



N° d'ordre :

UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE
Département de l'informatique

MEMOIRE de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Spécialité : OMID

Par: Mokrani Zahira

SUJET

**L'optimisation à base de simulation pour les chaines
logistiques**

Soutenu publiquement le : / /2017 devant le jury composé de :

.....	Université de M'sila	Président
Dr. BOUNIF Mohamed Elhadi	Université de M'sila	Rapporteur
.....	Université de M'sila	Examineur
.....	Université de M'sila	Examineur

Promotion : 2017/2018

Remerciement

Nous remercions avant tous, le dieu tout puissant, de nous avoir aidé et de nous avoir donné autant de courage, et de volonté pour la réalisation de ce travail.

*Nous voudrions exprimer nos gratitudees et nos sincères remerciements à notre promotrice Dr. **BOUNIF Mohamed Elhadi** pour son entière disposition, ses judicieuses conseils, sa patience mais aussi et surtout pour son esprit maternelle tout ou long de notre projet.*

Ce travail n'aurait pas pu aboutir à des résultats sans l'aide et les encouragements de plusieurs personnes que nous remercions.

Merci à tous les membres du jury pour avoir évalué notre travail.

Nous remercions tous les enseignants du département d'informatique.

Enfin, Nous remercions tous les personnes qui ont contribué de proche ou de loin à la réalisation de ce travail.

Introduction générale

Au cours de la dernière décennie, le domaine de l'optimisation basée sur la simulation s'est énormément développé et un grand nombre de travaux ont été effectués. Le travail présenté dans cette thèse, a été effectués dans la perspective d'apporter une solution pour des problèmes de prise de décision rencontrés dans des systèmes d'information pour les chaînes logistiques.

Notre objectif était d'élaborer un outil pour l'analyse de l'efficience de l'organisation structurelle et décisionnelle (en planification) de la chaîne logistique. Nous proposons une méthode pour soutenir des décideurs dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique, en se basant sur l'optimisation globale au lieu d'optimiser les sous-systèmes indépendants de la chaîne logistique. C'est à dire la recherche de procédures collaboratives de gestion pour mettre à la disposition du client le bon produit au bon moment. Dans ce travail, nous nous sommes intéressé à l'optimisation de la planification des activités de production de chaînes logistiques.

Nous commençons notre mémoire par une introduction générale qui fixe l'objectif assigné à ce travail. Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres qui nous permettront de présenter les différents aspects de notre travail.

Dans le premier chapitre nous présentons un état de l'art des différents domaines de recherches qui touchent aux problèmes étudiés

Le deuxième chapitre est dédié à la description de l'approche d'optimisation à base de la simulation, pour traiter les problèmes de conception des chaînes logistiques.

Le troisième chapitre nous présentons une vue de l'ensemble de l'approche utilisée, sa structure générale ainsi que ses objectifs.

Le dernier chapitre, nous allons passer à la conception et la mise en œuvre Enfin, nous analysons et commentons les résultats numériques obtenus.

Finalement, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale.

Table des matières

Chapitre I La gestion des chaînes logistiques.....	01
I.1. Introduction	01
I.2. Emergence historique de la chaîne logistique	01
I.3. La logistique.....	03
I.3.1 types de logistiques	03
I.4. Les chaînes logistiques	04
I.4.1 Structure physique de la chaîne.....	07
1) Structure convergente	07
2) Structure divergente.....	08
I.4.2 Fonctions de chaînes logistiques.....	08
1) L’approvisionnement.....	08
2) La production.....	09
3) Le stockage.....	09
4) Distribution et transports.....	09
5) Le processus vente.....	10
I.5. Les décisions dans les chaînes logistiques.....	10
I.5.1 Les décisions stratégiques.....	11
I.5.2 Les décisions tactiques.....	12
I.5.3 Les décisions opérationnelles.....	12
I.6. SCM La gestion de chaîne logistique.....	13
I.7. Optimisation de la chaîne logistique	14
I.8. Modélisation de la chaîne logistique.....	15
I.8.1 Les modèles conceptuels.....	15
I.8.2 Modèle analytique.....	16
I.8.3 Modèle par simulation.....	16
I.9. Planification de la chaîne logistique	16
1 Décisions fonctionnelles	17
2 Décisions temporelles.....	17
I.10. Les mesures de la performance de la chaîne logistique.....	18
I.11. Les flux de la chaîne logistique.....	19
I.11.1 Le flux d’information (de donnée)	19

I.11.2	Le flux physique	19
I.11.3	Le flux financier.....	19
I.12.	Ordonnancement de la production.....	20
I.12.1	Ordonnancement d’ateliers.....	20
I.12.2	Les méthodes de résolution.....	23
I.13.	Optimisation dans les chaines logistiques.....	23
I.14.	Conclusion.....	24
Chapitre II	Les méthodes d’optimisation multicritères.....	25
II. 1.	Introduction.....	25
II.2.	Couplage simulation et optimisation pour la conception des chaînes logistiques	25
II.3.	Les méthodes de résolution d’un problème d’optimisation.....	27
II.3.1	Méthodes exactes.....	27
II.3.2	Les méthodes approchées ou méta-heuristiques.....	27
II.3.3	Principales caractéristiques.....	28
II.4.	Classification des méthodes.....	29
II.4.1	Méthodes de trajectoire	30
II.4.2	Méthodes qui travaillent avec une population de solutions.....	31
II.4.3	Les metaheuristiques qui s’inspirent de phénomènes naturels.....	31
II.5.	la différence entre une méthode de résolution heuristiques et une méthode de résolution méta-heuristique.....	32
II.6	Algorithmes génétiques multicritères	34
1)	Principes de base des algorithmes génétiques.....	35
2)	Principes.....	36
3)	Codage et population initiale	36
4)	La fonction d’évaluation.....	38
a.	Opérateur de sélection	38
b.	Opérateur de croisement.....	39
c.	Mutation.....	40
d.	Autres paramètres	40
5)	Caractéristiques des algorithmes génétiques	41
II.8.	L’optimisation multicritères.....	42
Pareto optimum.....		43
1)	Méthode agrégative.....	44
2)	Méthode non agrégative.....	45
3)	Une itération de NSGA-II.....	47

II.9. Conclusion.....	50
Chapitre III Méthode utilisée.....	51
III.1. Introduction.....	51
III.2. Méthode d'optimisation.....	51
III.3. Objectifs et architecture de la méthode	51
III.4. Ordonnancement par l'approche proposée.....	53
III.5. Conclusion.....	56
Chapitre IV Conception et développement	57
IV.1. Introduction.....	57
IV.2. L'utilisation des diagrammes.....	57
IV.3. Les diagrammes utilisés pour concevoir notre prototype.....	57
IV.3.1 Diagramme de cas d'utilisation (use case).....	57
IV.3.2. Diagramme de séquence.....	57
IV.3.3. Diagramme d'activité.....	57
IV.4. La conception de notre système décisionnel.....	58
IV.5. Diagramme de Cas d'utilisation de notre système.....	58
IV.6. Diagrammes de séquence et d'activité de système.....	58
IV.6.1 . Diagramme de séquence pour le modèle d'une chaîne logistique.....	58
IV.6.2. Le diagramme d'activité de la chaîne logistique.....	59
IV.6.3. Le diagramme de séquence de fournisseurs.....	59
IV.6.4. Le diagramme d'activité de fournisseurs.....	60
IV.6.5. Le diagramme de séquence pour la demande d'un client.....	60
IV.6.6. Le diagramme d'activité pour la demande d'un client.....	61
IV.6.7. Le diagramme de séquence pour le module de décisions.....	62
IV.6.8. Le diagramme d'activité pour le module de décisions.....	63
IV.7. Développement d'un prototype	63
IV.8. Outils et environnement de développement.....	64
IV.9. Les résultats expérimentaux.....	64
IV.10. Conclusion.....	65

Liste Des Figures

Figure I.1	Modèle de chaîne logistique (Kearney, 1994)	Page7
Figure.I.2	<i>Structures élémentaires d'une chaîne logistique</i>	Page8
Figure.I.3	Niveaux décisionnels dans une chaîne logistique	Page11
Figure.I.4	Modèle de prise de décision d'Hebert Simon	Page13
Figure.I.5	Machine unique	Page20
Figure.I.6	Machines parallèles	Page21
Figure.I.7	Ateliers à cheminement unique (Flow Shop)	Page21
Figure.I.8	Ateliers à cheminements multiples (Job Shop)	Page22
Figure.II.1	Classifications des métaheuristiques	Page30
Figure.II.2.	la diversification et de l'intensification	Page32
Figure.II.3.	Les trois phases d'une métaheuristique itérative.	Page34
Figure.II.4.	Fonctionnement d'un algorithme génétique	Page35
Figure.II.5.	Les phases de définition d'un codage	Page37
Figure.II.6.	Croisement en un point	Page39
Figure.II.7.	Croisement en deux points	Page39
Figure.II.8.	Croisement Uniforme	Page40
Figure.II.9	Mutation	Page40
Figure.II.10	Schéma de fonctionnement de VEGA	Page44
Figure.II.11	Différents mécanismes de sélection.	Page46
Figure.II.12	<i>Principe de l'algorithme NSGA-II</i>	Page47
Figure.II.13	Distance de crowding,	Page48
Figure.III.1	module d'optimisation	Page53
Figure <u>IV</u> .1	Cas d'utilisation de notre prototype	Page 58
Figure <u>IV</u> .2	Séquence de modèle de chaîne logistique	Page59
Figure <u>IV</u> .3	Activité de modèle de chaîne logistique	Page59
Figure <u>IV</u> .4	Séquence d'une livraison	Page60
Figure <u>IV</u> .5	Activité d'une livraison	Page60
Figure <u>IV</u> .6	Séquence de demande de client	Page61
Figure <u>IV</u> .7	Activité demandes d'un client	Page62
Figure <u>IV</u> .8	Séquence de module de décisions	Page62
Figure <u>IV</u> .9	Séquence de module de décisions	Page63
Figure <u>IV</u> .10	Résultats de meilleurs modèles	Page65

Liste Des Tableaux

Tableau I.1	<i>Définitions de la chaîne logistique</i>	Page 7
-------------	--	--------

Chapitre I

La gestion des chaînes logistiques

I.6. Introduction

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'optimisation à base de simulation pour la chaîne logistique, dans ce chapitre nous présentons un état de l'art des différents domaines de recherches qui touchent aux problèmes étudiés dans ce travail. Nous présentons les chaînes logistiques : leurs définitions, leurs conceptions, leur gestion, et de la prise de décision aux différents niveaux de la chaîne. Nous nous intéressons aussi aux problèmes d'ordonnancement en ateliers, nous essayons de donner les notions nécessaires pour comprendre notre problématique.

I.7. Emergence historique de la chaîne logistique

De 1950 à 1970, l'économie est basée sur l'offre : les entreprises produisent principalement sur stock. Cette production de masse a pour objectif de minimiser les coûts de production. Mais ces inconvénients sont

- i) la lenteur pour le développement et l'industrialisation de nouveaux produits et
- ii) la nécessité de stocks devant les opérations « goulots », induisant des immobilisations financières

La période 1970 — 1975, Cette période est caractérisée par le fait que la demande était supérieure à l'offre. La production était la préoccupation majeure des sociétés qui n'avait pas de motif pour recourir les délais de livraison ou aller à des nouveaux besoins La période allant de 1975 à 1980, est une période où l'on parle sur l'intégration d'activités. La multiplication des entreprises pour un même segment de marché, accroît l'offre et donc la concurrence entre elles [3]

Dans les années 1980, la mondialisation des marchés et les exigences de performance financière, combinés aux progrès technologiques ont forcé les grands groupes à proposer des produits de bonne qualité à bas prix. Cette période est une période où l'on parle déjà d'intégration d'activités, le client devient "roi" et toutes les entreprises tentent alors d'améliorer la qualité des produits pour augmenter ses niveaux de satisfaction, tout en gardant des coûts compétitifs. On parle alors d'optimisation globale dans le cadre d'une même entreprise et non d'une suite d'optimisations locales [3]

Dans les années 1980, les bouleversements des marchés et les exigences de performance financière, combinés aux progrès technologiques ont forcé les grands groupes à proposer des produits de bonne qualité à bas prix. Dans le but d'améliorer les rendements et les temps de cycle de production par rapport à la concurrence, les entreprises utilisent alors des méthodes de management telle que le « juste à temps » (JIT : Just-in-time), qui permet de limiter les stocks de composants en organisant et ordonnant précisément l'approvisionnement avec les fournisseurs prises se rendent compte de l'importance de la relation stratégique client-fournisseur, prémisses du SCM, au départ uniquement orienté « approvisionnement » avec les fournisseurs directs. Parallèlement, des consultants et experts sur la gestion logistique ont disséminé les concepts de materials management et de Distribution

Resource Planning, une étape supplémentaire pour définir les fonctions transport et distribution physique de la chaîne logistique. L'ajout de la fonction distribution à la partie approvisionnement forme la « logistique intégrée », connue aussi sous le nom de gestion de la chaîne logistique ou Supply Chain Management .

A partir des années 90, les études s'étendent à des organisations plus complexes de type flowshop ou jobshop avec machines dupliquées . Enfin, les scientifiques essaient de fixer une structure au Supply Chain Management , ils travaillent sur deux grands axes :

- i) Achat et approvisionnement.
- ii) Transport et logistique.

De nos jours, la problématique SCM peut se découper en plusieurs domaines, tels que la conception ou re-conception de la chaîne, la gestion des risques industriels , l'évaluation de performances, la planification des activités, la gestion des stocks, la gestion des transports, le système d'information, la négociation (ou entente industrielle), les aspects sociologiques, les aspects économiques et financiers, l'aide à la décision...

I.8. La logistique

On cite souvent la définition d'origine militaire : « La logistique consiste à apporter ce qu'il faut, là où il faut et quand il le faut. » Le mot « logistique » apparaît en France au XVIIIe siècle, avec l'apparition des problèmes desoutien militaire (réapprovisionnement en armes, munitions, vivres, ...).

Ce terme s'est ensuite répandu, dans le milieu industriel notamment, pour évoquer principalement la manutention et le transport des marchandises. Jusqu'aux années 70, la logistique n'avait que peu d'importance dans la gestion des entreprises, considérée comme une fonction secondaire, limitée aux tâches d'exécution dans des entrepôts et sur les quais d'expédition. Mais la logistique est ensuite comprise comme un lien opérationnel entre les différentes activités de l'entreprise, assurant la cohérence et la fiabilité des flux-matières, en vue de la qualité du service aux clients tout en permettant l'optimisation des ressources et la réduction des coûts.

La logistique devient, au milieu des années 90, une fonction globalisée voire mondialisée de gestion du flux physique dans une vision complète de la chaîne Clients/Fournisseurs, et constitue véritablement une nouvelle

discipline du management des entreprises. La «logistique globale » représente ainsi l'ensemble des activités internes ou externes à l'entreprise qui apportent de la valeur ajoutée aux produits et des services aux clients (Courty, 2003). Dans leur ouvrage, « La logistique au service de l'entreprise », (Colin, Mathé, & Tixié, 1981) ont proposé la définition suivante :

« *La logistique est le processus stratégique par lequel l'entreprise organise et soutient son activité. A ce titre, on peut déterminer et gérer les flux matériels et informationnels afférents, tant internes qu'externes, en amont qu'en aval.* » La fonction logistique désignerait ainsi la gestion des flux physiques de matières premières et de produits ainsi que celle des flux d'information, c'est à dire les transports, les entrepôts, l'informatique, etc.

I.3.1 types de logistiques :

Il existe plusieurs types de logistiques :

- logistique d'approvisionnement qui permet d'alimenter les stocks des entreprises et usines en matières premières, composants et sous-ensembles nécessaires à la production.
- 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 oeuvre 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. Il y a donc bien des logistiques différentes jusqu'à ce que le concept de *supply chain* ne vienne apporter une certaine unité en ce domaine.

I.4. Les chaînes logistiques

La chaîne logistique englobe l'ensemble des opérations réalisées pour la fabrication d'un produit ou d'un service allant de l'extraction de la matière première à la livraison au client final, en passant par les étapes de transformation, de stockage, et de distribution. De nos jours, de plus en plus on regarde la chaîne logistique comme une toile regroupant plusieurs des activités citées, cela est dû à la complexité des organisations actuelles et à leur dimension internationale. Ajoutés aux flux des matières, la chaîne logistique inclut les flux d'information et les flux financiers. Chaque étape de transformation ou de distribution peut impliquer de nouveaux acteurs, soit de nouveaux fournisseurs ou de nouveaux clients intermédiaires, avec également des nouveaux flux d'informations.

On peut également définir la logistique comme l'ensemble des activités ayant pour but la mise en place, au moindre coût, d'une quantité de produits, à l'endroit et au moment où une demande existe. La logistique concerne donc toutes les opérations déterminant le mouvement des produits : localisation des usines et des

entrepôts, approvisionnement, gestion physique des encours de fabrication, emballage, stockage et gestion des stocks, manutention et préparation des commandes, transport et tournées de livraison.

La chaîne logistique, qui englobe tous les maillons du processus logistique, est entendue de manière globale, non seulement au sein de l'entreprise mais également au travers de l'ensemble des fournisseurs et de leurs sous-traitants.

Le terme « chaîne logistique » vient de l'anglais *Supply Chain* qui signifie littéralement « chaîne d'approvisionnement ».

Il existe une multitude de définitions de la « chaîne logistique » : il n'y a pas une définition universelle de ce terme. Le tableau 1.2 recense quelques-unes des définitions rencontrées dans la littérature :

Christopher,	La chaîne logistique peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final.
Lee et Billington,	La chaîne logistique est 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.
La Londe et Masters,	Une chaîne logistique est un ensemble d'entreprises qui se transmettent des matières. En règle générale, plusieurs acteurs indépendants participent à la fabrication d'un produit et à son acheminement jusqu'à l'utilisateur final - producteurs de matières premières et de composants, assembleurs, grossistes, distributeurs et transporteurs sont tous membres de la chaîne logistique.
Ganeshan	Une chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre.
Ganeshan	Une chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques

	existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre.
Tayur et al,	Un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens.
Rota-Franz, Rota-Franz et al,	La chaîne logistique d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime. Le produit considéré est, dans le domaine aéronautique, l'avion qui peut être qualifié de produitsystème étant donné sa complexité.
Stadlter et Kilger,	Une chaîne logistique est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physique, informationnel et financier. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis, des prestataires de service logistique et même le client final lui-même.
Mentzer et al,	Une chaîne logistique est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client.
Génin,	Une chaîne logistique est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre.
Lummus et Vokurka	Toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matière première et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités

Tableau : Définitions de la chaîne logistique

En résumant ces définitions on peut voir qu'il existe deux visions de la chaîne logistique l'une basée sur l'entreprise, et la seconde basée sur le produit. Un modèle de chaîne logistique basée sur une entreprise peut être donné par la figure suivante

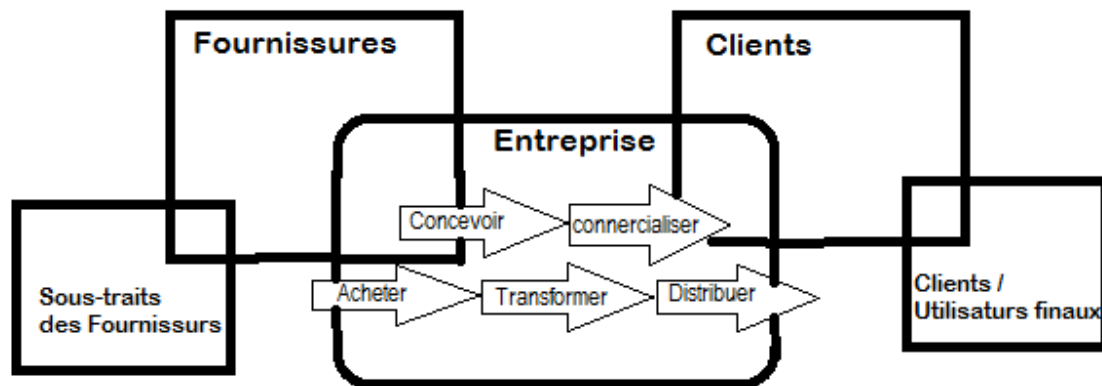


Figure.I.1.Modèle de chaîne logistique (Kearney, 1994)

I.4.1 Structure physique de la chaîne:

La structure topologique d'une chaîne logistique peut prendre différentes formes, en particulier deux topologies élémentaires de réseaux

- 1) **Structure convergente** : c'est le cas de la filière automobile si l'entreprise considérée est un constructeur de voitures, ses fournisseurs de rang 1 sont des équipementiers (carrosserie, siège, pare-brise,...), les fournisseurs de rang 2 sont, par exemple pour les sièges, les fournisseurs de matériaux textiles,...
- 2) **Structure divergente**: le cas est fréquent dans l'industrie électronique si l'entreprise considérée est un fournisseur de cristaux de silicium, les clients de rang 1 sont des constructeurs de puces, les clients de rang 2 sont des constructeurs de circuits intégrés, enfin, les clients de rang 3 sont par exemple les assembleurs de téléphones mobiles.

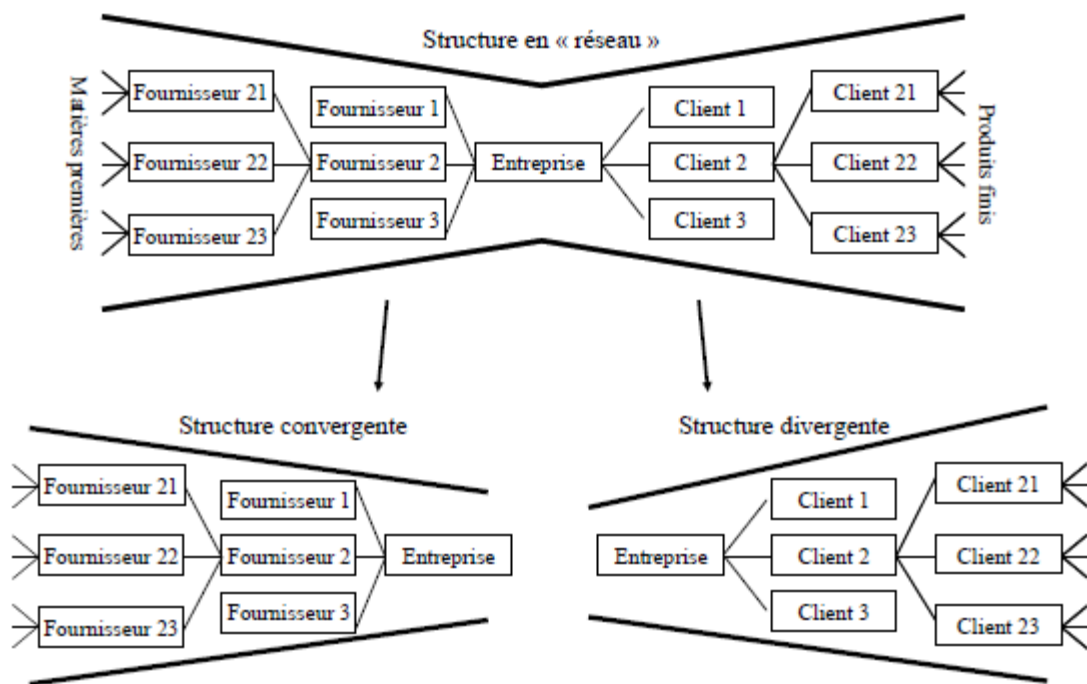


Figure.I.2. Structures élémentaires d'une chaîne logistique

I.4.2 Fonctions de chaînes logistiques:

Ganeshan and Harisson donne un aperçu des fonctions de la chaîne logistique : « une chaîne logistique est le réseau des moyens de production et de distribution qui assurent les tâches d'approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en produits semi finis et en produits finis, et la distribution de ces produits finis aux clients ».

Plus généralement, les fonctions d'une chaîne logistique vont de la production, le stockage ,l'approvisionnement, et la distribution.

1) L'approvisionnement

Les matières et les composants approvisionnés constituent 60% à 70% de coûts des produits fabriqués dans presque toutes les entreprises

Le processus Approvisionnement se concentre sur la fourniture de tous les composants Nécessaires à la fabrication. Deux grandes phases sont ici à distinguer. La première phase consiste à sélectionner les fournisseurs de l'entreprise. Le choix des fournisseurs peut se faire sur différents critères comme la qualité, le prix, les délais de réapprovisionnement des matières premières ou composants, mais aussi leur capacité de production, leur facilité à accepter une demande très variable, leur possibilité de faire évoluer techniquement les composants .

Le processus approvisionnement regroupe ainsi toutes les relations avec les fournisseurs pour assurer les niveaux de stocks en composants nécessaires et suffisants pour la fabrication.

2) La production

La fonction de production est au coeur de la chaîne logistique, il s'agit là des compétences que détient l'entreprise pour fabriquer, développer ou transformer les matières premières en produits ou services. Elle donne la capacité à la chaîne logistique pour produire et donne ainsi un indice sur sa réactivité aux demandes fluctuantes du marché.

Les méthodes utilisées pour la gestion de la production cherchent à améliorer le flux des produits dans les ateliers de fabrication à travers la planification et l'ordonnancement, la détermination de la taille optimale des lots de production, la détermination des séries économiques

3) Le stockage

Le stockage inclut toutes les quantités stockées tout au long du processus en commençant par le stock de matières premières, le stock des composants, le stocks des en-cours et finalement le stock des produits finis

4) Distribution et transports

La distribution est généralement un élément intermédiaire d'une filière économique chargée du financement, du stockage, de la promotion et de l'acheminement des produits aux commerçants . D'après Jihène , la distribution englobe toutes les activités prenant en charge les commandes clients et leur livraison.

le processus distribution concerne la livraison des produits finis aux clients et reprend les questions d'optimisation des réseaux de distribution :

l'organisation et le choix des moyens de transport, le choix du nombre d'étages dans le réseau de distribution ainsi que le positionnement des entrepôts et leur mode de gestion.

5) Le processus vente

Le processus Vente, mis en oeuvre par le service commercial, développe les relations envers le client par extension, recherche une meilleure connaissance du marché. Ce processus de l'entreprise est également chargé de définir la demande prévisionnelle et d'intégrer des aspects commerciaux comme la durée de vie du produit pour anticiper l'évolution de ses ventes. Les aspects marketing sont aussi gérés dans ce processus.

I.5. Les décisions dans les chaînes logistiques

Une décision peut être définie comme étant le problème de donner une valeur à une variable inconnue et dont la connaissance permet au décideur de sortir d'une situation de jugement ou d'incertitude (Ouzizi, 2005). La conception d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions. Cet ensemble de décisions peut s'envisager sur trois niveaux hiérarchique : décisions stratégiques, décisions tactiques, et décisions opérationnelles. La figure suivante (1.7) montre un tel schéma. Une telle hiérarchie est basée sur la portée temporelles des activités et sur la pertinence des décisions.

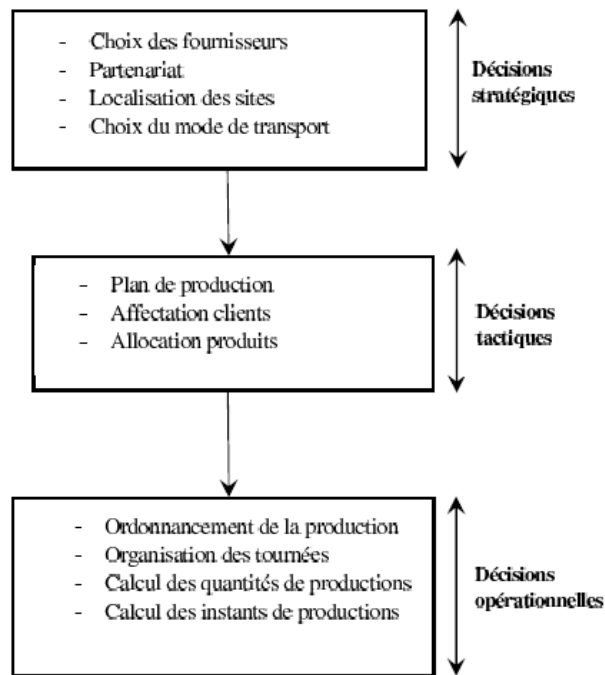


Figure.I.3. Niveaux décisionnels dans une chaîne logistique

I.5.1 Les décisions stratégiques

Les décisions stratégiques définissent la politique de l'entreprise sur le long terme, une durée s'étalant souvent sur plusieurs années. Elles comprennent toutes les décisions de conception de la chaîne logistique et de ce fait.

Les décisions stratégiques configurent la chaîne logistique. Nous donnons dans ce qui suit une liste non exhaustive des décisions stratégiques :

- Choisir les partenaires de la chaîne logistique .Recherche de la complémentarité des compétences
- Faire ou faire-faire : l'entreprise a le choix entre utiliser ses propres moyens pour réaliser en interne certaines fonctions
- Choix et nombre de fournisseurs : l'entreprise peut avoir un seul fournisseur ou un nombre réduit de fournisseurs pour augmenter le niveau de coopération
- Choisir les implantations des sites de production et des entrepôts
- Déterminer le nombre de sites : un nombre élevé de sites de productions ou de stockage engendre des coûts colossaux, en même temps cela réduit les coûts de transports. Les entreprises doivent choisir entre des politiques de groupages de sites ou au contraire des politiques de dégroupage.
- Capacité des sites : cette problématique est liée à celle du nombre de sites. Une capacité très grande engendre une réactivité très grande mais aussi des coûts très grands.
- Choisir les moyens de transport entre les différentes localisations
- Le choix des technologies utilisées dans les sites de production et d'entreposage.

I.5.2 Les décisions tactiques

Les décisions tactiques sont prises sur un horizon de moins de 18 mois en général.

Il s'agit en effet de faire la planification dépendant de la structure conçue au niveau stratégique. Le niveau tactique concerne aussi la coordination des opérations entre les installations (client/fournisseur, production/distribution, stock/distribution), ainsi que la gestion des stocks dans la chaîne. Trois types de coordinations ont été recensés :

1. La coordination au niveau de l'interface client/fournisseur concerne principalement:

- La connaissance des tailles des lots d'approvisionnement.
- La connaissance des points de commandes associés à chaque fournisseur.
- La définition des délais d'approvisionnement.
- La définition des niveaux de stocks.

2. La coordination au niveau de l'interface production/distribution désigne principalement :

- La définition de la taille des lots de production.
- La définition des délais de production.
- La définition des délais de stock de produits semi-finis.

3. La coordination au niveau de l'interface stock/distribution concerne principalement:

- La taille optimale des lots d'expédition.
- La détermination de la politique optimale de distribution.

I.5.3 Les décisions opérationnelles

Des décisions opérationnelles sont prises pour assurer le fonctionnement au quotidien de la chaîne. Parmi ces décisions, on trouve la gestion des stocks, la gestion de la main d'oeuvre, la gestion des équipements, l'ordonnancement de la production, etc.

- Processus de décision

Les Processus de décision composant la chaîne décisionnelle en quatre catégories correspondant chacune à une fonction spécifique,

1- *Collecter*, nettoyer et consolider les données Extraire les données des systèmes de production et les adapter à un usage décisionnel.

2- *Stocker* Centraliser les données structurées et traitées afin qu'elles soient disponibles pour un usage décisionnel.

3- *Distribuer* Ou plutôt faciliter l'accessibilité des informations selon les fonctions et les types d'utilisation.

4- *Exploiter* ou comment assister du mieux possible l'utilisateur afin qu'il puisse extraire la substance de l'information des données stockées à cet usage.

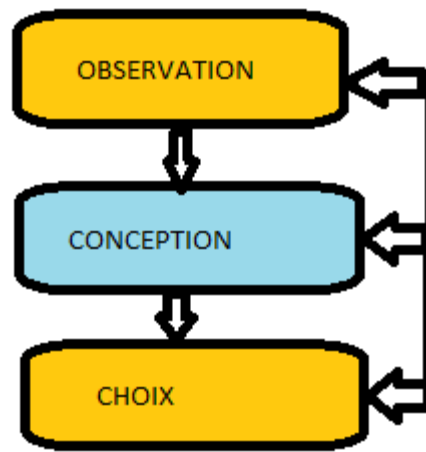


Figure.I.4. Modele de prise de décision d'Hebert Simon

I.6. SCM La gestion de chaîne logistique

Le terme 'gestion de la chaîne logistique', est apparu au début des années 80 ou il se limitait à la gestion des flux de produits à l'intérieur d'une entreprise [17]

On définit la supply chain comme « La suite des étapes de production et de distribution d'un produit depuis les fournisseurs des fournisseurs des producteurs, jusqu'aux clients de ses clients ». [14]

Il est difficile d'identifier une définition unique pour la gestion de chaîne logistique. La communauté scientifique a proposé plusieurs définitions de la gestion de la chaîne logistique.

Mentzen et al (Mentzen et al, 2001) définissent le supply chain management comme « la coordination systémique, stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la chaîne logistique, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne ». [19]

(Hugos, 2003) donne la définition suivante : « le supply chain management est la coordination de la production, du stockage, de la localisation, et des transports à travers tous les participants à la chaîne logistique afin d'avoir la meilleure combinaison de réactivité et d'efficacité par rapport au marché desservi ». [11]

Vakharia (Vakharia, 2002) définit la SCM comme étant « l'art et la science de créer et d'accentuer les rapports synergiques entre les partenaires d'une même chaîne logistique ayant comme objectif commun de livrer, juste à temps, les bons produits et les bons services au bon client, avec la meilleure quantité [14]

Le principal objectif du SCM est d'améliorer la compétitivité industrielle en :

- 1) l'amélioration des niveaux de services,
 - 2) la réduction des coûts et de création de profits,
 - 3) la gestion des relations sur les acteurs de production, distribution, transport et d'information, en veillant à ce que les acteurs ne développent pas de comportements locaux antagonistes venant grever la performance globale.
- [5]

I.7. Optimisation de la chaîne logistique

L'optimisation de la chaîne logistique consiste en la recherche de méthodes permettant un optimum, en maximisant ou minimisant un objectif par exemple du coût. Dès qu'il s'agit de chaîne logistique, le passage du concept acheteur/vendeur, doit être dépassé et remplacé par l'approche réseau afin de garantir les intérêts de tous les partenaires, en évitant de focaliser l'opération sur l'un des intervenants de la chaîne et savoir minimiser les coûts globaux et les gains globaux.

Pour pouvoir mettre à la disposition du client, le bon produit au bon moment, l'entreprise peut être amenée à faire des efforts d'organisation ou de réorganisation et passer par un développement d'un alignement stratégique. Cette optimisation rencontre des problèmes dans sa mise en oeuvre

Cette optimisation rencontre des problèmes dans sa mise en oeuvre qui freine la démarche gagnant-gagnant et rendent l'approche optimisante. Dans ce qui suit nous allons énumérer certains de ces problèmes :

- La qualité de l'information
- Les décisions concernent de nombreux services dans les entreprises concernées ce qui peut engendrer des problèmes de conflits et d'indicateurs de performance qui doivent conduire à un comportement global gagnant-gagnant, problèmes de confiance, de sécurité, de partage et de circulation d'information.
- Les critères de performance et de qualité sont antagonistes en raison des différents acteurs concernés
- Contraintes de production
- Diversité des systèmes de transport et de distribution.
- Vouloir absolument un optimum global parfait conduit souvent à des calculs exponentiels qui ont des durées tellement grandes que ça devient inimaginable de les rendre comme solutions (problèmes NP-difficiles à résoudre)
- La séparation entre la conception de la chaîne logistique et les décisions opérationnelles
- Chaîne logistique incomplète

Pour faire face à ces problèmes, des nouvelles relations de partenariats entre fournisseurs et clients sont à définir. Ces relations doivent être durables, et permettre aux entreprises de s'intégrer et coordonner la prise de décision, ceci dans le souci d'être réactif et efficace face aux mouvements des marchés qui restent très imprévisibles [21]

I.8. Modélisation de la chaîne logistique

La modélisation de la chaîne logistique est une construction abstraite qui permet de comprendre le fonctionnement de la chaîne et une meilleure gestion de ce système. Un modèle n'est qu'une schématisation simplifiée d'un système réel, Il est à la base des systèmes d'aide à la décision, qui permet de l'analyse, le contrôle et le pilotage des systèmes.

Il existe différents modèles de chaînes logistiques. Le choix du modèle dépend directement du type de problème et de structure que l'on veut étudier.

I.8.1 Les modèles conceptuels

Ces modèles conceptuels qui sont la description de la chaîne logistique, peuvent s'exprimer sous forme de diagrammes ou d'explications verbales mais leur multitude peut poser problèmes tels que :

- difficultés de définir d'une manière unifiée le fonctionnement du système.
- difficultés dans la mise en oeuvre dans le cas d'une organisation complexe
- difficultés d'orientations quant au contrôle et au pilotage de la chaîne

I.8.2 Modèle analytique

Les modèles analytiques permettent de décrire le système par un ensemble d'équations mathématiques. Les modèles mathématiques sont très utilisés pour la conception des chaînes logistiques et pour la résolution des problèmes d'optimisation à un ou plusieurs critères [24].

Ils requièrent des compétences spéciales dans les mathématiques et la recherche opérationnelle.

L'une des techniques les plus utilisées est la programmation linéaire et la programmation dynamique. Ces modèles trouvent leur limite dans l'application de certaines hypothèses surtout dans des problèmes de grande taille alors que les industriels préfèrent appliquer des solutions approchées qui se feront dans une durée raisonnable.

I.8.3 Modèle par simulation

Dans un système où il est difficile de représenter toutes les hypothèses par équations et ne pouvant donc pas se mettre sous la forme d'un modèle analytique, les industriels préfèrent utiliser le modèle par simulation. Ces modèles peuvent faire des prévisions et des évaluations de performances en essayant d'imiter le comportement des composants d'un modèle, leur capacité aide à capturer les incertitudes et à traiter l'aspect dynamique des systèmes complexes et des systèmes à grande échelle.

I.9. Planification de la chaîne logistique

La planification des chaînes logistiques (SCP supply chain planning) concerne la coordination et l'intégration des activités métier réalisées par une entreprise, depuis l'approvisionnement en matières premières jusqu'à la livraison du produit final aux clients [10].

Les buts finaux de la planification de la chaînes logistique visent :

- l'utilisation optimale des ressources.
- la minimisation des stocks à tous les niveaux.
- la satisfaction de la demande des clients

La planification d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décision à des niveaux différents. Les différentes décisions de planification de la chaîne logistique sont donc classées selon les fonctions du réseau logistiques et selon l'horizon temporel (classification fonctionnelle et décisions temporelles) [12].

3 Décisions fonctionnelle

La classification fonctionnelle est une décision de planification qui regroupe les décisions d'approvisionnement, de production et de distribution.

a) Décisions d'approvisionnement

Les décisions relatives à l'approvisionnement sont celles qui permettent de définir la structure du sous-réseau approvisionnement. Les principales décisions portent sur :

- le choix de Faire ou Faire-Faire,
- le nombre et le choix de fournisseurs,
- l'affectation des fournisseurs aux sites de production
- l'organisation du programme d'approvisionnement.

b) Décisions de production

Les décisions qui concernent la fonction production sont essentiellement :

- Le nombre d'usines et leurs localisations.
- L'allocation des articles aux sites de production.
- La planification de la capacité de production.
- Le choix de ligne de production.
- L'ordonnancement de la production.
- Les décisions sur les produits à stocker et les niveaux des stocks.

c) Décisions de Distribution

Le dimensionnement du réseau de distribution regroupe essentiellement :

- la configuration et la localisation des centres de distribution (types de centres de distribution à utiliser et sites choisis),
- la définition de la politique de transport,
- l'affectation des clients aux centres de distribution
- l'allocation des articles aux centres de distribution et aux clients [3].

4 Décisions temporelles

Les décisions relatives à la gestion et à la planification de la chaîne logistique sont nombreuses et couvrent les différents horizons de la prise de décision : court, moyen et long terme.

I.15. Les mesures de la performance de la chaîne logistiqu

Il y a un adage qui dit : « you can't manage what you don't measure » dont la traduction en français pourrait être « vous ne pouvez pas gérer ce que vous ne mesurez pas ». Une gestion efficace est liée à un système de mesures de la performance bien défini et construit : si l'on ne mesure pas la performance d'un système, on ne peut pas le manager. La question qui est posée est donc: comment mesurer l'efficacité d'une chaîne logistique ? .

Nous devons donc définir un ensemble d'indicateurs pour mesurer cette performance. Un indicateur de performance est défini par

Courtois et al, 1996 [21] comme « une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif qui aura été déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'ensemble ».

Parmi les principaux indicateurs de performance de la chaîne logistique largement utilisés il y en a :

- La coopération pour les flux d'informations.
- Le coût pour le flux financier
- Les délais de livraison en ce qui concerne le flux physique.

Chopra et Meindil [7] identifient six indicateurs de performance :

- Les infrastructures : ce sont les sites où l'on produit, assemble et stocke les composants. La performance de la chaîne logistique est influée par leur rôle, localisation, flexibilité et capacité.
- Les stocks : la réactivité d'une chaîne logistique peut être influée par tout changement de politique de stockage.
- Les transports : les transports, représentant une lourde charge pour la chaîne logistique, influent sur la performance, la réactivité et l'efficacité de celle-ci.
- L'information : est l'indicateur le plus important car elle influe directement sur l'ensemble des autres indicateurs et sur l'efficacité de la chaîne.
- Le Sourcing : définit le travail que chacun doit effectuer à travers la chaîne. c'est aussi la répartition des activités de l'entreprise mère.
- Les prix: donner une valeur aux biens et services (produits) en fonction de plusieurs paramètres car leurs répercussions influencent le comportement (décisions) des clients et les performances de l'entreprise .

En conclusion, de tout ce qui a été dit ci-dessus il apparaît qu'il y a une multitude d'indicateurs de performance dans une chaîne logistique qui diffèrent d'une entreprise à une autre il s'agit alors de choisir les indicateurs qui répondent au mieux à la nature des activités de la chaîne.

I.16. Les flux de la chaîne logistique

Nous détaillons ici les trois flux traversant une chaîne logistique : flux d'information, physique et financier. Ces trois flux peuvent découler des règles stipulées dans le contrat de partenariat. En effet, des contrats définissent les relations entre chaque entreprise de la chaîne logistique, prévoyant notamment des pénalités en cas de retard de livraison d'un fournisseur ou de rupture de stock, déterminant qui gère le transport et les stocks entre deux « maillons » de la chaîne, ...

I.11.4 Le flux d'information(de donnée)

Le flux d'information représente l'ensemble d'échanges de données entre les différents acteurs de la chaîne logistique. Il s'agit en premier lieu des informations commerciales, notamment les commandes passées entre clients et fournisseurs. Une commande comprend généralement la référence du produit, la quantité commandée, la date de

livraison souhaitée et le prix éventuellement négocié lors de la vente.

Le flux d'information est de plus en plus rapide. Le développement des flux d'information au sein de la chaîne logistique trouve ses limites dans le besoin de confidentialité entre acteurs.

I.11.5 Le flux physique

Le flux physique est constitué par le mouvement des marchandises transportées et transformées depuis les matières premières jusqu'aux produits finis en passant par les divers stades de produits semi-finis. Il justifie l'organisation d'un réseau logistique (cf. §1.3.3). En bref, l'écoulement du flux physique résulte de la mise en oeuvre des diverses activités de manutention et de transformation des produits quel que soit leur état.

Le flux physique est généralement considéré comme étant le plus lent des trois flux.

I.11.6 Le flux financier

Le flux financier concerne toute la gestion pécuniaire des entreprises : ventes des produits, achats de composants ou de matières premières, mais aussi des outils de production, de divers équipements, de la location d'entrepôts, ... et bien sûr du salaire des employés.

Le flux financier est généralement géré de façon centralisée dans l'entreprise dans le service comptabilité.[19]

I.17. Ordonnancement de la production

I.12.3 Ordonnancement d'ateliers

Une classification très répandue des ateliers, du point de vue ordonnancement, est basée sur les différentes configurations des machines. Les modèles les plus connus sont ceux d'une machine unique, de machines parallèles, d'un atelier à cheminement unique ou d'un atelier à cheminement multiple.

- Machine unique
- Machines parallèles
- Ateliers à cheminement unique (Flow Shop)
- Ateliers à cheminements multiples (Job Shop)
- Autres configurations

➤ **Machine unique** : chaque travail comprend une seule opération à laquelle il est assimilé. Dans ce cas, le problème d'ordonnancement se résume au séquençement des opérations

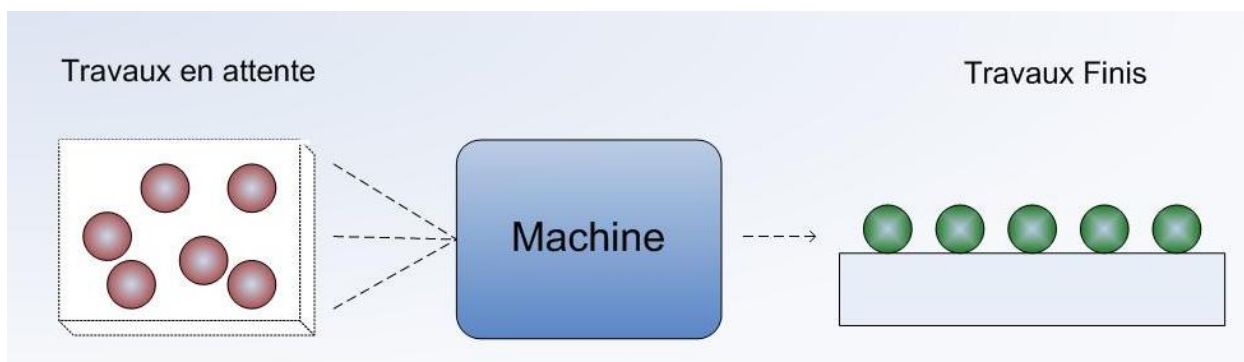


Figure.I.5. Machine unique

Machines parallèles : il y a m machines identiques en parallèle ; Il faut donc décider sur quelle machine effectuer chaque opération et déterminer la séquence d'opérations sur chaque machine. De plus, les machines peuvent être identiques ou non. Dans le cas de machines non identiques, l'ensemble des opérations qu'elles peuvent traiter, ainsi que leurs durées opératoires, peuvent varier d'une machine à une autre.

Selon la gamme de fabrication, on distingue trois types d'ateliers.

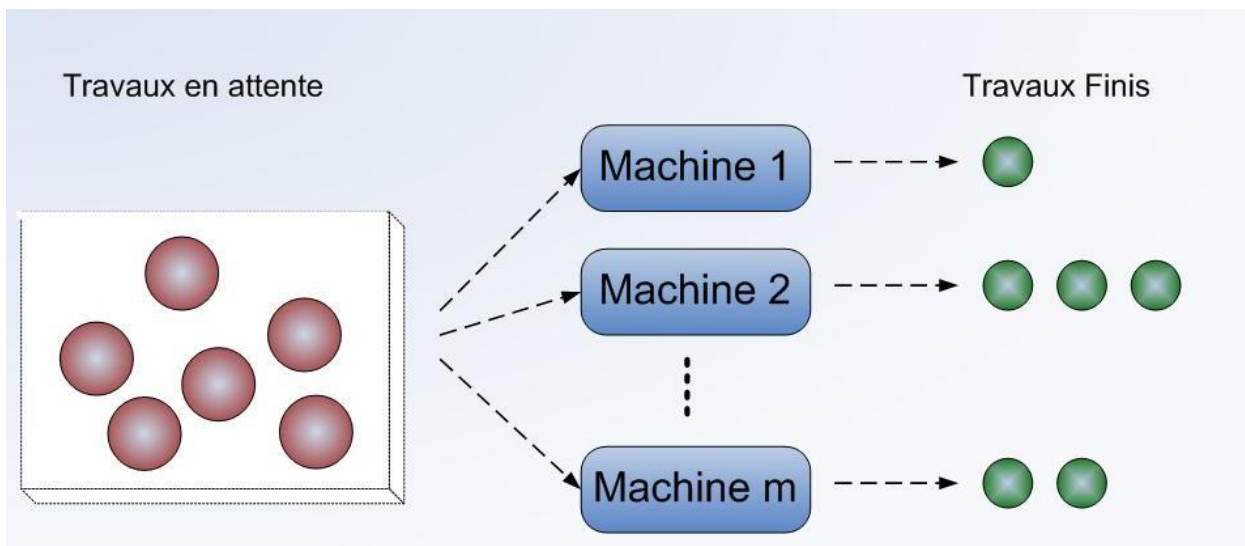


Figure.I.6. Machines parallèles

- **Ateliers à cheminement unique (Flow Shop)** : Chaque ordre de fabrication doit être traité par chacune des m machines en série et ce, dans le même ordre. Tous les produits ont donc le même routage. En temps normal, toutes les files d'attente des machines (le cas échéant) opèrent selon la règle :FIFO First In First Out.

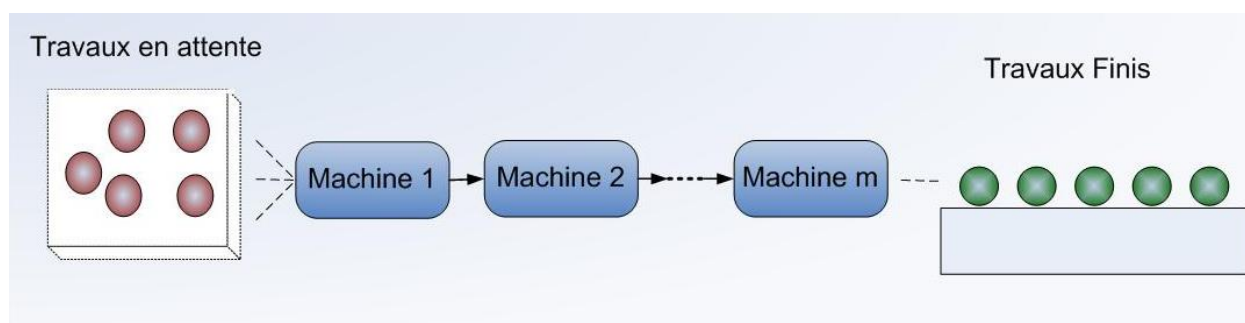


Figure.I.7. Ateliers à cheminement unique (Flow Shop)

- **Ateliers à cheminements multiples (Job Shop) :** Chaque produit possède ici son propre routage, bien que certains puissent avoir à visiter une même machine plus d'une fois. C'est le phénomène de recirculation.

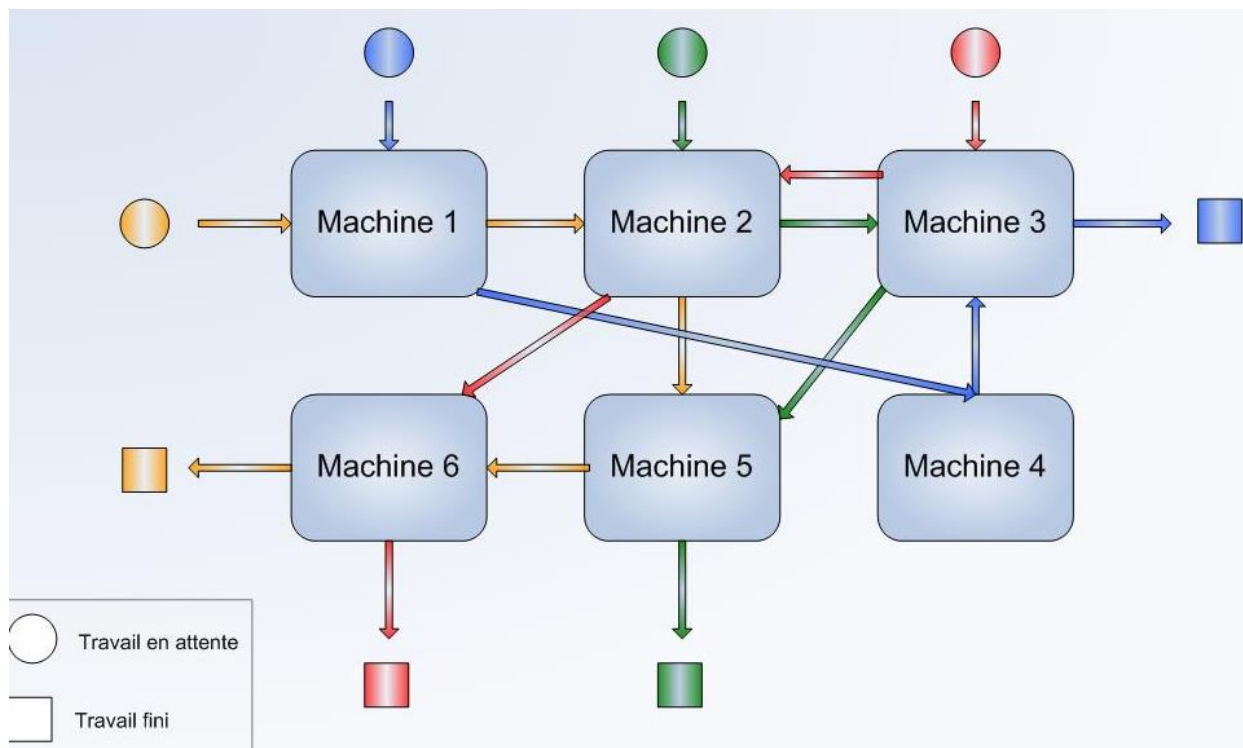


Figure.I.8. Ateliers à cheminements multiples (Job Shop)

- **Autres configurations :** Les principales catégories, que sont les ateliers à production linéaire (Flow Shop) et les ateliers à cheminement multiple (Job Shop) ne sont pas les seuls modèles dans l'industrie. Plusieurs autres catégories intermédiaires existent, dont les plus connues sont :

- les ateliers de type flow shop hybride : il s'agit d'ateliers flow shop dans lesquels un « étage » donné de la fabrication peut être assuré par plusieurs machines en parallèle. Dans ce genre d'ateliers, tout travail passe par chaque étage et l'ordre de passage sur les étages est le même pour chaque travail. Ce type d'ateliers est également appelé « atelier à cheminement unique avec machines en exemplaires multiples » ;
- les ateliers à cheminement libre (open shop) : chaque produit à traiter doit subir un ensemble d'opérations sur un ensemble de machines, mais dans un ordre totalement libre ;
- les ateliers flexibles : ces ateliers sont caractérisés par un niveau d'automatisation élevé, cherchant par là un compromis entre flexibilité et productivité. Ils sont à la base des ateliers à cheminements multiples où les principales tâches (stockage, traitement de pièces, manutention...) sont automatisées.

I.12.4 Les méthodes de résolution

Il existe deux grandes familles de méthodes de résolution :

- a) Méthodes exactes

b) Les méthodes approchées ou méta-heuristiques

I.18. Optimisation dans les chaînes logistiques

L'optimalité de la qualité de service en logistique sous-entend une satisfaction des utilisateurs du système proposé de par l'intégration des fonctionnalités nécessaires à la bonne gestion de la chaîne logistique.

Un problème d'optimisation concerne l'exécution de méthodes spécifiques en quête d'un optimum. Ce dernier peut être une valeur maximisant ou minimisant une fonction f , dite fonction objectif ou fonction de coût ; elle est encore appelée critère d'optimisation.

il s'agisse d'un problème mono variable ou multi variable, continu ou discret, etc., une méthode d'optimisation adéquate est choisie pour résoudre le problème posé. Entre méthodes exactes, méta-heuristiques, hybrides ou autres, [14]

Pour pouvoir mettre à la disposition du client, le bon produit au bon moment, l'entreprise peut être amenée à faire des efforts d'organisation ou de réorganisation et passer par un développement d'un alignement stratégique. Cette optimisation rencontre des problèmes dans sa mise en oeuvre

- Trop d'informations sont imprécises, incertaines et même inconnues ou imprévisibles.
- Les critères de performance et de qualité sont antagonistes en raison des différents acteurs concernés.
- Il y a une multitude de systèmes de production et de distribution différents.
- Contraintes de production.
- Diversité des systèmes de transport et de distribution.
- Vouloir absolument un optimum global parfait conduit souvent à des calculs exponentiels
- qui ont des durées tellement grandes que ça devient inimaginable de les prendre comme solutions (problèmes NP-difficiles à résoudre).
- Chaîne logistique incomplète.

I.19. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de résumer les différents concepts liés à la chaîne logistique en faisant un tour d'horizon sur les différentes composantes qui par leur conjugaison et le bon choix permettent d'aboutir à des meilleures mesures de performances, et une meilleure gestion de chaîne logistique les méthodes proposées pour leur modélisation, et la gestion de chaîne logistique et faire valoir l'importance du problème d'ordonnancement au niveau opérationnel. Dans le chapitre suivant, nous présentons l'approche de résolution par le couplage de simulation et l'optimisation.

Chapitre II

Les méthodes d'optimisation multicritères

I.9. Introduction

Le présent chapitre est dédié à la description de l'approche d'optimisation à base de la simulation, pour traiter les problèmes de conception des chaînes logistiques. Nous commençons ce chapitre par le couplage de simulation et optimisation pour la conception des chaînes logistiques avec quelques modèles proposés dans la littérature. Nous présentons par la suite les méthodes de résolution d'un problème d'optimisation et la classification des méthodes et la préférence entre eux. Nous terminons ce chapitre par les algorithmes génétique.

II.2 Couplage simulation et optimisation pour la conception des chaînes logistiques

les outils de simulation fortement en décisions opérationnelles à l'échelle de l'atelier ou de l'usine sont des outils puissants afin qu'il puisse combler des défaillances possibles (prise en compte des effets stochastiques simplifiés, fonctionnement intrinsèquement dynamique...).

Le couplage de la simulation des chaînes logistiques avec l'optimisation aide à la construction d'un outil de diagnostic et d'aide à la décision de haut niveau. Ce qui permettra de modéliser au mieux la complexité des chaînes logistiques avec les enjeux de demain.

Pour Ingalls [13], une solution parfaite est obtenue par l'optimisation à base de la simulation. En effet, celle-ci peut aider, lors de l'optimisation, à l'évaluation de l'impact d'utilisation des différentes politiques de pilotage.

La performance de la chaîne peut être influencée par de nombreux événements tels que les variations de temps, de transport et les fluctuations des demandes clients dont les décideurs doivent en tenir compte pour une meilleure évaluation.

Une approche d'optimisation à base de la simulation comprend deux modules:

- Module d'optimisation: guider la direction de recherche des solutions.
- Module de simulation : évaluer des performances des solutions candidates suggérées par le module d'optimisation .

Pour des applications industrielles, le module d'optimisation s'appuie principalement sur des algorithmes de recherche tels que les algorithmes génétiques.

Lacksonen [15] a fait une comparaison entre ces quatre types d'algorithmes et en a déduit que les algorithmes génétiques sont les plus performants car ils ont prouvé leur efficacité et robustesse pour la résolution des problèmes complexes.

Tompkins et al. [25] développent une méthodologie utilisant l'algorithme génétique connecté à un générateur de modèles de simulation pour la conception des systèmes manufacturiers flexibles. Les résultats efficaces obtenus sur trois exemples de systèmes manufacturiers ont validé la méthodologie proposée.

Azadivar et al. [1] développent une méthodologie d'optimisation à base de la simulation utilisant un algorithme génétique pour l'optimisation des variables de décision qualitatives et structurelles dans une chaîne logistique.

Azadivar et al. [8] conçoivent une méthodologie combinant un algorithme génétique avec un simulateur, pour optimiser l'agencement des lignes de production. Des expériences numériques sont réalisées et l'efficacité de la méthode proposée est comparée aux différentes méthodes classiques.

Truong [26] propose une méthode d'optimisation basée sur la simulation pour la conception des chaînes logistiques. Dans la détermination des politiques de gestion de production et le choix des modes de transport. Un algorithme génétique est utilisé dans le module d'optimisation. Dans ce même module, la programmation linéaire en variables mixtes est utilisée pour l'optimisation des variables quantitatives liées à la détermination de la localisation des usines et centres de distribution, leur capacité et les sites à servir. Dans cette approche, la simulation est utilisée pour l'évaluation des performances des solutions proposées par le module d'optimisation.

Dans Boesel et al. [2] un algorithme génétique est utilisé pour piloter les processus d'optimisation basé sur la simulation incluant une procédure pour contrôler l'erreur statistique des résultats obtenus par l'algorithme génétique. Cette méthodologie est dédiée principalement aux développeurs d'outils logiciels.

Dans Ding et al. [8], les auteurs proposent un cadre de méthodes d'optimisation à base de la simulation pour résoudre le problème de choix de fournisseurs. Cette approche comprend un module d'optimisation basé sur des algorithmes génétiques multi-critères et un module de simulation permettant l'évaluation de la chaîne étudiée au cours de l'optimisation.

Enfin, il est important de souligner le manque important d'études sur les méthodes de résolution du problème de conception des chaînes logistiques au vu de:

- ❖ L'interaction entre les différents niveaux décisionnels.
- ❖ L'incertitude et la dynamique tout au long de la chaîne.
- ❖ La nécessité de passer d'une optimisation mono-critère à une réelle optimisation multi-critères.[5]

II.3 Les méthodes de résolution d'un problème d'optimisation

Il existe deux grandes familles de méthodes de résolution :

II.3.4 Méthodes exactes

les méthodes exactes peuvent fournir des solutions exacte et optimale en se basant sur des lois bien déterminées

1. Recherche exhaustive (ou énumération explicite)
2. Technique de complexité exponentielle

3. Branch-and-bound (ou énumération implicite)
4. Complexité importante (bien que le nombre de solutions considérées est moindre que dans une recherche exhaustive)
5. Programmation dynamique

II.3.5 Les méthodes approchées ou méta-heuristiques

❖ Heuristiques

- Recherche guidée par des "astuces" qui dépendent du problème traité
- Une heuristique est une technique de résolution spécialisée _a un problème. Elle ne garantit pas la qualité de la solution obtenue.

❖ Méta-heuristiques

- Le terme metaheuristiques vient des mots grecs Meta (au del_a) et heuriskein (trouver)
- Méthodes de recherche indépendantes du problème traité (recuit simulé, tabou search,)
- Une metaheuristiques est une heuristique générique qu'il faut adapter _a chaque problème.

II.3.6 Principales caractéristiques

- Les metaheuristiques sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution optimale.
- Le but visé par les metaheuristiques est d'explorer l'espace de recherche efficacement afin de déterminer des solutions (presque) optimales.
- Les techniques qui constituent des algorithmes de type metaheuristiques vont de la simple procédure de recherche locale _a des processus d'apprentissage complexes.
- Les metaheuristiques sont en général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité.
- Les metaheuristiques peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche.
- Les concepts de base des metaheuristiques peuvent être décrits de manière abstraite, sans faire appel _a un problème spécifique.
- Les metaheuristiques peuvent faire appel _a des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème traité, mais ces heuristiques sont contrôlées par une stratégie de niveau supérieur.
- Les metaheuristiques peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider la suite du processus de recherche.

On peut résumer le fonctionnement des métaheuristiques par les règles suivantes :

- L'objectif est d'explorer efficacement l'espace de recherche afin de trouver les meilleures solutions.
- Le concept de base d'une métaheuristique peut être décrit d'une manière abstraite sans faire appel à un problème spécifique.
- Les métaheuristiques font appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème étudié. Ces heuristiques sont contrôlées par un processus maître de niveau supérieur.

II.4.1 **Méthodes de trajectoire** : elles manipulent une seule solution _a la fois et tentent itérativement d'améliorer cette solution. Elles construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales.

Par exemple :

- La recherche locale.
- Le recuit simulé [Kirkpatrick et al., 1983].
- La recherche tabou [Glover, 1986].
- La recherche _a voisinages variables (VNS) [Mladenovi_c et Hansen, 1997].

II.4.2 **Méthodes qui travaillent avec une population de solutions** : en tout temps on dispose d'une "base" de plusieurs solutions, appelée population. L'exemple le plus connu est l'algorithme génétique.

II.4.3 **Les metaheuristiques qui s'inspirent de phénomènes naturels**. Par exemple, les algorithmes génétiques et les algorithmes des fourmis s'inspirent respectivement de la théorie de l'évolution et du comportement de fourmis _a la recherche de nourriture.

II.4.4 **Les autres**, comme la méthode tabou qui n'a semble-t-il pas été inspirée par un phénomène naturel { même si il y a l'utilisation d'une mémoire.

Selon leur manière d'utiliser la fonction objectif :

Certaines metaheuristiques dites statiques travaillent directement sur f alors que d'autres, dites dynamiques, font usage d'une fonction g obtenue _a partir de f en ajoutant quelques composantes qui permettent de modifier la topologie de l'espace des solutions, ces composantes additionnelles pouvant varier durant le processus de recherche.

Selon le nombre de structures de voisinages utilisées :

Étant donné qu'un minimum local relativement _a un type de voisinage ne l'est pas forcément pour un autre type de voisinage, il peut être intéressant d'utiliser des metaheuristiques basées sur plusieurs types de voisinages. L'exemple parfait est le VNS.

Méthodes avec ou sans mémoire :

Selon que l'on fait usage de l'historique de la recherche (le passé) ou pas. Avec les algorithmes sans mémoire, l'action _a réaliser est totalement déterminée par la situation courante. On différencie généralement les méthodes ayant une mémoire _a court terme de celles qui ont une mémoire _a long terme.

Selon l'utilisation de la diversification et de l'intensification :

- A. **Diversification** : mécanismes pour une exploration assez large de l'espace de recherche.
- B. **Intensification** : exploitation de l'information accumulée durant la recherche et concentration sur une zone précise de

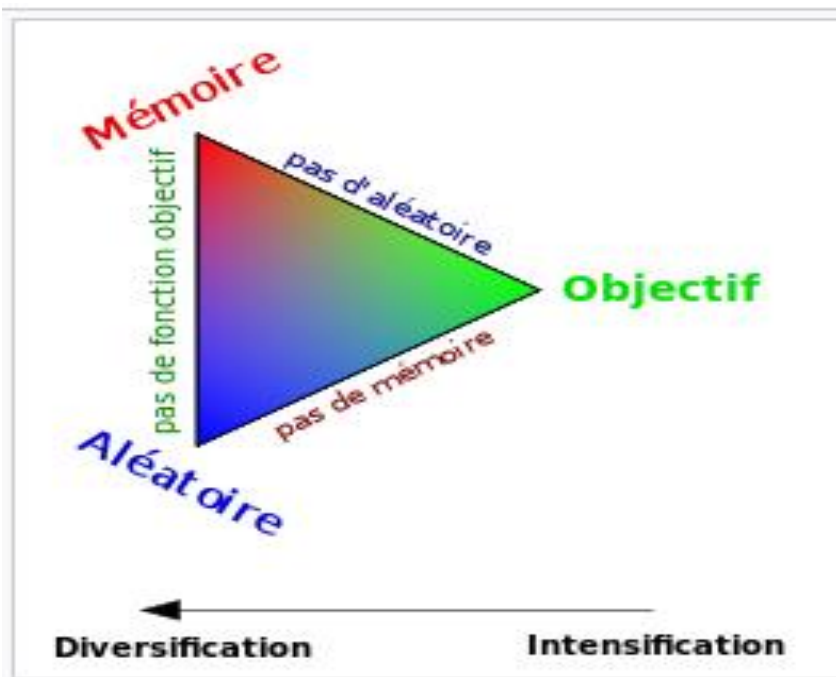


Figure.II.2. la diversification et de l'intensification

II.5 la différence entre une méthode de résolution heuristiques et une méthode de résolution méta-heuristique

Une heuristique est juste une méthode de résolution, souvent informelle et "individuelle". Une métaheuristique est juste une heuristique générique c'est-à-dire une heuristique qui peut se décliner pour la résolution de problèmes qui n'ont aucun lien entre eux. Dans une certaine mesure, on pourrait dire qu'un backtracking est une métaheuristique. En réalité, quand on parle de métaheuristique, on fait allusion à un nombre assez restreint de méthodes comme le recuit simulé (la plus ancienne), la méthode tabou, les algorithmes génétiques. Après, il y en a d'autres moins connus comme les algorithmes de colonies de fourmis, etc. Une métaheuristique, c'est (généralement) une marche aléatoire dans l'espace de recherche guidée par des heuristiques. Comme l'explique Candide (et le préfixe "méta"), ce sont des algos ultra-génériques qui a priori s'appliquent à de nombreuses catégories de problèmes différents. Un peu à l'opposé d'une heuristique qui reste très spécifique pour un problème donné.

Donc, ce terme de métaheuristique peut paraître très compliqué mais pas de quoi s'effrayer. Tu peux mettre en oeuvre les métaheuristicques classiques sur de nombreux problèmes de nature combinatoire.

1. Avantages et inconvénients

Les métaheuristicques étant très généralistes, elles peuvent être adaptées à tout type de problème d'optimisation pouvant se réduire à une « boîte noire ». Elles sont souvent moins puissantes que des méthodes exactes sur certains types de problèmes. Elles ne garantissent pas non plus la découverte de l'optimum global en un temps fini. Cependant, un grand nombre de problèmes réels n'est pas optimisable efficacement par des approches purement mathématiques.

La notion d'efficacité se rapporte généralement à deux objectifs contradictoires : la vitesse et la précision .

Généralement, un choix doit être fait quant au critère d'arrêt adéquat. Un nombre d'évaluation ou un temps imparti est souvent utilisé, mais on peut également choisir d'atteindre une valeur donnée de la fonction objectif (le but étant alors de trouver une solution associée). Il est également possible de choisir des critères dépendants du comportement de l'algorithme, comme une dispersion minimale de la population de points ou un paramètre interne approprié. En tout état de cause, le choix du critère d'arrêt influencera la qualité de l'optimisation.

Le théorème du « no free lunch » explique qu'aucune instance de métaheuristique ne peut prétendre être la meilleure sur tous les problèmes. Une métaheuristique (M) n'est performante que pour une classe de problème (P) donnée.

L'utilisation de métaheuristiques peut paraître relativement simple, en première approche, mais il est souvent nécessaire d'adapter l'algorithme au problème optimisé. Tout d'abord, principalement dans le cadre de l'optimisation combinatoire, le choix de la représentation des solutions manipulées peut être crucial. Ensuite, la plupart des métaheuristiques disposent de paramètres dont le réglage n'est pas nécessairement trivial. Enfin, obtenir de bonnes performances passe généralement par une étape d'adaptation des diverses étapes de l'algorithme (initialisation, notamment). En pratique, seul le savoir-faire et l'expérience de l'utilisateur permet de gérer ces problèmes.

Il est admis que, d'un point de vue très général, aucune métaheuristique n'est réellement meilleure qu'une autre. En effet, une métaheuristique ne peut prétendre être plus efficace sur tous les problèmes, bien que certaines instances (c'est-à-dire l'algorithme lui-même, mais aussi un choix de paramètres et une implémentation donnée) puissent être plus adaptées que d'autres sur certaines classes de problèmes. Cette constatation est décrite par le théorème du no free lunch (« pas de déjeuner gratuit »).

En dernière analyse, il est parfois possible que le choix de la représentation des solutions, ou plus généralement des méthodes associées à la métaheuristique, ait plus d'influence sur les performances que le type d'algorithme lui-même. En pratique, cependant, les métaheuristiques se montrent plus puissantes que les méthodes de parcours exhaustif ou de recherche purement aléatoire.

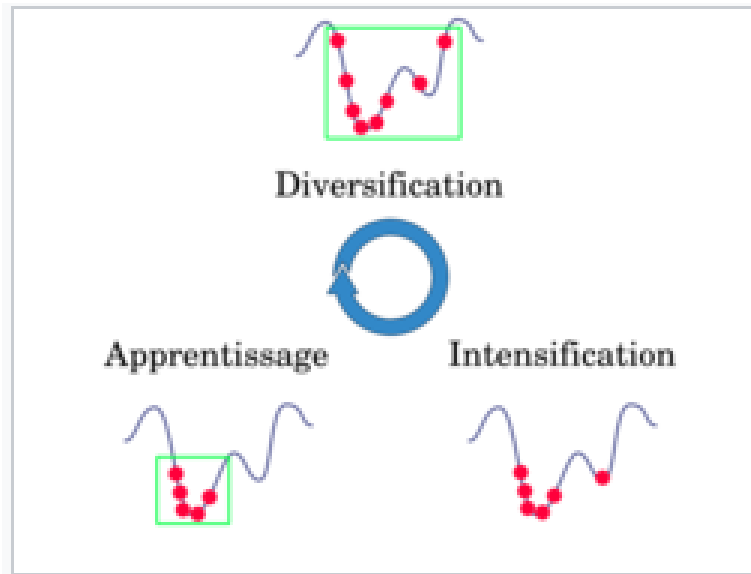


Figure.II.3. Les trois phases d'une métaheuristique itérative.

III.6 Algorithmes génétiques multicritères

Algorithmes Génétiques (AG) : les (AG), développées par J. Holland en 75 comme outils de modélisation de l'adaptation et qui travaillent dans un espace de chaînes de bits. Les plus populaires aux chercheurs de différentes disciplines. Largement utilisées et développées par D.E. Goldberg en 1989.

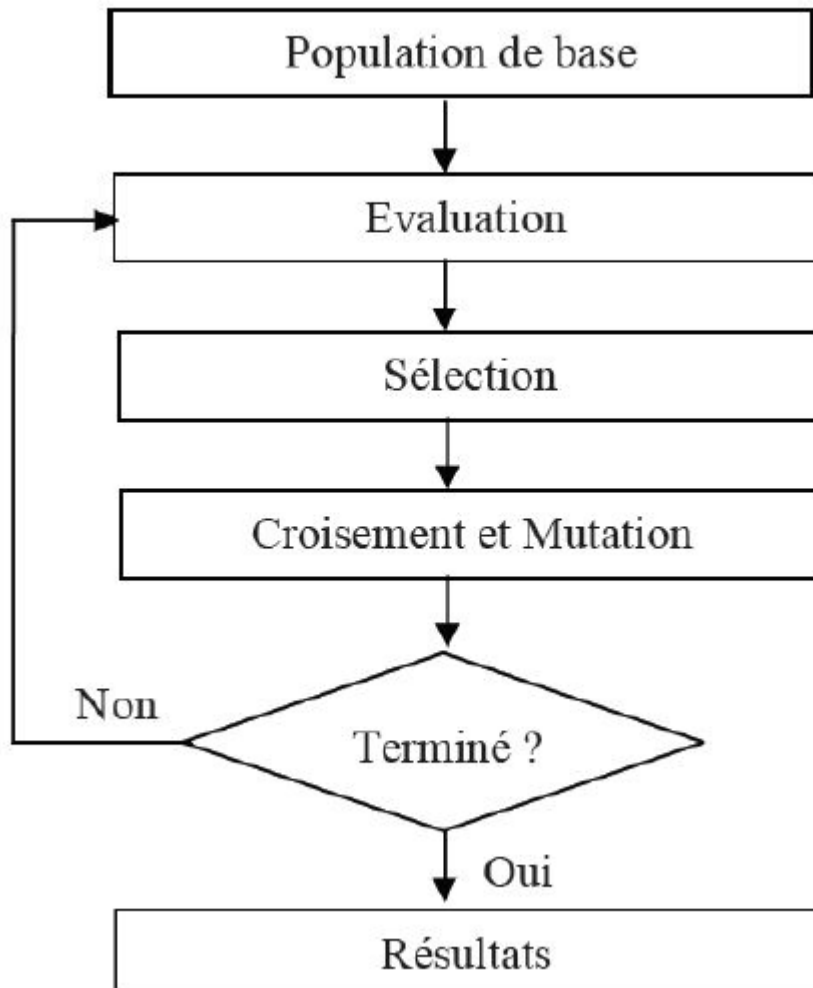


Figure.II.4. Fonctionnement d'un algorithme génétique.

1. Principes de base des algorithmes génétiques

- Les algorithmes génétiques (AG) font partie des algorithmes *évolutifs*
- Adaptés à la recherche de solution dans un espace caractérisé par *un grand nombre de dimensions et de minima locaux*
- Fondés sur la simulation des mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique (processus d'évolution et d'adaptation en milieu naturel)
- Algorithmes d'exploration stochastique

2. Principes

❖ Modélisation :

- États de l'espace de recherche \Rightarrow chaînes de symboles :

Les individus ou chromosomes

- Ensemble des individus \Rightarrow La *population*
- La population évolue au cours de la résolution

❖ **Evolution :**

- On mesure l'*adaptation* (« *fitness* ») de chaque individu à l'espace de recherche
 - ↳ adéquation comme solution
- D'une *génération* à l'autre, on cherche à conserver les individus les mieux adaptés pour les *reproduire* et appliquer à leur descendance des opérateurs *génétiques*

3. Codage et population initiale

Codage des Variables

L'étape clef dans un algorithme génétique est de définir et coder convenablement les variables d'un problème donnée. On retrouve différents techniques de codages. Le codage est un processus de représentation des gènes. Le processus peut être effectué par utilisation des : bits, nombres, arbres, tableaux, listes ou tous autres objets. La littérature définit deux types de codage : binaire et réel.

➤ **Codage binaire**

C'est la représentation la plus fréquente, soit f une fonction à optimiser de paramètres x . La variable x représente un individu de la population, il est codé sous forme d'une chaîne de n bits. Soit $x \in [x_{min}, x_{max}]$ avec $x \in d$ et x a un nombre de décimale noté d .

Dans une représentation binaire, la taille de l'individu n vérifie l'inéquation suivante :

$$|x_{max} - x_{min}| * 10^d \leq 2^n$$

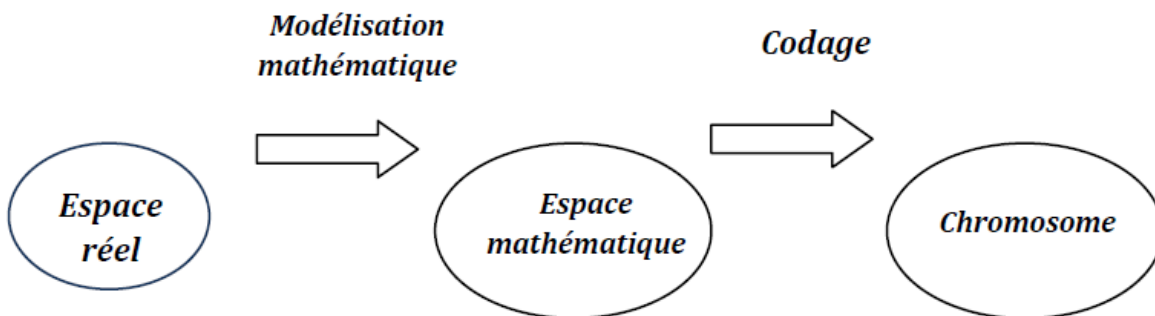


Figure.II.5. Les phases de définition d'un codage

➤ **Codage Réel**

La représentation des solutions dans le cadre des AG n'est pas nécessairement réduite à un alphabet de faible cardinalité (0,1), il existe toute une école pour laquelle la représentation la plus efficace est celle qui s'appuie sur des nombres réels. Cette représentation est à la base de l'approche évolutionnaire « Evolution stratégie ». Ce type de codage présente certains avantages par rapport au codage binaire :

- Le codage réel est robuste pour les problèmes considérés comme difficile pour le codage binaire.
- Ce codage nécessite une adaptation des opérateurs de croisement et mutation.

4. La fonction d'évaluation

La fitness (fonction d'évaluation) évaluera l'efficacité des individus et permettra la sélection des candidats aptes à la reproduction. Trois opérateurs primaires feront évoluer la population

- La sélection.
- Le croisement.
- La mutation.

Employés dans cet ordre, ils créeront une nouvelle population d'individus

4.1 Opérateur de sélection

- Fondé sur la théorie de sélection naturelle.
- Elle définit quels seront les individus de P qui vont être dupliqués dans la nouvelle population P'.
- les individus les plus aptes à répondre à certains critères seront sélectionnés.
- Si n est le nombre d'individus de P, on doit en sélectionner n/2.

Méthodes de Sélection

- **Méthode de la "loterie biaisée" (roulette Wheel)**
 - chaque individu a une chance d'être sélectionné proportionnelle à sa performance.
- **La Méthode élitiste**
 - On trie de manière décroissante la population P selon la fitness de ses individus.
 - On prend les n meilleurs individus.
- **La Sélection par Tournois**
 - On effectue un tirage avec remise de deux individus de P, et on les fait "combattre".
 - Celui qui a la fitness la plus élevée l'emporte avec une probabilité p comprise entre 0.5 et 1, et on répète n fois.
- **La Sélection Universelle Stochastique**
 - On prend l'image d'un segment découpé en autant de sous-segments qu'il y a d'individus.
 - Les individus sélectionnés sont désignés par un ensemble de points équidistants.

4.2 Opérateur de croisement

- Il consiste à combiner deux individus quelconques (dits parents) pour en ressortir deux autres individus (dits enfants).
- On coupe en un ou plusieurs points deux individus (aux mêmes endroits dans les deux individus) et on échange les parties situées entre ces points.

Types de Croisement

- Croisement en un point
 - on choisit au hasard un point de croisement, pour chaque couple (le croisement s'effectue au niveau binaire).

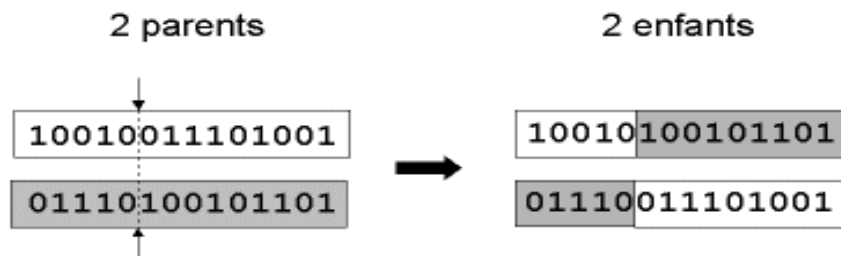


Figure.II.6. Croisement en un point

- Croisement en deux points
 - On choisit au hasard deux points de croisement.

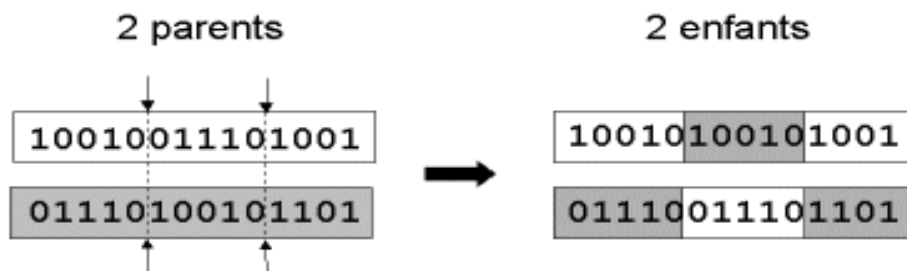
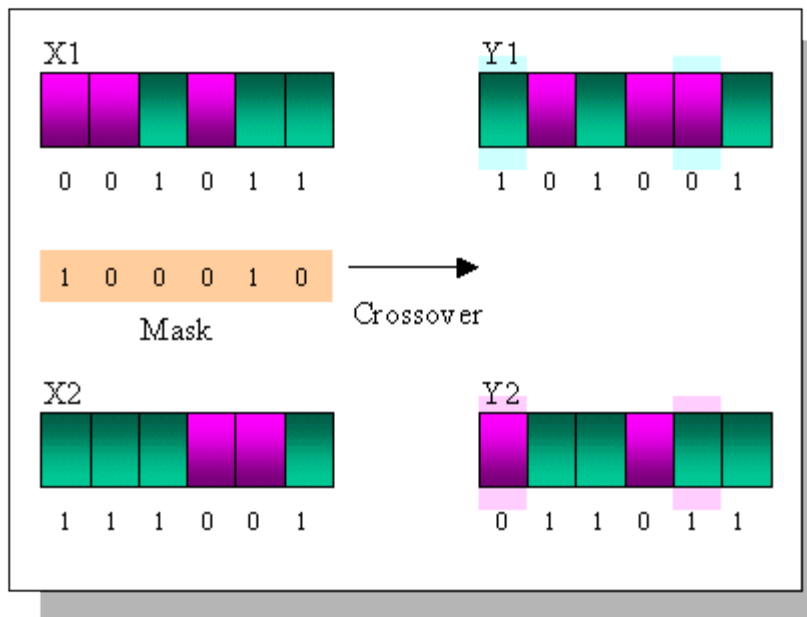


Figure.II.7 Croisement en deux points

- Croisement Uniforme
 - On définit un « Masque » de manière aléatoire, de même longueur que les chromosomes parents.
 - Pour un locus, si le locus du masque est 0 il hérite du parent 1, si 1 il hérite du parent 2, et de manière symétrique pour le deuxième fils.



• **Figure.II.8.** Croisement Uniforme

4.3 Mutation

- La modification aléatoire d'un paramètre du dispositif (l'inversion d'un bit dans un chromosome).
- Les mutations empêchent l'évolution de se figer.
- Probabilité de mutation p_m est très faible, comprise entre 0.01 et 0.001.

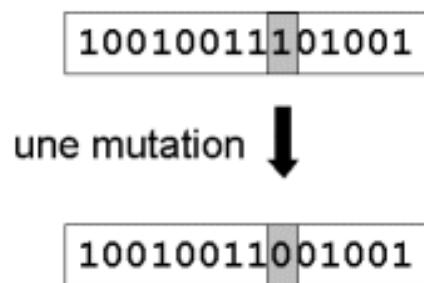


Figure.II.9. Mutation

4.4 Autres paramètres

La réussite ou l'échec d'un algorithme génétique est influencée par certains paramètres fixés à l'avance. Ces paramètres sont les suivants :

- La grandeur de la population : Si N est trop grand, le temps de calcul de l'algorithme peut s'avérer très important, si par contre N est trop petit, il peut converger trop rapidement vers un mauvais chromosome.
- La longueur du codage de chaque individu l .

- La probabilité de croisement pc , Le choix de cette probabilité est généralement heuristique. Elle découle de la forme de la fonction d'objectif, plus elle est élevée, plus sa population connaît des changements importants. Ses valeurs généralement acceptées sont comprises entre 0.5 et 0.9.
- La probabilité de mutation pm , est habituellement faible étant donné qu'un taux élevé peut conduire à une solution sous-optimale.

5. Caractéristiques des algorithmes génétiques

- Les AG se distinguent des méthodes classiques (énumératives ou basées sur gradient) de recherche dans un espace d'états car ils :
 - utilisent un codage des paramètres du problème
 - travaillent sur une population et pas sur une unique situation
 - ↳ éviter le piège d'un minimum local
 - utilisent des valeurs de la fonction étudiée
 - ↳ pas sa dérivée ni une fonction auxiliaire
 - utilisent des règles de transition probabilistes
 - ↳ pas déterministes

✓ les avantages de AG

- Il n'est pas nécessaire de connaître les particularités de la solution du problème pour parvenir à un résultat, mais seulement de déterminer les informations relatives au fitness.
- L'exploration de l'espace de recherche, basée sur des paramètres aléatoires, grâce à une recherche parallèle.
- En utilisant un codage combinatoire afin d'optimiser plusieurs variables de décision en même temps ce qui permettra d'aborder l'aspect multidimensionnel.
- Les AGs, à l'inverse des méthodes déterministes. recherchent d'une population de solutions à l'autre, plutôt que d'une solution à l'autre.
- Pouvoir exploiter les meilleures solutions disponibles au moment donnée.[27]

✓ Les inconvénient de AG

- Les spécificités du problème (taille de la population, probabilités de croisement et de mutation, nombre de générations, etc.) imposent les codages et les opérateurs les plus adéquats.
- Les AGs par leur nature sont consommateurs de temps de calcul. Ce qui, propose l'approche d'utilisation de la simulation pour l'évaluation des indicateurs de performance de la solution candidate. En conséquence, l'efficacité est encore plus importante. Pour cela, nous avons

proposé un modèle bien intégré permettant une simulation non seulement complète mais aussi efficace.

- Il faut aussi noter l'impossibilité de certifier, même après un nombre important de générations, que le fonctionnement d'un tel algorithme ne garantit nullement la réussite. On peut uniquement garantir que la solution obtenue est proche de la solution optimale. [27]

Il se peut que certains individus occupent une place importante au sein d'une population peuvent devenir majoritaires dans des populations futures.

II.8 L'optimisation multicritères

L'optimisation multicritères est destinée aux problèmes de prise de décision que l'on rencontre à tous les échelles de gestion, qui ont des critères multiples et qui peuvent être en conflit. Par exemple, un nouveau processus de production peut être adopté pour l'amélioration des délais de livraison, la qualité des produits et la réduction des coûts.

Ces décisions de nature complexe et ayant des conséquences graves sont dues à l'aspect conflictuel des critères, au manque et parfois à l'absence d'informations. On doit suivre plusieurs phases pour arriver à résoudre un problème multicritères qui peuvent être considérés, comme suit :

- L'identification des critères d'optimisation.
- L'élaboration d'une solution en essayant d'exploiter les données disponibles.
- Enfin, une ou plusieurs solutions optimales seront disponibles selon la méthode adoptée.

Plusieurs fonctions d'objectif ($n \geq 2$) sont posées dans un problème d'optimisation multiobjectifs.

Chaque fonction peut avoir un optimum différent. On doit arriver à de « bons compromis » plutôt qu'à une solution unique. Les notions de dominance et d'optimalité de Pareto remplace la notion d'optimum.

La dominance: une solution A domine une solution B pour un problème de minimisation si et seulement si:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n\} : f_i(A) \leq f_i(B)$$

$$\exists j \in \{1, 2, \dots, n\} : f_j(A) < f_j(B)$$

On dit que B est dominée par A ou entre les deux solutions, A est la solution non dominée.

Pareto optimum:

Au XIX^{ème} siècle, Vilfredo Pareto, un mathématicien italien, forme le concept suivant [Pareto 1896] : dans un problème multiobjectif, il existe un équilibre tel que l'on ne peut pas améliorer un critère sans détériorer au moins un des autres critères. Cet équilibre a été appelé optimum de Pareto. Un point x est dit Pareto optimal s'il n'est dominé par aucun autre point appartenant à X. Ces points sont également appelés solutions non inférieures ou non dominées. [18]

pour la résolution des problèmes d'optimisation multi-objectifs, un bon réglage des

paramètres des algorithmes génétiques constituent une approche intéressante. Le domaine des AGs ne cesse de se développer et plusieurs méthodes pour le traitement des problèmes multi objectifs ont été proposées. On peut classer ces méthodes en deux catégories principales :

agrégatives et non agrégatives.

4) Méthode aggregative

- Vector evaluated genetic algorithm (VEGA)

En 1985, Schaffer a proposé le premier Algorithme Evolutionnaire Multi-objectif pour trouver les solutions non dominées d'un problème multi-objectif. Il l'a appelé VEGA car son algorithme utilise directement le vecteur des valeurs des objectifs pour l'évaluation des individus.

Le schéma de l'évaluation est très simple : à chaque génération la population est aléatoirement divisée en autant de sous-populations (de tailles égales) qu'il y'a d'objectifs, ensuite chaque sous-population est évaluée selon l'une des fonctions objectifs. L'opérateur de sélection est ensuite restreint à chaque sous-population. [18]

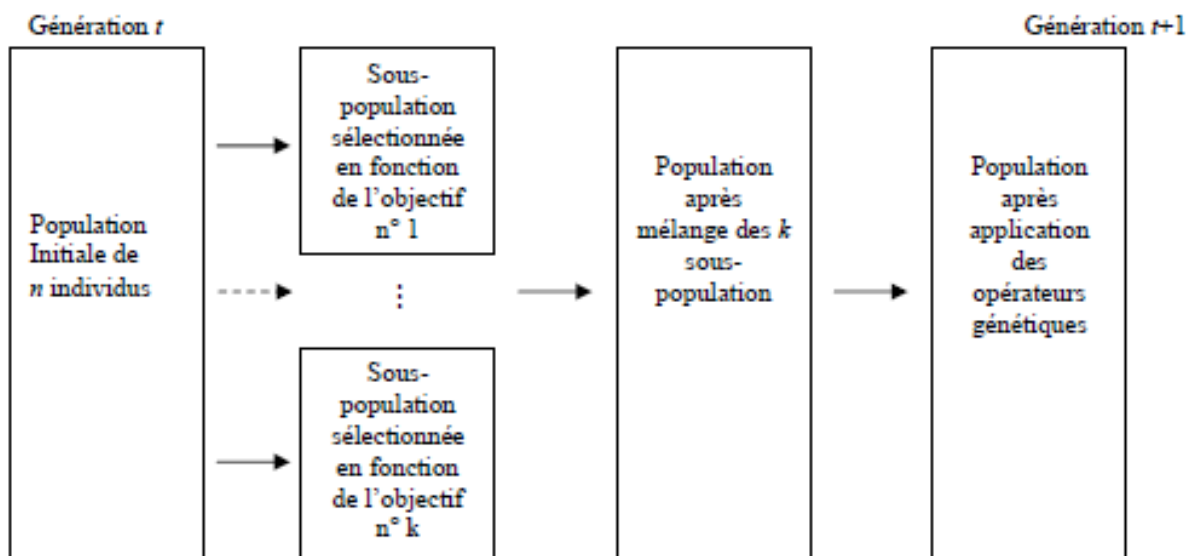


Figure.II.10. Schéma de fonctionnement de VEGA.

❖ Avantages de VEGA

L'algorithme de Schaffer est basé sur une idée très simple et il est facile à mettre en oeuvre..

VEGA cherche des bonnes solutions individuelles pour chacun des différents objectifs. Une telle application de VEGA a été décrite.

Désavantages de VEGA

La sélection de VEGA favorise les solutions qui sont bonnes pour un des objectifs. il est peu probable que de tels compromis puissent survivre assez longtemps au cours de l'évolution.

5) Méthode non aggregative

- Multiple Objectives Genetic Algorithm (MOGA)

Proposé par Fonseca et Fleming 1993 , le MOGA est une méthode dans laquelle chaque individu de la population est rangé en fonction du nombre d'individus qui le domine. Ensuite, l'algorithme utilise une fonction de calcul de la performance permettant de prendre en compte le rang de l'individu et le nombre d'individus ayant le même rang . Soit un individu x_i à la génération t , dominé par $p_i(t)$ individus. Le rang de cet individu est :

$$\text{Rang}(x_i, t) = 1 + p_i(t)$$

Cette méthode pose comme inconvénient un risque de convergence prématurée à cause de la grande pression exercée par la sélection.

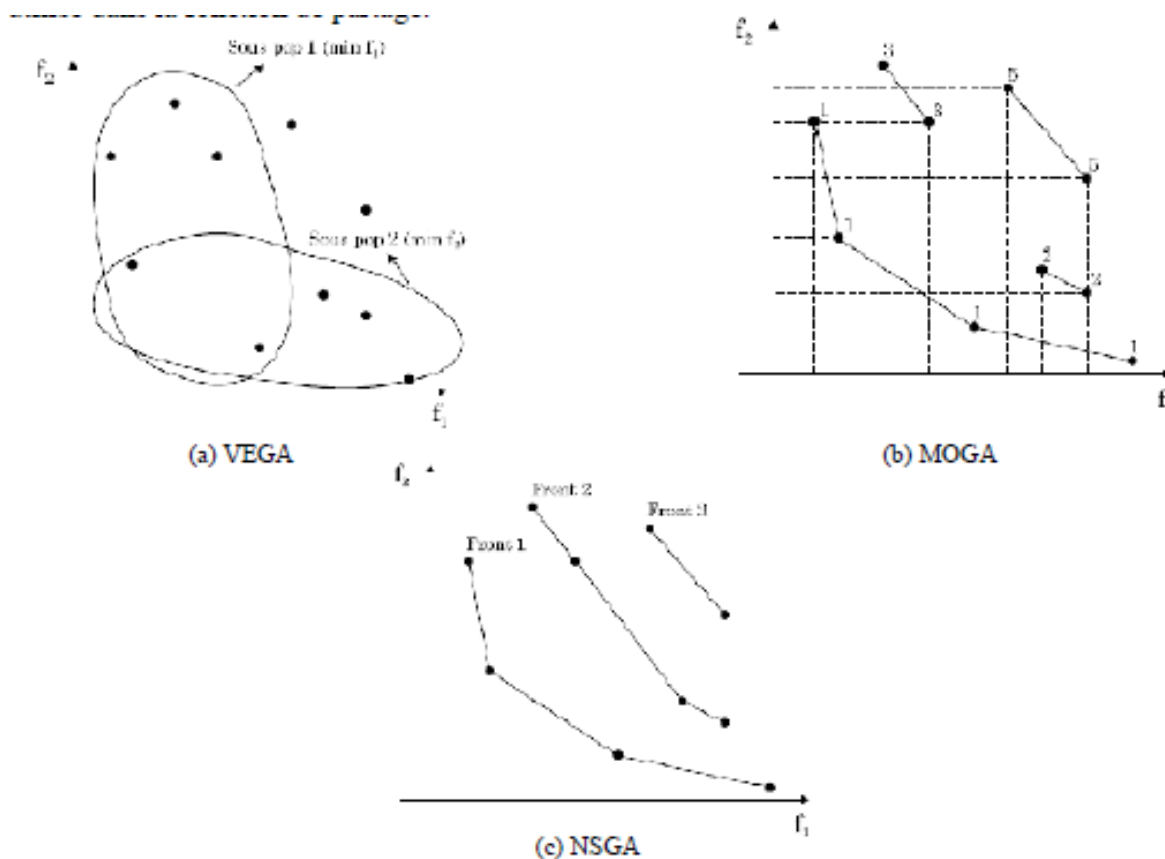


Figure.II.11. Différents mécanismes de sélection.

- NSGA (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm)

Cette méthode a été proposée par Srinivas et Deb l'approche NSGA est basée sur le classement non dominé. Elle affecte à chaque individus une performance factice selon auquel il appartient. Chaque front correspond à un groupe d'individus ayant le même degré de dominance au sens Pareto. Les individus du Front 1 auront une meilleure performance que ceux du Front 2 qui eux auront une meilleure performance que ceux du Front 3 et ainsi de suite. Pour la sélection, elle applique ensuite le partage de performance au niveau de chaque front pour maintenir la diversité.

L'avantage principal de NSGA c'est que les valeurs de performance sont attribuées aux individus à la base de l'ensemble non-dominé auquel ils appartiennent. Ceci permet à l'algorithme d'assurer la progression de la population vers la surface Pareto-optimale le long de tout le front. De plus, le partage dans l'espace de

décision assure la diversité génotypique de solutions. La technique de partage peut être également appliquée dans l'espace des objectifs.

Afin de remédier à ces genres de difficultés, de nouveaux algorithmes génétiques multicritères ont été proposés récemment avec des nouvelles procédures. Nous avons choisi de présenter uniquement le NSGA-II car il a été utilisé dans notre travail.

- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA II)

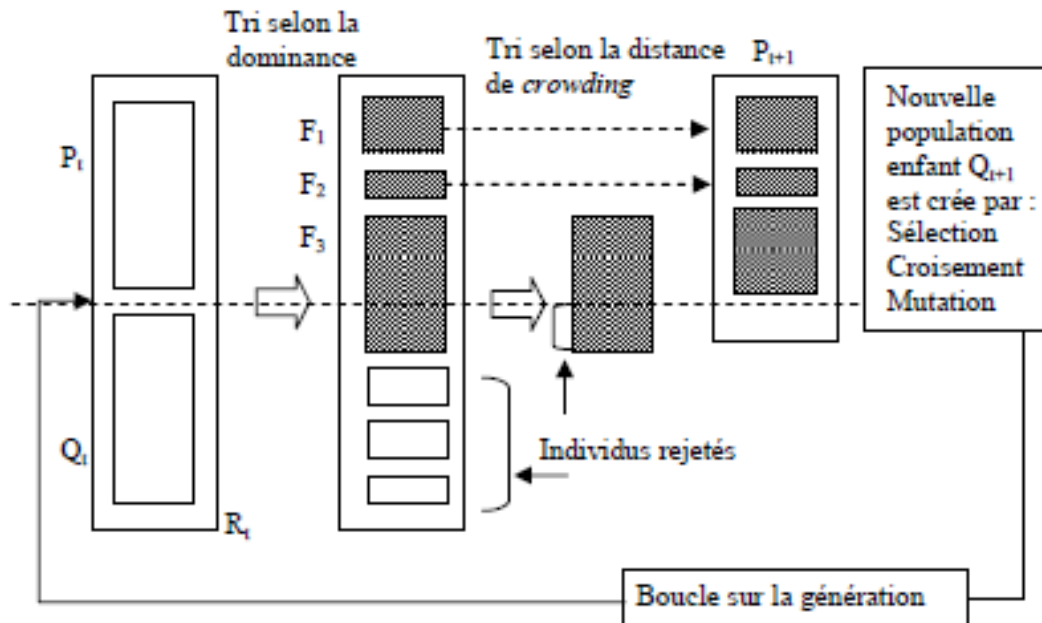


Figure.II.12. Principe de l'algorithme NSGA-II.

Une itération de NSGA-II

Après initialisation aléatoire de la population initiale P_0 , une itération de NSGA-II se déroule comme suit :

1. Créer Q_t à partir de P_t en utilisant le tournoi et en appliquant des opérateurs de variation génétique au individus gagnants.
2. Réunir les populations des parents et des enfants $R_t = P_t + Q_t$. Trier l'ensemble résultant R_t en sous-ensemble F_i .
3. Soit une nouvelle population $P_{t+1} = \emptyset$. Soit le compteur des sous-ensembles non dominés $i=1$.
4. Tant que

$$|P_{t+1}| + |F_i| < N, P_{t+1} \leftarrow P_{t+1} \cup F_i \text{ et } i \leftarrow (i+1).$$
5. Ordonner l'ensemble F_i selon les "distance de surpeuplement" (crowding distance) et inclure $N - |P_{t+1}|$ solutions ayant les valeurs de distance les plus grandes dans la population P_{t+1} .

Il est important de noter que le tri de R_t en sous-ensembles non-dominés fait en stade 1 et le remplissage de la population P_{t+1} peuvent être effectués simultanément. Chaque fois qu'un nouveau front est trouvé on vérifie s'il peut rentrer dans P_{t+1} entièrement si ce n'est pas le cas, le processus du ranking s'arrête.

Calcul de la distance de crowding (distance de surpeuplement)

La distance de *crowding* d'une solution (i) (ou d'un individu) se calcule en fonction du périmètre formé par les points les plus proches de (i) sur chaque objectif. La figure 4.12 montre une représentation à deux dimensions associée à la solution (i). Le calcul de la distance de *crowding* nécessite, avant tout, le tri des solutions selon chaque objectif, dans un ordre ascendant. Ensuite, pour chaque objectif, les individus possédant les valeurs limites (la plus petite et la plus grande valeur de fonction objectif) se voient associer une distance infinie. Pour les autres solutions intermédiaires, on calcule une distance de *crowding* égale à la différence normalisée des valeurs des fonctions objectives de deux solutions adjacentes. Ce calcul est réalisé pour chaque fonction objective. La distance de *crowding* d'une solution est calculée en sommant les distances correspondantes à chaque objectif. Une fois toutes les distances sont calculées, il ne reste plus qu'à les trier par ordre décroissant et à sélectionner les individus possédant la plus grande valeur de crowding.

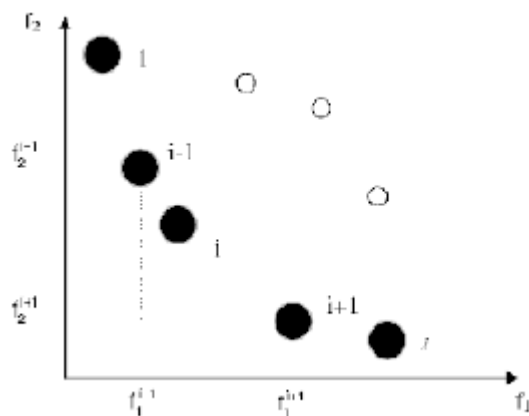


Figure.II.13. : Distance de crowding,

Algorithm 1 Calcul de la distance de crowding pour chaque solution d'un front

1. $l = |I|$, nombre de solutions dans le Front I
 2. Pour chaque solution i /poser $I[i]_{distance} = 0$, Initialisation des distances.
 3. Pour chaque objectif m :
 - $I = \text{trier}(I, m)$, trier /par ordre croissant selon le critère m
 - $I[1]_{distance} = I[l]_{distance} = +\infty$
 - Pour $i=2$ jusqu'à $l-1$ faire
 - $I[i]_{distance} = I[i]_{distance} + \left(\frac{f_m^{i+1} - f_m^{i-1}}{f_m^{max} - f_m^{min}} \right)$
-

Dans cet algorithme, f_m^{i+1} et f_m^{i-1} et représentent respectivement la valeur de la mième fonction objectif de la solution $i+1$ et $i-1$, alors que les paramètres et f_m^{Max} et f_m^{Min} désignent les valeurs maximale et minimale de la mième fonction objectif. Après ce calcul, toutes les solutions de I auront une distance métrique . [18]

Opérateur de crowding de comparaison ($< n$)

L'opérateur *crowded-comparison* ($< n$) est utilisé pour guider le processus de sélection comme suit : chaque solution (i) de la population est identifiée par son rang ($irang$) et sa distance de *crowding* ($idistance$). L'opérateur ($< n$) défini ci dessous permet d'identifier un ordre de préférence entre deux solutions :

$i < n j$ si ($irang < jrang$)

ou ($(irang = jrang)$ et ($idistance > jdistance$))

Entre deux solutions de rangs différents, on préfère la solution avec le plus petit rang (ou le plus petit front). Pour deux solutions qui appartiennent au même front, on préfère la solution qui est localisée dans la région où la densité de solutions est moindre, soit l'individu possédant la plus grande valeur de distance de *crowding*.

A la différence de toutes les stratégies de préservation de la diversité vues jusqu'à présent, celle employée dans NSGA-II n'exige aucun paramètre à fixer. Notons que rien n'empêche de calculer les distances de surpeuplement dans l'espace de décision si cela est jugé plus adapté au problème.

Pour mieux illustrer ce qui précède nous allons présenter deux exemples pratiques intéressants.

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'approche d'optimisation basée sur la simulation dédiée à la conception des chaînes logistique. Nous avons présenté les algorithmes d'optimisation multicritères. Un algorithme génétique multicritères NSGA-II, considéré comme l'un des meilleurs MOGAs, a été adopté et intégré dans l'approche.

Chapitre III

Méthode utilisée

III.1. Introduction

Le présent chapitre est dédié à la description de l'approche d'optimisation à base de la simulation, pour traiter les problèmes de conception des chaînes logistiques. Nous présentons le problème à étudier, par la suite nous présenterons une vue de l'ensemble de l'approche utilisée, sa structure générale ainsi que ses objectifs. Nous terminons ce chapitre par la fonctionnalité de la méthode pour l'optimisation globale.

III.2. Méthode d'optimisation

Notre problème est d'optimiser la performance en satisfaisant les clients, avec le coût le plus bas. Nous cherchons à développer une solution à ce problème par la satisfaction des contraintes sur les dates d'arrivées des matières premières et les dates de livraisons des produits finis tout en maximisant les profits de la production.

III.3. Objectifs et architecture de la méthode

L'objectif global de notre travail est de donner une conception optimale de la chaîne logistique. Un modèle est un ensemble d'hypothèses sur le comportement d'un système. Ces hypothèses prennent la forme de relations mathématiques ou logiques. Si les relations qui composent le modèle sont assez simples, il est peut être possible d'utiliser les méthodes mathématiques (telles que l'algèbre, le calculus, ou la théorie des probabilités) pour obtenir des informations précises sur les questions d'intérêt : c'est ce qu'on appelle une solution analytique.

Cependant, la plupart des systèmes réels sont trop complexes pour permettre aux modèles réalistes d'être évalués analytiquement. Ces modèles doivent être étudiés au moyen de la simulation. Aujourd'hui, l'incertitude et le dynamisme de l'environnement commercial créent des opportunités et des risques. L'optimisation de la chaîne logistique est la plus utile dans les situations où une société ou un produit ont une base d'approvisionnement, un processus de fabrication et un système de distribution complexe avec une demande volatile. Essentiellement, chaque fois qu'il y a une incertitude sur le comportement des opérations de la chaîne logistique ou sur la demande dans le marché, l'optimisation de la chaîne logistique pourrait être bénéfique à la

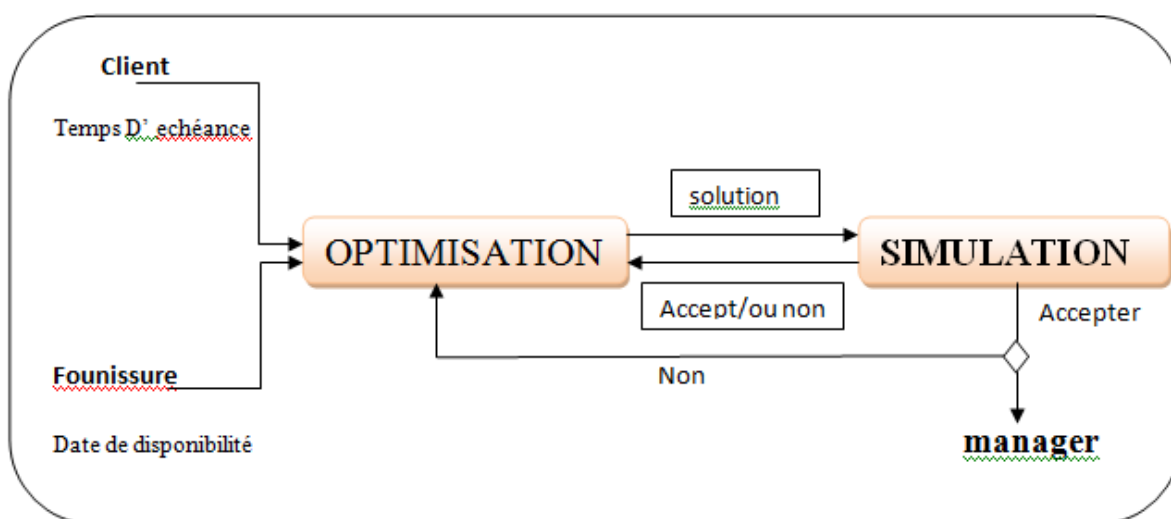
société. Cependant, le vrai défi de la gestion de la chaîne logistique provient de l'incertitude inhérente aux événements quotidiens de chaque point de la chaîne, par exemple

- Demandes des clients sont rarement précises et souvent trompeuses.
- Problèmes techniques liées à la fabrication.
- Les retards liés à la distribution.

Il est primordial pour développer des modèles pour la chaîne logistique qui prennent en considération l'incertitude et la complexité.

L'approche que nous utilisons est composée d'un module d'optimisation, utilisant comme techniques les algorithmes génétiques (AG), et un module de simulation, développé en MatLab, permettant l'évaluation de la chaîne dans un environnement dynamique et incertain

A chaque itération, le module d'optimisation propose une solution candidate du problème étudié afin d'être évaluée par le module de simulation. Dès réception d'une solution optimale, le module de simulation génère automatiquement le modèle de simulation correspondant. Ainsi, un ensemble d'indicateurs de performances, comme les coûts, les délais, ..., etc., est fourni. En tenant compte des résultats obtenus par la simulation, une évaluation globale en terme de fitness est associée à cette solution. Toutes les solutions candidates, proposées par l'AG, seront évaluées au fil de l'eau par le module de simulation. L'algorithme génétique, utilisé par le module d'optimisation, a pour objectif de guider la recherche dans un espace de solutions possibles vers une solution proche de l'optimale. Des incertitudes, liées entre autres à la demande, à la production et à la distribution, sont prises en considération par le décideur lors de la phase de paramétrisation du module de simulation. Le cycle optimisation-simulation est répété jusqu'à l'obtention d'une solution acceptable pour le décideur ou d'un nombre de générations fixé à priori par le décideur. Une vision globale de cette approche est illustrée dans la figure Fig. 3.1.



La combinaison entre la simulation et l'optimisation n'est pas une pratique nouvelle dans l'étude des systèmes complexes et plus particulièrement des chaînes logistiques. Néanmoins, la spécificité de l'approche utilisée dans ce travail est, les caractéristiques de cette approche sont triples:

- La nature évolutionnaire des AGs permet l'identification des directions de recherche de manière intelligente et efficace;
- La simulation permet une évaluation fidèle des décisions stratégiques tactiques et opérationnelles, avec la prise en compte des incertitudes liées aux différentes activités de la chaîne
- L'optimisation multicritères permet au décideur de manipuler simultanément plusieurs indicateurs de performances de natures différentes, financiers comme les coûts, les délais, et non financier comme le niveau de service du client.

III.4. Ordonnancement par l'approche proposée

L'objectif de notre travail est de rechercher à une optimisation, et le contrôle de l'ordonnancement au niveau opérationnel.

Pratiquement, le rôle de la planification au niveau opérationnel (Ordonnancement des ateliers).affecte n tâches sur un ensemble de m machines disponibles. Chaque machine exécute au maximum une tâche simultanément et chaque tâche ne peut pas être exécutée par plus d'une machine à un instant donné.

On considère que le centre de production est organisé en atelier de type m machines identiques en parallèle, les dates de disponibilité sont parvenues par les fournisseurs, les dates de livraison sont données par les demandes des clients et le temps d'exécution pour chaque tâche est donné de la planification au niveau tactique. Dans notre problème, la préemption n'est pas autorisée, c'est-à-dire que chaque tâche j s'exécute durant p_j unités de temps consécutives sur la même machine. Après les études des modèles mathématiques, les données du problème et le modèle qui s'expriment de la manière suivante :

- n : le nombre de tâches
- m : le nombre de machines
- j : l'indice de la tâche, où $j=1, \dots, n$
- k : l'indice de la machine, où $k=1, \dots, m$
- r : la position de la tâche dans une machine, où $r=1, \dots, nk$
- r_{jk} : date de début au plus (dans notre travail égal à zéro)
- d_{jk} : date de fin au plus tard de la tâche j (selon les demandes de clients)
- s_{ij} : temps de préparation de la tâche j effectuée immédiatement après la tâche i sur une machine
- p_{jk} : temps opératoire de la tâche j (les unités doit fabriquer * temps opératoire de tache sur la machine)
- C_{jk} : date de fin d'exécution de la tâche j
- T_{jk} : retard réel de la tâche j
- C_{max} : makespan
- nk : nombre de tâches affectées à la machine k

Minimiser ($C_{max}, \Sigma T$)

(1)

Sous contraintes :

$$\sum_{j=1}^n X_{jkr} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{r=1}^{nk} X_{jkr} \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$P_{[kr]} = \sum_{j=1}^n X_{jkr} P_{jk} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (4)$$

$$S_{[kr]} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{jkr} Y_{ij} S_{ij} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (5)$$

$$r_{[kr]} = \sum_{j=1}^n X_{jkr} r_{jk} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (6)$$

$$d_{[kr]} = \sum_{j=1}^n X_{jkr} d_{jk} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (7)$$

$$C_{[kr]} = \max(C_{[k,r-1]} + s_{[kr]}, r_{[kr]}) + p_{[kr]} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (8)$$

$$T_{[kr]} = \max(C_{[kr]} - d_{[kr]}, 0) \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (9)$$

$$C_{max} = \max_{k=1}^m \max_{r=1}^{nk} C_{[kr]} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (10)$$

$$\sum T_{jk} = \sum_{k=1}^m \sum_{r=1}^{nk} T_{[kr]} \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad (11)$$

$$X_{jkr} = 0 \text{ or } 1 \quad k=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,nk \quad j=1,2,\dots,n \quad (12)$$

$$Y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,n \quad (13)$$

La fonction (1) exprime directement les objectifs de notre problème, i.e., la minimisation du makespan et la minimisation de la somme des retards.

Les contraintes (2) et (3) sont des contraintes d'unicité des tâches sur la machine k et à la position r . Elles assurent qu'il y a seulement une tâche sur la machine k et à la position r , et que chaque tâche est affectée seulement une fois sur ces machines.

La contrainte (4) calcule la durée d'opération de la tâche qui est en position r sur la machine k . La contrainte (5) définit le temps de préparation de la tâche qui est en position r sur la machine k .

Les contraintes (6) - (9) concernent respectivement la date de début au plus tôt, la date de fin au plus tard, la date de fin d'exécution et le retard réel de la tâche qui est en position r sur la machine k .

Les contraintes (10) et (11) représentent le calcul du makespan et de la somme des retards. La variable binaire X_{jkr} est égale à 1, si la tâche j est ordonnée en position r sur la machine k et 0 sinon. La variable binaire Y_{ij} contrôle la position relative de deux tâches i et j . Si la tâche i précède immédiatement la tâche j , alors Y_{ij} est égale à 1, sinon elle est égale à 0. Par contre, si j est la première tâche ($j=1$), alors Y_{ij} est égale à 1, car aucune tâche ne précède j .

III.5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la méthode de résolution que nous avons développée pour le problème de notre travail. Nous avons combiné l'utilisation de méthode d'optimisation et méthode de simulation. Nous avons décrit le schéma global de la solution et sa fonctionnalité. Dans ce qui suit nous proposons les outils nécessaires à la mise en œuvre de l'approche utilisée.

Chapitre IV

Conception et développement

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons passer à la conception et la mise en oeuvre d'un prototype en procédant par l'approche UML (The Unified Modeling Language). L'UML est un langage pour indiquer, visualiser, construire et documenter des systèmes. Nous avons choisi cette approche car il permet de modéliser d'une manière claire et précise la structure et le comportement d'un prototype. Pour permettre la validation de l'approche, des expériences numériques ont été réalisées. Enfin, nous analysons et commentons les résultats numériques obtenus.

II. L'utilisation des diagrammes

Un diagramme UML est une représentation graphique, qui s'intéresse à un aspect précis du modèle. C'est une perspective du modèle, pas "le modèle". Chaque type de diagramme UML possède une structure. Un type de diagramme UML véhicule une sémantique précise. Combinés, les différents types de diagrammes UML offrent une vue complète des aspects statiques et dynamiques d'un système.

III. Les diagrammes utilisés pour concevoir notre prototype

III.1 Diagramme de cas d'utilisation (use case)

Le Diagramme de cas d'utilisation permet de structurer les besoins des utilisateurs et les objectifs correspondants d'un système. Ils centrent l'expression des exigences du système sur ses utilisateurs : ils partent du principe que les objectifs du système sont tous motivés. Les diagrammes de cas d'utilisation dans UML définissent deux concepts principaux :

les acteurs, et les cas d'utilisation.

III.2 Diagramme de séquence

Les diagrammes de séquence sont la représentation graphique des interactions entre les acteurs du système, Il permet de visualiser les messages par une lecture de haut en bas. L'axe vertical représente le temps, l'axe horizontal les objets qui collaborent. Une ligne verticale en pointillé est attachée à chaque objet et représente sa durée de vie.

III.3 Diagramme d'activité

Le diagramme d'activités est un diagramme comportemental pour la représentation de l'enchaînement et la modélisation du flot de contrôle entre les activités.

IV. La conception de notre système décisionnel

Comme nous l'avons vu précédemment, l'architecture de notre solution est basée sur :

- Le modèle de chaîne logistique : contient l'ensemble des tâches, des ressources, les centres de production, de distribution, et de détaillant.
- Le composant fournisseurs : permet l'introduction d'informations des fournisseurs et ses livraisons.
- Le composant clients : permet l'introduction d'informations des clients et ses demandes.
- Le module décisions : permet de définir les informations nécessaires pour lancer l'optimisation et la simulation.

IV.1 Diagramme de Cas d'utilisation de notre système

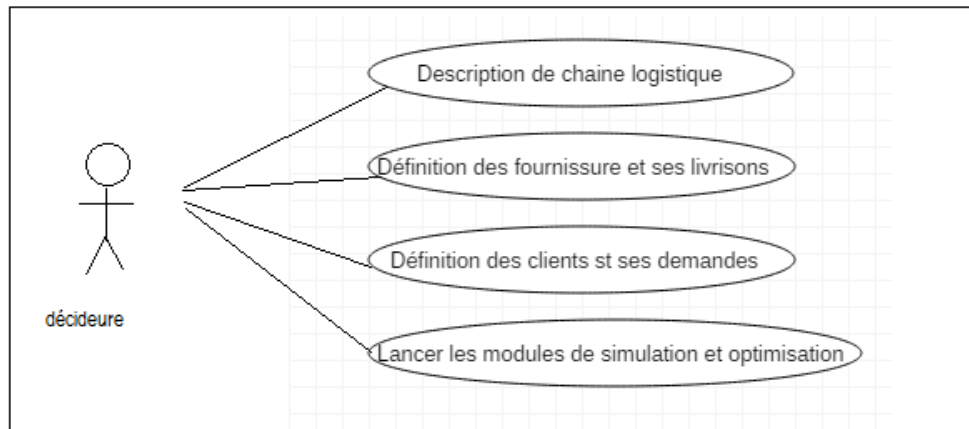


Figure IV.1 : Cas d'utilisation de notre prototype

IV.2 Diagrammes de séquence et d'activité de système

IV.2.1 Diagramme de séquence pour le modèle d'une chaîne logistique

Ce diagramme pour expliquer les enchainements d'élaboration d'un modèle de chaîne logistique.

1. Le décideur choisit l'élaboration de la chaîne logistique.
2. Il accède à la fenêtre.
3. Le système lui demande de remplir les formulaires avec les données nécessaires.
4. Le décideur entre les informations demandées.
5. Le système affiche les données.
6. Le décideur consulte et enregistre ces données.

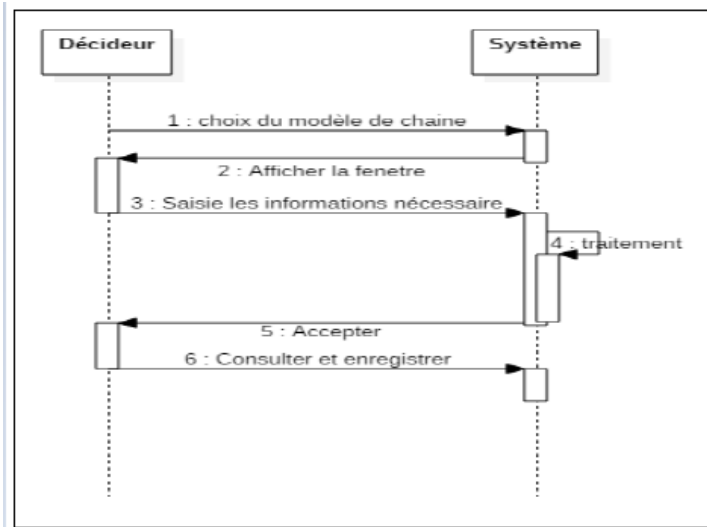


Figure IV.2: Séquence de modèle de chaîne logistique

IV.2.2. Le diagramme d'activité de la chaîne logistique

Ce diagramme représente les activités d'élaboration de la chaîne logistique.

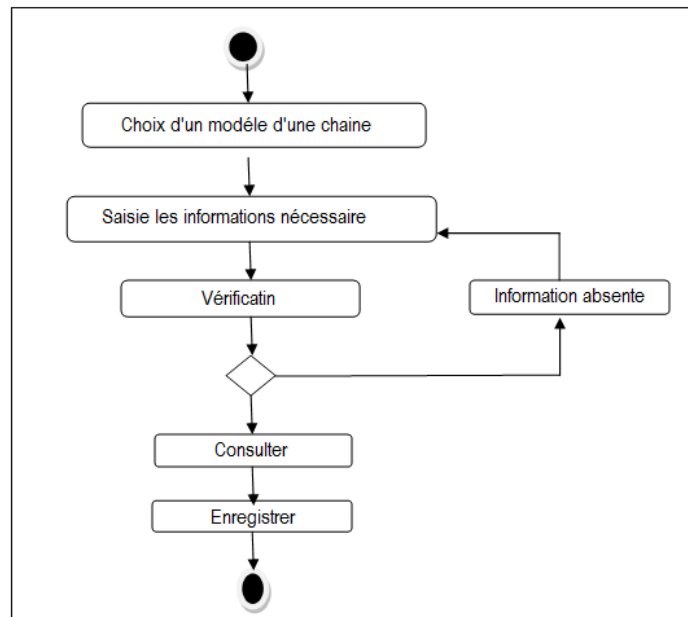


Figure IV.3: Activité de modèle de chaîne logistique.

IV.2.3. Le diagramme de séquence de fournisseurs

Ce diagramme pour expliquer les enchainements de saisie d'une livraison d'un fournisseur.

1. Le décideur choisit la saisie d'une livraison.
2. Le système affiche la fenêtre demandé.
3. Le système lui demande de remplir les formulaires avec les données nécessaires.
4. Le décideur saisie les informations.
5. Le système affiche les données.
6. Le décideur consulte et enregistre ces données.

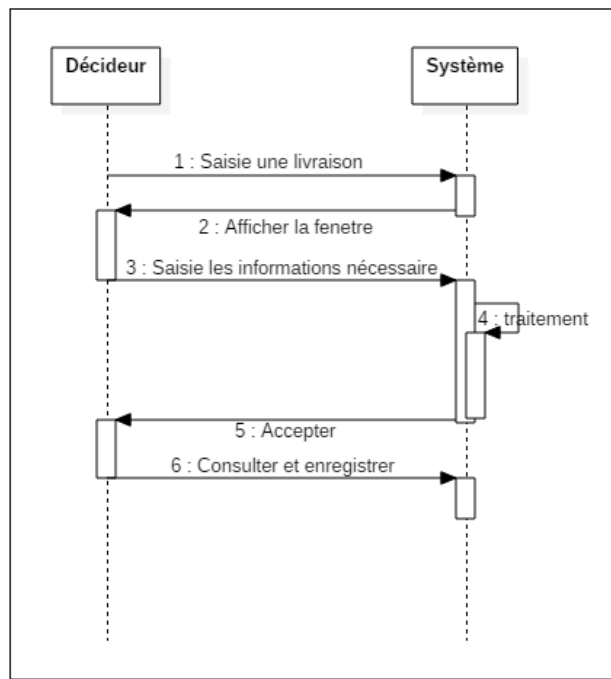


Figure IV.4: Séquence d'une livraison

IV.2.4. Le diagramme d'activité de fournisseurs

Ce diagramme décrit les activités d'élaboration d'une livraison d'un fournisseur.

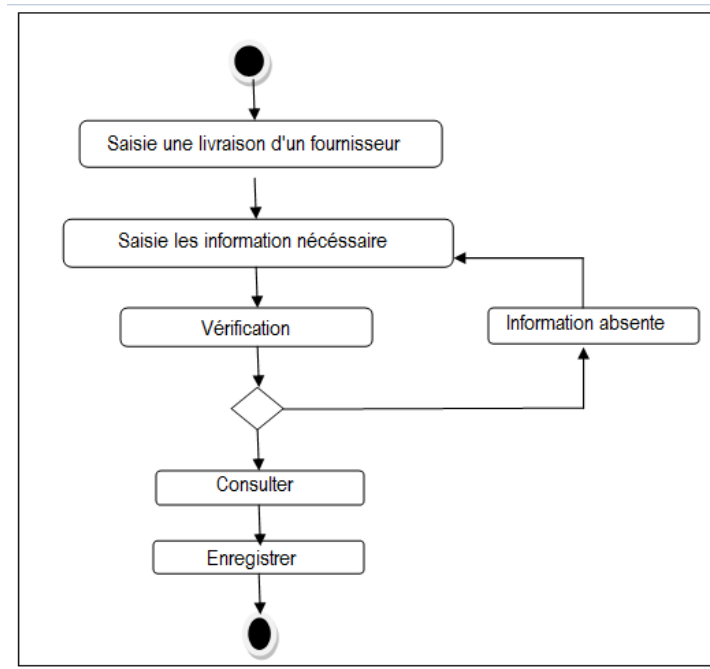


Figure IV.5: Activité d'une livraison

IV.2.5. Le diagramme de séquence pour la demande d'un client

Ce diagramme décrit tous les enchainements d'une demande d'un client. Les enchainements sont :

1. Le décideur choisit l'élaboration d'une demande client .
2. Il accède à la fenêtre voulue.
3. Le système lui demande de remplir les formulaires avec les données nécessaires.
4. Le décideur saisie les informations.
5. Le système affiche les informations.

6. Le décideur consulte et enregistre ces informations.

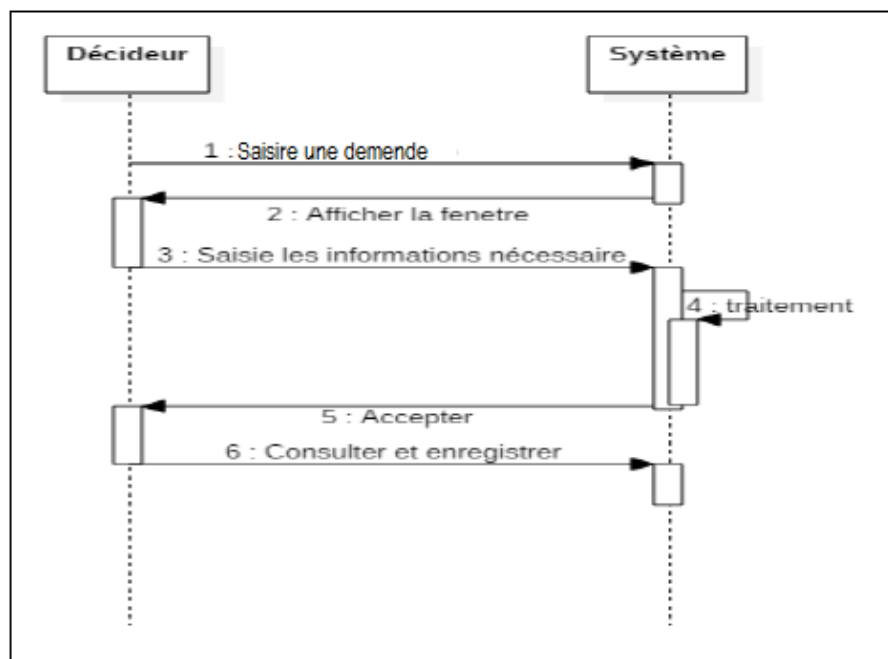


Figure IV.6: Séquence de demande de client

IV.2.6. Le diagramme d'activité pour la demande d'un client

Les activités d'élaboration d'une demande d'un client sont représentées dans ce diagramme.

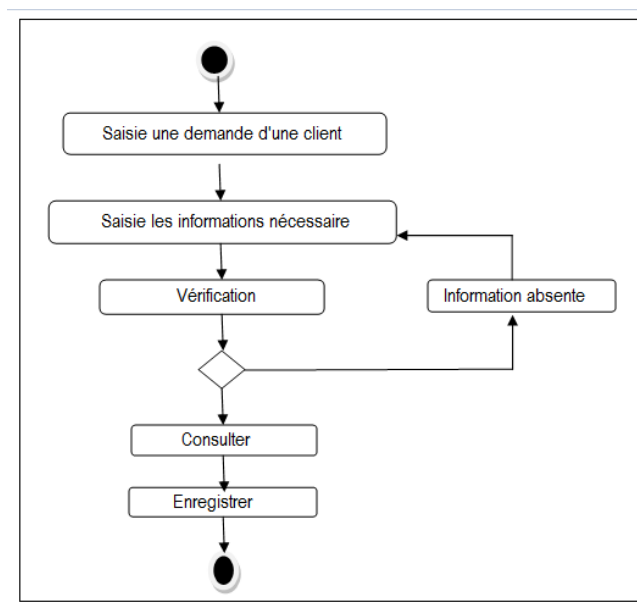


Figure IV.7. Activité demandes d'un client

IV.2.7. Le diagramme de séquence pour le module de décisions

Ce diagramme décrit tous les enchainements pour le modules de décisions. Les enchainements sont :

1. Le décideur choisit le lancement de module de décisions .
2. Il accède à la fenêtre voulue.
3. Le système lui demande de remplir les formulaires avec les données nécessaires.
4. Le décideur saisie les informations.

5. Le système affiche les résultats trouvés.
6. Le décideur consulte et enregistre le meilleur résultat.

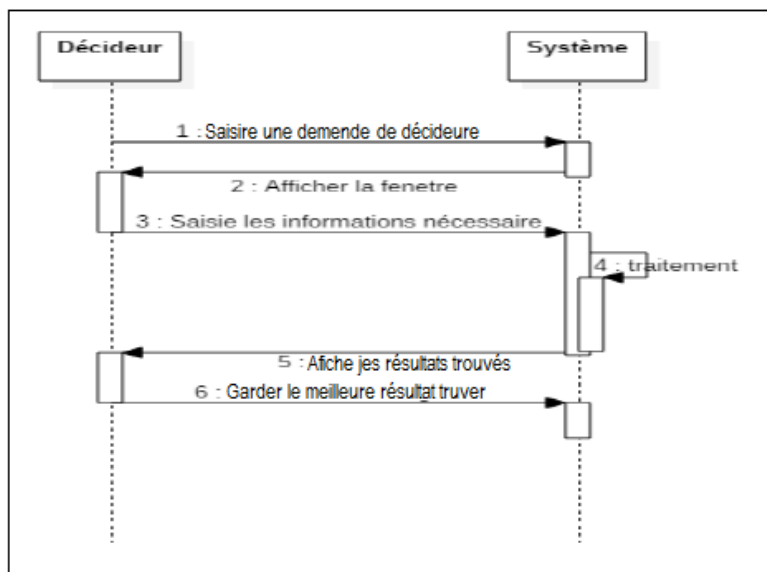


Figure IV.8: Séquence de module de décisions

IV.2.8. Le diagramme d'activité pour le module de décisions

Les activités de module de décisions sont représentées dans ce diagramme.

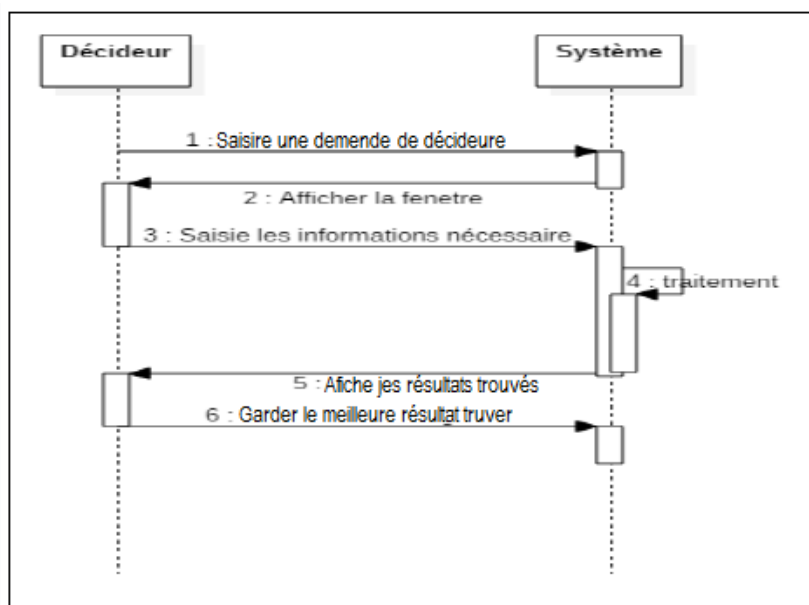


Figure IV.9 : Séquence de module de décisions

V. Développement d'un prototype :

Pour tester notre approche, un prototype est développé pour la production d'un modèle optimal de la chaîne logistique. Comme nous l'avons vu précédemment, au niveau opérationnel un modèle d'une chaîne logistique est divisé en deux sous-modèles communicants: un modèle de simulation qui est une approximation du

comportement complexe de la chaîne logistique et d'un modèle d'optimisation d'ordonnancement représentant le reste de son comportement.

Le module de simulation va exécuter le modèle en utilisant des paramètres incertains donnés et une séquence d'ordonnancement comme un ensemble des stimulants et prendra fin lorsque cette séquence d'ordonnancement est expiré.

Les résultats de simulation sont employés comme des informations pour mesurer les métriques appropriés qui peuvent aider les décideurs à améliorer la chaîne logistique.

Le code du module de simulation peut visualiser le processus de planification en montrant le progrès des jobs et la performance en montrant le temps de charge et d'inactivité pour une machine en période de temps. Les résultats de simulation sont employés par le module de décision qui emploie des règles stratégiques, tactiques et/ou opérationnelles prédéfinies pour restructurer le modèle de la chaîne logistiques. Ces règles sont définies par les décideurs comme ensemble de règles d'amélioration.

VI. Outils et environnement de développement

Avant de commencer l'implémentation de notre prototype, nous allons tout d'abord spécifier les outils utilisés qui nous ont semblé être un bon choix vu les avantages qu'ils offrent.

Matlab est un langage de développement informatique particulièrement dédié aux applications scientifiques, est utilisé pour développer des solutions nécessitant une très grande puissance de calcul.

Développé par la société The MathWorks, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des toolbox (« boîte à outils »).

NSGAI est un algorithme d'optimisation multi-objectifs très connu. cette fonction est très spécifique aux problèmes de référence, avec un peu plus de modifications, cela peut être adopté pour toute optimisation multi-objectifs

VII. Les résultats expérimentaux

Pour expérimenter notre prototype développé, nous avons utilisé un modèle simple de chaîne logistique présentée par la configuration montrée comme suit : Cette configuration contient 7 jobs spécifiés avec leurs opérations (trois opérations pour chaque job), 3 ressources différentes au sein d'un centre de production, en plus de 3 matières premières différentes provenant des différents fournisseurs. Nous avons formulé un modèle d'optimisation stratégique pour décider au sujet les configurations et l'ordonnancement des jobs au sein du centre de production.

Les demandes des clients sont employées pour déterminer les travaux à réaliser, les contraintes temporelles, des ressources et la conception d'atelier à employer. Il y a un ensemble de règles définies pour déterminer le nombre de ressources, de matières premières de fournisseur à employer, etc. La décision tactique était d'employer un type d'atelier (qui est de type flowshop).

Les matières premières sont fournies par des fournisseurs différents. L'ensemble des règles seront exécutées sur les résultats de simulation en tant qu'entrée. Les résultats de simulation agissent sur la façon dont les ressources sont exploitées pour une structure incertaine particulière de chaîne logistique avec une séquence d'ordonnement (par exemple, si une ressource est moins employée que prévue, elle peut être enlevée de la liste des ressources

La Figure IV.10 donne les résultats de simulation pour les meilleures alternatives (solutions) proposées du modèle de la chaîne logistique conçue par le module de décision. Les informations de ces modèles sont prises pendant le processus de simulation. Chaque résultat dépend d'un modèle et se compose de coût total (le coût d'unité et de production), de date de fin d'ordonnement et de coût de retard de la solution d'ordonnement proposé par le module d'optimisation opérationnel.

A partir de cette comparaison on peut visualiser les données du meilleur modèle. On peut aussi visualiser les taux d'activités pour chaque machines, la figure suivante représente les résultats de la configuration citée précédemment.

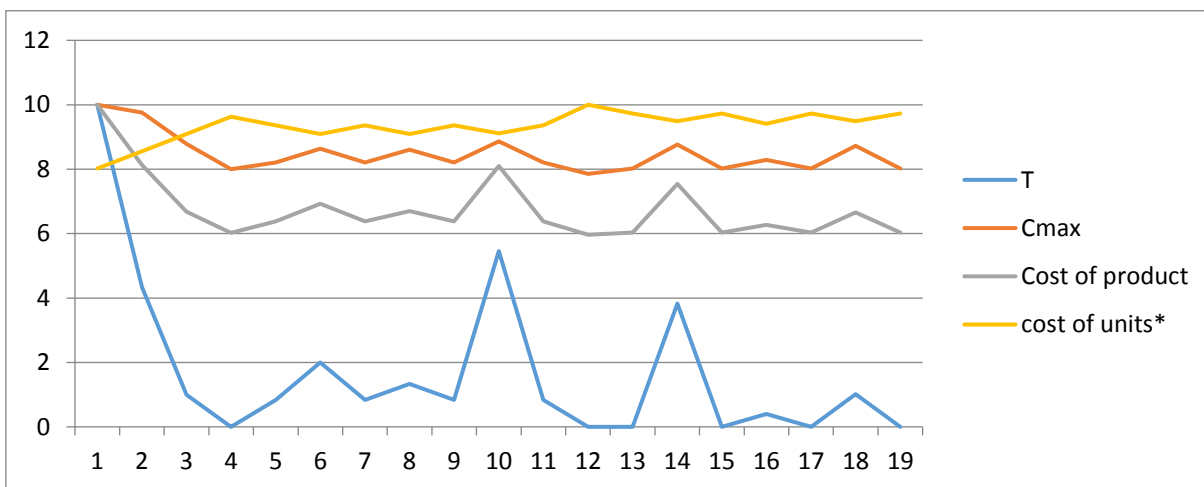


Figure IV.10: Resultats de meilleurs modèles

VIII. Conclusion

Nous avons présenté dans cette partie l'étude conceptuelle du futur système en utilisant l'approche UML qui nous a permis de livrer une spécification du fonctionnement du nouveau système issue de cas d'utilisation, les structure sous une forme de diagramme de classe, et enfin les diagrammes de séquence et d'activité. Afin de valider notre approche, un prototype est développé, Enfin, via des expérimentations différentes, nous avons justifié la validité et l'efficacité de l'approche développée dans ce travail.

Conclusion générale

L'informatique décisionnelle est l'informatique à l'usage des décideurs et des dirigeants d'entreprises. Elle désigne les moyens, les outils et les méthodes qui permettent de collecter, consolider, modéliser et restituer les données d'une entreprise afin d'offrir une aide à la décision et de permettre à un décideur d'avoir une vue d'ensemble de l'activité traitée. Plus simplement, l'informatique décisionnelle c'est la transformation de données brutes en information puis la transformation de l'information en savoir (connaissances), c'est ce savoir qui va fournir une aide à la décision, aux managers d'une entreprise.

Dans ce travail, nous utilisons une approche d'optimisation multicritères à base de la simulation pour la conception optimale des chaînes logistiques dans un contexte dynamique et incertain. Cette approche comprend un module d'optimisation basé sur des algorithmes génétiques multicritères et un module de simulation permettant l'évaluation de la chaîne étudiée au cours de l'optimisation.

Plus particulièrement l'utilisation de la simulation a permis une évaluation précise des performances de la chaîne avec la prise en compte des incertitudes dans la chaîne et du système de pilotage. De plus l'algorithme génétique multicritères implémenté montre son efficacité pour trouver des solutions de bonne qualité avec un meilleur compromis entre le cout total de l'ensemble des activités de la chaîne et le niveau de service client.

Comme perspectives, dans un premier temps, nous envisageons d'enrichir le cadre de simulation en enrichissant i) les classes de base représentant les caractéristiques des différentes entités d'une chaîne logistique générique et ii) les règles de pilotage pour une simulation plus réaliste et intelligente des chaînes logistiques. Dans un deuxième temps, nous allons examiner d'autres algorithmes génétiques multicritères et les comparer avec le MOGA actuellement utilisé. De plus, nous avons l'intention de terminer ce travail pour couvrir la plupart des aspects des systèmes de chaîne logistique qui peuvent nous aider à examiner plus cette approche sur des cas industriels et de prouver sa valeur.

Bibliographie

[1]Azadivar F., *Simulation optimization methodologies*. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, PP. 93- 100, (1999).

[2]Boesel J., Nelson B L., Ishii N., *A framework for simulation-optimization software*. IIE Transactions, vol. 35, pp. 221- 229,(2003).

[3]Boudahri F., *Conception et Pilotage d'une Chaîne Logistique Agro-alimentaire. Application: produits de volaille dans la ville de Tlemcen*, Thèse de doctorat université Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen

[4]Boukef Ben Othman H., *Sur l'ordonnancement d'ateliers job-shop flexibles et flow shop en industries pharmaceutiques Optimisation par algorithmes génétiques et essais particuliers*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale De Lille, (2009).

[5]BOUNIF Mohamed Elhadi Optimisation à base de simulation pour le développement des systèmes décisionnels UNIVERSITE DE M'SILA 2014 /2015

[6]Bounif M E ., Bourahla M., *Decision Support Technique for Supply Chain Management*, Journal of Computing and Information Technology – CIT Vol 21, PP 255– 268 (2013)

[7]Chopra S., Meindil P., *Supply chain management: Strategy, planning, and Operations, third edition*, Pearson Education, Inc. New Jersey (2007).

[8]Ding H., *Une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception des chaînes logistiques: Applications dans les industries automobile et textile*, thèse de doctorat, Université de Metz, (2004).

[9]Deb, K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T, *A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: Nsga-ii*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6(2), 182– 197, (2002).

[10]Gupta D., and Weerawat W., *Supplier manufacturer coordination in capacitated two stage supply chains*, European Journal of Operational research (175), 67-89, (2006).

[11]Hugos M., *Essentials of supply chain management*. John Wiley and sons, Inc, New Jersey, USA, (2003).

[12]Hadj-Hamou K, *Contribution à la conception de produits à forte diversité et de leur chaîne logistique : une approche par contraintes*, Thèse de doctorat, L'institut National Polytechnique de Toulouse, France (2002).

[13]Ingalls R .G., *The value of simulation in modeling supply chains*. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, pp. 1371 -1375 , Washington, (1998).

[14]Kaddoussi A, *Optimisation des flux logistiques: vers une gestion avancée de la situation de crise*, Thèse de doctorat, l'Ecole Centrale de Lille, France (2012).

[15]Lacksonen T., *Empirical comparison of search algorithms for discrete event simulation*, Computers & Industrial Engineering, vol.40, pp . 133-148, (2001).

[16]M. Julien Froncoïd these presentee a l' universite bordeaux ecole doctora des scences physique et de l'ingenieur

[17]Merzouk S E., *problème de dimensionnement de lots et de livraisons : application au cas d'une chaîne logistique*, Thèse de doctorat, université de technologie de Belfort- Montbéliard (2007)

[18]MOKEDDEM Diab ,Thèse Présentée pour l'Obtention du Diplôme de Doctorat En Sciences en Electronique ,Thème Contrôle Flou des Processus Biotechnologiques à Base d'Algorithmes Génétiques)

[19]Mentzer J.T., Dewitt W., Keebler J.S., Min S., Nix N.W., Smith C.D., Zacharia

[20]Mokeddem D., *Contrôle Flou des Processus Biotechnologiques à Base d'Algorithmes Génétiques*, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas de Setif, (2010).

[21]Mouloua Z., *Ordonnements coopératifs pour les chaînes logistiques*, l'Institut National Polytechnique de Lorraine (2007).

[22]Neubert G., *Contribution à la spécification d'un pilotage proactif et réactif pour la gestion des alés*. Thèse de doctorat en Sciences. INSA de Lyon. (1997).

[23]Pierre Brezellec .Université de Jijel Faculté des Sciences Exactes et Informatique Département Informatique (Optimisation combinatoire – Métaheuristiques Original Pierre Brezellec Laboratoire Génome et Informatique, Evry (modifié par Joël Pothier))

[24]Roque M., *Contribution à la définition d'un langage générique de modélisation d'entreprise*, Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, (2005).

[25]Tompkins G., Azadivar F. *Genetic algorithms in optimizing simulated systems*. Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, pp. 757-762, (1995).

[26]Truong T H., Azadivar F., *Simulation based optimization for supply chain configuration design*. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference pp. 1268- 1275. (2003).

[27]Zidi K., *Système interactif d'aide au déplacement multimodal (SIADM)*, Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, (2006.)