thesis, 2006.
- [53] A. Marchal and J. Gaertner. *Logistique globale : supply chain management*. Ellipses, 2006.
- [54] P. Médan, A. Gratacap, and O. Labasse. *Logistique et supply chain management : intégration, collaboration et risques dans la chaîne logistique globale*. Dunod, 2008.
- [55] G. Mélard et al. *Initiation à l’analyse des séries temporelles et à la prévision*. *Revue Modulad*, 82(35), 2006.
- [56] S. Mouellef, A. Bentounsi, and H. Benalla. *Optimal design of switched reluctance motor using PSO based FEM-EMC modeling*. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 5(5), 2015.
- [57] FN. Olivier and N. Fenohery. *Contribution a l’amélioration de la gestion de stocks des produits orange au sein de la société ARIUM SARL*.
- [58] I. Osman and G. Laporte. *Metaheuristics : a bibliography*. *Annals of Operations Research*, 1996.
- [59] L. Pellerin. *La formalisation des activités de gestion des stocks dans les PME manufacturières québécoises*. PhD thesis, Université du Québec à Trois-Rivières, 1997.
- [60] Y. Pimor and M. Fender. *Logistique*. Dunod, 2008.
- [61] I. Rahmouni and k. Souici. *Amélioration d’une chaîne logistique agro-alimentaire, par l’intégration et la réalisation d’un système de traçabilité basé sur l’IOT et une plateforme web*. PhD thesis.

-
- [62] KS. Soliman, BD. Janz, T. Puschmann, and R. Alt. *Successful use of e-procurement in supply chains. Supply Chain Management : an international journal*, 2005.
- [63] E. Taillard. *La programmation á mémoire adaptative et les algorithmes pseudo-gloutons : nouvelles perspectives pour les métaheuristiques*. PhD thesis, Thèse d'habilitation, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Versailles, France, 1998.
- [64] E. Taillard. *Principes d'implémentation des métaheuristiques*. Dans J. Teghem et M. Pirlot, éditeur, *Optimisation approchée en recherche opérationnelle - Recherches locales, réseaux neuronaux et satisfaction de contraintes*. Hermès Science Publications, Paris, 2002.
- [65] D. Tate and A. Smith. *A genetic approach to the quadratic assignment problem*. *Computers & Operations Research*, 22(1) :73–83, 1995.
- [66] k. Thabet and S. Briki. *Les applications des RFID dans la gestion de chaîne logistique Agroalimentaire (Viande Halal)*. PhD thesis.
- [67] P. Zermati and F. Mocellin. *La pratique de la gestion des stocks*. Dunod, 1972.

Résumé

Au cours de ce mémoire de fin d'étude, nous nous sommes intéressés au problème de choix de fournisseurs qui est un célèbre problème d'optimisation de chaîne logistique. Plusieurs algorithmes peuvent être appliqués à un tel problème d'optimisation, mais il est difficile dans la pratique de choisir l'algorithme qui fournira probablement les meilleures performances. Dans notre travail, nous avons pu proposer un algorithme génétique adapté pour améliorer la convergence vers la meilleure solution du problème.

Abstract

During this final memory, we have been interested in the problem of supplier selection which is a famous problem of supply chain optimization. Several algorithms can be applied to such an optimization problem, but it is difficult in practice to choose the algorithm that will probably provide the best performance. In our work, we have been able to propose adapted genetic algorithm to improve the convergence towards the best solution of the problem.