



**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**  
**FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET**  
**DE L'INFORMATIQUE**



**DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE**

**MEMOIRE de fin d'étude**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER**

**Domaine:** Mathématiques et Informatique

**Filière:** Informatique

**Spécialité:** Informatique Décisionnel et Optimisation

**Par: SADOUN Naouel**

**ELGUETTAA Nadjia**

**SUJET**

**Optimisation dans les chaines logistiques**

**Soutenu publiquement le:    /    /2021**

**Devant le jury composé de:**

.....  
**Dr. BOUNIF Mohamed Elhadi**  
.....

**Université de M'sila Président**  
**Université de M'sila Rapporteur**  
**Université de M'sila Examineur**

**Promotion : 2020 /2021**

# *Remerciements*

*On remercie Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience pour l'accomplissement de ce travail.*

*En second lieu, nous voudrions également remercier notre encadreur **Dr. BOUNIF Mohamed El Hadi** pour son inestimable aide et soutien. Comme nous venons de le mentionner, ce modeste travail a été réalisé sous la supervision et consignes de Notre Encadreur, qui sans sa méthodologie, ses orientations et ses conseils précieux, n'aurait pas été accompli.*

*On adresse nos remerciements au membre de jury pour avoir accepté de nous prêter de leur attention et évaluer notre travail.*

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I: Les chaines logistiques</b>	
<b>1.1 Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Logistique.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Finalités de la logistique.....</b>	<b>5</b>
1.3.1 À court term.....	5
1.3.2 À moyen terme.....	5
1.3.3 À long terme.....	6
<b>1.4 Définition de chaines logistique.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 La fonction de la chaîne logistique.....</b>	<b>7</b>
1.5.1 L'approvisionnement.....	7
1.5.2 La production.....	7
1.5.3 Le stockage.....	7
1.5.4 Distribution et transports.....	8
1.5.5 La vente.....	8
<b>1.6 Les décisions dans la chaîne logistique.....</b>	<b>8</b>
1.6.1 Les décisions stratégiques.....	9
1.6.2 Les décisions tactiques.....	9
1.6.3 Les décisions opérationnelles.....	10
<b>1.7 Structures typiques de chaînes logistiques.....</b>	<b>10</b>
<b>1.8 Types de chaînes logistiques. ....</b>	<b>11</b>
<b>1.9 La gestion de la chaîne logistique ....</b>	<b>11</b>
<b>1.10 Les trois flux de la chaîne logistique ....</b>	<b>11</b>
1.10.1 Le flux d'information .....	12
1.10.2 Le flux physique .....	12
1.10.3 Le flux financier .....	12
<b>1.11 Les finalités La gestion de la chaîne logistique.....</b>	<b>13</b>
<b>1.12 Optimisation de la chaîne logistique.....</b>	<b>13</b>
<b>1.13 Conclusion.....</b>	<b>14</b>
<b>Chapitre 2 : Ordonnancement</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>1.Problème d'ordonnancement.....</b>	<b>16</b>

1.1 Notion de base et définition.....	16
1.2 Notion de tâche.....	16
1.3 Notion de ressource.....	17
1.4 Notion d'objectifs et de critères.....	18
1.5 Notion de contrainte.....	19
<b>2. Les problèmes d'ordonnancement d'atelier.....</b>	<b>19</b>
2.1 Classification des problèmes d'ordonnancement .....	20
<b>3. Caractéristiques générales des ordonnancements.....</b>	<b>23</b>
3.1. Ordonnements statique et dynamique .....	23
3.2. Ordonnements admissibles .....	23
3.3. Ordonnements actifs et semi-actifs .....	23
3.4. Ordonnement sans retard .....	23
3.5. Ordonnement préemptif et non préemptif .....	23
<b>4. Ordonnement par l'approche proposée.....</b>	<b>24</b>
<b>5. Les méthodes de résolution du problème d'ordonnement.....</b>	<b>25</b>
5.1 Méthodes exactes.....	26
5.2 Méthodes approchées.....	26
5.2.1 Les heuristiques.....	23
5.2.2 Les métaheuristiques.....	27
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>Chapitre 3 :problème et méthode retenue</b>	
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Définition de problème : .....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Fonctionnement général : .....	30
3.2.2 Exemple .....	33
<b>3.3 Le problème d'ordonnement dans les centres de productions .....</b>	<b>35</b>
3.3.1Notations .....	36
<b>3.4 Approche de résolution .....</b>	<b>36</b>
3.4.1 Description Générale .....	36
3.4.2 Processus de négociation .....	36
<b>3.5 Conclusion .....</b>	<b>37</b>
<b>Chapitre 4 :implémentation de problème</b>	
<b>4.1 Introduction .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Les algorithmes génétiques :.....</b>	<b>39</b>

4.2.1 Le principe de variation .....	39
4.2.2 Le principe d'adaptation .....	39
4.2.3 Le principe d'hérédité .....	39
4.2.4 La terminologie de la génétique .....	39
4.2.5 Opérateurs d'évolution .....	39
4.2.6 Sélection .....	39
4.2.7 Croisement .....	40
4.2.8 Mutation.....	41
4.2.9 Schémas .....	41
<b>4.3 MATLAB .....</b>	<b>41</b>
4.3.1 Pourquoi MATLAB .....	42
<b>4.4 Optimisation multi-objectif à l'aide de NSGA-II .....</b>	<b>42</b>
4.4.1Description de NSGA-II .....	42
<b>4.5 NGPM .....</b>	<b>43</b>
<b>4.6 Implémentation.....</b>	<b>43</b>
4.6.1 Exemple 01 .....	43
4.6.2 Exemple 02 .....	47
<b>4.7 Conclusion .....</b>	<b>55</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>56</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>58</b>
<b>5. Quelques interfaces de l'application.....</b>	<b>51</b>

# Liste des Figures

Figure 1.1 : pyramide des niveaux de décisions.....	9
Figure 1.2 : Structures possibles d'une chaîne logistique .....	10
Figure 1.3 : Exemple d'une chaîne logistique .....	7
Figure 1.4 : Flux d'une entreprise .....	13
Figure 2.1 : Typologie des problèmes d'ordonnancement par les ressources.....	18
Figure 2.2 Les différents types des problèmes d'ordonnancement d'atelier .....	20
Figure 2.3 Ordonnancement sur machine unique .....	21
Figure 2.4 Modèle d'une Machine parallèle .....	21
Figure 2.5 Ateliers à cheminement unique (Flow-shop).....	21
Figure 2.6 Ateliers à cheminement multiple (Job-hop).....	22
Figure 3.1 : Schéma général de la chaîne logistique. ....	31
Figure 3.2 : les éléments de la supply chain. ....	31
Figure 3.3 : Interactions entre les différents éléments de la supply chain.....	32
Figure 3.4 : schéma du processus de pilotage semi-décentralisé.....	33
Figure 3.5 : système de production de l'exemple. ....	33
Figure 3.6 : premier et deuxième étage du système de production. ....	34
Figure 3.7 : fonctionnement du deuxième étage du système de production.....	43
Figure 3.8 : Le schéma global du processus de négociation .....	37
Figure 4.1 : la sélection .....	40
Figure 4.2 : croisement simple .....	40
Figure 4.3 : croisement double enjambement .....	40
Figure 4.4 : mutation .....	41
Figure 4.5 : fonctionnement des algorithmes génétiques .....	41

## Liste des tableaux

Tableau 4.1 : les données de premier centre de production .....	43
Tableau 4.2 : l'ordonnancement de premier centre de production G4 .....	44
Tableau 4.3 : l'ordonnancement de premier centre de production G100 .....	44
Tableau 4.4 : les données de deuxième centre de production.....	44
Tableau 4.5 : l'ordonnancement de deuxième centre de production G2 .....	45
Tableau 4.6 : l'ordonnancement de deuxième centre de production G100 .....	45
Tableau 4.7 : les données de troisième centre de production .....	46
Tableau 4.8 : l'ordonnancement de troisième centre de production G3 .....	46
Tableau 4.9 : l'ordonnancement de troisième centre de production G100 .....	46
Tableau 4.10 : les données de premier centre de production (exemple 02) .....	47
Tableau 4.11 : l'ordonnancement de premier centre de production G4 (exemple 02) .....	47
Tableau 4.12 : l'ordonnancement de premier centre de production G100 (exemple 02).....	48
Tableau 4.13 : les données de deuxième centre de production (exemple 02) .....	48
Tableau 4.14 : l'ordonnancement de deuxième centre de production G2 (exemple 02). .....	49
Tableau 4.15 : l'ordonnancement de deuxième centre de production G100 (exemple 02) ...	49
Tableau 4.16 : les données de troisième centre de production (exemple 02) .....	50
Tableau 4.17 : l'ordonnancement de troisième centre de production G3 (exemple 02) .....	50
Tableau 4.18 : l'ordonnancement de troisième centre de production G100 (exemple 02).....	50

## Introduction générale

La chaîne logistique est une succession de processus internes, du passage de la commande jusqu'à la livraison finale auprès du client.

Les chaînes logistiques sont un résultat, ou plutôt une conséquence, de la déferlante mondialisation et de la globalisation des marchés. En effet, dans un environnement de plus en plus concurrentiel. En étant capable de proposer les meilleurs produits au coût le plus bas et améliorer la qualité de service aux clients, l'entreprise utilise sa chaîne logistique comme un véritable atout compétitif. Les entreprises et organisations diverses dépassent désormais les frontières, deviennent encore plus complexes, et de ce fait de nouveaux défis pour les gérer ont vu le jour. Le regroupement des entreprises ayant des intérêts en commun dans une structure de chaîne logistique pour optimiser les opérations et maximiser les bénéfices et profits conduit vers un nouveau type de concurrence : la concurrence entre chaînes logistiques. Dans ces nouveaux schémas d'entreprises, plusieurs entités doivent collaborer afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles.

Dans le présent mémoire nous étudions des problèmes d'ordonnement au sein des chaînes logistiques.

Notre travail s'articule autour de cette problématique dans le but de minimiser le temps totale d'exécution pour terminer toutes les tâches ( $C_{max}$ ) et minimiser la somme des retards ( $\Sigma T$ ) on utilise le problème d'ordonnement pour diminuer les coûts de production et améliorer la qualité des produits. Nous utiliserons les méta-heuristiques dans ce travail, et plus particulièrement les algorithmes génétiques pour résoudre le problème étudié qui est un problème multi-objectif au niveau opérationnel de chaîne logistique impliquant la coordination entre partenaires pour optimiser le fonctionnement général.

Outre l'introduction générale ce mémoire est structuré en quatre chapitres et une conclusion

Le premier chapitre décrit la notion de chaîne logistique et tous les concepts qui y sont liés. Nous définissons la chaîne logistique, ainsi que les principaux types ou architectures de chaînes logistiques

## Introduction général

---

Le deuxième chapitre nous introduisons les concepts, les caractéristiques générales des problèmes d'ordonnancement, et différents types d'ateliers. Nous rappelons brièvement les notions d'ordonnancement d'atelier et de production, ainsi que les méthodes de résolution.

Le troisième chapitre décrit le problème étudié, nous présentons l'approche globale de résolution, les algorithmes génétiques et plus particulièrement NSGA II.

Le quatrième chapitre nous introduisons le langage et son outil utilisé pour résoudre notre problème, et nous présenterons notre implémentation d'un problème d'ordonnancement avec quelques exemples.

A la fin de ce travail nous finirons par une conclusion générale.

# **CHAPITRE 1:**

# **LES CHAINES LOGISTIQUES**

## 1.1 Introduction

Ce chapitre se propose de présenter la logistique ainsi sa finalités. Quelques définitions chaîne logistique. Nous présenterons les fonctions de la chaîne logistique comme l'approvisionnement, la production. Enfin nous parlerons de gestion de chaînes logistique et ça finalité et comment optimiser.

## 1.2 Logistique :

L'origine du mot vient de l'ancienne langue grecque et vient du mot "logos" qui signifie "proportion, compte, raison, discours". L'utilisation du mot a changé de la nécessité pour les militaires de fournir des fournitures comme ils se déplacent de bases à des endroits dans la sphère économique.

### Definition01

C'est l'ensemble des méthodes et moyens relatifs à l'organisation d'une entreprise comprenant les manutentions, les transports, les conditionnements et les approvisionnements [25].

### Definition02

La logistique est une activité de services qui a pour objet de gérer les flux de matières en mettant à disposition et en gérant des ressources correspondant aux besoins, aux conditions économiques et pour une qualité de service déterminée, dans des conditions de sécurité et de sûreté satisfaisantes. Les logisticiens sont responsables de la logistique. Par extension, un logisticien peut être une personne morale, le prestataire en logistique. L'objectif de la logistique est satisfaire des demandes ou des commandes qui portent sur la gestion de matières (Transport, emballage, stockage..), et des flux d'informations associés .Elle est en charge de la gestion des moyens qui permettent d'atteindre cet objectif (matériels, machines,...) et mobilise des ressources (humaines, financières,...) pour y parvenir.

## 1.3 Finalités de la logistique

Les finalités de la Logistique, peuvent s'énoncer sous trois aspects : à court terme, à moyen terme et à long terme[20].

### 1.3.1 À court terme

Il s'agit d'optimiser les flux physiques, de l'amont à l'aval, ce qui implique:

- l'exploitation des prévisions commerciales à très court terme et des carnets de commande
- la définition des programmes d'approvisionnement et de production

- la programmation des livraisons
- la continuité de l'exploitation par la mise en place d'un plan de maintenance.

### 1.3.2 À moyen terme

À l'horizon des plans d'action et des budgets, la logistique vise à :

- définir les actions qui permettent de contrôler les coûts logistiques des services que l'entreprise a choisi de développer.
- conseiller les dirigeants pour leur permettre de choisir les opérations que l'entreprise doit assurer en propre et celles qu'elle a intérêt à sous-traiter.
- contribuer fortement à l'optimisation du coût de l'investissement ou du fonds de roulement de l'entreprise.

### 1.3.3 À long terme

Dans une perspective de long terme, la finalité de la logistique est :

- d'aider l'organisation à maîtriser la complexité, l'incertitude et les délais résultant de la multiplication des couples produits-marchés
- d'actualiser en permanence la connaissance de l'impact que les aspects logistiques ont sur les coûts d'exploitation des clients et de l'organisation
- de proposer- le cas échéant - à l'organisation un avantage concurrentiel en offrant à
- ses clients un service logistique optimal au coût le plus adapté et acceptable.

## 1.4 Définition de chaînes logistique

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

Il y a beaucoup de définitions de la « chaîne logistique » et il n'y a pas de définition définie universellement, nous prenons donc un ensemble de définitions pour construire un concept de chaîne logistique.

### Definition01

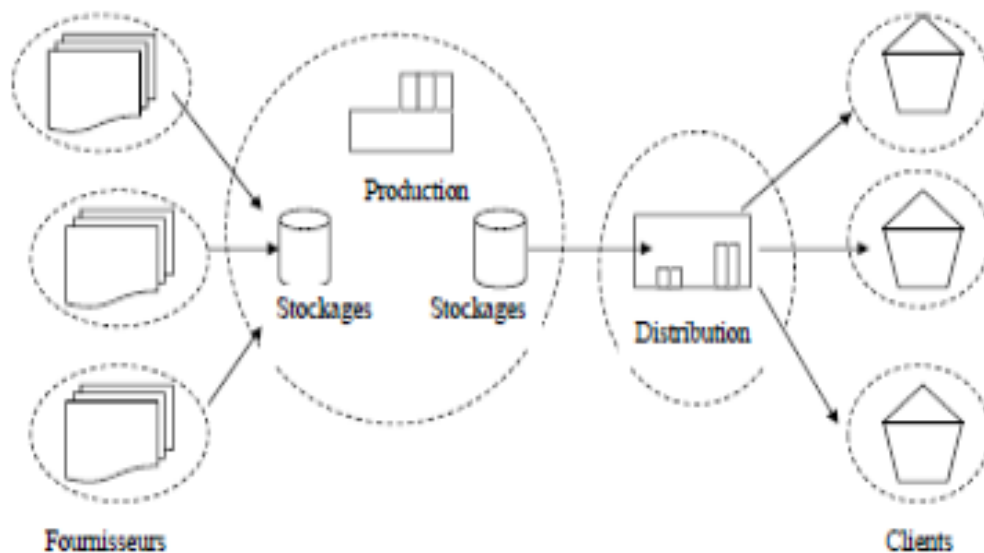
- on peut considérer une chaîne logistique comme un réseau d'entreprises qui participent, en
- amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de
- produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final [3].

## Definition02

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 [7].

## Definition03

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 [8].



**Figure 1.3:** Exemple d'une chaîne logistique [10].

## 1.5 La fonction de la chaîne logistique

Les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution.

### 1.5.1 L'approvisionnement

Les matières et les composants approvisionnés constituent de 60% à 70% des coûts des produits fabriqués dans une majorité d'entreprises. Réduire les coûts d'approvisionnement contribue à réduire les coûts des produits finis [11].

Le processus d'approvisionnement se concentre sur la fourniture de tous les composants nécessaires à la fabrication. Deux grandes phases sont ici à distinguer. La première phase

## Chapitre 1-Les chaines logistiques

---

consiste à sélectionner les fournisseurs de l'entreprise. Le décideur a besoin d'identifier les fournisseurs potentiels à choisir pour alimenter les différentes usines en matières premières, en composants et en produits semi-finis. La seconde phase du processus approvisionnement consiste à passer les commandes des composants à ces fournisseurs en fonction de la production à réaliser. Il s'agit aussi de vérifier que ces composants sont livrés dans de bonnes conditions.

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 [1].

### **1.5.2 La production**

La production est le processus de création des biens ou des services, capable à satisfaire une demande, à l'aide de facteurs de production acquis sur le marché.

Ce processus s'applique non seulement au secteur industriel, mais à n'importe quelle autre activité : lorsqu'un formateur anime un stage, lorsqu'un institut de sondage publie les résultats d'une enquête, il y a production.

### **1.5.3 Le stockage**

Le stockage peut être défini comme le placement intelligent des stocks pour le rendre facile de trouver un produit ou des produits spécifiques. Le stockage, aussi appelé entreposage, répond à des règles afin de :

- garantir le maintien de la marchandise en bon état.
- optimiser l'espace.
- assurer la sécurité des salariés.

Un bon stockage permet de connaître à tout moment la quantité de marchandise disponible et mise à la vente.

### **1.5.4 Distribution et transports**

La fonction transport intervient tout au long de la chaîne, le transport des matières premières, le transport des composants entre les usines, le transport des composants vers les centres d'entreposage ou vers les centres de distribution, ainsi que la livraison des produits finis aux clients. Le rapport entre la réactivité de la chaîne et son efficacité peut être aussi vu par le choix du mode de transport. Les modes de transport les plus rapides comme par exemple les avions, sont très coûteux, mais permettent de réagir très vite et ainsi de satisfaire les demandes non prévisibles. Les modes de transport par voies ferrées ou par camions sont plus efficaces du point de vue des coûts engendrés mais moins rapides.

## Chapitre 1-Les chaines logistiques

---

L'ensemble des partenaires peut choisir de combiner ces modes de transport et de les adapter à certaines situations selon l'importance de la demande et le gain total engendré. Les problèmes liés à la distribution et au transport peuvent être vus sous plusieurs angles. On peut chercher à trouver les meilleures routes possibles pour visiter les points de collecte et/ou de distribution (Vehicle routing problems, problèmes de tournées des véhicules), ou bien, comme dit plus haut, chercher les meilleurs modes de transports, ou bien les quantités des produits qui doivent être transportées aux clients tout en minimisant le coût global des transports et des stocks.

En effet, selon les études les coûts de transport et distributions constituent le tiers des coûts opérationnels globaux d'une chaîne logistique, ce qui rend leur optimisation un défi majeur pour les entreprises [16].

### 1.5.5 La vente

La fonction de vente est la fonction ultime dans une chaîne logistique, son efficacité dépend des performances des fonctions en amont. Si on a bien optimisé pendant les étapes précédentes, alors on facilite la tâche du personnel chargé de la vente, car ils pourront offrir des prix plus compétitifs que la concurrence, sinon les marges seront très étroites et les bénéfices pas très importants, voire même engendrer des pertes.

### 1.6 Les décisions dans la chaîne logistique

Ily a 3 niveaux de décisions dans la chaîne logistique sont :



**Figure1.1** : pyramide des niveaux de décisions.

## **1.6.1 Les décisions stratégiques**

Les décisions stratégiques définissent la politique de l'entreprise sur le long terme, une durée s'étalant souvent sur plusieurs années (la durée de l'horizon dépend du cycle de vie des produits). Elles comprennent toutes les décisions de conception de la chaîne logistique et de ce fait, elles ont une influence importante sur la stratégie concurrentielle et donc sur la viabilité à long terme de l'entreprise. Elles sont prises normalement par la direction de l'entreprise. Les décisions stratégiques configurent la chaîne logistique.[10]

Nous donnons dans ce qui suit une liste non exhaustive des décisions stratégiques :

- Choisir les partenaires de la chaîne logistique,
- Choix et nombre de fournisseurs,
- Choisir les implantations des sites de production et des entrepôts,
- Déterminer le nombre, la capacité et les technologies utilisées dans les sites de production et d'entreposage,
- Choisir les moyens de transport entre les différentes localisations,
- Le développement d'un nouveau produit.
- 

## **1.6.2 Les décisions tactiques**

Les décisions tactiques sont prises sur un horizon de moins de 18 mois en général. Il s'agit de produire au moindre coût pour les demandes prévisibles, donc avec connaissance des ressources matérielles et humaines.

Il s'agit en effet de faire la planification dépendant de la structure conçue au niveau stratégique. Nous donnons dans ce qui suit une liste non exhaustive des décisions tactiques :

- Avoir les prévisions les plus fiables possibles, les quantités à fabriquer pour chaque produit et les quantités des matières premières essentielles.
- Déterminer des délais d'approvisionnement, de production et de distribution.
- Organiser la production à tous les niveaux.
- Adopter les modes d'utilisation des ressources.
- Découvrir une allocation optimale aux fournisseurs aux sites de production.
- Minimiser les coûts de transports et de livraisons en allouant des sites de stockage aux clients.
- Etablir le planning de transport.

### 1.6.3 Les décisions opérationnelles

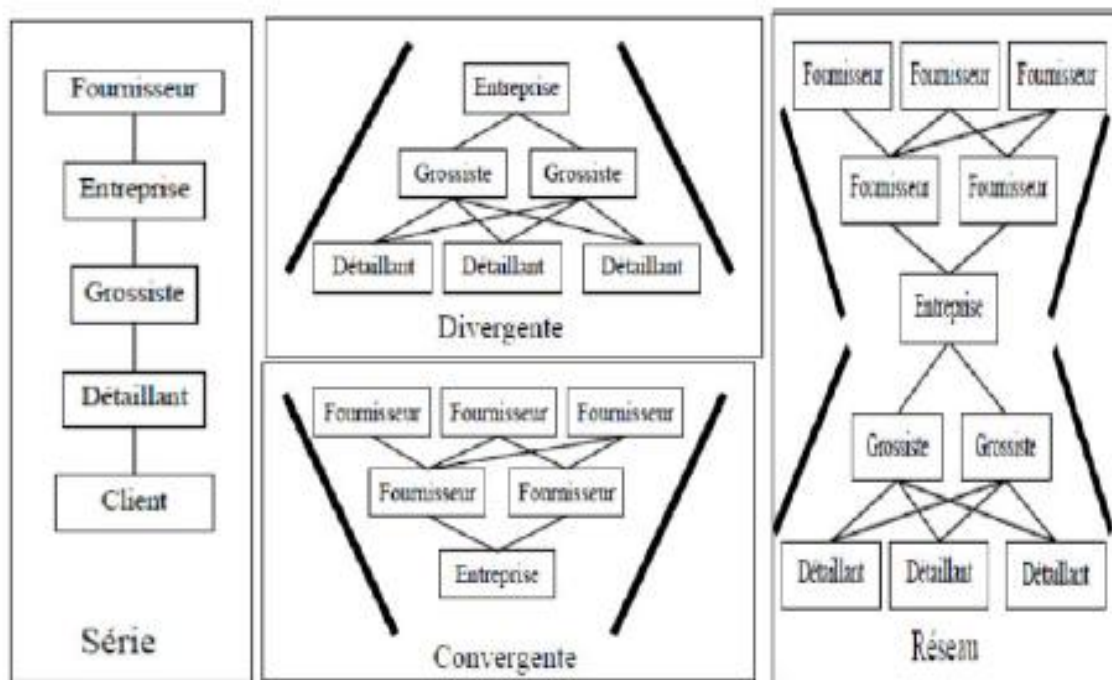
Les décisions opérationnelles sont prises pour un horizon à court terme pour assurer le fonctionnement au quotidien de la chaîne. A ce niveau, L'objectif visé est de répondre aux contraintes établies par les configurations et les politiques de planification choisies aux niveaux stratégiques et tactiques, comme par exemple:

- Ordonnancement et pilotage en temps réel des systèmes de production.
- Tournée de véhicules ou programme des livraisons qui donne les produits, la destination et les quantités à livrer.
- Allocation des moyens de transports : ces moyens étant limités, cette allocation est basée sur le programme des livraisons.
- Placement plus précis des activités de maintenance préventive.
- Affectation des ressources aux tâches (matérielles et humaines) de manière dynamique en fonction des aléas. Il s'agit de faire l'emploi.

### 1.7 Structures typiques de chaînes logistiques

La structure d'une chaîne logistique dépend évidemment de sa nature et des objectifs souhaités lors de sa conception. Plusieurs architectures existent, elles peuvent être classifiées comme suit *Séquentielle* ; *Divergente* ; *Convergente* et *Réseau*. Ces structures typiques ont pour but d'offrir des cadres de modélisation pour l'étude des chaînes logistiques et sont orientées sur des processus spécifiques [5].

- Séquentielle ou linéaire : consiste en l'existence d'un pôle ou entité alimentant une seule autre entité. On peut aussi trouver un ensemble de structures dépendant d'autres entités.
- Divergente ou de distribution : est une chaîne alimente plusieurs clients, plusieurs fournisseurs ou réseaux.
- Convergente ou d'assemblage : là où plusieurs fournisseurs alimentent un client ou une entreprise.
- La structure réseau est la composition entre la structure convergente et divergente.



**Figure 1.2 :** Structures possibles d'une chaîne logistique[8].

### 1.8 Types de chaînes logistiques.

Plusieurs entreprises même juridiquement indépendantes peuvent composer une chaîne logistique. L'ensemble des intervenants, acteurs et partenaires à tous les niveaux de la production, du stockage, au transport et vente des biens ou des services, peuvent dégager des marges bénéficiaires revenant à chaque intervenant ou partenaire. [2]

Il est possible de dégager les typologies des chaînes logistiques en fonction des objectifs de ces groupements d'entreprises.

Si les entreprises qui composent une même chaîne logistique ont des sites dans plusieurs pays on parle alors de chaîne logistique globale ce qui le cas d'une grande partie de chaînes. Si les entreprises d'une même chaîne appartiennent à une même entité juridique même dans plusieurs sites, on parle dans ce cas de chaîne logistique interne ou d'entreprise multi site. On appelle réseau d'entreprises plusieurs entreprises qui collaborent pour satisfaire un besoin précis et non produit fini. Ce qui les distingue des chaînes logistiques.

Si dans une même chaîne logistique, plusieurs entreprises collaborent mais que l'une d'elles occupe un rôle dominant et central, on parle alors d'une entreprise étendue, qui correspond au fait à un réseau à différentes vocations mais partageant un système de gestion des entreprises impliquées.

Dans le cas où le pilotage est décentralisé ou semi décentralisé où les décisions sont le fruit de négociations bilatérales entre couples de partenaires, on parle alors d'une entreprise virtuelle

qui peut être composée d'unités de production coopérant entre elles, des magasins, et des unités de transport œuvrant pour des objectifs communs, pour faire face à la concurrence.

### **1.9 La gestion de la chaîne logistique**

Une chaîne logistique existe dès lors qu'au moins deux entreprises travaillent sur l'achèvement d'un produit donné. Si et seulement si cette association est délibérément pilotée en vue d'en maximiser la performance, alors on peut parler de gestion de la chaîne logistique.

Il existe ainsi une distinction entre la « chaîne logistique » et la « gestion de la chaîne logistique » (SCM-Supply Chain Management).

Ici encore, on relève plusieurs définitions de la gestion de la chaîne logistique. Beaucoup d'auteurs soulignent la difficulté de définir le SCM. Voici quelques définitions.

#### **Définition 01 Mentzer et al. [9]**

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.

#### **Définition 02 Simchi-Levi [12]**

Le SCM est une stratégie qui vise à la fois la réduction des frais globaux, permettant une position plus concurrentielle à toutes les différentes parties de la chaîne logistique, et l'optimisation de la satisfaction du client final par une plus grande adaptabilité des systèmes de production et de distribution.

#### **Définition 03 Hugos [6]**

Le supply chaîne 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.

### **1.10 Les trois 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.

### 1.10.1 Le flux d'information

Le flux d'information représente les données qui circulent entre les différents acteurs de la chaîne logistique afin de coordonner leurs activités mais aussi pour planifier et prévoir les demandes futures, de l'approvisionnement jusqu'à la livraison au client final. Jihène et al. [13]. ont proposé une classification des données en trois grandes catégories :

- Les données informationnelles : sont les données de gestion (valeurs, ratios, prix, capacité, etc.) et les données informatiques (statiques, dynamiques ou historiques).
- Les données décisionnelles : sont les données qui caractérisent une décision prise par l'ensemble des acteurs de la chaîne à long, moyen et court terme (plan de production, plan d'approvisionnement, etc.)
- Les métriques : sont les indicateurs et les mesures qui permettent de piloter la chaîne logistique et de mesurer sa performance à long, moyen et court terme.
- Le besoin de confidentialité qui entretiennent les différents acteurs de la chaîne logistique limite et ralentit le développement du flux d'informations au sein de la chaîne logistique à tel point les risques d'erreurs dans le prise de décision sont toujours présents [2].

### 1.10.2 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 diversstades de produits semi-finis. Il justifie l'organisation d'un réseau logistique, c'est-à-dire les différents sites avec leurs ressources de production, les moyens de transports pour relier ces sites et les espaces de stockage nécessaires pour pallier les aléas et faire tampon entre deux activités successives.

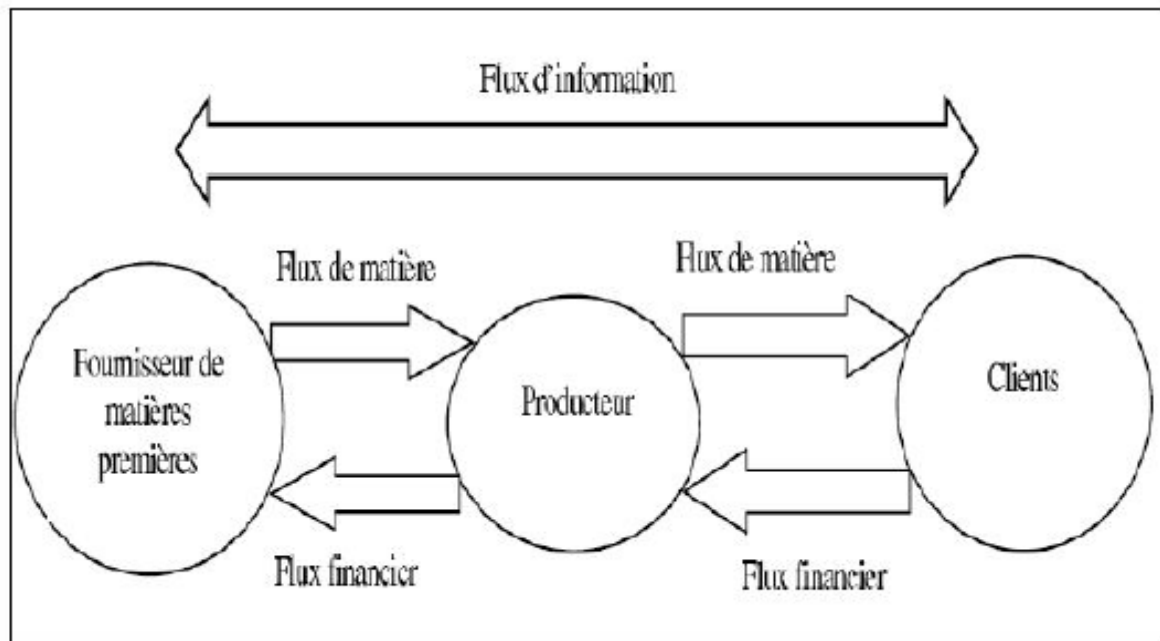
En bref, l'écoulement du flux physique résulte de la mise en œuvre des diverses activités de manutention et de transformation des produits quel que soit leur état.

Le flux physique est généralement considéré comme étant le plus lent des trois flux. [8]

### 1.10.3 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 financier ou comptabilité, en liaison toutefois avec la fonction production par les services achats et le

service commercial. Sur le long terme, il correspond aussi aux investissements lourds tels que la construction de nouveaux bâtiments et de lignes defabrication. Encore s'agit-il d'échange avec des organismes bancaires extérieurs au réseau d'entreprises.



**Figure 1.4 :** Flux d'une entreprise [2].

### 1.11 Les finalités La gestion de la chaîne logistique

Les finalités attribuées à la gestion de la chaîne logistique sont variables d'une organisation à l'autre, et peuvent comprendre :

- la gestion de la qualité de service délivrée en aval vers les clients ou en amont la qualité de collaboration avec les fournisseurs.
- la promotion et/ou la défense de la notoriété et de l'image de l'Organisation.
- la gestion au moindre coût en vue d'améliorer ou de défendre la marge bénéficiaire de l'entreprise.
- la garantie de l'intégrité des personnes et de l'environnement, c'est-à-dire la sécurité et la sûreté. Ce qui permet à l'entreprise de rester présente sur le marché, en évitant les violations des règles professionnelles, les accidents ou sanctions réglementaires.
- la promotion de thèmes actuels, comme les économies d'énergie, la lutte contre la pollution, le respect de l'environnement, le développement durable, ou les produits et services éthiques.

### 1.12 Optimisation de la chaîne logistique

## Chapitre 1-Les chaines logistiques

---

L'optimisation de la chaîne logistique consiste à mettre en place les solutions qui s'imposent pour améliorer l'organisation de la gestion de la chaîne logistique d'une part, et de réduire les coûts relatifs au processus logistique. En effet, de la gestion des stocks à celui des commandes en passant par la prévision des ventes, les procédures internes prennent du temps et mobilisent des ressources humaines importantes.

De nos jours, l'évolution des besoins et des attentes en logistique oblige les entreprises à faire preuve de réactivité soutenue. Les exigences croissantes de réduction des délais leur imposent une gestion rationalisée, sans faille, de la chaîne logistique. L'optimisation offre la possibilité d'atteindre cet objectif grâce à l'utilisation de solutions applicatives. Des progiciels utilisant des algorithmes d'optimisation permettent par exemple de gérer les flux de marchandises ou encore d'effectuer les calculs d'itinéraires [15].

### **1.13 Conclusion**

Dans le premier chapitre, nous avons donné une définition simple de la logistique et des chaînes logistique. Nous vu aussi la fonction de chaîne logistique dont il est important de voir et enfin nous avons parlé de la gestion des chaînes logistique, ici dans ce chapitre, nous avons pris une vision général de ce que nous allons faire face à ce travail.

Dans le prochain chapitre, nous parlerons de l'ordonnancement d'ateliers et nous donnerons les concepts de base qui leur sont propres.



# **CHAPITRE: 2**

# **ORDONNANCEMENT**

## Introduction

L'ordonnancement est un secteur de la recherche opérationnelle et de la gestion de la production qui consiste à attribuer plusieurs tâches à des moyens de production dans le but de réaliser des produits (jobs) tout en respectant les contraintes de production et en optimisant certains critères pour améliorer l'efficacité d'une entreprise en termes de coûts de production et de délais de livraison.

Dans ce chapitre Nous présentons tout d'abord ce qu'est un problème d'ordonnancement en évoquant notamment les différents éléments qui le déterminent, ensuite nous allons représenter les différents types des problèmes d'ordonnancement et ses caractéristiques générales. La quatrième section sert à présenter l'ordonnancement par l'approche proposée. Enfin dans la dernière section on va clore ce chapitre en expliquant les différentes méthodes de résolution du problème d'ordonnancement.

## 1 Problème d'ordonnancement

### 1.1 Notion de base et définition

L'ordonnancement se situe exactement dans la phase planification. Il réalise le suivi opérationnel du projet : gestion de ressources, suivi de l'avancement, lancement des activités. Techniquement, ordonnancer un projet consiste à programmer dans le temps l'exécution des tâches, tout en respectant les contraintes et de manière à optimiser les critères de performance retenus [9].

D'une façon plus discrète « On parle de problème d'ordonnancement lorsqu'on doit déterminer les dates de début et les dates de fin des tâches, alors qu'on réserve le terme de problème de séquençement au cas où l'on cherche seulement à fixer un ordre relatif entre les tâches qui peuvent être en conflit pour l'utilisation des ressources. Un ordonnancement induit nécessairement un ensemble unique de relations de séquençement [9]. Dans un problème d'ordonnancement interviennent deux notions fondamentales: les tâches et les ressources. Une ressource est un moyen, technique ou humain, dont la disponibilité limitée ou non est connue a priori. Une tâche est un travail élémentaire dont la réalisation nécessite un certain nombre d'unités de temps (sa durée) et d'unités de chaque ressource [7].

### 1.2 Notion de tâche

Une tâche  $i$  est une entité élémentaire de travail localisée dans le temps par une date de

débuts  $s_i$  ou de fin  $c_i$ , dont la réalisation nécessite une durée  $p_i = c_i - s_i$ , et qui consomme des moyens  $k$ . [10]. On distingue deux types de tâches :

- **les tâches morcelables (préemptives)** qui peuvent être exécutées en plusieurs fois, facilitant ainsi la résolution de certains problèmes.
- **les tâches non morcelables (indivisibles)** qui doivent être exécutées en une seule fois et ne sont interrompues qu'une fois terminées.

### 1.3 Notion de ressource

Une ressource  $k$  est donc, un moyen humain ou technique qui est utilisé dans la réalisation d'une tâche. Elle est disponible en quantité limitée. La disponibilité est généralement exprimée par une capacité propre à chaque ressource  $k$  notée  $Q_k$  ( $Q_k \geq 1$ ) [9].

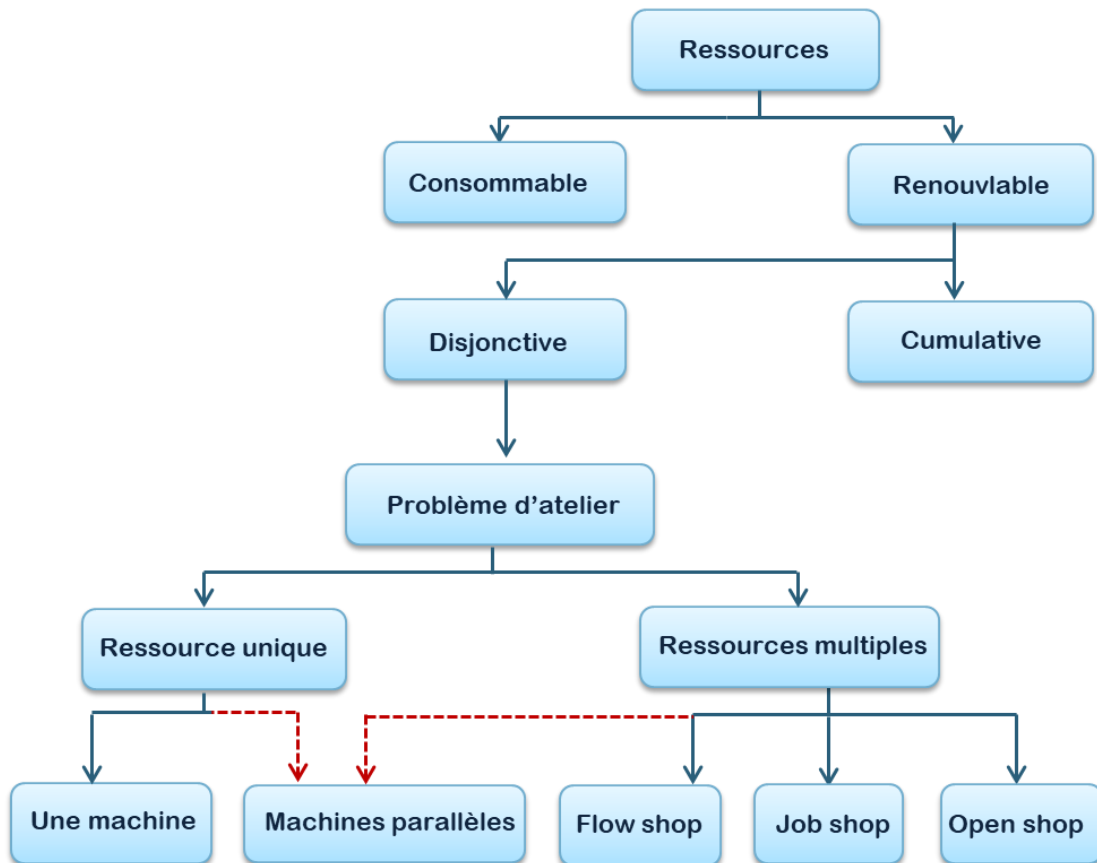
On distingue deux types de ressources: les ressources renouvelables et les ressources consommables [9] :

- **Une ressource est consommable** si, après avoir été allouée à une tâche, elle n'est plus disponible pour les tâches suivantes. Le cas pour l'argent, la matière première, etc.
- **Une ressource est renouvelable** si, après avoir été allouée à une tâche, elle redevient disponible après la fin de cette tâche pour les tâches suivantes. C'est le cas pour les machines, les fichiers, le personnel, etc.

On distingue par ailleurs, principalement dans le cas de ressources renouvelables, les ressources disjonctives (ou non partageables) qui ne peuvent exécuter qu'une tâche à la fois (machine, robot, etc.) et les ressources cumulatives (ou partageables) qui peuvent être utilisées par plusieurs tâches en même temps (équipe d'ouvriers, poste de travail, etc.) [9].

Les problèmes d'ordonnancement à ressources disjonctives couvrent une classe importante d'applications qu'on appelle les problèmes d'atelier ou de machines [9].

La nature des ressources prises en considération permet de dresser une typologie des problèmes d'ordonnancement (Figure 2.1) [9].



**Figure 2.1** Typologie des problèmes d'ordonnancement par les ressources [9].

### 1.4 Notion d'objectifs et de critères

Chaque ordonnancement est guidé par un ou plusieurs objectifs qu'il doit chercher leur optimisation. Les objectifs que doit satisfaire un ordonnancement sont variés. D'une manière générale, on distingue plusieurs classes d'objectifs concernant un ordonnancement donné [4]:

- **Les objectifs liés au temps** : on trouve par exemple, la minimisation du temps total d'exécution, du temps moyen d'achèvement, des durées totales de réglage ou des retards par rapport aux dates de livraison.
- **Les objectifs liés aux ressources** : par exemple, maximiser la charge d'une ressource ou minimiser le nombre de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches.
- **Les objectifs liés au coût** : ces objectifs sont généralement de minimiser les coûts, de lancement, de production, de stockage, de transport, etc.

L'ordonnancement est la programmation dans le temps de l'exécution d'une série de tâches (ou activités, opérations) sur un ensemble de ressources physiques (humaines et techniques), en cherchant à optimiser certains critères, financiers ou technologiques, et en respectant les contraintes de fabrication et d'organisation.

### 1.5 Notion de contrainte

Une contrainte est une condition que doit respecter le plan de travail. Elle limite le degré de liberté d'exécution de processus [11]. Cette condition est liée aux opérations entre elles, aux ressources, etc.

- **Les contraintes de localisation temporelles** Elles représentent les bornes de l'intervalle de temps durant lequel une tâche doit être traitée. L'intervalle est représenté par la date de début d'exécution et la date de fin d'exécution [29].

$$r_i \leq s_i \text{ et } c_i \leq d_i$$

- **Les contraintes de succession ou de précédence** Elles prennent en compte la succession des opérations de la gamme opératoire. Les contraintes indiquent que le début d'exécution d'une tâche  $j$  doit être après la date de fin d'exécution d'une autre opération  $i$  qui la précède, d'où [29]:

$$T_j \geq s_i + p_i$$

- **Les contraintes de ressources** Ces contraintes de limitation de ressources renouvelables expriment la nature de la quantité des moyens utilisés par les tâches. Il y a deux types de contraintes suivant la nature des ressources [29]:
  - **Contraintes disjonctives** : Elles obligent à réaliser toute paire de tâches sur des intervalles de temps disjoints. Soit une tâche  $i$ , elle s'exécute soit avant  $j$ , soit après  $j$ .
  - **Contraintes cumulatives** : Elles impliquant la limitation du nombre de tâches à réaliser en parallèle.

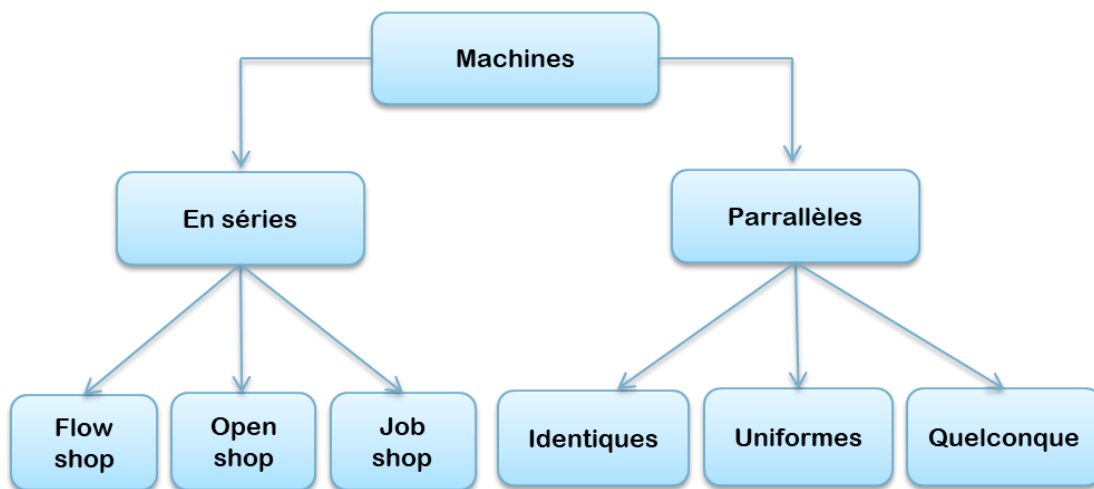
## 2 Les problèmes d'ordonnancement d'atelier

Dans un problème d'atelier, une pièce doit être usinée ou assemblée sur différentes machines. Chaque machine est une ressource disjonctive, c'est-à-dire qu'elle ne peut exécuter qu'une tâche à la fois, et les tâches sont liées exclusivement par des contraintes d'enchaînement. Plus précisément, les tâches sont regroupées en  $n$  entités appelées travaux ou lots. Chaque lot est constitué de  $m$  tâches à exécuter sur  $m$  machines distinctes, et dans le cas des problèmes d'atelier, une tâche est une opération, une ressource est une machine et chaque opération nécessite pour sa réalisation une machine. Dans le modèle de base de l'ordonnancement d'atelier, l'atelier est constitué de  $m$  machines,  $n$  travaux (jobs), disponibles à la date 0, doivent être réalisés, un travail  $i$  est constitué de  $n_i$  opérations, l'opération  $j$  du travail  $i$  est notée  $(i,j)$  avec  $(i, 1) < (i, 2) < \dots < (i, n_i)$  si le travail  $i$  possède une gamme ( $A <$

B signifie A précède B). Une opération (i,j) utilise la machine  $m_{i,j}$  pendant toute sa durée  $p_{i,j}$  et ne peut être interrompue [12].

Un atelier se définit par le nombre de machines qu'il contient et par son type. Une classification peut exister selon le nombre des machines et l'ordre d'utilisation des machines, pour réaliser un travail (par exemple fabrication d'un produit qui dépend de la nature de l'atelier) [12].

Selon les caractéristiques des machines on peut distinguer plusieurs types des problèmes [12].

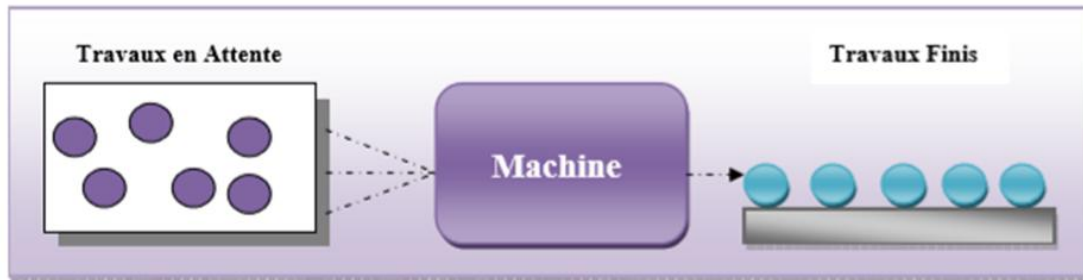


**Figure 2.2** Les différents types des problèmes d'ordonnancement d'atelier [12].

### 2.1 Classification des problèmes d'ordonnancement

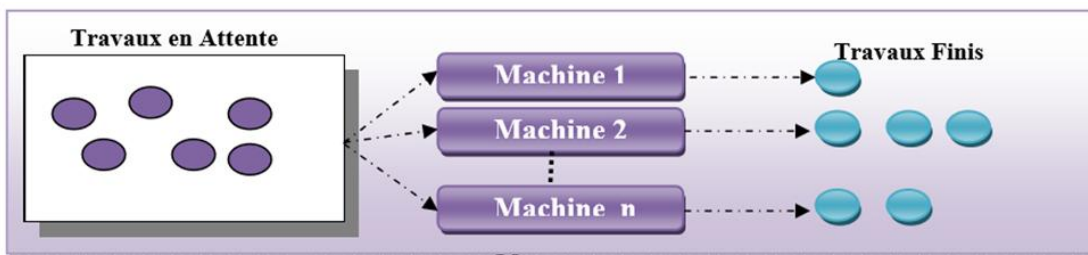
Dans la littérature, il existe parmi les notations utilisées pour classifier les problèmes d'ordonnancement la notation de Lawler [13]. Cette notation a trois champs  $\alpha | \beta | \gamma$ . Dans ce qui suit, nous allons énumérer tout ce que décrit chaque champ de cette notation.

- **Champ  $\alpha$**  : Le champ  $\alpha$  représente les environnements machines possibles, que sont [14] :
  - **Une machine ( $\alpha = 1$ )** : Il y a une seule machine dans le système. Chaque tâche est constituée d'une seule opération. Dans les problèmes à une machine, il faut déterminer une séquence des tâches optimisant le critère de performance. Les résultats obtenus pour les problèmes à une machine sont souvent utilisés pour résoudre des problèmes plus généraux.



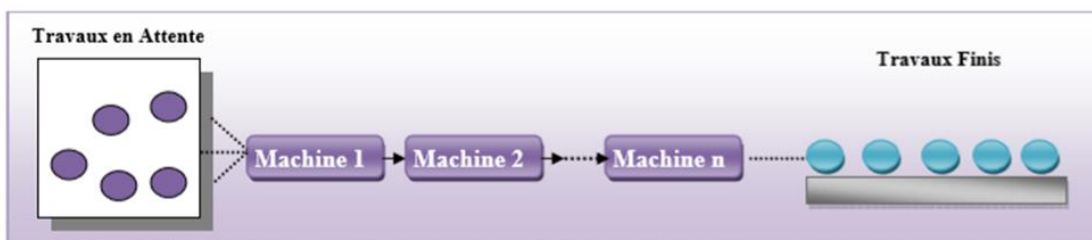
**Figure 2.3** Ordonnancement sur machine unique [21].

- **Machines parallèles** : Le système est composé de  $m$  machines parallèles. Chaque tâche est constituée d'une seule opération et elle peut être traitée sur n'importe laquelle des  $m$  machines. Dans les problèmes à machines parallèles, il y a deux types de décisions à prendre: affecter les tâches aux machines et décider de l'ordre des tâches sur une même machine [14].



**Figure 2.4** Modèle d'une Machine parallèle [21].

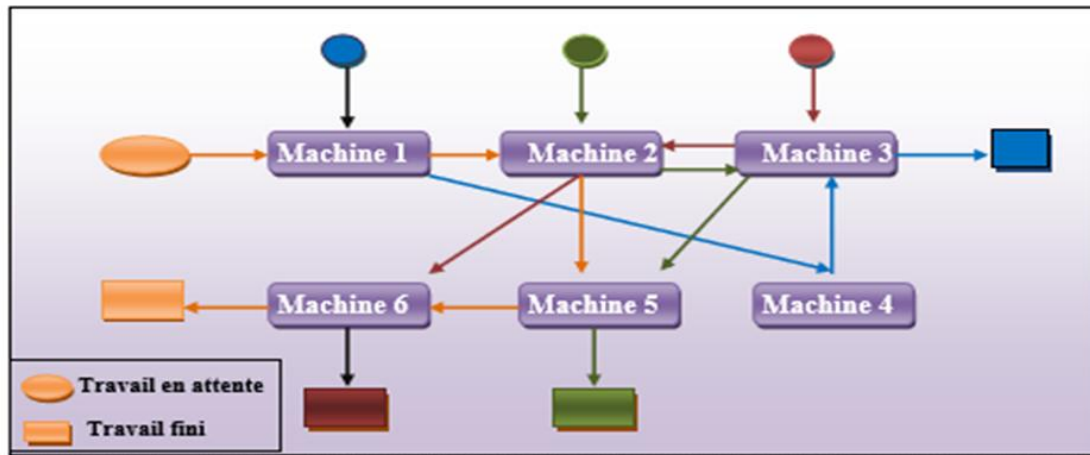
- **Flow shop ( $\alpha = F_m$ )** : Un atelier à cheminement unique est un atelier où le processus d'élaboration de produits est dit « linéaire », c'est-à-dire lorsque les étapes de transformation sont identiques pour tous les produits fabriqués. Si on trouve plusieurs exemplaires identiques et parallèles de la même machine, l'atelier devient Flow-Shop Hybride [11].



**Figure 2.5** Ateliers à cheminement unique (Flow-shop) [21].

- **Job shop ( $\alpha = J_m$ )** : Dans un Job shop à  $m$  machines, chaque tâche a un

cheminement prédéterminé à suivre. Elle peut visiter certaines machines plus d'une fois et elle peut ne pas visiter certaines machines du tout. L'ordre de visite des machines pour une tâche dépend de sa gamme (l'ordre des opérations qui la composent). Les durées des opérations sur les différentes machines font parties des données du problème [14].



**Figure 2.6** Ateliers à cheminement multiple (Job-hop) [21].

- **Open shop ( $\alpha = O_m$ )** : Dans un open shop avec  $m$  machines, chaque tâche a besoin d'être traitée exactement une fois sur chacune des machines (comme dans un flow shop). Sauf que l'ordre de passage des opérations constituant la tâche n'est pas fixé a priori (cheminement libre). Contrairement aux autres modèles, l'open shop n'est pas courant dans les ateliers et il n'est pas beaucoup étudié dans la littérature [14].
- **Champ  $\beta$**  : Ce champ spécifie les caractéristiques des tâches et les contraintes d'ordonnancement. Il peut contenir plusieurs paramètres (9 au total), de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  jusqu'à  $\beta_9$  [14] :
  - **Préemptions (pmtn)** : Si la préemption est permise, pmtn est inclus dans le champ  $\beta$ . Sinon, il n'est pas inclus.
  - **Splitting ou morcellement (spl)** : Les tâches peuvent être découpées en morceaux et exécutées en parallèle sur plusieurs machines.
  - **Sans attente ou No-Wait (nwt)** : les tâches ne sont pas autorisées à attendre entre deux machines successives.
  - **Contraintes de précédence (prec)** : prec est spécifié dans le champ  $\beta$  quand certaines tâches doivent être achevées avant que le traitement d'autres tâches soit commencé.
  - **Date de disponibilité ou Release dates (rj)** : Si ce symbole n'est pas présent dans le champ  $\beta$  alors le traitement des tâches peut commencer à tout moment.
  - **Restrictions sur le nombre de tâches (nbr)** : Si ce symbole est présent dans le champ  $\beta$

alors le nombre de tâches est restreint ; par exemple  $nbr = 5$  veut dire qu'il y a au plus 5 tâches à traiter.

- **Restrictions sur le nombre d'opérations destâches ( $n_j$ )** : Ce sous champ est seulement applicable au job shop. Par exemple  $n_j = 4$  veut dire que chaque tâche est limitée à au plus quatre opérations. Si ce symbole n'est pas présent, alors le nombre d'opérations n'est pas restreint.
  - **Restrictions sur les durées des tâches( $p_j$ )** : Si ce symbole est présent, alors le temps de traitement de chaque tâche est restreint à une valeur  $p$  spécifiée.
  - **Les délais( $d_j$ )** : Si ce symbole est présent, alors il est souhaitable que chaque tâche  $J_j$  soit terminée avant son délai fixé a priori.
- **Champ  $\gamma$**  : Le champ  $\gamma$  représente la fonction objectif à optimiser [14].

### 3 Caractéristiques générales des ordonnancements

#### 3.1. Ordonnements statique et dynamique

Si l'ensemble des informations nécessaires à la résolution d'un ordonnancement est fixé au départ (ensembles des tâches, des contraintes, des ressources, etc.), on est alors devant un problème d'ordonnancement statique. Dans le cas contraire si une ou plusieurs informations nécessaires à la résolution d'un ordonnancement n'est pas fixé au départ on est devant un problème d'ordonnancement dynamique [9].

#### 3.2. Ordonnements admissibles

Un ordonnancement est dit admissible s'il respecte toutes les contraintes du problème (dates de début, dates de fin, précédence, contraintes de ressources, etc.) [9].

#### 3.3. Ordonnements actifs et semi-actifs

Dans un ordonnancement actif, aucune tâche ne peut commencer au plus tôt et qui entraîne l'ordre relatif entre au moins deux tâches. Dans l'ordonnancement semi actif, on ne peut pas avancer une tâche sans modifier la séquence sur la ressource [9].

#### 3.4. Ordonnement sans retard

Dans un ordonnancement sans retard, on doit exécuter la tâche qui est en attente à condition que la ressource soit disponible [9].

#### 3.5. Ordonnement préemptif et non préemptif

Selon les problèmes, les tâches peuvent être exécutées sans interruption, c'est-à-dire si on commence l'exécution d'une tâche elle n'est pas interrompu jusqu'à son achèvement. On parle alors d'un ordonnancement préemptif. Par contre, si les tâches sont exécutées

parmorceaux, l'ordonnancement est appelé non préemptif [9].

### 4 Ordonnancement par l'approche proposée

On considère que l'atelier de type machines identiques en parallèles.

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 [15] :

- $n$  : 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  $r=1, \dots, n_k$
- $r_{jk}$  : date de début
- $d_{jk}$  : date de fin de la tâche  $j$
- $s_{ij}$  : temps de préparation de la tâche  $j$  effectuée immédiatement après la tâche  $i$  sur une machine
- $p_{jk}$  : temps opératoire de la tâche  $j$
- $C_{jk}$  : date de fin d'exécution de la tâche  $j$
- $T_{jk}$  : retard réel de la tâche  $j$
- $C_{max}$  : makespan
- $n_k$  : nombre de tâches affectées à la machine  $k$

$$\text{Minimiser } (C_{max} \sum T) \tag{1}$$

Sous contraintes :

$$\sum_{j=1}^n X_{jkr} \quad k=1, 2, \dots, m \quad r=1, 2, \dots, n_k \tag{2}$$

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

$$P_{[kr]} = \sum_{r=1}^{n_k} X_{jkr} P_{jk} \quad k=1, 2, \dots, m \quad r=1, 2, \dots, n_k \tag{4}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, la date de fin, 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  $j$ .

### 5. Les méthodes de résolution du problème d'ordonnancement

Dès qu'il y a un ensemble de tâches et un ensemble de ressources, il est nécessaire de programmer les tâches et d'affecter les ressources de façon à optimiser un ou plusieurs objectifs (un objectif correspondant à un critère de performance), en respectant un ensemble de contraintes. La principale difficulté à laquelle est confronté un décideur, en présence d'un problème d'optimisation est celui du choix d'une méthode efficace capable de produire une

solution optimale en un temps de calcul raisonnable. Les différentes méthodes de résolution développées peuvent être classées en deux catégories : les méthodes exactes et les méthodes approchées [12].

### 5.1 Méthodes exactes

Une méthode exacte permet de trouver une solution optimale à un problème donné. Ces méthodes sont généralement utilisées pour résoudre des problèmes de petite taille. Dans ce cas, le nombre de combinaisons possibles est suffisamment faible pour pouvoir explorer l'espace de solutions en un temps raisonnable. On distingue trois sous-classes de méthodes exactes [16] : la procédure de séparation et d'évaluation (Branch and Bound), la programmation dynamique et la programmation linéaire.

### 5.2 Méthodes approchées

Est une méthode d'optimisation qui a pour but de trouver une solution réalisable de la fonction objectif en un temps raisonnable, mais sans garantie d'optimalité. L'avantage principal de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou très difficiles, D'un autre côté les algorithmes d'optimisation tels que les algorithmes de recuit simulé, les algorithmes tabous et les algorithmes génétiques ont démontré leurs robustesses et efficacités face à plusieurs problèmes d'optimisation combinatoires. Les méthodes approchées englobent deux classes : les heuristiques et les méta-heuristiques [16].

#### 5.2.1 Les heuristiques

Les heuristiques sont des méthodes empiriques basées sur des règles simplifiées pour optimiser un ou plusieurs critères. Le principe général de ces méthodes est d'intégrer des stratégies de décision pour construire une solution proche de l'optimum, tout en essayant de l'obtenir en un temps de calcul raisonnable [6]. On distingue :

- **FIFO** (First In First Out) : la première tâche qui vient est la première tâche ordonnancée,
- **SPT** (Shortest Processing Time) : la tâche ayant le temps opératoire le plus court est traitée en premier lieu,
- **LPT** (Longest Processing Time) : la tâche ayant le temps opératoire le plus important est ordonnancée en premier lieu,
- **EDD** (Earliest Due Date) : la tâche ayant le date due la plus petite est la plus prioritaire,
- **SRPT** (Shortest Remaining Processing Time) : cette règle, servant à lancer la tâche ayant la plus courte durée de travail restant à exécuter, est très utilisée pour minimiser les encours et dans le cas des problèmes d'ordonnancement préemptifs,

- **ST** (Slack Time) : à chaque point de décision, l'opération ayant la plus petite marge temporelle est prioritaire. Faute de disponibilité des ressources de production, cette marge peut devenir négative.

### 5.2.2 Les Méta-heuristiques

Les méta-heuristiques sont des stratégies de recherche itératives, destinées à l'exploitation de l'espace de solutions par l'utilisation de différentes techniques. Ces méthodes n'essayeront pas d'examiner toutes les solutions possibles, mais de trouver dans un temps raisonnable une solution satisfaisante par investigation intelligente de l'espace. L'ensemble des méta-heuristiques proposées dans la littérature sont partagées en deux catégories : des méta-heuristiques à base de solution unique, des méta-heuristiques à base de population de solution [16].

- **Les Méta-heuristiques à base de solution unique**

Les méta-heuristiques à base de solution unique débutent la recherche avec une seule solution initiale. Elles se basent sur la notion du voisinage pour améliorer la qualité de la solution courante. En fait, la solution initiale subit une série de modifications en fonction de son voisinage. Le but de ces modifications locales est d'explorer le voisinage de la solution actuelle afin d'améliorer progressivement sa qualité au cours des différentes itérations.

De nombreuses méthodes à base de solution unique ont été proposées dans la littérature, le recuit simulé, la recherche tabou. [16].

- **Les Méta-heuristiques à base de population de solutions**

Les méta-heuristiques à base de population de solutions débutent la recherche avec une panoplie de solutions. Elles s'appliquent sur un ensemble de solutions afin d'en extraire la meilleure (l'optimum global) qui représentera la solution du problème traité. L'idée d'utiliser un ensemble de solutions au lieu d'une seule solution renforce la diversité de la recherche et augmente la possibilité d'émergence de solutions de bonne qualité.

Une grande variété de méta-heuristiques basées sur une population de solutions a été proposée dans la littérature, algorithmes génétiques, et les algorithmes à base d'intelligence par essais : l'algorithme d'optimisation par essaim de particules, l'algorithme de colonies de fourmis [16].

### Conclusion

## Chapitre 2-Ordonnancement

---

Dans ce chapitre nous avons résumé les différentes notions liées à l'ordonnancement on a mentionné ses différentes composantes et Caractéristiques, Le deuxième point exposé dans ce chapitre sont les modèles mathématiques de problème m-machines identiques en parallèles. Enfin on a présenté les méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement.

Dans le chapitre suivant nous allons apprendre les algorithmes génétiques et l'optimisation multi-objectif.



# **CHAPITRE: 3**

## **PROBLEME ET METHODE RETENUE**

### 3.1 Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons détailler le problème étudié qui constitue la majeure partie de ce mémoire. Il s'agit du problème de négociation basée sur les dates de disponibilité et livraison au niveau de l'ordonnancement dans la chaîne logistique.

La chaîne logistique étant un réseau d'organisations regroupant différents partenaires qui peuvent appartenir à diverses entités indépendantes les unes des autres, dont le but commun est de faire du profit. Pour atteindre cet objectif, chacun des partenaires réalisent des activités dans la chaîne pour donner de la valeur ajoutée au produit ou au service qui lui est fourni par le niveau en amont de la chaîne. Ces activités doivent être coordonnées pour garantir un meilleur fonctionnement global optimal. Mais un manque de coordination peut engendrer une mauvaise qualité de service, détériorer la qualité du produit, augmenter les coûts de fonctionnement et surtout ternir l'image de l'entreprise.

Nous étudions dans le présent mémoire les problèmes de coordination au niveau opérationnel. Cette coordination est mise en oeuvre via un processus de négociation.

L'architecture de la chaîne logistique considérée est décrite dans ce chapitre, les hypothèses de fonctionnement, ainsi que l'objectif à optimiser. Dans ce chapitre aussi est décrit la manière globale de la négociation et la méthode de résolution proposée.

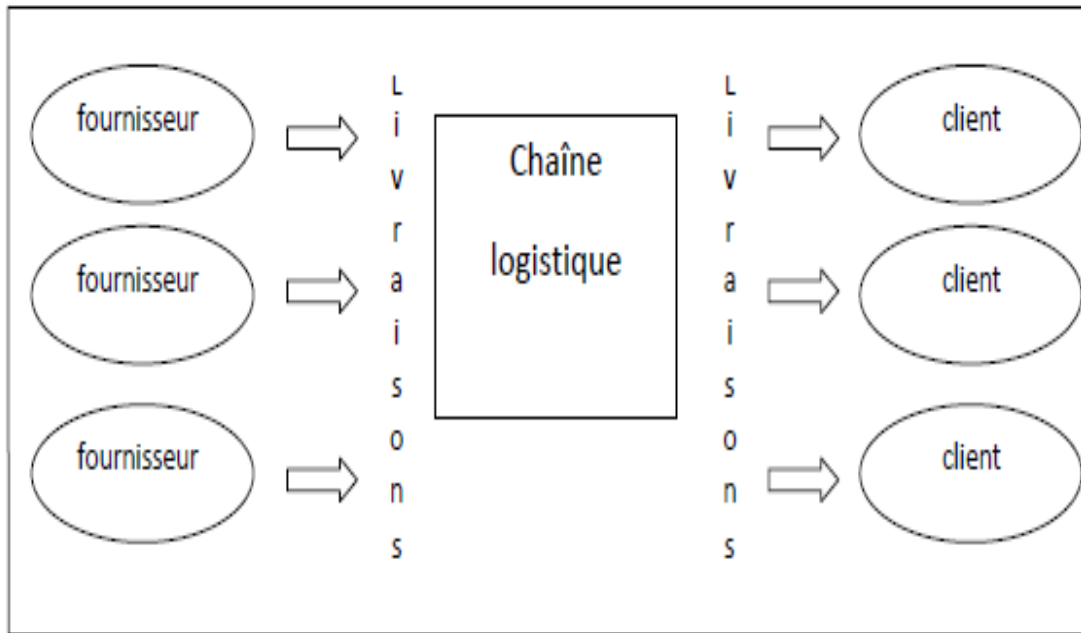
### 3.2 Définition de problème :

#### 3.2.1 Fonctionnement général :

Nous considérons une chaîne logistique composée de plusieurs entreprises indépendantes.

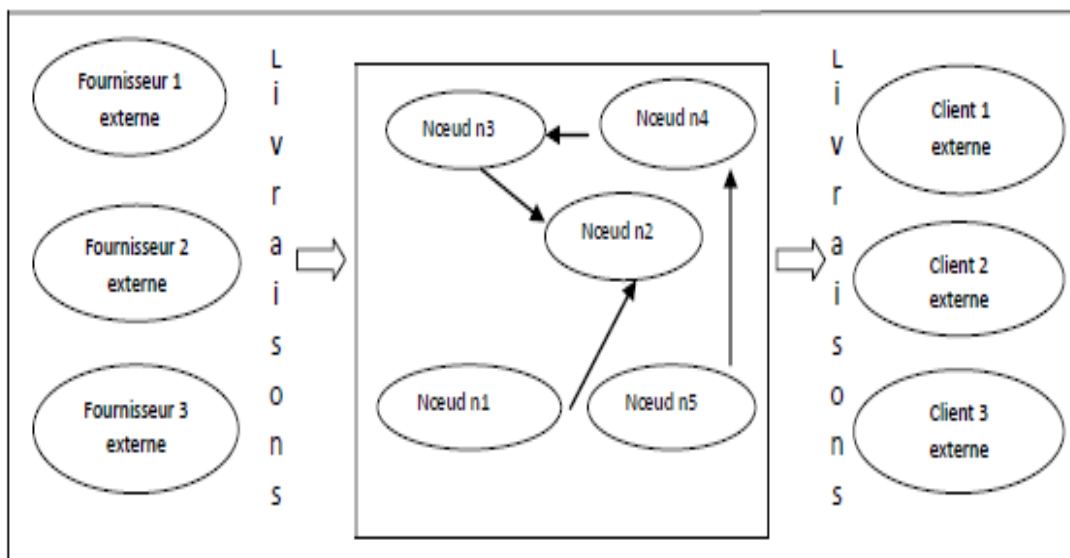
L'indépendance des partenaires implique des centres de décisions indépendants. Nous nous retrouvons donc dans le cas de prise de décision distribuée (décentralisée ou semi décentralisée). La prise de décision distribuée est le scénario le plus plausible dans la réalité.

En effet, rares sont les réseaux ou les chaînes logistiques dont toutes les composantes appartiennent à la même entité juridique. Nous distinguons trois composantes principales du système global de chaîne logistique étudié : les fournisseurs externes (n'appartenant pas à la chaîne), la chaîne logistique, et un ensemble de clients externes (n'appartenant pas à la chaîne). La figure 3.1 illustre son schéma général.



**Figure 3.1** Schéma général de la chaîne logistique.

Les fournisseurs approvisionnent le système de chaîne logistique en matières premières et composants. La chaîne logistique au centre de ce système est-elle même composée de plusieurs nœuds élémentaires juridiquement indépendants. Comme le montre la figure 3.2, il peut y avoir des liens entre n'importe quel couple de nœuds, on n'impose pas de structure linéaire entre les nœuds. A l'intérieur de la chaîne logistique on dispose de systèmes de production qui fabriquent des produits finis qui sont délivrés aux clients externes selon un programme de livraison et des quantités établis en avance (au niveau planification).

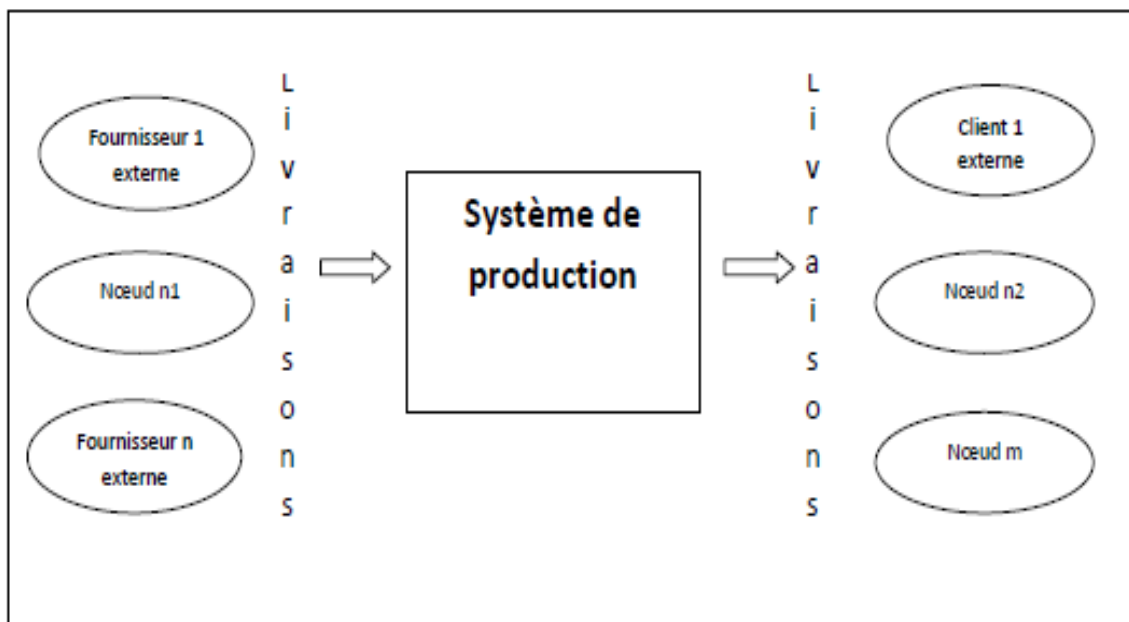


**Figure 3.2** les éléments de la supply chain

Chacun des nœuds élémentaires est un système de production capable de fabriquer des produits semi-finis, ou des produits finis.

Il peut avoir des liens avec des fournisseurs externes, comme il peut être approvisionné en composants ou sous-produits par d'autres nœuds de la chaîne logistique.

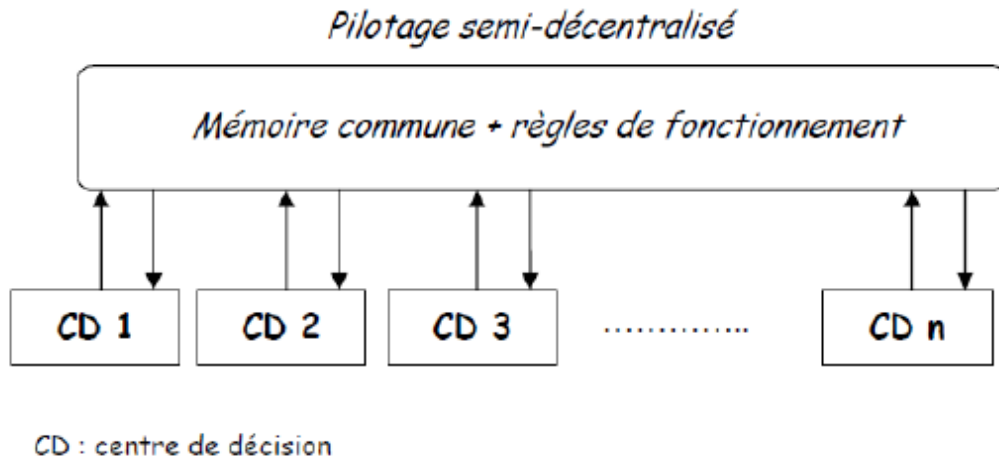
Une telle structure est illustrée par la figure 3.3 suivante :



**Figure 3.3** : Interactions entre les différents éléments de la supply chain.

Les centres de décisions des centres de production dans le système global de production étant indépendants, chacun d'entre eux construit son ordonnancement par rapport à son plan de production. Une telle approche totalement décentralisée peut mener vers un ordonnancement global complètement déséquilibré. A certains moments, on peut avoir des quantités en surplus de certains composants et un manque dans d'autres types de composants, ce qui peut mener vers un niveau de stocks élevé, des retards de livraisons et à des temps d'oisiveté (donc de non productivité). Une synchronisation des activités au sein du système global de production s'avère donc nécessaire. Nous choisissons donc un système de décision distribué semi-

décentralisé dans lequel les partenaires se partagent une mémoire commune et se mettent d'accord sur un ensemble de règles de fonctionnement (aux niveaux tactiques et opérationnels) pour garantir la convergence du processus global de négociation. Un schéma du processus de pilotage semi-décentralisé est donné par la figure 3.4.



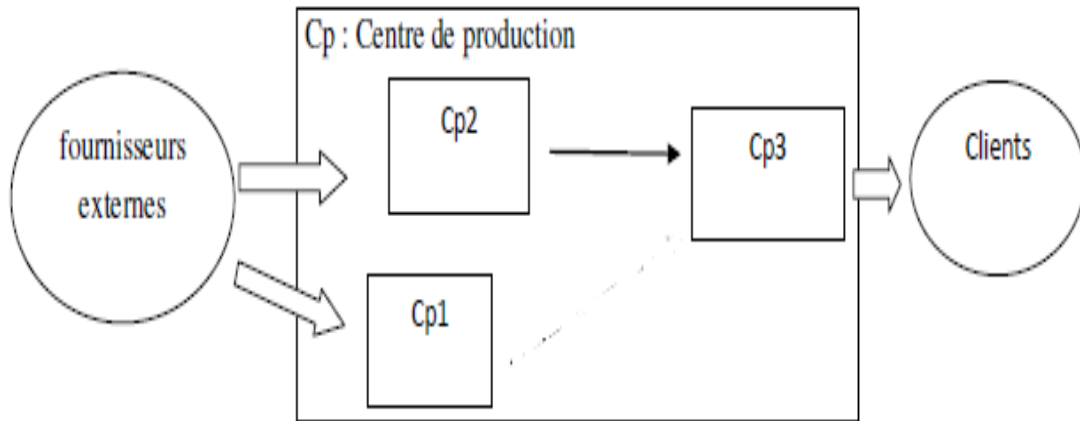
**Figure 3.4** schéma du processus de pilotage semi-décentralisé.

### 3.2.2 Exemple

Pour mieux comprendre le système global, nous avons un exemple où on a un système de production qui a trois centre de production et chaque centre de production ont ensemble des machine,(et chaque centre de production a son propre centre de décision). Les deux première centre de production reçoit les matières premières du fournisseurs externes et les transforment en produits semi-finis.

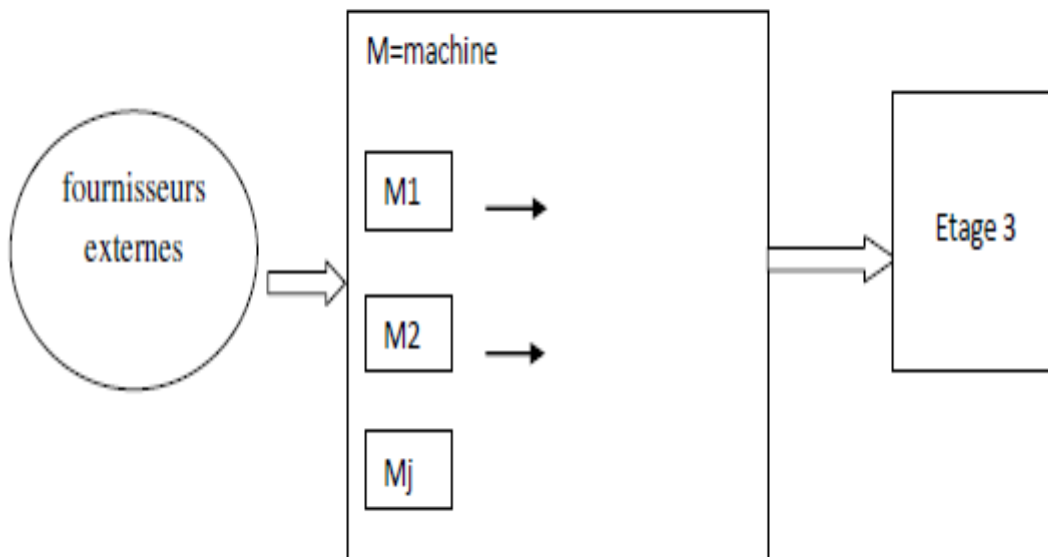
Les produits semi-finis fabriqués par le premier et deuxième centre de production sont acheminés vers le troisième étage qui consiste en un centre d'assemblage de produits finis.

Les centres de production sont modélisés par des « M machine en parallèle ». Nous avons choisi la modélisation par des structures d'ateliers M machine en parallèle car c'est l'une des structure la plus utilisée dans l'industrie.



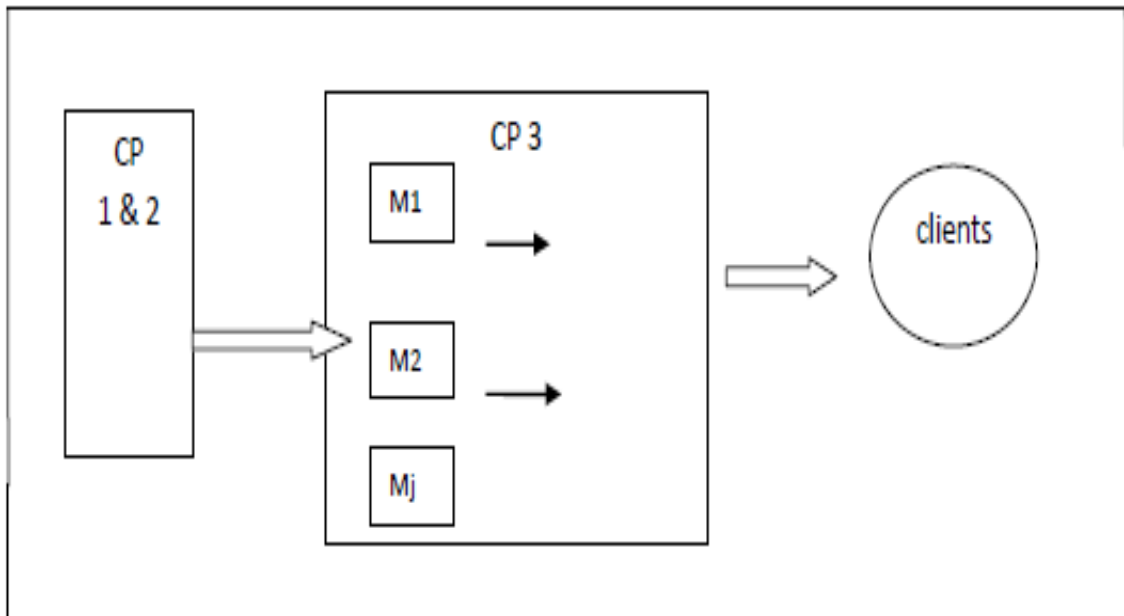
**Figure 3.5** système de production de l'exemple.

Au premier et deuxième centre de production, les centres de productions peuvent être vus comme des machines en parallèle comme illustré par la figure 3.6.



**Figure 3.6** : premier et deuxième centre du système de production.

Les centres de productions sont formés par des machines en parallèle sur lesquelles passent les composants pour ajouter de la valeur. Le nombre de machines diffère d'un centre de production à un autre. A chaque centre de production est associé un centre de décisions qui négocie les dates d'approvisionnement avec les fournisseurs des composants et des matières premières. Le troisième centre est aussi formé par des machines en parallèle, un atelier d'assemblage de produits finis à partir des produits semi-finis fournis par les centres précédant. Un schéma du fonctionnement général de cet étage est illustré par la figure 3.7.



**Figure 3.7** : fonctionnement du troisième centre du système de production.

Une opération dans le premier centre de production ou bien dans le deuxième n'est réalisée que si tous les composants ou les produits semi-finis nécessaires à son exécution sont disponibles.

Ceci implique des dépendances entre ces différents centres pour établir leurs ordonnancements.

Des négociations sont donc souhaitées pour mener l'ensemble du système vers un état de fonctionnement optimal. Les centres de décisions négocient des dates de disponibilité (release dates) avec leurs fournisseurs, et des dates de livraisons (due dates) avec les clients finaux.

Dans ce qui suit, nous donnons un récapitulatif des hypothèses, de l'architecture, et des règles de fonctionnement de l'ensemble de la chaîne.

Les deux premiers étages :

- Les centres de production dans ces étages négocient les dates des arrivées des composants avec les fournisseurs externes.
- Les premiers étage du système de production fabrique les sous-produits (ou produits semi finis).

## Chapitre 3-Problème et méthode retenue

---

- Tous les composants et les matières premières associées à une opération doivent être disponibles avant de la commencer la production dans le première et deuxième centre.
- Chaque centre de production est formé par des M machine en parallèle.
- Chaque centre contient un nombre donné de machines.
- Chaque type de sous-produit utilise un nombre donné de composants.
- Chaque composant est utilisé sur une seule machine.
- Chaque sous-produit en cours d'élaboration passe un temps d'exécution différent qui dépend du sous-produit et du centre de production sur laquelle il se trouve.
- Les centres de production peuvent avoir des localisations géographiques différentes.

Le troisième étage :

Il s'agit d'une seule centre de production composée d'un nombre donné de machines pour l'assemblage de sous-produits en produits finis.

- On a besoin des sous produits résultants du premiers étages de production pour fabriquer les produits finis.
- Nous ne commençons pas à travailler au troisième étage sauf si les sous produit est prêt aux deux étages précédents.
- Les produits finis fabriqués sont expédiés vers les clients.
- Le centre de décision négocie des dates de livraisons avec les clients.

### 3.3 Le problème d'ordonnancement dans les centres de productions

A l'intérieur de chaque centre de décisions on a donc un problème d'ordonnancement avec comme fonction objective de minimiser la somme des retards par rapport aux délais négociés. Nous ne prenons pas en compte ici d'autres critères comme la minimisation des stocks, ou la somme des heures supplémentaires, ou les coûts de sous-traitance, maintenance...

On considère que les centre de production sont organisés en atelier de type M machine en parallèle, et que les dates de disponibilité (release dates) sont associées aux premières opérations de chaque job (ceci est logique si tous les composants externes sont assemblés sur les machines des premiers centres de production. C'est la date d'exécution de la première opération de chaque job qui détermine alors s'il est en retard par rapport à sa date de disponibilité) ; et que les dates de livraison (due dates) sont associées à la dernière opération de chaque job (c'est la date d'exécution de la dernière opération de chaque job qui détermine si le produit correspondant est en retard par rapport à sa date de livraison). En utilisant la notation classique en ordonnancement.

### 3.3.1 Notations

#### *Les données*

Pour ce problème nous adoptons les notations suivantes tout. Pour le problème général :

M: nombre de machines.

mj: indice de la machine j.

N: nombre de jobs.

Pi, j: temps d'exécution de l'opération i du job sur la machine j.

r i: date de disponibilité (release date).

d i : date de livraison souhaitée (due date).

### Fonction objective

Minimiser la somme des retards par rapports aux dates souhaitées de disponibilités des composants, et de livraison des produits finis.

$$- F / r_i d_i / \sum T_i, C_{max}.$$

### 3.4 Approche de résolution

#### 3.4.1 Description Générale

Nous cherchons une solution globale au problème en utilisant une approche itérative de négociation, Cette approche inclut des négociations bilatérales entre les centres de décisions des centres de production entre eux de coté, et de l'autre coté entre les centres de décisions des centres de production et les éléments externes. L'objectif de la coordination des ordonnancements au sein de la chaîne globale est de minimiser une fonction de temps les retards par rapports aux dates convenu (que ce soit avec les fournisseurs externes ou bien avec les clients externes).

#### 3.4.2 Processus de négociation

Chaque commande émise par un client est convertie en un ou plusieurs jobs. Un job correspond donc à un produit, pour lesquels le détail des paramètres de l'ordonnancement sont connus : les centres de production à visiter, la nomenclature du produit (les sous-produitset composants nécessaires à sa fabrication, et les dates de disponibilités sur les premières machine de l'atelier dans lequel ils vont être traités).

Les dates de disponibilités ne sont associées qu'aux premières opérations de chaque tâche.

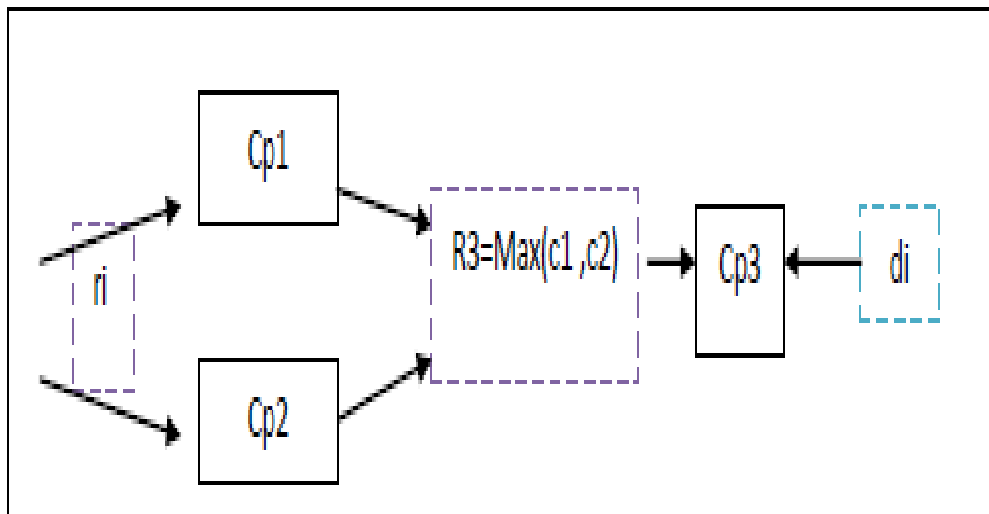
## Chapitre 3-Problème et méthode retenue

De la même façon, les dates de livraisons ne sont associées qu'aux dernières opérations de chaque tâche. Nous supposons que les dates de livraisons ont été promises aux clients externes (qui n'appartiennent pas à la chaîne logistique), et que les dates de disponibilités ont été négociées avec les fournisseurs externes (qui n'appartiennent pas à la chaîne logistique).

A l'intérieur, Au centre de la décision du centre d'assemblage, nous ferons une comparaison entre les dates de livraison des sous produits qui vient des centres de production précédents et la plus grande valeur sera prise parce qu'ils ne peuvent pas commencer à travailler, sauf en présence de tous les sous produits.

$$r(cp3) = \max(ccp1, ccp2)$$

Le schéma global du processus de négociation est montré par la figure 3.8.



**Figure 3.8** Le schéma global du processus de négociation

### 3.5 Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre le problème principal étudié dans ce mémoire. Il s'agit du problème de coordination au niveau des ordonnancements entre différents partenaires de la chaîne logistique pour satisfaire des commandes de clients. Nous avons décrit le

## Chapitre 3-Problème et méthode retenue

---

fonctionnement global du système, ainsi que les dépendances entre les différents centres de décision. Les centres de décisions étant autonomes,

Nous suggérons un processus global de négociations pour coordonner les décisions afin de satisfaire les clients externes à la chaîne. C'est une méthode itérative d'amélioration des solutions globales. Cette négociation ne requiert pas le partage d'informations « sensibles » entre les centres de décisions. En effet, ces derniers ne doivent se partager que des informations générales. La convergence du processus global de négociation devra être assurée par un pilotage semi-décentralisé qui oriente l'ensemble des partenaires de la chaîne vers une solution globale qui est supposée satisfaire les intérêts de chacun d'entre eux : une stratégie

gagnant-gagnant.

# **CHAPITRE 4**

# **IMPLEMENTATION DE PROBLEME**

### 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous parlerons d'algorithmes génétiques et nous verrons le langage et son outil que nous avons utilisé pour résoudre notre problème dont nous avons parlé dans le troisième chapitre après cela nous présenterons notre application et nous aurons des exemples pour voir comment son travail et leur résultat fournit.

### 4.2 Les algorithmes génétiques :

Les algorithmes génétiques utilisent la théorie de Darwin sur l'évolution des espèces. Elle repose sur trois principes : le principe de variation, le principe d'adaptation et le principe d'hérédité.[19]

#### 4.2.1 Le principe de variation

Chaque individu au sein d'une population est unique. Ces différences, plus ou moins importantes, vont être décisives dans le processus de sélection.

#### 4.2.2 Le principe d'adaptation

Les individus les plus adaptés à leur environnement atteignent plus facilement l'âge adulte. Ceux ayant une meilleure capacité de survie pourront donc se reproduire davantage.

#### 4.2.3 Le principe d'hérédité

Les caractéristiques des individus doivent être héréditaires pour pouvoir être transmises à leur descendance. Ce mécanisme permettra de faire évoluer l'espèce pour partager les caractéristiques avantageuses à sa survie.

#### 4.2.4 La terminologie de la génétique :

- La population est l'ensemble des solutions envisageables.
- L'individu représente une solution.
- Le Chromosome est une composante de la solution.
- Le Gène est une caractéristique, une particularité.

Avec ces notions, nous obtenons trois opérateurs d'évolution...

#### 4.2.5 Opérateurs d'évolution

## Chapitre 4-Implémentation de problème

---

Il y a trois opérateurs d'évolution dans les algorithmes génétiques :

- La sélection : Choix des individus les mieux adaptés.
- Le croisement : Mélange par la reproduction des particularités des individus choisis.
- La mutation : Altération aléatoire des particularités d'un individu.

### 4.2.6 Sélection

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

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

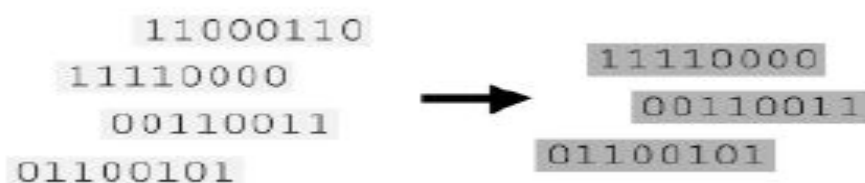
**4.2.6.1** Sélection par rang : Cette technique de sélection choisit toujours les individus possédant les meilleurs scores d'adaptation.

**4.2.6.2** Probabilité de sélection proportionnelle à l'adaptation : Technique de la roulette ou de la fortune, pour chaque individu, la probabilité d'être sélectionné est proportionnelle à son adaptation au problème.

**4.2.6.3** Sélection par tournoi : Cette technique utilise la sélection proportionnelle sur des paires d'individus, puis choisit parmi ces paires l'individu qui a le meilleur score d'adaptation.

**4.2.6.4** Sélection uniforme : La sélection se fait aléatoirement, uniformément et sans intervention de la valeur d'adaptation.

Voici un exemple avec des individus en représentation binaire une fois la sélection effectuée :



**Figure 4.1** : la sélection

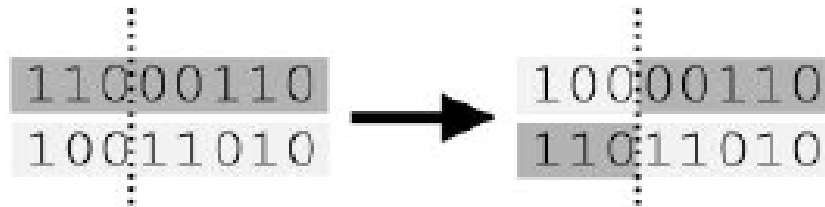
On réalise ensuite un croisement entre deux chromosomes parmi la population restante...

### 4.2.7 Croisement

Le croisement, ou enjambement, crossing-over, est le résultat obtenu lorsque deux chromosomes partagent leurs particularités. Celui-ci permet le brassage génétique de la population et l'application du *principe d'hérédité* de la théorie de Darwin.

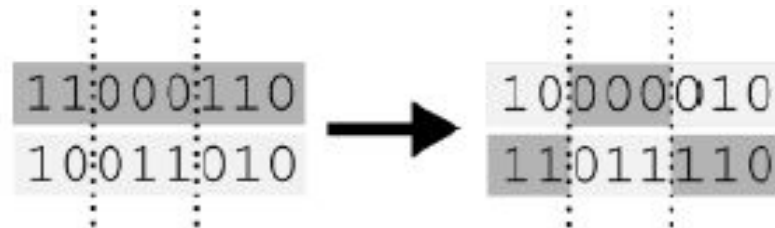
Il existe deux méthodes de croisement : simple ou double enjambement.

- Le simple enjambement consiste à fusionner les particularités de deux individus à partir d'un pivot, afin d'obtenir un ou deux enfants :



**Figure 4.2** : croisement simple

- Le double enjambement repose sur le même principe, sauf qu'il y a deux pivots :



**Figure 4.3** : croisement double enjambement

On réalise ensuite une mutation sur les enfants obtenues lors du croisement...

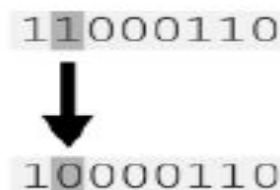
### 4.2.8 Mutation

La mutation consiste à altérer un gène dans un chromosome selon un facteur de mutation.

Ce facteur est la probabilité qu'une mutation soit effectuée sur un individu.

Cet opérateur est l'application du *principe de variation* de la théorie de Darwin et permet, par la même occasion, d'éviter une convergence prématurée de l'algorithme vers un extremum local.

Voici un exemple de mutation sur un individu ayant un seul chromosome :

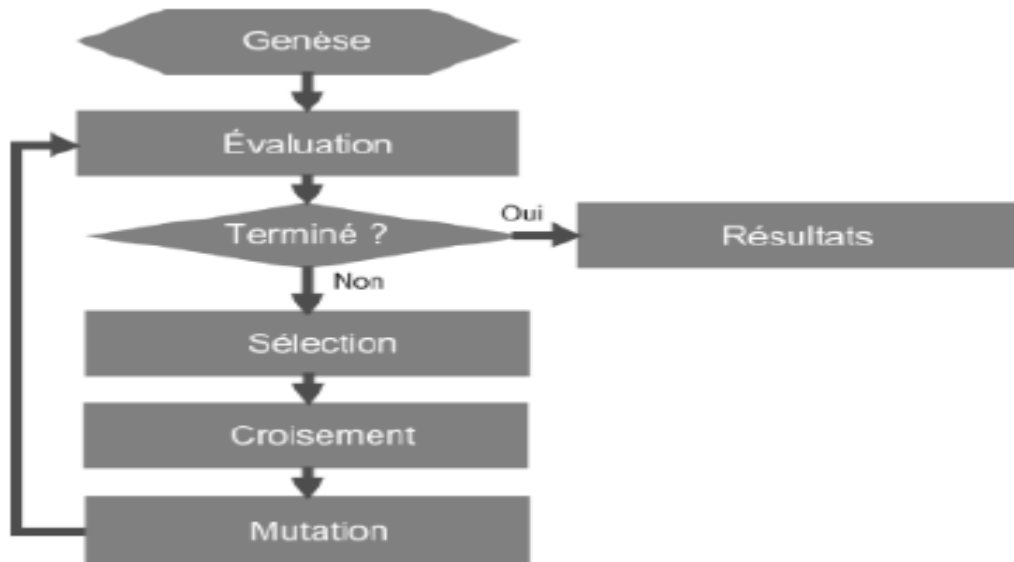


**Figure 4.4** : mutation

Avec ces trois opérateurs d'évolution, nous pouvons appliquer les algorithmes génétiques.

### 4.2.9 Schémas :

Les principes de bases étant expliqués, voici le fonctionnement des algorithmes génétiques



:

**Figure4.5** : fonctionnement des algorithmes génétiques [19]

### 4.3 MATLAB:

Le nom MATLAB vient de l'anglais *MATrix LABoratory*. Une traduction littérale nous amène à voir MATLAB comme un laboratoire pour manipuler des matrices, qui est un élément fondamental du langage MATLAB : la plupart des fonctions définies dans MATLAB le sont pour des grandeurs matricielles, et par extension, pour des données tabulées. [17]

#### 4.3.1 Pourquoi MATLAB :

MATLAB comprend de nombreuses fonctions, de calcul ou de traitements de données, d'affichage, de tracés de courbes, de résolution de systèmes et d'algorithmes de calculs numériques au sens large du terme.

Toutes ces fonctions sont définies par défaut dans MATLAB dans un langage de programmation spécifique que l'on appellera... MATLAB !

## Chapitre 4-Implémentation de problème

---

Ce langage comprend de nombreuses fonctions prédéfinies pour le calcul matriciel, mais pas seulement. De ce fait, les domaines d'application sont extrêmement variés, et l'on peut citer par exemple :

- le calcul numérique dans le corps des réels ou des complexes.
- le calcul de probabilités ou les statistiques.
- le calcul intégral ou la dérivation.
- le traitement du signal.
- l'optimisation.
- le traitement d'image.
- l'automatisme.

Et si en standard, MATLAB propose des fonctions couvrant l'ensemble de ces domaines, si vos développements nécessitent de mettre en œuvre des programmes très poussés, il existe des fonctions plus spécifiques regroupées dans des *TOOLBOX* (que l'on peut traduire par "boîte à outils"). Ces toolbox sont des extensions évidemment payantes utiles, voire nécessaires, comportant des fonctions dédiées à ces domaines, pour des développements de niveau professionnel. On peut citer les extensions :

- OPTIMIZATION pour l'optimisation.
- IMAGE PROCESSING pour le traitement d'image.

### **4.4 Optimisation multi-objectif à l'aide de NSGA-II:**

NSGA (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) est un Algorithme génétique basé sur la domination pour l'optimisation multi-objectif. C'est un très algorithme efficace, mais a généralement été critiqué pour sa complexité de calcul, manque d'élitisme et pour choisir la valeur de paramètre optimale pour le sharing paramètre. Une version modifiée, NSGA-II a été développée, qui a un meilleur algorithme de tri, intègre l'élitisme et aucun paramètre de sharing doit être choisi a priori.

#### **4.4.1 Description de NSGA-II**

La population est initialisée et triée en fonction de la non-domination dans chaque front.

Le premier front étant ensemble complètement non-dominant dans la population actuelle et le deuxième front étant dominé par les individus dans le premier front seulement et le front continue ainsi. Chaque individuel dans chaque front sont assignés des valeurs de rang (fitness) ou basé sur le front dans auquel ils appartiennent. Les individus du premier front reçoivent une valeur de fitness de 1 et les individus en deuxième ont une valeur de remise en forme de 2

et ainsi de suite. En plus de la valeur de fitness, un nouveau paramètre appelé crowding distance est calculé cultivé pour chaque individu. La crowding distance est une mesure de la proximité d'un l'individu est à ses voisins. La grande crowding distance moyenne entraînera une meilleure diversité dans la population.

Les parents sont sélectionnés parmi la population en utilisant une sélection de tournois binaires basés sur le rang et la crowding distance. Un individu est sélectionné dans le rang est inférieur à l'autre ou si la crowding distance est supérieure à l'autre. Population génère des descendants d'opérateurs de croisement et de mutation, qui être discuté en détail dans une section ultérieure.

La population avec la population actuelle et les descendants actuels est à nouveau triée basé sur la non-domination et seuls les N meilleurs individus sont sélectionnés, où N est la taille de la population. La sélection est basée sur le rang et sur la crowding distance sur le dernier front.

### **4.5 NGPM :**

NGPM est l'abréviation de " A NSGA-II Program in Matlab ", qui est l'implémentation de NSGA-II dans Matlab. NSGA-II est un algorithme génétique multi-objectif développé par K. Deb

Ce programme est écrit pour un problème d'optimisation par éléments finis, le "croisement intermédiaire" et la "mutation gaussienne" sont adéquats pour nous utilisation. Ainsi, nous n'implantons pas d'autres opérateurs génétiques dans NGPM. Le codage réel / entier, la sélection de tournoi binaire, l'opérateur de mutation Gaussien et l'opérateur de croisement intermédiaire fonctionnent bien dans cette outils.

### **4.6 Implémentation :**

Dans cette implémentation,nous ferons une comparaison entre les premières et les dernières générations de la solution pour montrer l'efficacité de l'outil dans l'amélioration dela solution pour le mieux.

#### **4.6.1 Exemple 01**

Dans cet exemple on a dans le premier centre de production 7 taches a faire avec 4 machine.

*Premier centre de production*

## Chapitre 4-Implémentation de problème

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
P:temps de traitement	5	4	6	7	4	8	5
D:date de livraison	8	8	12	11	14	18	20
R:date de disponibilité	0	4	4	6	8	10	12

**Table 4.1** : les données de premier centre de production

Après l'implémentation nous avons eu un fichier avec 100 génération voyons les résultats nous avons sélectionné *la 4ème génération*.

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
Machine	3	2	3	2	1	4	2
Position dans la machine	1	2	2	1	1	1	3

**Tableau 4.2** :l'ordonnancement de premier centre de production G4

Le Cmax dans cette génération est  $C_{max}=21$  et la somme des retards T est  $\Sigma T=7$

Maintenant *La dernière génération*

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
Machine	2	3	4	1	4	3	2
Position dans la machine	1	1	1	1	2	2	2

**Tableau 4.3** :l'ordonnancement de premier centre de production G100

## Chapitre 4-Implémentation de problème

---

Le Cmax dans cette génération est  $C_{max}=18$  et la somme des retards T est  $\Sigma T=0$

Temps d'exécution total=17.6943 sec

Comme nous voyons le retard ici est minimisé à 0 et le Cmax est également minimisé, ce qui signifie que nous avons réalisé ce que nous voulons et avons obtenu de meilleurs ordonnancements. Voyons le deuxième centre de production.

### ***Deuxième centre de production***

On a dans le deuxième centre de production 7 tâches à faire avec 3 machines

Les tâches	1	2	3	4	5	6	7
P:temps de traitement	1	3	4	2	3	4	3
D:date de livraison	6	7	11	11	15	17	18
R:date de disponibilité	0	3	3	4	6	8	9

**Tableau 4.4** : les données de deuxième centre de production

La même chose ici, après l'implémentation nous avons eu un fichier avec 100 générations voyons les résultats de la 2ème génération.

Tableau de l'ordonnement nous reçus est le suivant :

Les tâches	1	2	3	4	5	6	7
Machine	3	3	1	3	2	2	2
Position dans la machine	2	1	1	2	1	3	4

**Tableau 4.5** : l'ordonnement de deuxième centre de production G2

Le Cmax dans cette génération est  $C_{max}=17$  et la somme des retards T est  $\Sigma T=4$

*La dernière génération*

## Chapitre 4-Implémentation de problème

---

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
Machine	2	1	3	2	1	2	3
Position dans la machine	1	1	1	2	2	3	2

**Tableau 4.6** : l'ordonnancement de deuxième centre de production G100

Le Cmax dans cette génération est  $C_{max}=12$  et la somme des retards T est  $\Sigma T=0$

Temps d'exécution total =16.8693.

Comme nous voyons le retard ici est minimisé à 0 et le Cmax est également minimisé, ce qui signifie encore fois que nous avons réalisé ce que nous voulons et avons obtenu de meilleurs ordonnancement. Voyons le troisième centre de production.

### *Troisième centre de production*

On a dans le troisième centre de production qui est un centre d'assemblage 7 tâches à faire avec 2 machines.

Dans le troisième centre, les dates de disponibilité dépendent de la disponibilité des produits semi-finis provenant du premier et deuxième centre, comme nous l'avons dit dans le troisième chapitre, les " release dates" du troisième centre étant le maximum entre le Cmax du premier centre et le deuxième centre  $R3=Max (C1, C2)$ .

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
P:temps de traitement	4	2	5	2	3	2	4
D:date de livraison	12	13	16	15	19	24	25
R:date de disponibilité	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3

**Tableau 4.7**:les données de troisième centre de production

## Chapitre 4-Implémentation de problème

Après l'implémentation nous avons eu un fichier avec 100 générations voyons les résultats de la 3<sup>ème</sup> génération.

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
Machine	1	2	2	2	1	1	1
Position dans la machine	1	1	3	2	2	3	4

**Tableau 4.8** : l'ordonnancement de troisième centre de production G3

Le Cmax dans cette génération est  $C_{max}=24$  et la somme des retards T est  $\Sigma T=4$ .

La dernière génération table de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7
Machine	1	1	1	2	1	1	2
Position dans la machine	1	2	3	1	4	5	2

**Tableau 4.9**: l'ordonnancement de troisième centre de production G100

Le Cmax dans cette génération est  $C_{max}=21$  et la somme des retards T est  $\Sigma T=0$

Temps d'exécution total =17.1832.

Comme nous voyons le retard ici est minimisée à 0 et le Cmax est également minimisé, ce qui signifie encore fois que nous avons réalisé ce que nous voulons et avons obtenu de meilleurs ordonnancement.

### 4.6.2 Exemple 02

Dans cet exemple on a dans le premier centre de production 9 tâches à faire avec 5 machines.

#### *Premier centre de production*

## Chapitre 4-Implémentation de problème

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P:temps de traitement	6	7	1	5	2	11	3	9	5
D:date de livraison	8	11	12	14	18	24	20	22	22
R:date de disponibilité	0	2	4	4	6	8	10	5	9

**Tableau 4.10** : les données de premier centre de production(exemple 02)

Après l'implémentation nous avons eu un fichier avec 100 générations voyons les résultats de la 4<sup>ème</sup> génération.

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
machine	4	3	3	5	5	5	2	1	4
Position dans la machine	1	1	2	1	2	3	1	1	2

**Tableau 4.11**:l'ordonnancement de premier centre de production G4(exemple 02)

Le Cmax dans cette génération est Cmax=22 et la somme des retards T est  $\Sigma T=4$

*La dernière génération*

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

## Chapitre 4-Implémentation de problème

Machine	4	3	2	2	1	5	2	4	3
Position dans la machine	1	1	2	1	1	1	3	2	2

**Tableau 4.12:** l'ordonnement de premier centre de production G100(exemple 02)

Le Cmax dans cette génération est Cmax=19 et la somme des retards T est  $\Sigma T=1$  temps d'exécution total= 19.443 sec.

Comme nous voyons le retard ici est minimisé à 1et le Cmax est également minimisé, ce qui signifie que nous avons réalisé ce que nous voulons et avons obtenu de meilleurs ordonnancements.

### *Deuxième centre de production*

On a dans le deuxième centre de production 9 taches a faire avec 4 machines.

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P:temps de traitement	6	5	3	7	2	9	4	8	11
D:date de livraison	8	10	12	11	12	15	18	19	22
R:date de disponibilité	0	4	3	6	5	9	5	10	8

**Tableau 4.13 :** les données de deuxième centre de production(exemple 02)

Après l'implémentation nous avons eu un fichier avec 100 générations voyons les résultats de la 2ème génération.

Table de l'ordonnement nous reçus est le suivant:

## Chapitre 4-Implémentation de problème

---

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Machine	4	2	2	3	2	4	1	3	1
Position dans la machine	1	1	2	1	3	2	1	4	2

**Tableau 4.14:** l'ordonnancement de deuxième centre de production G2(exemple 02)

Le Cmax dans cette génération est Cmax=22 et la somme des retards T est  $\Sigma T=10$ .

*La dernière génération*

Table de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Machine	2	4	2	3	2	4	1	2	1
Position dans la machine	1	1	2	1	3	2	1	4	2

**Tableau 4.15:** l'ordonnancement de deuxième centre de production G100(exemple 02)

Le Cmax dans cette génération est Cmax=20 et la somme des retards T est  $\Sigma T=5$

temps d'exécution total= 20.2369 sec.

Comme nous voyons le retard ici est minimisé à 5 et le Cmax est également minimisé, ce qui signifie encore fois que nous avons réalisé ce que nous voulons et avons obtenu de meilleurs ordonnancement.

**Troisième centre de production**

On a dans le troisième centre de production qui est un centre d'assemblage 9 tâches a faire avec 3 machines

Dans le troisième centre, comme l'exemple 01 R3=Max (C1, C2)

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P:temps de traitement	5	2	6	3	4	3	7	6	5
D:date de livraison	10	12	15	15	18	20	23	24	26
R:date de disponibilité	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3

**Tableau 4.16** : les données de troisième centre de production  
(Exemple 02)

Après l'implémentation nous avons eu un fichier avec 100 générations voyons les résultats de la 3<sup>ème</sup> génération.

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
machine	3	2	3	2	3	1	1	3	2
Position dans la	1	1	2	2	3	1	2	4	3

**Tableau 4.17**: l'ordonnancement de troisième centre de production G3 (exemple 02)

Le Cmax dans cette génération est Cmax=29 et la somme des retards T est  $\Sigma T=18$ .

### La dernière génération

Tableau de l'ordonnancement nous reçus est le suivant :

Les taches	1	2	3	4	5	6	7	8	9
machine	3	1	2	2	3	2	1	3	1
Position dans la machine	1	1	1	2	2	3	2	3	3

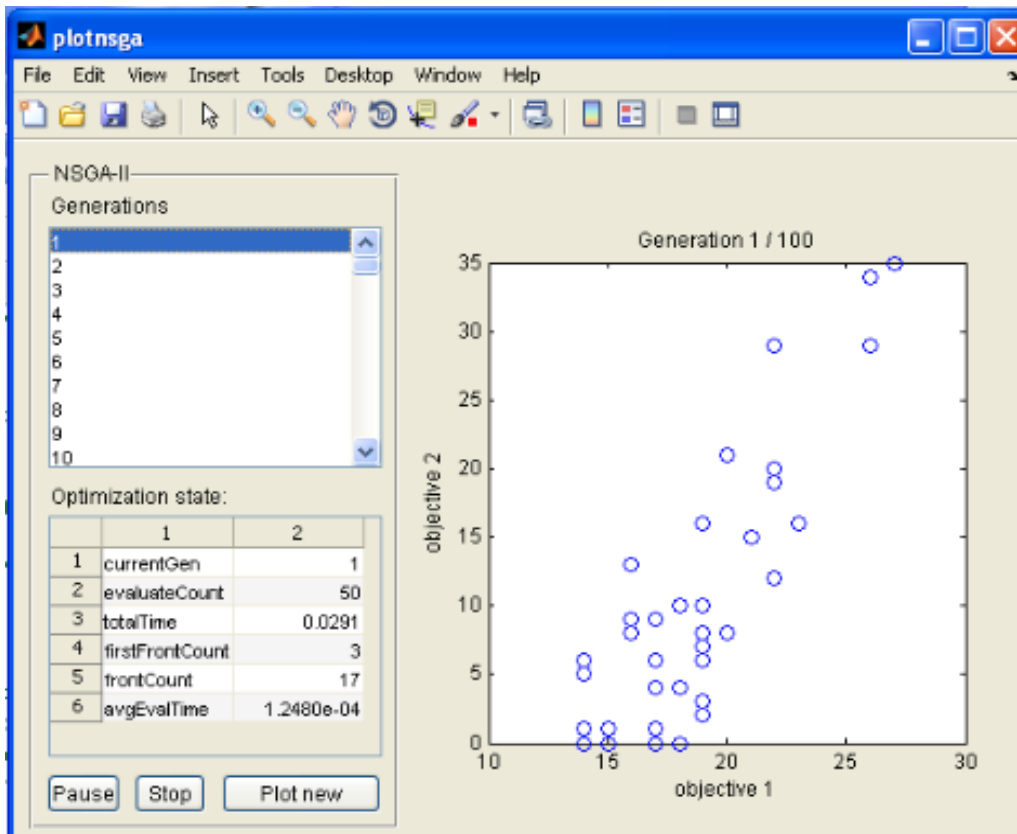
**Tableau 4.18:** l'ordonnancement de troisième centre de production G100(exemple 02)

Le  $C_{max}$  dans cette génération est  $C_{max}=25$  et la somme des retards  $T$  est  $\Sigma T=9$  temps d'exécution total= 19.2073 sec

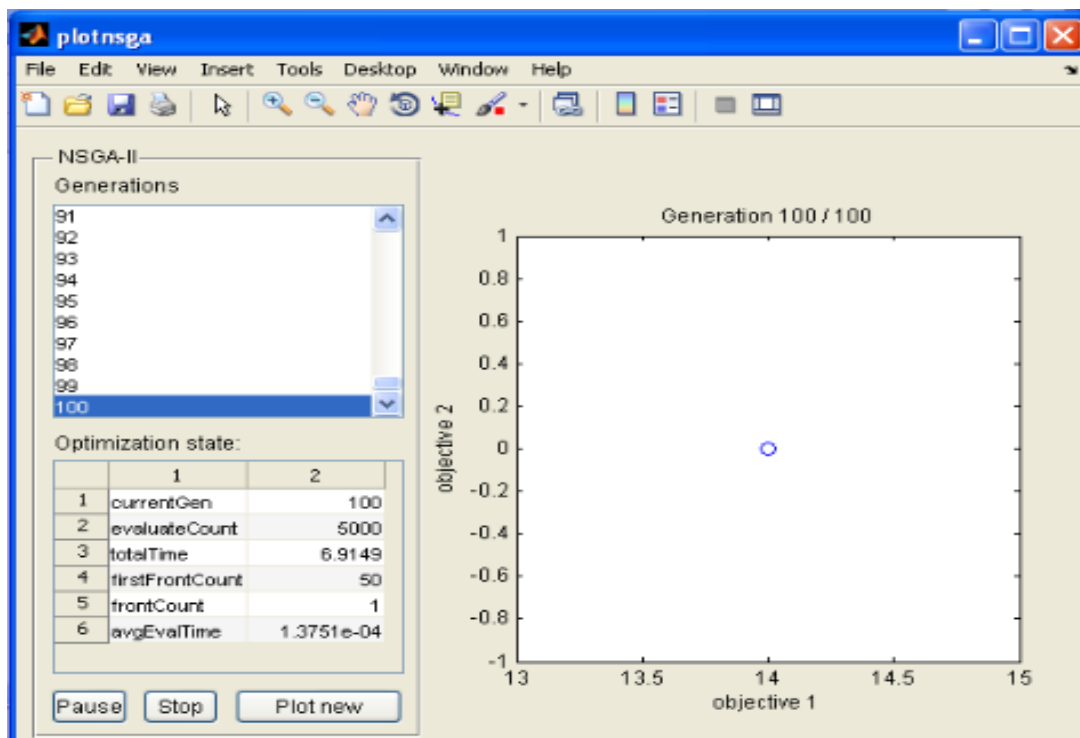
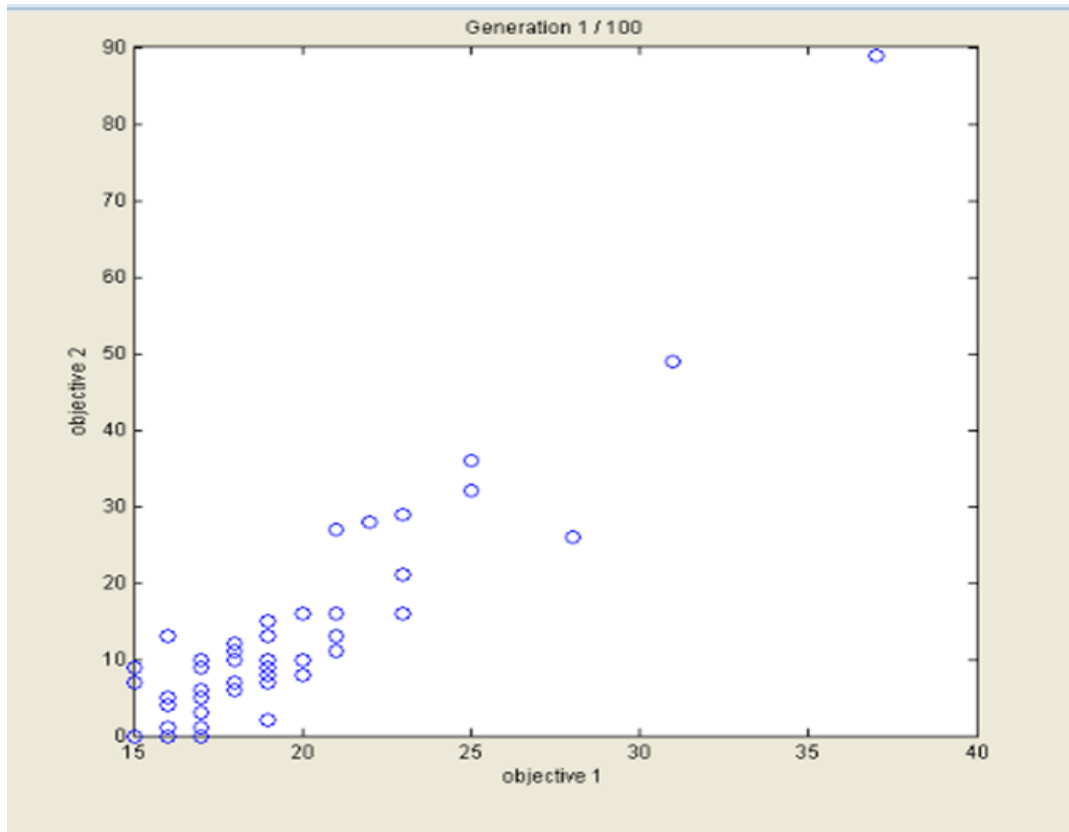
Comme nous voyons le retard ici est minimisé à 9 et le  $C_{max}$  est également minimisé, ce qui signifie encore fois que nous avons réalisé ce que nous voulons et avons obtenu de meilleurs ordonnancement.

Comme nous avons vu dans le premier et deuxième exemple le retard toujours est minimisée et la même chose pour le  $C_{max}$  ce qui signifie que notre application fait très bien.

### 5. Quelques interfaces de l'application :



## Chapitre 4-Implémentation de problème



## Les différentes populations pour la génération 1 :

```

populations - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
#NSGA2
popsize 50
maxGen 100
numVar 14
numObj 2
numCons 0
stateFieldNames currentGen evaluateCount totalTime firstFrontCount frontCount avgEvalTime
#end

#Generation 1 / 100
currentGen 1
evaluateCount 50
totalTime 0.0890857
firstFrontCount 1
frontCount 25
avgEvalTime 0.000343295
#end
Var1 Var2 Var3 Var4 Var5 Var6 Var7 Var8 Var9 Var10 Var11 Var12 Var13 Var14 obj1 obj2
2 1 2 1 2 3 3 1 2 2 1 3 2 1 19 5
2 1 3 3 4 2 3 1 1 1 3 1 2 2 18 6
3 1 3 3 3 2 3 3 1 2 4 5 1 1 28 46
3 3 2 1 3 3 2 1 2 1 1 3 4 2 15 0
1 2 4 3 3 1 1 2 1 1 2 1 1 3 21 12
3 3 1 1 3 4 4 1 3 2 1 2 1 2 17 4
3 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 3 1 3 20 9
1 3 2 4 3 2 3 1 2 2 1 3 1 1 18 18
1 3 3 3 2 2 2 1 2 3 1 2 3 1 21 12
2 4 2 2 1 1 1 2 1 1 3 3 2 1 21 13
1 1 3 3 3 1 4 1 3 2 1 3 2 1 17 11
1 2 3 2 3 3 3 1 1 1 2 3 2 4 19 2
2 3 2 2 3 2 3 3 1 1 2 3 4 2 21 11
2 2 2 2 3 2 4 4 1 5 2 1 3 1 24 24
2 4 2 3 4 2 3 3 1 2 1 2 1 2 22 20
4 3 2 4 1 4 3 1 1 1 2 1 3 2 15 0
1 2 3 4 3 2 3 1 1 1 1 3 2 2 15 1
4 2 3 3 2 3 2 1 1 1 2 2 3 3 17 0
2 3 2 2 4 2 2 5 1 4 1 1 2 3 26 28
2 4 2 1 3 3 1 1 1 2 2 1 2 1 18 6
2 3 2 4 3 3 1 2 2 1 3 1 1 1 19 16
3 3 4 2 4 3 2 1 3 2 1 1 2 2 17 9
2 2 2 1 3 2 2 5 1 2 1 1 4 3 23 16

```

Population 1

# Chapitre 4-Implémentation de problème

```

populations1 - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
#NSGA2
popsize 50
maxGen 100
numvar 14
numObj 2
numCons 0
stateFieldNames currentGen evaluateCount totalTime firstFrontCount frontCount avgEvalTime
#end

#Generation 1 / 100
currentGen 1
evaluateCount 50
totalTime 0.114085
firstFrontCount 1
frontCount 22
avgEvalTime 0.00033857
#end
Var1 Var2 Var3 Var4 Var5 Var6 Var7 Var8 Var9 Var10 Var11 Var12 Var13 Var14 Obj1 Obj2
2 3 2 3 2 2 2 3 2 1 1 4 2 5 24 21
1 3 3 2 2 2 2 1 1 2 1 2 3 4 20 0
1 3 3 2 2 1 3 1 1 3 1 2 2 2 19 7
3 3 2 2 3 1 1 2 1 2 1 3 2 1 19 2
3 3 3 2 3 1 2 1 2 4 1 3 1 2 16 4
2 2 2 3 2 3 1 4 1 2 1 3 2 1 18 11
2 2 2 3 2 2 2 4 1 2 1 3 5 6 27 23
2 3 2 3 1 2 2 2 1 1 2 1 3 4 19 2
1 1 3 2 2 2 2 1 2 1 3 2 1 4 24 15
3 2 3 2 3 2 2 1 3 3 4 2 1 2 24 28
1 2 2 3 2 2 1 1 4 2 1 3 1 2 26 32
2 3 2 3 1 2 2 2 2 1 1 3 4 4 19 5
2 3 2 1 3 2 3 2 2 3 1 1 3 3 21 23
2 2 3 3 2 1 2 2 4 1 2 1 1 3 21 18
2 2 2 3 2 3 2 3 1 4 1 2 2 5 22 13
1 2 2 2 3 2 2 2 1 1 2 1 2 4 1 30 49
3 3 1 2 3 3 3 5 3 1 2 1 4 1 19 18
2 3 2 2 3 2 2 2 3 1 2 3 1 2 28 39
2 2 2 2 1 2 2 3 1 5 6 1 2 4 28 37
1 2 3 1 1 3 1 1 1 1 2 3 2 4 15 0
1 2 2 2 2 2 2 1 1 4 5 2 6 3 27 26
2 2 2 2 1 2 2 4 3 5 1 1 6 2 31 50

```

Population 2

## Chapitre 4-Implémentation de problème

```
populations2 - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
#NSGA2
popsize 50
maxGen 100
numvar 14
numObj 2
numCons 0
stateFieldNames currentGen evaluateCount totalTime firstFrontCount frontCount avgEvalTime
#end

#Generation 1 / 100
currentGen 1
evaluateCount 50
totalTime 0,0782185
firstFrontCount 2
frontCount 23
avgEvalTime 0,000306013
#end
Var1 Var2 Var3 Var4 Var5 Var6 Var7 Var8 Var9 Var10 Var11 Var12 Var13 Var14 Obj1 Obj2
2 2 1 2 2 1 1 3 1 1 4 2 2 3 24 20
1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 3 3 4 25 14
2 1 2 2 1 2 2 2 1 3 4 2 5 1 36 59
1 2 2 1 1 2 2 3 3 2 2 1 1 4 30 45
1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 3 4 5 29 13
2 1 1 2 1 2 2 3 2 3 1 1 4 2 27 32
2 2 2 1 1 1 1 1 3 2 1 2 3 4 24 5
1 1 2 1 1 1 1 1 3 1 4 6 2 5 31 30
1 2 1 1 1 2 1 2 2 3 4 5 1 1 37 73
1 2 1 1 1 2 1 3 1 4 1 2 5 2 33 38
2 2 1 1 2 2 2 1 4 1 2 5 2 3 28 24
2 2 1 2 1 2 1 3 1 1 4 3 2 2 25 27
1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 3 3 4 25 6
1 1 1 1 1 1 1 6 1 4 2 3 5 7 35 39
1 2 1 1 1 2 2 3 2 1 2 4 3 1 26 31
2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 3 1 3 4 29 24
1 2 2 2 2 1 2 2 2 4 1 3 1 5 29 28
1 2 2 2 2 1 2 1 2 3 4 2 5 26 7
2 1 1 1 1 2 1 1 1 3 2 4 2 5 27 10
2 1 2 2 1 1 2 1 2 3 3 1 4 2 23 15
1 2 2 1 2 2 2 2 3 2 1 4 5 1 34 55
1 2 2 2 1 1 1 4 2 3 1 1 3 2 29 26
2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 3 1 3 4 24 13
```

Population 3

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé des algorithmes génétiques, le langage et son outil que nous avons utilisé pour résoudre le problème que nous avons abordé dans le troisième chapitre après avoir présenté notre application et nous avons pris des exemples pour voir comment son travail et leur résultat fournit.



**CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

---

Dans ce mémoire, nous avons étudié un problème d'ordonnancement pour les chaînes logistiques.

Dans le problème étudié dans ce mémoire, nous avons considéré des problèmes d'ordonnancement dont l'objectif étaient de minimiser les retards par rapport aux dates de disponibilité des matières premières (relation fournisseur système de production), et aux dates de livraison des produits finis aux clients finaux (relation système de production-clients).

Dans le premier chapitre, nous présentés un état de l'art sur les principaux thèmes liés à ce problème, nous avons commencé par introduire la notion de chaîne logistique et tous les concepts qui y sont liés. Nous avons défini la gestion de la chaîne logistique, ainsi que les principaux types ou architectures de chaînes logistiques, décrivons quelques outils et notions tel que les différentes fonctions, et les niveaux de décisions et comment on peut optimiser les chaînes logistiques.

Au deuxième chapitre, nous présentés l'ordonnancement d'ateliers, nous avons défini d'abord l'ordonnancement, puis nous avons défini «l'ordonnancement d'ateliers» et nous avons donné les concepts de base qui leur sont propres. Puis nous avons vu les différents types d'ateliers connus et à la fin nous avons vu comment les améliorer.

Dans le troisième chapitre, nous avons décrit le problème étudié et présentés l'approche globale de la résolution. Le problème sous sa forme la plus générale est présenté. Nous avons commencé par décrire l'opération globale, puis nous avons présenté le problème rencontré dans nos centres de production et la façon dont nous avons négocié pour améliorer le travail et éliminer les retards.

Dans le quatrième chapitre nous avons parlé des algorithmes génétiques, le langage et son outil que nous avons utilisé pour résoudre le problème que nous avons abordé dans le troisième chapitre après avoir présenté notre application et nous avons pris des exemples pour voir comment son travail et leur résultat fournit.

Ce travail répondre à un besoin réel issu du monde des entreprises, que ce soit dans le milieu industriel, ou bien dans le milieu des services.

## Conclusion générale

---

Beaucoup de ces entreprises font face quotidiennement à des problèmes pour satisfaire leurs clients, qui sont de plus en plus demandeurs de meilleures performances.

## Bibliographie

---

### **BIBLIOGRAPHIE:**

- [1] BOUDAHRI F., conception et pilotage d'une chaîne logistique agro-alimentaire. Application: produits de volaille dans la ville de tlemcen, thèse de doctorat, université aboubekr belkaïd Tlemcen, Algérie ,2013.
- [2] BOUNIF Mohamed Elhadi, Optimisation à base de simulation pour le développement des systèmes décisionnels, Thèse de doctorat, université de M'sila, 2015.
- [3] Christopher, M.L., logistics and supply chain management. Pitman publishing, London, (1992).
- [4] D DUVIVIER, Étude de l'hybridation des méta-heuristiques, application à un problème d'ordonnancement de type job shop, Université du Littoral Côte d'Opale, France 2000.
- [5] HNAIEN F, Gestion des stocks dans des chaînes logistiques face aux aléas des délais d'approvisionnements, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, France 2008.
- [6] HUGOS M., essentials of supply chain management. JohnWiley and sons, Inc., New Jersey, USA, 2003.
- [7] LEE, H.L. and Billington, C. Material Management in Decentralized Supply Chains. Operations Research, 41, 835-847,1993.
- [8] M. JULIEN FRANCOIS, Planification des chaînes logistiques :Modélisation du système décisionnel et performance, Thèse de doctorat ,Ecole doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur de Bordeaux, France,2007.
- [9] MENTZER J.T., DEWITT W., KEEBLER J.S., MIN S., NIX N.W., SMITH C.D.,ZACHARIA Z.G., defining supply chain management, journal of business logisticsmanagement, vol 22 (2), (2001).
- [10] MOULOUA Z, Ordonnements coopératifs pour les chaînes logistiques, l'institut national polytechnique de lorraine, France,2007.
- [11] OUZIZI L., planification de la production par co-décision et négociation de l'entreprise virtuelle, thèse de doctorat, l'université de Metz,france, 2005.
- [12] SIMCHI-LEVI, D., Kaminsky, P, designing and managing the supply chain: concepts, Strategies and Case Studies. Boston, MA: McGraw Hill Professional,2003.
- [13] TOUNSI J, modélisation pour la simulation de la chaîne logistique globale dans un environnement de production pme mécatroniques, Thèse de doctorat,Université de Savoie,2009.

## Bibliographie

---

- [14] acharkaoui, <http://www.acharkaoui.com/la-logistique/bienvenu/>, consulté le :05/12/2017.
- [15] eurobios, <http://www.eurobios.com/optimisation-de-la-chaîne-logistique>, consulté le :12/01/2018.
- [16] lefrancaisdesaffaires, [www.lefrancaisdesaffaires.fr](http://www.lefrancaisdesaffaires.fr), consulté le : 12/01/2018..
- [17] mines-albi, <http://nte.mines-albi.fr/MATLAB/co/Generalites.htmlfr.slideshare.net>, consulté le : 26/05/2018.
- [18] slideshare, <https://fr.slideshare.net/michelmartiz/chapitre-ii-49456302>, consulté le : 09/02/2018.
- [19] univ-mlv, <http://igm.univ-mlv.fr>, consulté le : 07/04/2018.
- [20] Wikipédia, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Logistique>, consulté le : 29/05/2018.
- [21] Wikipedia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Optimisation\\_lin%C3%A9aire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Optimisation_lin%C3%A9aire), consulté le: 04/02/2018.
- [22] A .Letouzey, Ordonnancement interactif basé sur des indicateurs : Applications à la gestion de commandes incertaines et à l'affectation des opérateurs, Doctorat, TOULOUSE, 2001.
- [24] A. karay, Contribution à l'ordonnancement d'ateliers agroalimentaires utilisant des méthodes d'optimisation hybrides, Doctorat, TUNIS, 2011.
- [25] J. Y.-T. Leung, Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance analysis. Chapman & Hall/CRC Computer and information sciences séries, 2004.
- [26] M. Meziane, Optimisation par phases pour le problème d'ordonnancement des ateliers de type job shop totalement flexibles, Magister, ORAN, 2011.
- [27] M. BOURZIK, Problèmes d'Ordonnancement d'Atelier , 2016.
- [28] M. E. BOUNIF, Optimisation à base de simulation pour le développement des systèmes décisionnels, M'SILA, 2015.
- [30] N. Mouhoub, Algorithmes de construction de graphes dans les problèmes d'ordonnancement de projet, Doctorat, SETIF, 2011.
- [31] N. Taghezout, Conception et Développement d'un système multi-agent d'Aide à la Décision pour la gestion de production dynamique, Doctorat, TOULOUSE , 2011.
- [32] P. Lopez, Approche énergétique pour l'ordonnancement de tâches sous contraintes de temps et de ressources, Doctorat, à Toulouse (France). LAAS CNRS, 1991.

## Bibliographie

---

- [33] R.L. Graham, E.L. Lawler et J.K. Lenstra et A. HG. Rinnoy Kan, "Optimisation and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey", *Discrete Mathematics* 5, 1979.
- [34] S. AMAZOUZ, M.E. DJEDDA, Optimisation bi-objectif pour un ordonnancement intégré des tâches de production et de maintenance, Master, Boumerdès, 2016
- [35] Y. Bahmani, Optimisation multicritère de l'ordonnancement des activités de la production et de la maintenance intégrées dans un atelier Job Shop, Doctorat, BATNA –II, 2017.

### **الملخص**

نظرا لأهمية سلاسل التوريد, سنقوم بعرض طرق و أدوات لاتخاذ القرار لتنسيق جدولة سلسلة الإمداد. وتركز هذه الأساليب على التحسين و التعاون بين شركاء سلسلة التوريد من خلال المفاوضات حول تواريخ وصول المواد الخام للموردين, وتاريخ الانتهاء من تسليم العملاء. يتم انتاج المنتجات النهائية (أو المنتجات الفرعية) الخاصة بمؤسسة التجميع باستخدام مكونات و / او منتجات فرعية توفرها شركات أخرى أو موردين خارجيين. نفترض أننا على مستوى الجدولة حيث تبني كل مؤسسة جداولها الخاصة المرتبطة بمراكز الانتاج الخاصة بها. بما أنه لا يمكن اجراء العملية إلا عندما يكون مركز الإنتاج قد تلقى المكونات الضرورية و / أو المنتجات الفرعية, فإن الجداول تعتمد على ذلك.

**الكلمات المفتاحية** سلاسل التوريد, المفاوضات, مركز الإنتاج, جدولة.

### **Abstract**

Given the importance of supply chains, we will present ways and tools for decision making to coordinate supply chain scheduling. These methods focus on cooperation between supply chain partners through negotiations on the arrival dates of raw materials for suppliers, and the date of completion of customer delivery. The final products (or sub-products) of the assembly enterprise are produced using components and / or by-products provided by other companies or external suppliers. Assume that we are at the scheduling level where each institution builds its own schedules associated with its own production centers. Since the process can only be performed when the production center has received the necessary ingredients and / or byproducts, schedules depend on that.

**Keywords:** *supply chains, negotiations, production center, scheduling.*

### **Résumé**

Compte tenu de l'importance des chaînes logistiques, nous présenterons des moyens et des outils de prise de décision pour optimiser et coordonner la planification de la chaîne logistique. Ces méthodes se concentrent sur la coopération entre les partenaires de la chaîne logistique à travers des négociations sur les dates d'arrivée des matières premières pour les fournisseurs, et la date d'achèvement de la livraison du client. Les produits finaux (ou sous-produits) de l'entreprise d'assemblage sont produits à l'aide de composants et / ou de sous-produits fournis par d'autres sociétés ou des fournisseurs externes. Supposons que nous sommes au niveau de planification où chaque institution construit ses propres horaires associés à ses propres centres de production. Puisque le processus ne peut être effectué que lorsque le centre de production a reçu les ingrédients et / ou sous-produits nécessaires, les horaires en dépendent.

---

*Mots-clés: chaînes logistique, négociations, centre de production, ordonnancement.*