

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique et Electronique  
Filière Génie Industriel  
Spécialité : Ingénierie de la production



Projet de Fin d'Etude de Master

Intitulé :

---

**Outils d'aide à la décision pour l'optimisation des services de  
production / distribution  
Cas d'étude " TOP GLOVES "**

---

Présenté par :

BENFEDEL Rachida

MOKHTARI Nour El Houda

Soutenue, le 24/09/2020, devant le jury composé de :

Mme SARI TRIQUI Lamia	MCA	Université de Tlemcen	<b>Présidente</b>
M. BENNEKROUF Mohammed	MCB	ESSAT Tlemcen	<b>Examineur</b>
M. BENSMAINE Yasser	MCB	Université de Tlemcen	<b>Examineur</b>
M. BELKAID Fayçal	MCA	Université de Tlemcen	<b>Encadrant</b>
M.HAMZAOUI Adel	MCB	Université de Tlemcen	<b>Co-encadrant</b>

Année Universitaire : 2019/2020

---

## Remerciements

---

Et voilà, le moment à la fois tant attendu et tant redouté est arrivé... nous sommes à la fin de notre mémoire. Qui l'aurait dit ? Cet instant est tellement intense, c'est à la fois beaucoup d'émotions, de stress, d'enthousiasme, de doutes, de partages... C'est le point final de notre vie d'étudiantes. Cela représente tellement de choses pour nous, ceux qui nous connaissent le savent.

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nos premières pensées vont aux jurys. Mme SARI Lamia, Mr BENSMAINE et Mr BENNEKROUF. Merci d'avoir accepté de rapporter et d'examiner notre travail. Merci pour vos questions, vos remarques. Merci d'avoir présidé mon jury.

Nous Tenons à remercier notre encadreur Mr. BELKAID Fayçal pour sa qualité scientifique et humaine, pour toutes ces conversations enrichissantes, pour avoir toujours pu nous consacrer le temps nécessaire malgré son emploi du temps très chargé. Nous tenons aussi à le remercier pour nous avoir fait travailler sur des problèmes de planification intégrée très intéressants qui nous ont passionnés. Un immense merci pour vos encouragements, votre écoute, votre aide et votre bienveillance à chaque instant. Les nombreux moments passés à nous corriger, nous conseiller. Merci pour votre suivi constant malgré le confinement et les problèmes liés à la pandémie covid 19 !). Ca été un réel plaisir de travailler avec vous.

Nos sincères remerciements sont aussi dédiés à Mr HAMZAOUI Adel pour ses précieux conseils, son aide scientifiques et sa disponibilité.

Nous témoignons notre reconnaissance et notre gratitude à tous les enseignants, intervenants et à tous ceux qui nous ont apporté leur aide, ont guidé nos réflexions et ont contribué à l'élaboration ainsi qu'à la réussite de ce travail, par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques.

Un remerciement sans pareil à tous les membres de nos familles et nos parents en particulier, pour leur soutien inconditionnel et pour l'encouragement tout au long de mes années et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés, soutenus et aidés au cours de ces cinq dernières années de master.

Merci à tous et à toutes ceux qui m'ont encouragé à mener ce travail jusqu'au bout.

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents,*

*Je vous remercie pour votre immense amour.*

*À mon très cher frère **Ahmed** et mes adorables sœurs **Latifa, Fatima,***

***Saliha et hadjer,***

*Je vous remercie pour votre patience et votre gentillesse.*

*À mon binôme **Nour El Houda.***

*À tous mes amis sans exception.*

*À ceux qui m'aiment et que j'ai oublié de citer.*

**BENFEDEL Rachida**

# Dédicace

Merci notre Dieu de nous avoir donné le courage et la foi. Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que je dédie cette mémoire :

A ma très chère grande mère Leila : Vous étiez toujours à mes côtés et présents pour les bons conseils, je vous remercie pour le soutien financier, moral et l'encouragement que m'ont toujours donné de la force pour persévérer dans la vie. Que dieu vous procure bonne santé et longue

A mes parents : Vous étiez toujours les meilleurs des parents. A travers ce modeste travail, je vous remercie et prie dieu tout puissant qu'il vous garde en bon santé et vous procure une longue vie :

A Mon très cher Père Mohamed Amine : vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Merci pour votre immense amour et vos conseils qui ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années

A Ma tendre Mère Soumia, honorable, aimable : Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites un grand merci pour votre soutien, sacrifie, prières et surtout pour l'amour que vous m'avez donné. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A GACEM Yacine : Merci d'être toujours à mes côtés par votre encouragements permanents et votre soutien moral, merci pour votre affection, compréhension et patience. Vous avez été présents dans tous les moments de doute et votre soutien a été très précieux durant cette année surtout. Une belle vie à vous! Qu'Allah le tout puissant, vous protège et vous exhausse tous vos vœux.

A mes très chers frères Mohamed Saïd et Ibrahim El Khalil que j'aime de tout mon cœur : Mes anges gardien et mes fidèles compagnon dans les moments les plus délicats. Merci d'être toujours aussi présents. Je prie Dieu le tout puissant, pour qu'il vous donne un avenir plein de joie et de réussite

A mes chères sœurs Meriem et Fatima El Zahra : vous êtes ce que j'ai de plus cher au monde. Merci d'être tout à la fois : meilleure amie, confidente, ainsi qu'une oreille toujours attentive avec des plus belles offenses, merci d'être pour moi un exemple de folie dans le meilleur sens possible, de courage et de persévérance. Que Dieu le tout puissant vous donne une très belle vie

A ma grande mère, mes oncles, mes tantes et leurs enfants, petits et grands, J'espère que mon travail sera le témoignage de mon respect et de mes sentiments les plus sincères.

A Sihem, amie et collègue qui m'a accompagné durant le cursus dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments, et je vous souhaite une vie plein de santé et de bonheur.

A mon cher binôme Rachida : étais toujours souriant, ambitieux et ponctuel. J'ai l'honneur de travailler avec toi. Je te remercie pour l'énorme effort que vous avez fait pour réussir ce travail.

A toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin, et que j'ai omis de les citer.

Une pensée particulière pour mon grand-père, Mokhtari Hadj Mohamed, Dieu a voulu que vous nous quittiez trop tôt. J'aurais bien voulu que vous soyez parmi nous. Que Dieu vous accueillerez dans son éternel paradis.

**MOKHTARI Nour El Houda**

## Table des matières

Remerciements .....	2
Dédicace .....	3
Liste des figures .....	9
Liste des tableaux .....	10
Liste des abréviations .....	12
<b>Chapitre 01 : Généralité sur les approches découplées et couplés .....</b>	<b>16</b>
1.1 Chaîne logistique :.....	18
1.1.1 Historique - Évolution du marché : .....	18
1.1.2 Qu'est-ce qu'une chaîne logistique ?.....	19
1.1.3 Flux d'une chaîne logistique :.....	20
1.1.4 Classifications des entités de la chaîne logistique :.....	21
1.1.5 Structures possibles des chaînes logistiques : .....	22
1.1.6 Niveaux de décisions en la planification de la chaîne logistique :.....	23
1.1.7 Introduction à la gestion d'une chaîne logistique :.....	24
1.1.7.1 Approches découplées de la gestion de la chaîne logistique :.....	25
1.1.7.2 Approches couplées de la gestion de la chaîne logistique : .....	25
1.2 Problème du lot sizing (Production – Stockage) : .....	27
1.2.1 Présentation du lot-sizing problem (LSP) : .....	27
1.2.2 Modèle mathématique du LSP : .....	28
1.2.3 Classification des critères du lot sizing : .....	29
1.2.3.1 Modélisation des produits :.....	29
1.2.3.2 Modélisation du temps.....	31
1.2.3.3 Modélisation des ressources : .....	32
1.2.4 Classification du problème de lot sizing : .....	32
1.2.5 Etat de l'art de LSP :.....	33
1.3 Problème de lot sizing with Direct shipment : (Production – Stockage - distribution)....	34
1.3.1 Présentation de LSP with direct shipment :.....	34
1.3.2 Etat de l'art du LSP with direct shipment : .....	35
1.4 Problème de tournée de véhicules .....	36
1.4.1 Présentation du VRP :.....	36
1.4.2 Présentation du TSP : .....	37
1.4.3 Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP) : .....	38
1.4.4 Diverses variantes des problèmes de tournées : .....	39
1.4.5 Etat de l'art du problème de tournée de véhicules.....	40

1.5 Inventory Routing Problems (stockage - distribution).....	41
1.5.1 Présentation de l'IRP :.....	41
1.5.2 Etat de l'art de l'IRP :.....	42
1.6 Conclusion :.....	43
<b>Chapitre 02 : PRP et moyens de résolution</b> .....	<b>44</b>
2.1 Introduction :.....	46
2.2 Production Routing Problem :.....	46
2.3 Etat de l'art :.....	47
2.4 L'optimisation et méthodes de résolution :.....	50
2.4.1 Introduction à l'optimisation :.....	50
2.4.2 Les problèmes d'optimisation :.....	51
2.4.2.1 Les problèmes d'optimisation continue :.....	51
2.4.2.2 Les problèmes d'optimisation combinatoires .....	51
2.4.3 Choix d'un algorithme métaheuristique :.....	53
2.4.3.1 Le Recuit Simulé :.....	54
2.4.3.2 La Recherche Tabou :.....	55
2.4.3.3 Les algorithmes génétiques :.....	56
2.4.3.4 Les colonies de fourmis :.....	57
2.5 Modélisation par la programmation mathématique :.....	59
2.5.1 Solveur CPLEX .....	60
2.5.1.1 Le langage OPL (Optimization Programming Language) :.....	60
2.5.2 Objectifs et décisions :.....	60
2.5.3 Modélisation du PRP :.....	61
2.5.3.1 Notations :.....	61
2.5.3.2 La fonction objectif :.....	62
2.5.3.3 Les contraintes :.....	62
2.5.4 Expérimentations et résultats :.....	64
2.6 Application de Recuit Simulé pour la résolution du problème de PRP :.....	81
2.6.1 Le codage :.....	81
2.6.2 Les algorithmes de réparation :.....	81
2.6.2.1 Les clients à visiter :.....	82
2.6.2.2 Calcul de la quantité à produire :.....	82
2.6.2.3 Calc_stock_client :.....	83
2.6.2.4 Calcul de la quantité à stocker :.....	83
2.6.2.5 Coût de pro_lan_stock :.....	84

2.6.2.6 Coût de transport :.....	85
2.6.2.7 Algorithme principal :.....	87
2.7 Mesure de performance de l’approche de résolution adaptée à l’expérimentation numérique :.....	90
2.8 Conclusion.....	92
<b>Chapitre 03 :L’entreprise TOP GLOVES</b> .....	93
3.1 Les mains : .....	95
3.2 Les type des gants : .....	96
3.3 Classification des gants :.....	96
3.3.1 Gant stérile dit « de chirurgie » : .....	96
3.3.2 Gant stérile dit « médical » :.....	98
3.3.3 Gant de soins non stérile :.....	99
3.3.4 Gant de soins en pvc non stérile :.....	99
3.3.5 Gant de radioprotection : .....	100
3.4 L’entreprise TOP GLOVES LATEX INDUSTRIE.....	102
3.4.1 Organisation de TOP GLOVES : .....	102
3.4.2 Produits de TOP GLOVES :.....	103
3.4.3 Ligne de production :.....	104
3.4.4 Procédé de fabrication Du gant médical.....	104
3.5 Problématique de TOP GLOVES : .....	117
3.5.1 Modèle mathématique de PRP : .....	117
3.5.2 Explication des résultats : .....	120
3.6 Conclusion : .....	126
<b>Chapitre 04 :_Investigation sur le réseau logistique de TOP GLOVES</b> .....	128
4.1 Introduction .....	130
4.2 Explication de la problématique.....	130
4.2.1 Cadre général sur la mutualisation : .....	130
4.3 Les clients de TOP GLOVES : .....	131
4.3.1 La Pharmacie Centrale des Hôpitaux ‘‘PCH’’ :.....	131
4.3.2 Ecotem : .....	132
4.4 Contribution 01 :.....	132
4.4.1 Problématique 01 :.....	132
4.4.2 Modèle mathématique de la 1ère problématique :.....	133
4.5 Contribution 02 : .....	137
4.5.1 Problématique 02.....	137

4.5.2 Modèle mathématique de la 2ème problématique :.....	137
4.6 Contribution 03 :.....	141
4.6.1 Problématique 03 :.....	141
4.6.2 Modèle mathématique de la 3ème problématique :.....	142
4.7 La demande client :.....	146
4.8 Explication des résultats : .....	148
4.8.1 Résultats de la 1ère problématique :.....	148
4.8.2 Résultat de la 2ème problématique :.....	149
4.8.3 Résultats de la 3ème problématique :.....	150
4.8.4 Résultats des coûts :.....	150
4.9 Conclusion :.....	151
Conclusion générale et perspectives.....	152
Références Bibliographiques.....	154
Annexe .....	1542

## Liste des figures :

---

<b>Figure 1.1</b> : Exemple d'une chaîne logistique avec les Flux logistiques .....	21
<b>Figure 1.2</b> : Pyramide de décision .....	24
<b>Figure 1.3</b> : présentation du Problème de lot-sizing.....	28
<b>Figure 1.4</b> : structure de problème lot sizing par [Glok 14] .....	33
<b>Figure 1.5</b> : présentation du Problème de lot sizing with direct shipment.....	35
<b>Figure 1.6</b> : présentation du Problème de tournée de véhicules .....	37
<b>Figure 1.7</b> : présentation du nventory Routing Problems.....	42
<b>Figure 2.8</b> : présentation de la production routing problems.....	47
<b>Figure 2.9</b> : Graphique hiérarchique des méthodes d'optimisation [Collette 04] .....	51
<b>Figure 2.10</b> : Algorithme général du Recuit Simulé .....	55
<b>Figure 2.11</b> : Algorithme général de la Recherche Tabou .....	56
<b>Figure 2.12</b> : Les Algorithmes Génétiques .....	57
<b>Figure 2.13</b> : Classification des algorithmes métaheuristiques (Tabassum et The Society of Digital Information and Wireless Communication 2014).....	58
<b>Figure 2.14</b> : Principaux aspects du problème tactique .....	61
<b>Figure 2.15</b> : l'algorithme pour Client à visiter .....	82
<b>Figure 2.16</b> : Algorithme pour le calcul de la quantité à produire .....	83
<b>Figure 2.17</b> : Algorithme pour calculer la quantité stockée chez les clients .....	83
<b>Figure 2.18</b> : Algorithme pour calculer la quantité stockée chez l'entreprise.....	84
<b>Figure 2.19</b> : Algorithme pour le calcul des couts (production, lancement et stock) .....	85
<b>Figure 2.20</b> : algorithme calcule le cout de transport.....	87
<b>Figure 2.21</b> : Algorithme principale de notre approche .....	89
<i>Figure 2.22</i> : schéma explicatif qui résume notre algorithme .....	90
<b>Figure 2.23</b> : comparaisons entre les résultats de python et Cplex.....	91
<b>Figure 3.24</b> : Représentation anatomique de la main (image adaptée de Wikimedia Commons) .....	95
<b>Figure 3.25</b> : Composition du latex .....	97
<b>Figure 3.26</b> : l'organigramme de TOP GLOVES .....	102
<b>Figure 3.27</b> : Les gants chirurgicaux en latex .....	103
<b>Figure 3.28</b> : Gant d'examen en latex .....	103
<b>Figure 3.29</b> : Gant d'examen en nitrile.....	103
<b>Figure 3.30</b> : Zone compounding (préparation matières premières) .....	106
<b>Figure 3.31</b> : Ligne de production avec latex pour les gants churigicale .....	106
<b>Figure 3.32</b> : Ligne de production avec nitrile pour les gants infirmier .....	107
<b>Figure 3.33</b> : la chambre de packaging automatique.....	113
<b>Figure 3.34</b> : la chambre de stérilisation .....	113
<b>Figure 3.35</b> : la chambre de conditionnements manuelle.....	115
<b>Figure 3.36</b> : la chambre pour le dateur .....	116
<b>Figure 3.37</b> : la charge des camions pour la distribution.....	116
<b>Figure 3.38</b> : Schéma générale pour le processus des gants.....	117
<b>Figure 3.39</b> : Représentation de notre 1ère problématique .....	117
<b>Figure 3.40</b> : schéma explicatif pour la 1ère problématique .....	132
<b>Figure 3.41</b> : Schéma explicatif pour la 2ème problématique .....	137
<b>Figure 4.42</b> : schéma explicatif pour la 2ème problématique .....	142
<b>Figure 4.43</b> : schéma représente la 1ère solution .....	148
<b>Figure 4.44</b> : schéma représente la 2ème solution .....	149
<b>Figure 4.45</b> : schéma représente la 3ème solution .....	150

## Liste des tableaux :

<b>Tableau 1.1</b> : les caractéristiques des trois périodes d'évolution du marché .....	18
<b>Tableau 1.2</b> : Etat de l'art de LSP.....	34
<b>Tableau 1.3</b> : Etat de l'art du LSP with direct shipment .....	36
<b>Tableau 1.4</b> : Etat de l'art du problème de tournée de véhicules .....	41
<b>Tableau 1.5</b> : Etat de l'art du IRP .....	43
<b>Tableau 2.6</b> : Etat de l'art de PRP .....	50
<b>Tableau 2.7</b> : Notations utilisées dans le modèle mathématique tactique multi périodique .....	62
<b>Tableau 2.8</b> : demande constante d'un seul type de produit.....	65
<b>Tableau 2.9</b> : le cout de production-lancement et d'utilisation du véhicule pour le 1 <sup>er</sup> scenario .....	65
<b>Tableau 2.10</b> : capacité et cout de stockage pour le 1 <sup>er</sup> scenario.....	65
<b>Tableau 2.11</b> : le cout de transport entre les nœuds pour le 1 <sup>er</sup> scenario.....	65
<b>Tableau 2.12</b> : capacité de production et véhicule.....	65
<b>Tableau 2.13</b> : La quantité produite pour chaque période (scénario 01) .....	66
<b>Tableau 2.14</b> : La quantité stockée dans chaque nœuds et pour chaque période (scénario01).....	66
<b>Tableau 2.15</b> : la quantité livrée pour chaque clients avec le routage utilisé .....	66
<b>Tableau 2.16</b> : la demande décroissant d'un seul type de produit .....	68
<b>Tableau 2.17</b> : cout de production et de lancement pour chaque période (scénario 02).....	68
<b>Tableau 2.18</b> : cout de stockage .....	68
<b>Tableau 2.19</b> : La quantité produite pour chaque période (scénario 02) .....	68
<b>Tableau 2.20</b> : la quantité stockée dans chaque nœuds (scénarios 02).....	68
<b>Tableau 2.21</b> : la quantité livré par le routage et véhicule spécifique .....	69
<b>Tableau 2.22</b> : la demande croissante pour chaque clients .....	70
<b>Tableau 2.23</b> : cout de production et cout de lancement pour chaque période.....	70
<b>Tableau 2.24</b> : la quantité produite pour le 3 <sup>ème</sup> scénario .....	70
<b>Tableau 2.25</b> : La quantité stockée dans chaque nœud .....	70
<b>Tableau 2.26</b> : la quantité livrée dans chaque routage avec une des véhicule.....	71
<b>Tableau 2.27</b> : la demande de chaque clients avec chaque type de produits dans chaque période.....	71
<b>Tableau 2.28</b> : le cout de production, le cout de lancement pour chaque type de produits et le cout par routage d'utilisation du véhicule.....	72
<b>Tableau 2.29</b> : cout et capacité de stockage pour les deux types de produit et dans chaque nœud .....	72
<b>Tableau 2.30</b> : capacité de véhicule et de production pour chaque type produit.....	72
<b>Tableau 2.31</b> : le cout de transport entre les nœuds .....	72
<b>Tableau 2.32</b> : La quantité produite pour les deux types de produits.....	72
<b>Tableau 2.33</b> : la quantité stockée dans chaque nœuds.....	73
<b>Tableau 2.34</b> : la quantité livrée pour le scénario 04 .....	74
<b>Tableau 2.35</b> : la demande décroissante de chaque client.....	75
<b>Tableau 2.36</b> : le cout de production de chaque type.....	75
<b>Tableau 2.37</b> : la quantité produite pour le scénario 05 .....	75
<b>Tableau 2.38</b> : la quantité stockée pour le scénario 05 .....	76
<b>Tableau 2.39</b> : la quantité livrée pour chaque routage et véhicule (le scénario 05) .....	77
<b>Tableau 2.40</b> : La demande croissante pour deux types de produit .....	78
<b>Tableau 2.41</b> : cout de production pour le scénario 06 .....	78
<b>Tableau 2.42</b> : La quantité produite pour les deux types .....	78
<b>Tableau 2.43</b> : la quantité stockée dans chaque nœuds.....	79
<b>Tableau 2.44</b> : la quantité livré pour chaque clients par routage.....	80
<b>Tableau 3.45</b> : les demandes de dépôt pour chaque type de produits.....	119

<b>Tableau 3.46</b> : le cout totale "production_stockages_transport" sous Cplex et RS .....	120
<b>Tableau 3.47</b> : les quantités livrées au dépôt .....	122
<b>Tableau 3.48</b> : Nombre de véhicule utilisés pour chaque routage périodiquement .....	123
<b>Tableau 3.49</b> : le choix de ligne et de cadence pour le lancement de production périodiquement .....	126
<b>Tableau 3.50</b> : comparaison entre Cplex et RS pour 121 périodes .....	126
<b>Tableau 4.51</b> : la demande réelle du client C1 pour les tous les types des gants .....	146
<b>Tableau 4.52</b> : la demande réelle du client C2 pour les tous les types des gants.....	146
<b>Tableau 4.53</b> : la demande réelle du client C3 pour les tous les types des gants .....	146
<b>Tableau 4.54</b> : la demande réelle du client C4 pour les tous les types des gants.....	147
<b>Tableau 4.55</b> : la demande réelle du client C5 pour les tous les types des gants .....	147
<b>Tableau 4.56</b> : la demande réelle du client C6 pour les tous les des gants types .....	147
<b>Tableau 4.57</b> : la demande réelle du client C7 pour les tous les types des gants.....	147
<b>Tableau 4.58</b> : la demande réelle du client C8 pour les tous les types des gants.....	147
<b>Tableau 4.59</b> : la demande réelle du client C9 pour les tous les types des gants .....	147
<b>Tableau 4.60</b> : la demande réelle du client C10 pour les tous les types des gants.....	148
<b>Tableau 4.61</b> : la demande réelle du client C11 pour les tous les types des gants .....	148
<b>Tableau 4.62</b> : la demande réelle des 11 clients pour les tous les types des gants seulement pour la 1ère période.....	148
<b>Tableau 4.63</b> : la comparaison les solutions des trois approches avec la solution de l'entreprise.....	150

## Liste des abréviations :

---

- AG :** Algorithme Génétique
- APS :** Advanced Planning and Scheduling.
- CLSP :** Problème de Lot-Sizing à Capacité finie (Capacitated Lot-Sizing Problem)
- ULSP :** Problème de Lot-Sizing à Capacité infinie (Uncapacitated Lot-Sizing Problem)
- MCLSP :** Problème de Lot-Sizing à Capacité finie et multi-produits (Multi-item Capacitated Lot-Sizing Problem)
- CCLS :** Problème de lot-sizing à capacité constante (Constant Capacity Lot-Sizing problem).
- CPU :** Temps de résolution (Computational time)
- CLSC :** Chaîne logistique en boucle fermée
- IRP :** Inventory Routing Problem
- GAP :** Pourcentage d'optimalité,  $GAP = (UB - LB)/UB$ .
- LB :** Borne inférieure (Lower Bound).
- MIP :** Programme linéaire mixte ou programmation linéaire mixte (Mixed Integer Program ou Mixed)
- PDP :** Programme Directeur de Production.
- PIC :** Plan Industriel et Commercial.
- PRP :** Production Routing Problem
- PCH :** Pharmacie Centrale des Hôpitaux
- RS :** Recuit Simulé
- UB :** Borne supérieure (Upper Bound).
- ULS :** Problème de lot-sizing sans contrainte de capacité (Uncapacitated Lot-Sizing problem).
- WW :** Wagner et Whitin
- F&R :** Fix-and-Relax
- RH :** Horizon glissant (Rolling Horizon)
- LSP :** Lot-Sizing Problem
- LSP-DS :** Lot-Sizing Problem with Direct Shipment
- NSGA-II :** Non-dominated Sorting-based Genetic Algorithm II
- MIP :** Programme linéaire mixte (Mixed Integer Programming)
- ZONLP :** Programme non linéaire en nombres binaires (Zero One Non Linear Programming)
- MINLP :** Programme non linéaire mixte (Mixed Integer Nonlinear Programming)
- TOU :** Time Of Use

---

## Introduction générale

---

Pour rester compétitive économiquement, une entreprise doit être capable de vendre et fournir durablement un ou plusieurs produits dans un environnement caractérisé par une forte concurrence et des conditions en perpétuel changement.

Aujourd'hui, cette compétitivité est envisagée au niveau de la chaîne d'approvisionnement donc cette forte concurrence et la globalisation des marchés dans les secteurs industriels divers obligent les entreprises industrielles et logistiques à adopter en permanence des méthodes et des stratégies de management globale, qui privilégient la recherche de décisions optimales pour l'ensemble de la chaîne logistique, plutôt que les intérêts individuels des différents acteurs et ceci pour améliorer leur performance et obtenir une meilleure rentabilité afin de satisfaire la demande du client en fournissant le produit approprié au bon moment et aux bons endroits avec une quantité suffisante pour des moindres dépenses sans abaisser la qualité du produit.

L'étude de la stratégie optimale d'une chaîne d'approvisionnement efficace nécessite un flux logistique fluide dans toutes les activités, de la matière première au produit fini avec livraison aux clients. Elle consiste à étudier les activités séquentielles de production, de stockage et de distribution, chaque processus individuel est souvent planifié et optimisé en utilisant des décisions prédéterminées par rapport aux activités précédentes.

Même si l'on sait que cette étude permet de nous donner des économies importantes, Les approches découplées sont très efficaces notamment pour des systèmes simples ou lorsque les trois activités ont des coûts de différents ordres de grandeur.

Une tendance récente dans la recherche opérationnelle est d'intégrer et de coordonner divers problèmes de planification afin d'obtenir de meilleurs résultats :

1. Le problème le plus fréquent se trouve dans la phase de "distribution" c'est la tournée de véhicules.
2. Le Lot sizing relatif à la production et stockage, est un problème qui consiste à satisfaire une demande sur un horizon de temps de manière à minimiser les coûts de ses deux activités et de déterminer le nombre d'unités à produire et à stocker à chaque période.
3. Additivement à l'aspect de distribution au lot sizing on trouve le lot sizing with direct shippement c'est-à-dire les produits sont directement transportés de l'usine de fabrication aux clients, donc le routage n'existe pas il s'agit dans ce cas d'une affectation.
4. Finalement on doit déterminer des tournées et des quantités à livrer avec un coût minimum de gestion de stock et de transport ce qui est connu sous le nom de Inventory Routing Problem qui rassemble les deux activités stockage et distribution.

La décision d'intégration de production, stockage et de distribution avec routage pose un problème épineux aux fabricants en essayant d'optimiser leur chaîne d'approvisionnement, au niveau de la planification, elle constitue l'une des activités les plus importantes dans le management de tout système à manufacturier, et globalement dans le management de la chaîne logistique. La réussite d'une activité économique dépend grandement d'une gestion efficace de la production et de la distribution qui permet de satisfaire pleinement les besoins du marché tout en minimisant les coûts de gestion.

L'objectif de notre projet est de coordonner les services de la production, du stockage et de la livraison dans le même modèle pour répondre à la demande des clients afin de minimiser les coûts correspondants ; ce problème de planification intégrée qui optimise conjointement la production, la gestion des stocks et les décisions de transport est appelé Production Routing Problem (PRP) qui est extrêmement complexe car il intègre deux problèmes d'optimisation classiques, le Lot Sizing Problem (LSP) et le Vehicle Routing Problem (VRP). Notons que ces dernières années, de nombreuses entreprises, telles que Kellogg [21] et Frito Lay [25], ont mis en place des systèmes de planification intégrés et ils ont réalisé des économies remarquables.

Notre étude s'inscrit dans un cadre industriel, motivée par un producteur des produits pharmaceutiques (Top Gloves Latex Industries) dont la chaîne d'approvisionnement comprend un seul centre de fabrication avec plusieurs lignes de production. L'usine Top Gloves possède un espace de stockage très important et une flotte de véhicules qui est utilisée pour livrer différents produits aux magasins des clients répartis à travers tout le pays, de plus le réseau de cette entreprise continue de s'élargir et à conquérir le marché nationale d'où la nécessité d'effectuer une étude sur cette entreprise afin de proposer un plan de production et distribution optimale qui prend en considération les différentes fonctions critiques de cette entreprise afin d'améliorer les performances de son réseau logistique dans sa globalité

Ce mémoire comporte 4 chapitres organisés de la manière suivante :

Dans le Chapitre 1, nous présentons les principes et les pratiques du management de la chaîne logistique, en mettant l'accent sur LSP, LSP with direct shipment, VRP, IRP. Le but est de décrire le contexte autour du problème qui intègre les services de : production, stockage et distribution.

L'intégration de ces trois activités fait l'objet d'étude du chapitre 2, où nous présentons un état de l'art sur les travaux qui s'intéressent à la cohérence des décisions. Nous mettons en évidence la difficulté associée à la mise en place des approches de résolution et présentons les problèmes couramment étudiés et les techniques d'optimisation les plus utilisées dans ce domaine. Un intérêt particulier est consacré premièrement à la modélisation mathématique du modèle de base pour notre approche PRP avec des scénarios pour tester la faisabilité d'approche. En revanche, la deuxième correspond à l'application du recuit simulé tout en la testant et en le comparant avec les résultats obtenus de l'approche exacte.

Le chapitre 3 est consacré spécialement à notre cas d'étude TOP GLOVES LATEX Industrie dont lequel nous allons décrire dans un premier temps l'entreprise, les différentes

types de produits,.... et dans un second temps nous allons résoudre le problème rencontré par les managers de cette entreprise à travers une modélisation mathématique et une métaheuristique.

Le chapitre 4 vise à présenter les différentes extensions envisagées par l'entreprise TOP GLOVES LATEX industrie à savoir l'aspect temporel ainsi que le principe de mutualisation sous différentes formes de PRP, représentés en trois principales contributions. Tout ceci va être conclut par de nombreux scénarios et de simulations afin d'analyser le comportement de notre système pour chaque extension envisagée.

Nous terminons ce manuscrit par une conclusion générale et des perspectives pour des travaux futurs.



**Chapitre 1 :**  
**Généralité sur les approches découplées et couplées**

---

Ce chapitre offre une vue globale sur la chaîne logistique. Une description plus détaillée sur les principales caractéristiques de la gestion de la chaîne logistique pour les deux approches découplées et couplées. En suite propose une explication avec un état de l'art sur les problèmes de la planification intégré. Parmi ces problèmes, nous mettons l'accent sur les problèmes intégrant des contraintes de production et stockage « lot sizing » plus la distribution « lot sizing with direct shippment », les problèmes intégrant seulement des contraintes de routage « VRP » plus le stockage « IRP »

**Sommaire :**

---

1.1.1 Historique - Évolution du marché :.....	18
1.1.2 Qu'est-ce qu'une chaîne logistique ? .....	19
1.1.3 Flux d'une chaîne logistique : .....	20
1.1.4 Classifications des entités de la chaîne logistique : .....	21
1.1.5 Structures possibles des chaînes logistiques : .....	22
1.1.6 Niveaux de décisions en la planification de la chaîne logistique : .....	23
1.1.7 Introduction à la gestion d'une chaîne logistique :.....	24
1.1.7.1 Approches découplées de la gestion de la chaîne logistique : .....	25
1.1.7.2 Approches couplées de la gestion de la chaîne logistique : .....	25
a- Production – Stockage : .....	26
b- Production – Transport :.....	26
c- Transport – Stockage : .....	26
1.2 Problème du lot sizing (Production – Stockage) :.....	27
1.2.1 Présentation du lot-sizing problem (LSP) :.....	27
1.2.2 Modèle mathématique du LSP : .....	28
1.2.3 Classification des critères du lot sizing :.....	29
1.2.3.1 Modélisation des produits : .....	29
1.2.3.2 Modélisation du temps .....	31
1.2.3.3 Modélisation des ressources :.....	32
1.2.4 Classification du problème de lot sizing : .....	32
1.2.5 Etat de l'art de LSP : .....	33
1.3 Problème de lot sizing with Direct shippment : (Production – Stockage - distribution) .....	34
1.3.1 Présentation de LSP with direct shippment :.....	34
1.3.2 Etat de l'art du LSP with direct shippment : .....	35
1.4 Problème de tournée de véhicules.....	36
1.4.1 Présentation du VRP : .....	36
1.4.2 Présentation du TSP :.....	37
1.4.3 Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP) : .....	38
1.4.4 Diverses variantes des problèmes de tournées : .....	39
1.4.5 Etat de l'art du problème de tournée de véhicules.....	40
1.5 Inventory Routing Problems (stockage - distribution).....	41

1.5.1 Présentation de l'IRP : ..... 41  
 1.5.2 Etat de l'art de l'IRP : ..... 42  
 1.6 Conclusion : ..... 43

**1.1 Chaîne logistique :**

Avant de définir la chaîne logistique et donc d'identifier ses composantes, nous donnons tout d'abord un historique des différentes étapes d'évolution du marché logistique qui ont conduit à l'émergence du concept même de la chaîne logistique.

**1.1.1 Historique - Évolution du marché :**

Plusieurs schémas ont été développés pour expliquer l'évolution du marché et ses répercussions sur les politiques de gestion des entreprises. AKBARI Jokaar [Akbari 02] distingue trois périodes importantes qui sont à l'origine même des différentes philosophies adoptées par les gestionnaires d'entreprises. Nous reprenons dans le tableau 1.1 les caractéristiques des trois périodes d'évolution du marché.

	<b>Avant 1975</b>	<b>1975 - 1990</b>	<b>Années 90</b>
<b>Offre / demande</b>	Demande > Offre	Demande = offre	Demande < Offre
<b>La demande</b>	Détermine	prévisible avec erreur acceptable	Incertaine
<b>Priorité du producteur</b>	Quantité	Qualité	vitesse de réponse
<b>Cycle de vie du produit</b>	Long	Moyen	Court
<b>Choix du client</b>	Limité	Diversité	Personnalisé
<b>Marché</b>	National	Continental	Mondial
<b>Client / fournisseur</b>	le producteur est roi	le client est roi	Coopération entre les deux
<b>Objectifs</b>	Production de masse Zéro temps d'inoccupation	Zéro défaut, Zéro stock	zéro temps de réponse, optimiser la chaîne logistique

**Tableau 1.1** : les caractéristiques des trois périodes d'évolution du marché

**Avant 1975** : La première période, appelée période de « logistique séparée », s'étend jusqu'au milieu des années 70. Cette période est principalement caractérisée par le fait que la demande était supérieure à l'offre. La production était la préoccupation majeure des entreprises qui n'avaient pas de motif pour raccourcir les délais de livraison ou aller au-devant des nouveaux besoins. Les clients avaient donc peu d'influence sur les producteurs. Afin d'augmenter leur profil, le responsable de chaque sous-partie de la chaîne essayait de diminuer les coûts de son service sans se soucier des répercussions de ses décisions sur les autres services. Le terme "logistique séparée", donné à cette période, est justifié par le fait qu'on avait

une suite d'optimisations locales et non une optimisation globale des différentes activités de l'entreprise.

**1975 - 1990** : La deuxième période, allant de 1975 à 1990, est une période où l'on parle déjà d'intégration d'activités. La multiplication des entreprises pour un même segment de marché, accroît l'offre et donc la concurrence entre elles. Le client devient "roi" et toutes les entreprises tentent alors d'améliorer la qualité des produits pour augmenter ses niveaux de satisfaction, tout en gardant des coûts compétitifs. Pour cela, tous les services collaborent et échangent des techniques entre eux. On parle alors d'optimisation globale dans le cadre d'une même entreprise et non d'une suite d'optimisations locales.

**A partir des années 90**, la capacité de production (l'offre potentielle dépasse de loin la demande, d'où une compétition encore plus forte que durant la période précédente. Les clients deviennent plus exigeants et adoptent des comportements de consommation difficiles à prévoir. Ainsi, les entreprises doivent viser plusieurs objectifs simultanément si elles désirent rester sur le marché :

1. De nouveaux marchés doivent être trouvés
2. La qualité des produits doit sans cesse être améliorée
3. Des coûts encore plus faibles
4. Des temps de réponse et des délais très faibles

Ces quatre objectifs illustrent à quel point la coopération est devenue vitale pour les entreprises afin de conserver ou gagner des parts de marché. En effet, pour résister à une concurrence de plus en plus accrue en termes de "délais", de "prix" et de "qualité", les entreprises ont eu tendance à se recentrer sur leurs activités principales tout en sous-traitant les autres tâches avec des partenaires.

Des groupements d'entreprises ont ainsi émergé, à l'intérieur desquels les frontières de l'entreprise sont de moins en moins précises. Elle intègre ses clients, ses fournisseurs et ses partenaires dans sa structure, qui s'étend ou se rétracte au rythme des alliances qu'elle passe ou des projets qu'elle porte [Couture 99].

Cet ensemble d'entreprises organisées en réseaux est communément appelé chaîne logistique. Aujourd'hui, la concurrence ne réside plus entre les producteurs mais elle concerne plutôt des chaînes logistiques entières [Lee 95].

### **1.1.2 Qu'est ce qu'une chaîne logistique ?**

Les problématiques de la chaîne logistique ont bien évolué lors des 20 dernières années [Daniel 09], menant à une multiplication de ses définitions [Ment-zer 01]. Parmi elles Une chaîne logistique peut être définie comme un ensemble d'acteurs dont le but est de transformer des matières premières en produits finis pour les vendre à des clients externes.

Ainsi, une chaîne logistique peut être vue comme un réseau logistique composé de fournisseurs, de producteurs, d'entrepôts de stockage, de distributeurs et de clients dont le but est de satisfaire la demande des clients/consommateurs [Simchi 08] (voir figure 1.1).

Par exemple, dans une chaîne logistique classique, les produits finis sont fabriqués à partir de matières premières provenant d'un ou plusieurs fournisseurs. Ces matières premières sont ensuite envoyées puis transformées en produits finis dans des usines de production où des produits intermédiaires peuvent avoir été fabriqués. Les produits finis sont alors stockés temporairement dans des entrepôts avant d'être livrés à des centres de distribution ou directement aux clients. Le processus de fabrication d'un produit fini fait alors intervenir plusieurs activités au sein d'une chaîne logistique comme le stockage ou la fabrication de produits intermédiaires

De plus, [Féniès 06] le définit comme «un ensemble ouvert traversé de flux, composé d'entités et divers acteurs autonomes utilisant des ressources limitées (capital, temps, équipement, matières premières ...) et qui coordonnent leurs actions à travers un processus logistique intégré afin d'améliorer leur performance collective (satisfaction du client final, optimisation globale de la supply chain fonctionnement) ainsi que leur performance individuelle (maximisation du profit d'une entité). Cette définition montre qu'une chaîne d'approvisionnement peut être décrite avec les trois ensembles différents :

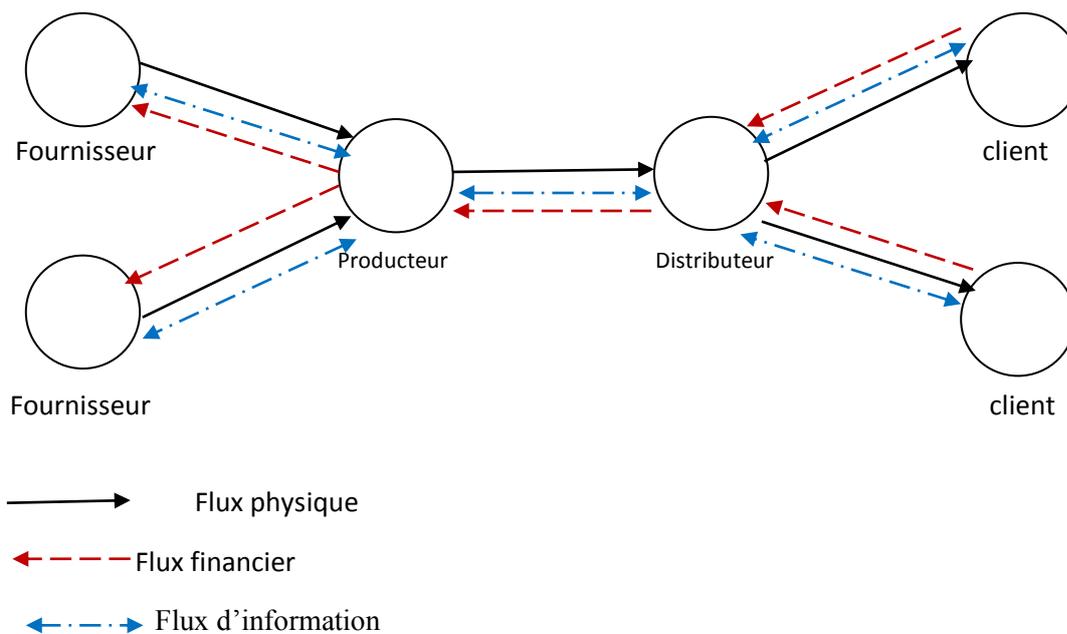
- ✓ un réseau composé d'entités physiques (usines, ateliers, entrepôts, distributeurs, les détaillants, etc.) et les organisations autonomes (entreprises, filiales, ...)
- ✓ un ensemble d'activités regroupées dans un processus logistique intégré, dont l'aménagement constitue une chaîne de valeur intra et inter-organisationnelle.
- ✓ un ensemble ouvert traversé de flux.

Les entreprises appartenant à une même chaîne logistique sont reliées entre elles par plusieurs flux qui les traversent.

### **1.1.3 Flux d'une chaîne logistique :**

La chaîne logistique peut donc être vue comme un ensemble d'acteurs qui interagissent entre eux par le moyen de différents flux. Un flux correspond ainsi à une entité qui circule entre les acteurs. Nous pouvons ainsi distinguer logistique : le flux d'information, le flux financier et le flux physique (figure 1.1)

- ✓ Les flux physiques : ces flux regroupent tous les produits physiques qui traversent la chaîne logistique, en particulier les flux de matières premières et de produits finis. La circulation de ces flux est essentiellement d'amont en aval.
- ✓ Les flux financiers : il s'agit des flux monétaires associés aux flux physiques. Ces flux traversent la chaîne essentiellement d'aval en amont.
- ✓ Les flux d'information : il s'agit des échanges d'information entre les acteurs de la chaîne. L'information peut concerner l'état du système, le niveau des stocks, ou la demande du client. Ces flux peuvent s'effectuer dans les deux sens



**Figure 1.1:** Exemple d'une chaîne logistique avec les Flux logistiques.

#### 1.1.4 Classifications des entités de la chaîne logistique :

Les entités d'une même chaîne logistique peuvent être classifiées selon trois critères : physique, organisationnel et fonctionnel.

Pour la classification physique, trois types d'entités physiques sont présentes dans une chaîne logistique :

- ✓ Les sites : Ils peuvent être des sites de production ou de stockage.
- ✓ Les marchandises : qui peuvent être de la matière première, des produits finis ou des produits semi-finis qui s'échangent entre les sites par des moyens de transports.
- ✓ Les moyens de transport : ils comportent les différents types de transporteurs (camions, véhicules, ...) qui assurent la circulation des marchandises entre les différents sites de la chaîne logistique.

Pour la classification fonctionnelle, les entités d'une même chaîne logistique peuvent être identifiées selon la fonction qu'elles assurent au sein de la chaîne. Les activités majeures au sein d'une chaîne logistique sont : "le transport", "le stockage" et "la production".

La classification organisationnelle est généralement utilisée si la chaîne logistique est définie par rapport à une entreprise donnée. Elle consiste à identifier chaque acteur de la chaîne selon sa relation avec cette entreprise. Trois maillons essentiels sont alors distingués :

- ✓ **Achat et approvisionnement** : Ce maillon consiste à alimenter un système d'exploitation, tel qu'une ligne de fabrication ou un entrepôt par exemple, par

de la matière première. C'est donc l'ensemble des entités qui viennent en amont de l'entreprise

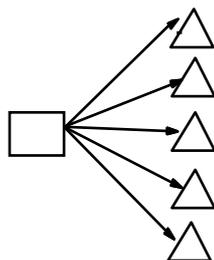
- ✓ **Production** : Ce maillon est l'étape qui consiste en la fabrication de produit fini, à travers la transformation de la matière première issue de l'approvisionnement. Cette transformation peut être faite en une ou plusieurs opérations, et chaque opération implique la création de valeur ajoutée. Les produits finis doivent satisfaire les besoins des clients, à savoir : fonctionnalité, qualité et délais d'obtention. Les décisions à prendre dans cette étape sont : combien, quand et comment produire. Ces décisions ont pour but de satisfaire pleinement la demande client au moindre coût.
- ✓ **Distribution** : C'est l'ensemble des entités situées en aval de l'entreprise. L'activité permettant de mettre à disposition des consommateurs les produits élaborés par les fabricants. Elle est le lien entre les producteurs et les détaillants. Un distributeur doit récupérer, transporter, stocker et répartir, les produits fournis par les fabricants. À la fin, les produits doivent être à disposition des détaillants, en respectant les délais de livraison. L'objectif est de livrer tous les détaillants dans les délais, au moindre coût possible, en utilisant au mieux des ressources (véhicules) limitées. Le problème de distribution implique en particulier l'affectation des produits aux véhicules et la sélection des tournées, avec l'objectif de minimiser le nombre de véhicules et/ou de minimiser la distance parcourue.

La notion de chaîne logistique implique que les entreprises prennent en considération leur environnement à travers les trois flux mis en évidence. Cet environnement peut se déformer en fonction des objectifs et des alliances que les acteurs établissent entre eux. Ainsi, selon ces alliances, plusieurs structures de chaîne logistique peuvent être identifiées

### 1.1.5 Structures possibles des chaînes logistiques :

La structure d'une chaîne logistique dépend évidemment de sa nature et des objectifs souhaités lors de sa conception. Plusieurs architectures ont ainsi été développées. Du point de vue flux physique, elles peuvent être classifiées comme suit :

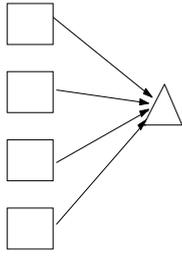
Structure Divergente



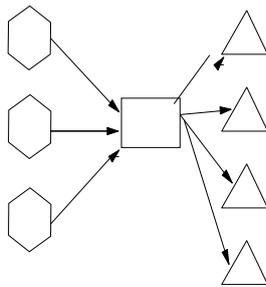
Une chaîne est dite divergente si un fournisseur alimente plusieurs clients ou un réseau de magasins

Structure convergente

Une chaîne est dite convergente si un client est alimenté par plusieurs fournisseurs de différents réseaux de distribution. Cette structure est également présente dans les réseaux d'assemblage.



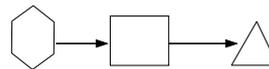
### Structure Réseau



C'est la combinaison des deux précédentes structures. Elle peut être assimilée au réseau informatique (centralisation et distribution).

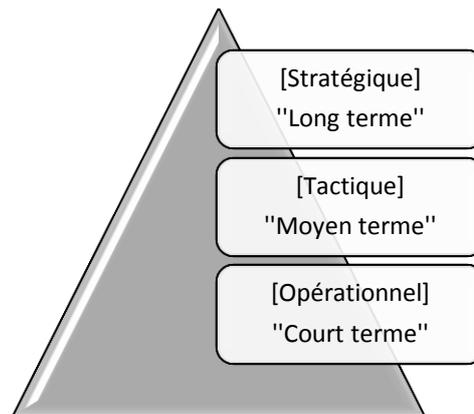
### Structure Séquentielle

(Ou linéaire) chaque entité de la chaîne alimente une seule autre entité en aval.



#### 1.1.6 Niveaux de décisions en la planification de la chaîne logistique :

Le processus de fabrication des produits finis par les acteurs d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions. Il existe trois niveaux de décision (stratégique, tactique et opérationnelle) au sein d'une chaîne logistique. Ils dépendent de l'horizon de temps pour lequel les décisions sont prises et du niveau d'agrégation au sein de la chaîne logistique [Giard 03] [Simchi 08]. Les différents niveaux de décision sont traités de manière séquentielle et hiérarchique ce qui entraîne des prises de décision indépendantes les unes des autres. Cependant, chaque niveau de décision a un impact sur les autres. Par exemple, les décisions possibles au niveau tactique ou opérationnel dépendent fortement de celles prises au niveau stratégique



**Figure 1.2** : Pyramide de décision

Les définitions suivantes sont tirées du livre de [Giard 03]

” Les décisions stratégiques se traduisent par la formulation de la politique à long terme de l’entreprise (vision à plus de deux ans, en général). Les ressources stables visées sont aussi bien les machines que les hommes, les informations détenues dans des systèmes d’information caractérisés par leur degré d’intégration et de latence et les encours de matières, composants et produits semi-finis

Les décisions tactiques correspondent à un ensemble de décisions à moyen terme. Parmi les décisions tactiques concernant la gestion de la production, on trouve : la planification de la production, qui est une programmation prévisionnelle de la production, agrégée par famille de produits, pour un ensemble de périodes dont l’amplitude varie entre la semaine et le mois [...].

Les décisions opérationnelles assurent la flexibilité quotidienne nécessaire pour faire face aux fluctuations prévues de la demande et des disponibilités de ressources [...], sur un horizon ne dépassant pas quelques dizaines d’heures, dans le cadre d’un découpage temporel généralement de l’ordre de la minute. ”

### **1.1.7 Introduction à la gestion d’une chaîne logistique :**

La gestion d’une chaîne logistique ou Supply Chain Management a été introduite dans les années 80 et a pris de l’ampleur dans les années 90. La gestion d’une chaîne logistique s’est développée suite à l’émergence des chaînes logistiques composées de plusieurs acteurs indépendants. Auparavant, les entreprises étaient des entités gérées de manière indépendante dont les problématiques étaient centrées sur la gestion de l’approvisionnement, de la production, du stock et de la distribution. Aujourd’hui, la gestion d’une chaîne logistique intègre d’autres problématiques liées au marketing, au service du client et à la finance, en plus de la gestion des activités initiales présentes dans une chaîne logistique.

### **1.1.7.1 Approches découplées de la gestion de la chaîne logistique :**

Si on s'intéresse aux sous-problèmes de production, de stockage et de transport séparément, la littérature est très riche en modèles et méthodes d'optimisation. Plusieurs auteurs tels que [Dupont 98], [Giard 03] et [Vallin 03] donnent un état de l'art assez complet sur ces modèles et méthodes

Les approches découplées sont très efficaces notamment pour des systèmes simples ou lorsque les trois activités ont des couts de différents ordres de grandeur. En effet, si le cout de production, par exemple, est prépondérant et constitue un grand pourcentage du cout total, compare à celui de la distribution et de stockage, la solution retenue lors de l'optimisation de la production peut se rapprocher de la solution d'une optimisation globale de la chaîne

Cependant, les approches découplées s'avèrent très vite décevantes lorsque les couts de production, de transport et de stockage sont du même ordre de grandeur. Ces activistes doivent être alors considérées simultanément dans le même modèle

### **1.1.7.2 Approches couplées de la gestion de la chaîne logistique :**

D'une manière générale, la gestion d'une chaîne logistique considère la chaîne comme étant une seule entité au lieu de considérer chaque acteur indépendamment les uns des autres.

Les objectifs sont alors d'améliorer les interactions entre les acteurs et de proposer une meilleure gestion des activités et des différents flux d'une chaîne logistique.

Comme indiqué dans la section précédente, une chaîne logistique à plusieurs niveaux est composée d'acteurs indépendants dont le but commun est de satisfaire les besoins des clients externes. De plus, chaque acteur possède également ses propres informations et contraintes ainsi que des objectifs financiers. Cependant, les activités au sein d'une chaîne logistique sont dépendantes les unes des autres. La performance d'un acteur de la chaîne logistique (par exemple la possibilité de répondre aux besoins des acteurs en amont, les coûts opérationnels) aura donc un impact sur l'ensemble de la chaîne logistique. En particulier, l'optimisation locale des activités de chaque acteur conduit à une performance non nécessairement optimale pour le système global. Cependant, il peut être intéressant de définir des mécanismes de coordination entre les travaux [Spengler 50], [Tirole 88] et [Tsay 99].

Dans une chaîne logistique, un mécanisme de coordination correspond à une stratégie permettant de coordonner les décisions des acteurs de la chaîne logistique afin d'améliorer la performance du système global. Dans le contexte où les acteurs sont des entités indépendantes, il faut également mettre en place un mécanisme d'incitation afin de partager les bénéfices de la coordination entre les acteurs pour les persuader de collaborer.

La coordination peut se faire de manière centralisée ou décentralisée [Arshinder 08] et [Li 07].

Dans une chaîne logistique centralisée, les décisions sont prises de manière globale avec pour objectif de minimiser le coût global de la chaîne logistique. Pour se faire, il est

possible de faire appel par exemple à un tiers qui pilotera l'ensemble de la chaîne logistique en ayant connaissance de toutes les informations de chaque acteur. Malheureusement, il est difficile de se placer dans ce cadre avec des acteurs individuels et les gains obtenus ne sont pas toujours répartis de manière équitable [Li 07].

Dans une chaîne logistique décentralisée, les décisions sont prises localement avec la possibilité d'inciter les acteurs à dévier de leurs décisions optimales cherche à utiliser les informations disponibles chez un acteur ainsi que des méthodes d'incitation pour faire en sorte que les acteurs prennent des décisions pour le bien du système global. La collaboration entre les acteurs est alors possible et se définit comme des prises de décisions dans le but d'atteindre des objectifs communs et d'avoir une meilleure performance par rapport au cas où les acteurs agissent individuellement

Les approches couplées d'optimisation consistent à considérer deux activités ou plus en même temps afin de minimiser le coût global engendré par ces activités.

#### **a- Production – Stockage :**

Il est difficile d'envisager une gestion efficace de la production sans tenir compte des niveaux de stocks en cours, les stocks à considérer sont les stocks de matières premières et les stocks de produits finis.

#### **b- Production – Transport :**

Afin de réduire leurs coûts de production, les grandes firmes ont été amenées à délocaliser leurs centres de productions dans des pays où la main d'oeuvre est beaucoup moins chère. Cependant, cette politique de délocalisation a engendré des coûts de transport qui s'avèrent extrêmement onéreux. L'intégration simultanée des activités de production et de transport a été alors prise de plus en plus sérieusement et plusieurs chercheurs se sont penchés sur cette problématique.

La plupart des travaux rencontrés dans la littérature interviennent sur deux niveaux décisionnels différents : à un niveau stratégique pour le transport (localisation des clients, ouverture / fermeture des dépôts,...etc.) et à un niveau opérationnel pour la production (quand, quelle quantité, ...etc.).

#### **c- Transport – Stockage :**

La délocalisation des centres de production a engendré également, en plus des coûts de transport, des coûts de stockage supplémentaires dus à l'utilisation des plates-formes logistiques intermédiaires. Ces coûts supplémentaires ont poussé les gestionnaires des chaînes logistiques à une prise en considération plus détaillée des réseaux de distribution. Dans une telle approche, les coûts engendrés par la production sont considérés négligeables

Après la présentation de l'aspect couplée de ces activités, nous développons les approches les plus connues dans la littérature afin d'obtenir des solutions de bonne qualité avec un coût global plus réduit. Donc un grand intérêt sera accordé aux quatre problèmes :

- ✓ Le problème de dimensionnement des lots (lot-sizing que l'on rencontre lors de la planification de la production et stock).
- ✓ Le problème de dimensionnement des lots avec l'affectation des camions (lot-sizing with direct shippement que l'on rencontre lors de la planification de la production et stock et distribution direct).
- ✓ Le problème de tourné du véhicule (vehicule routing probleme que l'on rencontre lors de la planification de la distribution)
- ✓ Le problème de gestion du stock et planification de distribution (inventory routing probleme que l'on rencontre lors de la planification et gestion du stock et la distribution)

## **1.2 Problème du lot sizing (Production – Stockage) :**

### **1.2.1 Présentation du lot-sizing problem (LSP) :**

Le problème de lot-sizing a été introduit par [Wagner 58] dans les années 50 (Wagner et Whitin, 1958). Il consiste à satisfaire une demande sur un horizon de temps discret de manière à minimiser les coûts de production et de stockage. Afin de satisfaire cette demande, il s'agit donc de déterminer le nombre d'unités à produire à chaque période. Ce problème est appelé lot-sizing dynamique, contrairement au problème sur un seul horizon de temps de discret. Le problème original de Lot-Sizing a dérivé plusieurs variantes, il plus en plus complexes à cause de diverses contraintes qui sont venues les enrichir. Ces contraintes visent à rendre le modèle plus réaliste et par conséquent cela limite l'espace des solutions originelles.

Nous présentons dans ce qui suit un certain nombre de questions et en fonction de la réponse donnée le plan de planification est élaboré.

- Produisons nous plusieurs types de produits ou un seul ?
- L'approvisionnement se fait par un ou plusieurs fournisseurs ?
- Existe-t-il une ou plusieurs zones de productions / stockage ?
- La capacité de stockage est limitée ou non ?
- Le coût du stockage est le même pour toutes les quantités du même produit ?
- La commercialisation se fait elle directement après la production sans passer par le stockage ?

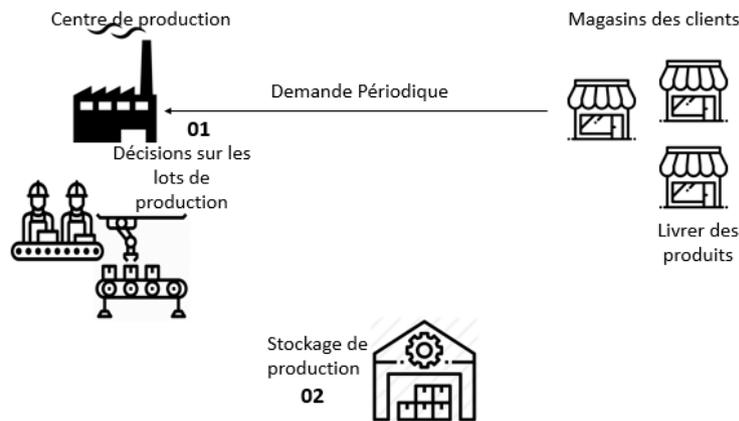


Figure 1.3 : présentation du Problème de lot-sizing

### 1.2.2 Modèle mathématique du LSP :

#### Les notations

##### Les indices :

$j, i$ : indices des noeuds

$t$ : indice de périodes

##### Les paramètres :

$T$ : nombre de périodes

$N$ : nombre de noeud

$C$ : nombre de client

$DEm_{i,t}$ : Demande du produit dans la période.

$CSt_{i,t}$ : Coût de stockage dans la période  $t$ .

$CLn_t$ : Coût de lancement de production pour la période  $t$

$CPr_t$ : Coût de production dans la période  $t$ .

$I0$ : Niveau de stock.

##### Variables de décision :

$QPr_t$ : Quantité produite à la période  $t$ .

$QSt_{i,t}$ : Quantité Stocké chez le noeud  $i$  à la période  $t$ .

$R_t$ : Variable binaire, égale à 1 s'il y a de la production dans la période  $t$ , 0 sinon

#### a. La fonction objectif :

La fonction objectif est :

$$\text{Min} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (CLn_t \cdot CPr_t) R_t + CSt_{i,t} \cdot QSt_{i,t}$$

**a. Les contraintes :**

$$QSt_{i,t} = QSt_{i,t-1} + QPr_t - DE m_{i,t} \quad \forall i \in C, \forall t \in T - \{1\} \quad (1.1)$$

$$QPr_t \leq R_t * \sum_{i \in C} \sum_{\substack{t' \in T \\ t'=t}} DE m_{i,t'} \quad \forall t \in T \quad (1.2)$$

$$I0 = 0 \quad (1.3)$$

$$QPr_t, R_t \geq 0 \quad (1.4)$$

La contrainte 1.1 représente le stock à la période t qui égale le stock à la période t-1 plus la quantité à produire moins la demande. La contrainte 1.2 représente le calcul de la quantité produite qui est inférieure ou égale au majorant de la quantité demandée, pour lancer la production. La contrainte 1.3 éclare que le stock initial est vide. La nature des variables qui doivent être positives où nulles sont présentées dans la contrainte 1.4

**1.2.3 Classification des critères du lot sizing :**

Pour faciliter la compréhension du problème, nous présentons quelques définitions et caractéristiques. [Fatemi 03], [Suerie 05] et [Nascimento 09] présentent des synthèses avec les concepts de base du LSP.

Nous avons choisi ici une subdivision en quatre groupes de caractéristiques : trois basées sur celle proposée par [Suerie 05], qui sont les « ressources », les « produits », le « temps », et nous avons ajouté une quatrième les « objectifs ».

**1.2.3.1 Modélisation des produits :**

Nous présentons ensuite des attributs correspondants au processus de fabrication des produits.

**a. Nombre de produits :**

Le nombre d'éléments finaux dans un système de production est une autre caractéristique importante qui affecte la modélisation et la complexité des problèmes de planification de la production. Il existe deux principaux types de système de production en termes de nombre de produits. Dans la planification de la production à article unique, il n'y a qu'un seul produit final (produit final) pour lequel l'activité de planification doit être organisée, tandis que dans la planification de la production à plusieurs articles, il existe plusieurs produits finis. La complexité des problèmes à plusieurs éléments est beaucoup plus élevée que celle des problèmes à un élément.

**b. Nombre de niveaux :**

Les systèmes de production peuvent être à un ou plusieurs niveaux :

Dans les systèmes à "un niveau", le produit fini est généralement simple, les matières premières, après traitement en une seule opération, telle que forgeage ou moulage, sont transformées en produit fini. En d'autres termes, le produit final est directement fabriqué à partir de matières premières ou de matériaux achetés sans sous-ensembles intermédiaires. Les demandes de produits sont évaluées directement à partir des commandes des clients ou des prévisions du marché, ce type de demande est appelé demande indépendante.

Dans les systèmes à "plusieurs niveaux", les matières premières après traitement par plusieurs opérations se transforment en produits finis. La sortie d'une opération (niveau) est entrée pour une autre opération. Par conséquent, la demande à un niveau dépend de la demande de son niveau de parents. Ce type de demande est nommé demande dépendante.

Les problèmes à plusieurs niveaux sont plus difficiles à résoudre que les problèmes à un seul niveau. Les systèmes à plusieurs niveaux se distinguent en outre par le type de structure de produit, qui comprend les systèmes en série, d'assemblage, de désassemblage et généraux ou MRP

### **c. Demande**

Le type de demande est considéré comme une entrée dans le modèle du problème. On trouve 3 groupes de demandes :

#### **Groupe 1 :**

- Demande constante : les demandes ne changent pas sur l'horizon
- Demande dynamique : les valeurs varient au cours du temps

#### **Groupe 2 :**

- Demande certaines : les valeurs sont connues à l'avance
- Demande stochastique : basé sur les probabilités

#### **Groupe 3 :**

- Demande indépendante : pas besoin d'autres produits
- Demande dépendante : un produit dépend d'autres produits.

### **d. Temps de traitement (lead time) :**

La quantité de temps requis pour réaliser une tâche (de production de lot, par exemple) et est défini comme endogène ou exogène. C'est-à-dire qu'il dépend de facteurs internes ou externes à la production. En ce qui concerne le premier type, il est inclus dans le processus de production (conséquence de la modélisation), alors que le deuxième est donné par les circonstances extérieures au processus de production, comme par exemple le temps de livraison d'un composant sur un site lors d'une fabrication de type multi-niveaux avec la structure d'assemblage

### **e. Processus d'approvisionnement :**

C'est la supposition qu'à chaque période de temps un produit devient disponible pour une nouvelle étape après avoir été traité dans une étape précédente. Nous considérons que chaque produit simple sera soit disponible tout de suite pour une prochaine étape de traitement, soit seulement si la totalité du lot est terminée.

#### **f. Politiques de service :**

Elles concernent le respect d'une demande qui est connue à priori. Il y a des modèles où une demande peut être perdue (perte de ventes - lost sales) ou retardée (backlogging), et d'autres où il y a des coûts de pénalité pour les demandes non satisfaites (shortage costs). La non satisfaction de la demande (retards, par exemple) est justifiée par des raisons économiques comme des coûts de setup plus élevés que les coûts de pénurie [Buschkühl 10], ou des situations où la capacité de production n'est pas suffisante pour respecter ces demandes. L'enjeu ici est de décider dans quelles mesures les demandes doivent être satisfaites

#### **1.2.3.2 Modélisation du temps :**

Quand nous traitons un problème de planification de production, nous nous intéressons à la durée d'exécution de cette planification. Les différents problèmes de lot-sizing traitent cet aspect de différentes manières selon la situation, ce qui nous conduit à séparer en deux subdivisions basiques : plans à court terme et à moyen terme. Les plans de production à moyen terme sont basés sur une échelle de temps discrète composée de semaines ou mois avec peu de détails de micro-gestion. Dans ceux à court terme, les plans opérationnels ont besoin de plus de détails et ont une échelle de temps beaucoup plus fine, voire se déroulent d'une manière continue, c'est-à-dire, sans discrétisation en périodes de temps [Suerie 05]. La structure de temps utilisée par les modèles est définie par certains éléments :

##### **a. Horizon de planification :**

L'horizon de planification est l'intervalle de temps sur lequel le calendrier de production principal s'étend dans le futur, Un horizon de planification limité est généralement accompagné d'une demande dynamique et d'un horizon de planification infini par une demande stationnaire. De plus, le système peut être observé en continu ou à des instants discrets, ce qui le classe ensuite comme un système de type continu ou discret. En termes de période, les problèmes de dimensionnement de lots entrent dans les catégories de problèmes de gros seau ou de petit seau : les gros problèmes de compartiment sont ceux où la période est suffisamment longue pour produire plusieurs éléments (dans les cas de problèmes comportant plusieurs éléments), tandis que pour les petits problèmes de compartiment, la période est si courte qu'un seul élément peut être produit dans chaque période

##### **b. Échelle de temps :**

Elle est définie comme continue ou discrète. Pour une échelle de temps de type discrète, le temps est divisé en périodes qui peuvent être grandes ou petites, uniformes ou non-uniformes. La plupart des modèles de problèmes lot-sizing utilisent les échelles de temps discrètes avec périodes uniformes, c'est-à-dire de même taille ; on trouve trois modes

- ✓ Période de petite taille : (Small time buckets) 1 heure, 1 jour.
- ✓ Période de grande taille : (Big time buckets) 2 jours, 2 semaines.
- ✓ Période de très grande taille : (very big time buckets) 2 mois, ou 1 trimestre.

### 1.2.3.3 Modélisation des ressources :

Le premier type d'attributs concerne les ressources utilisées dans le processus de production. Celles-ci peuvent être renouvelables, non renouvelables ou partiellement renouvelables.

#### a. Contraintes de capacité ou de ressources :

Les ressources ou les capacités dans un système de production incluent la main-d'œuvre, les équipements, les machines, le budget, etc. Lorsqu'il n'y a pas de restriction de ressources, le problème est dit "uncapacitated" et lorsque des contraintes de capacité sont explicitement énoncées, le problème est appelé "capacitated". La limitation de capacité est importante et affecte directement la complexité du problème, la résolution de problèmes sera plus difficile à résoudre lorsqu'il existe des contraintes de capacité.

#### b. Structure de production et d'opération :

Elle désigne le flot de matériaux dans le système de production. Il peut être cyclique si le processus revient à une deuxième fabrication d'un type de produit, ou au contraire il est considéré a cyclique.

#### c. Taux minimal d'utilisation :

Il est nécessaire pour éviter le gaspillage des ressources dans une production surtout lorsque nous considérons une fabrication à échelle réduite. Dans certains cas il est plus raisonnable de reporter la production à une autre période pour économiser l'utilisation de machines, énergie, matériaux.

### 1.2.4 Classification du problème de lot sizing :

Brahimi [[brahimi 04]] a introduit un ensemble d'abréviations pour faciliter la lecture des problèmes de lot sizing tel que :

- **LSP** : problème lot sizing.
- **LSP-IP** : LSP à un produit
- **LSP-IPS** : LSP à un produit sans contrainte de capacité
- **LSP-IPC** : LSP à un produit avec contrainte de capacité
- **LSP-FT** : LSP à un produit avec contrainte des livraisons dans une fenêtre de temps.

Les classifications des LSP diffèrent dans la littérature d'un auteur à un autre et d'un champ d'exécution à un autre donc différents schémas de classification sont utilisés dans les revues de littérature de LSP comme De [Bodt 84], [Drexl 97], [Staggemeier 01] et [Guner 10].

L'un des schémas de classification divise le LSP en deux dimensions : les modèles à paramètres stationnaires ou dynamiques, les modèles à paramètres déterministes ou stochastiques (voir Figure 4.1).

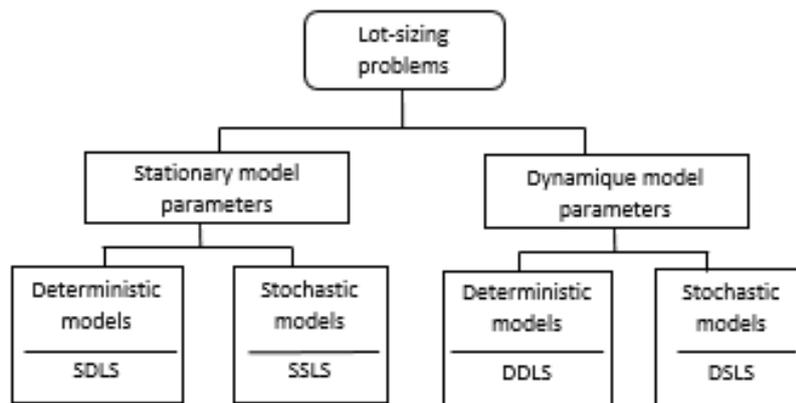


Figure 1.4 : structure de problème lot sizing par [Glok 14]

### 1.2.5 Etat de l'art de LSP :

Dans cette partie nous avons soulevé les extensions de du modèle Wagner et Within [Wagner 58], qui est le LSP dynamique déterministe à horizon temporel fini (DDLs) mais pour donner un état de l'art complet sur le LSP devient une mission difficile par ce que c'est un domaine très vaste dont beaucoup de publication (articles, livres, thèses et mémoires...) ont été posé sur la planification de la production et la gestion des stocks sont fournies par [Glok 14] et [Guiffrida 15], à cet effet nous avons résumé ses travaux liés au LSP dans le tableau suivant. Ils proviennent de [Glok 14] et [Guiffrida 15] ainsi que plusieurs articles et livres qui, selon nous, méritent d'être mentionnés.

Auteur	Années	Theme
Maes et al [Maes 88]	1988	Classification et revue informatique des algorithmes heuristiques du LSP capacitif à un seul niveau multi-items
Bahl et al. [Bahl 87]	1987	Revue générale de la littérature basée sur les praticiens et la recherche.
Guner Goren et al. [Guner 10]	2010	Revue générale des applications des algorithmes génétiques dans LSP.
Robinson et al. [Robinson 09]	2009	Met à jour le revue générale de Aksoy et Selcuk Erenguc [7] pour le problem de LSP coordonné
Quadt et Kuhn [Quadt 08]	2008	Extensions du LSP capacitif: commandes en souffrance, report de configuration, séquençage et machines parallèles.
Jans et Degraeve [Jans 07]	2007	Revue générale des applications des metaheuristique pour la resolution de LSP
Pochet et Wolsey [Pochet 06]	2006	Formulations de programmation en nombres entiers mixtes pour le LSP et ses variants.
Karimi et al. [Karimi 03]	2003	Modèles et algorithmes de LSP capacitif à niveau unique.

Buschkühl et al. [Buschkühl 06]	2006	Surveillez principalement les algorithmes du LSP avec capacitif dynamique pour un niveau unique et multi-niveaux.
Allahverdi et al. [Allahverdi 08]	2008	LSP avec coût et temps de lancement.
Jans et Degraeve [Jans 08]	2008	Modélisation de LSP dynamique à un seul niveau déterministe basée sur diverses extensions industrielles
Zhu et Wilhelm [Zhu 06]	2006	LSP et planification avec configuration dépendante de la séquence.
Brahimi et al. [Brahimi 04]	2004	LSP avec élément unique.
Staggemeier et Clark [Staggemeier 01]	2001	LSP models et ses algorithms.
De Bodt et al. [De 84]	1984	LSP dynamique avec des coûts constants dans le temps
Gupta et Keung [Gupta 90]	1990	LSP multi-niveaux
Kuik et al. [Kuik 94]	1994	Une revue générale de LSP.
Benton et Park [Benton 96]	1996	LSP avec plusieurs types de schémas de réduction.
Goyal and Giri [Goyal 01]	2001	La revue de la littérature de l'inventaire en détérioration dans le prolongement de Raafat [35].
Aksoy et Selcuk Erenguc [Aksoy 88]	1988	Systèmes d'inventaire multi-articles en une seule étape avec des coûts de configuration communs.
Zoller et Robrade [Zoller 88]	1988	Une revue et une comparaison expérimentale des algorithmes du modèle LSP avec horizon roulant.
Raafat [Raafat 91]	1991	Modélisation mathématique de la détérioration du système d'inventaire, en particulier la détérioration en fonction du niveau d'inventaire disponible.
Wolsey [Wolsey 95]	1995	LSP unique et sans capacité.
Drexl et Kimms [Drexl 89]	1989	General review pour le LSP et planification.
Rizk et Martel [Rizk 01]	2001	Planification des flux de matières dans une chaîne d'approvisionnement et en particulier avec des méthodes déterministes de LSP

**Tableau 1.2** : Etat de l'art de LSP

### 1.3 Problème de lot sizing with Direct shipment (Production – Stockage - distribution)

#### 1.3.1 Présentation de LSP with direct shipment :

“Dans ce problème, les produits sont directement transportés de l'usine de fabrication aux clients. Les coûts de production, de configuration, d'inventaire et d'expédition directe sont minimisés sur l'horizon de planification. Ce problème intègre généralement divers aspects de la production, par exemple les coûts d'installation et / ou le temps d'installation, et implique des décisions de distribution lorsque les coûts de livraison fixes et unitaires sont spécifiques au client”

La planification intégrée de la production et de la distribution directe des expéditions a été étudiée par plusieurs chercheurs. La plupart des études ont considéré le coût de distribution comme un coût fixe ou une fonction de coût complexe

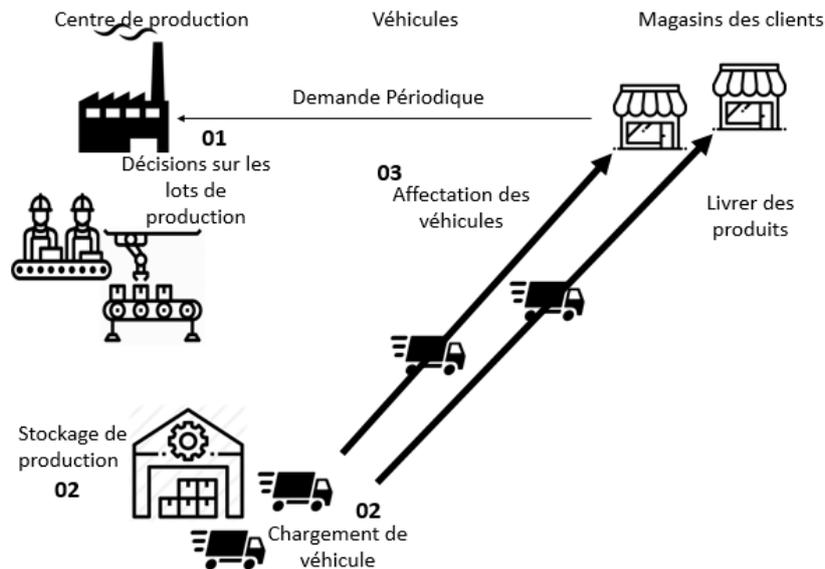


Figure 1.5 : présentation du Problème de lot sizing with direct shipment

### 1.3.2 Etat de l'art du LSP with direct shipment :

Auteur	Année	Thème
Rizk et al [Rizk 99]	1999	ont étudié une fonction de coût de transport linéaire par morceaux plus générale
Federgruen et Tzur [Federgruen 99]	1999	ont examiné le 'OWMR' « the one-warehouse multi-retailer problem » avec plusieurs items et ont développé une heuristique de partitionnement temporel pour résoudre le problème.
Herer et Tzur [Herer 01]	2001	ont examiné un problème particulier lié au dimensionnement des lots lors de l'expédition de lots de camions lorsque les transbordements entre clients sont autorisés
Li et al [Li 04]	2004	se sont concentrés sur le problème de la détermination de la taille d'un lot avec une fonction de coût de transport linéaire, dans laquelle le fournisseur a la possibilité de livrer directement par livraison avec un transport par chargement (TL) ou un chargement inférieur à un chargement (LTL). Ils ont développé une approche de programmation dynamique pour résoudre le problème d'un produit et d'un client.

V. Nordent, V. Velde [Nordent 05]	2005	ont étudié un problème de structure de coûts particulière, dans lequel le fournisseur peut obtenir un rabais sur la réservation de capacité de transport
Lee et al [Lee 05]	2005	ont examiné le problème des articles multiples avec un client
Rizk et al [Rizk 06]	2006	Suit au travail de 1999 : Ils ont décomposé le problème intégré en sous-problèmes et ont appliqué une technique de relaxation lagrangienne pour obtenir des limites inférieures. Dans le cas plus général de plusieurs clients
Jaruphongsa et al [Jaruphongsa 07]	2007	ont proposé d'autres algorithmes de programmation dynamique pour résoudre le problème des structures de coûts TL et LTL
Chand et al [Chand 07]	2007	ont mis au point un algorithme de programmation dynamique pour résoudre le problème de backlogging
Jaruphongsa et Lee [Lee 08]	2008	ont examiné le problème de la distribution et ont utilisé des algorithmes de programmation dynamiques pour résoudre le problème
Solyali and Süral [Solyali 12]	2012	ont proposé une nouvelle formulation forte basée sur le modèle de transport combiné et le plus court chemin pour résoudre le 'OWMR' avec un seul produit
Melo et Wolsey [Melo 12]	2012	ont discuté de plusieurs formulations et proposé de l'heuristique hybride pour résoudre les problèmes de production-transport à deux niveaux liés à la production et aux véhicules à capacité

**Tableau 1.3** : Etat de l'art du LSP with direct shipment

## 1.4 Problème de tournée de véhicules :

### 1.4.1 Présentation du VRP :

Le Problème de Tournées de Véhicules est un des problèmes d'optimisation combinatoire les plus étudié. Ce problème, mieux connu sous le nom de Vehicle Routing Problem « VRP » a ensuite attiré un grand nombre de chercheurs car il est théoriquement très intéressant, qui a été introduit à la fin des années 1950 par Dantzig et Ramser. Il consiste à livrer des marchandises auprès des clients à l'aide d'une flotte de véhicules identiques à capacité limitée avec un coût minimal. Sa version la plus connue est le problème de tournées avec capacités. Historiquement, le VRP est une généralisation du Problème du Voyageur de Commerce (TSP, Traveling Salesman Problem) à plusieurs voyageurs, d'un point de vue terminologie, on parle de véhicules.

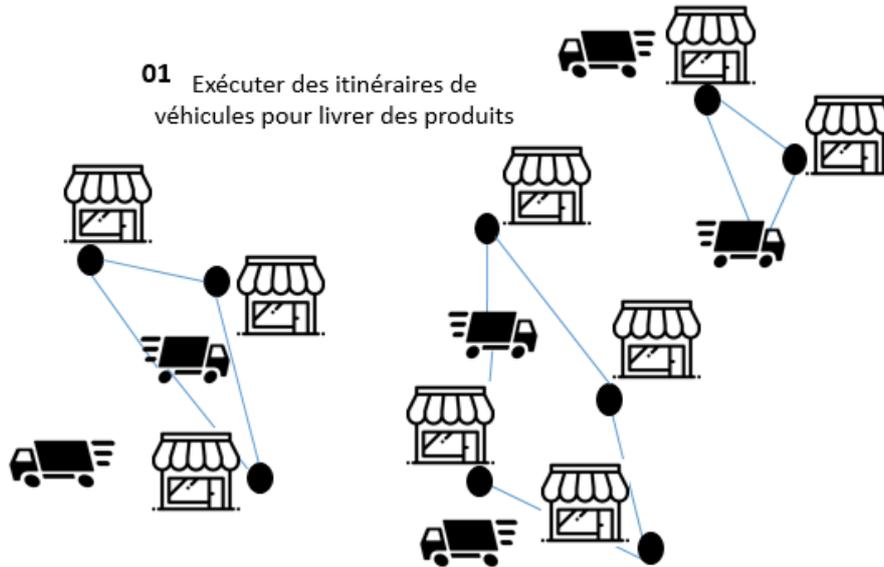


Figure 1.2: présentation du Problème de tournée de véhicules

### 1.4.2 Présentation du TSP :

On connaît mal l'origine exacte du Traveling Salesman Problem . Cependant, il s'agit d'un des plus vieux problèmes combinatoires. Des mathématiciens s'y sont intéressés depuis le début du vingtième siècle cherchant à apporter une réponse à ce problème. On le définit comme Un ensemble de nœuds et d'arêtes munies de coûts pour trouver un circuit hamiltonien, c'est-à-dire le circuit passant par tous les nœuds une et une seule fois, en minimisant Le coût total de transport lié aux arcs empruntés par le voyageur. Il équivaut à minimiser le coût totale de parcours effectué par un véhicule de capacité égale à la demande totale des clients, qui quitte le dépôt plein et dessert l'ensemble des clients avant de retourner vide au dépôt. Parmi les nombreuses formulations proposées dans la littérature, l'une des plus utilisées est celle de Dantzig, définie :

Sur un graphe  $G = (V, E)$  où  $V$  est l'ensemble des villes  $N = |N|$  et  $E$  l'ensemble des arcs  $M = N(N - 1)$ . La variable de décision  $x_{i,j} \in \{0,1\}$  pour chaque arc  $(i, j) \in E$ , auxquelles nous associons un coût de transport  $c_{i,j}$

$c_{i,j} \in C$  est le coût de transport entre la ville  $i$  et la ville  $j$ . La variable de décision  $x_{i,j}$  est égale à 1 si a ville  $i$  est visité immédiatement avant la ville  $j$ , sinon 0.

Le TSP est défini par les équations (1) à (4) :

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{i,j} * x_{i,j} \quad (1.1)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i,j} = 1 \quad \forall j \in V \quad (1.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in V \quad (1.3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{i,j} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V \text{ t.q. } 2 \leq |S| \leq v - 2 \quad (1.4)$$

Les contraintes (2) et (3) assurent que le voyageur entre et sort une seule fois de chaque sommet. La contrainte (4) est une formulation classique pour éviter les sous-tours.

### 1.4.3 Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP) :

Le problème de tournées de véhicules avec capacité (Capacitated VRP - CVRP) concerne la planification des tournées de collecte ou de livraison sur les clients de manière à minimiser les coûts.

Il s'agit du même problème que le TSP mais avec  $K$  véhicules, à l'exception que chaque véhicule a maintenant une capacité  $Q$  et qu'on associe à chaque demande un poids  $q_i$ . On le définit comme Un ensemble de nœuds client (ayant une demande) et d'arêtes (munies de coûts) et une flotte illimitée de véhicules de capacité uniforme  $Q$  partant d'un unique dépôt. Pour trouver des tournées de véhicules, satisfaisant chaque demande une et une seule fois et respectant les contraintes de capacité.

Le modèle mathématique associé à ce problème est :

#### Les paramètres :

$N$ : nombre de client.

$K$ : nombre de véhicule.

$c_{i,j}$ : le coût de transport entre la ville  $i$  et la ville  $j$

#### Les variables de décision :

$x_{i,j}^k$  : Variable binaire indiquant si le véhicule  $k$  effectue le trajet  $(i, j)$

$y_i^k$  : Variable binaire indiquant si le véhicule  $k$  visite le client  $i$ .

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{i,j}^k * c_{i,j} \quad (1.1)$$

$$\sum_{i > 1} y_i^k \leq |J| * y_0^k \quad \forall k \in K \quad (1.2)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1 \quad \forall i \neq 1 \in N \quad (1.3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,j}^k = y_j^k \quad \forall j \in N, \forall k \in K \quad (1.4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,j}^k = y_i^k \quad \forall j \in N, \forall k \in K \quad (1.5)$$

$$\sum_{i \in N} q_i * y_i^k \leq Q \quad \forall k \in K \quad (1.6)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{i,j}^k \leq |S| - 1 \quad (k = 1, \dots, M; S \subset M \text{ t. } q \ 2 \leq |S| \leq v - 2) \quad (1.7)$$

La contrainte (1.2) garantit que chaque tournée passe par le dépôt. La contrainte (1.3) assure que chaque client doit être visité une fois. On arrive et on part de chez chaque client, ce qui assuré par les contraintes (1.4) et (1.5). La contrainte (1.6) assure le respect des contraintes de capacité. Enfin, on retrouve les contraintes d'élimination des sub-tours en (1.7).

#### 1.4.4 Diverses variantes des problèmes de tournées :

Les cas d'application réels exigent souvent des contraintes additionnelles aux -quelles sont soumis les opérationnels. Ces attributs se traduisent en une vaste littérature, et il serait impossible de donner ici un état de l'art exhaustif de ces problèmes et des méthodes de résolution associées. Nous recommandons l'ouvrage de référence de Toth and Vigo [2] qui présentent en détail les différentes extensions du VRP ainsi que les méthodes associées, exactes et approchées.

- VRP with Time Windows, (VRPTW) : on impose un intervalle de temps  $[a_i, b_i]$  pour la visite des clients. Chaque client doit être servi avant la date de fermeture  $b_i$ .
- VRP with Pick-up and Delivery (VRPPD) : dans ce problème nous associons deux requêtes à chaque client : une de collecte (pickup,  $P_i$ ) et une autre de livraison (delivery,  $D_i$ ). Nous imposons que toutes les livraisons soient faites avant les collectes. L'objectif est de trouver des tournées de livraisons et de collectes de coût minimum.
- VRP with Heterogeneous Fleet (H-VRP) : ce type de VRP est plus proche de la réalité avec plusieurs dépôts, plusieurs trajets, plusieurs types de véhicules, etc. Donc la flotte est composée de véhicules de types différents, qui se distinguent par la capacité, la puissance, le coût de transport, . . .
- VRP with Time-Dependent (TD-VRP) : Le VRP traditionnel prend en compte des distances ou des temps de parcours constants. Ce n'est pas le cas dans la réalité où les paramètres de circulation changent du matin au soir. Le TD-VRP se caractérise par le fait que la durée du trajet entre deux points dépend de l'heure de début du tour, de l'heure de début du franchissement d'un arc ou de la distance entre les points. Il est pertinent et utile pour tenir compte de conditions réelles telles que la congestion urbaine, où la vitesse du véhicule n'est pas constante en raison de la variation de la densité du trafic. Comme la vitesse et le temps de trajet sont importants pour l'énergie, le TD-VRP est souvent considéré comme un point de départ pour l'intégration énergétique.

En dehors de ces variantes il en existe des nombreuses autres qui ont, d'une certaine manière, une liaison indirecte avec l'étude de notre mémoire, comme par exemple le Vehicle Fleet Mix Problem (VFMP), le Split Delivery VRP (SDVRP), le Site-Dependant VRP (SDVRP), le Multi-Compartment Vehicle Routing Problem (MC-VRP), etc.

### 1.4.5 Etat de l'art du problème de tournée de véhicules :

Plusieurs recherches se sont principalement orientées vers la résolution du problème de Tournées de véhicules VRP (Vehicle Routing Problem).

Ce dernier s'agit d'un problème d'optimisation de tournées de véhicules devant satisfaire des demandes de transport. Ces problèmes de tournées de véhicules sont en général sujets à plusieurs types de contraintes.

Le problème général de construction de tournées de véhicules est connu sous le nom de Vehicle Routing Problem (VRP) et représente un problème d'optimisation combinatoire multi-objectif qui a fait l'objet de nombreux travaux et de nombreuses variantes dans la littérature. Il appartient à la catégorie NP-difficile. [Christofides 79] [Lenstra 81] [Savelsbergh 95].

Auteur	Année	Thème
Brown et al [Brown 81]	1981	la résolution d'un problème de produits pétroliers pour la minimisation des coûts de transport de stockage vers les clients
Jaw, [Jaw 86]	1986	La résolution par un algorithme dont une pondération des coûts et de la non-satisfaction des clients est prise en compte dans le m-PDP multi-objectif
Brown et al [Brown 87]	1987	le même problème de 1981 : une planification de distribution en quatre phases et en considérant que plusieurs clients peuvent être visités et la distribution sur une route
Hertz.A [Hertz 92]	1992	La résolution du problème de construction de routes avec une heuristique de Relaxation lagrangienne basée sur la méthode d'insertion pour résoudre le problème de construction de routes.
Sol et al [Sol 94]	1994	La résolution du problème de transports à la demande (TAD).dans les zone rurale peu dense (Pays du Doubs Central, Franche-Comté)
Sol [Sol 94]	1994	La résolution du m-PDPTW en minimisant le nombre de véhicules nécessaires avec l'algorithme de Branch and Price pour résoudre
Boktor et al [Boktor 95]	1995	La résolution du problème de distribution de produits pétroliers avec une approche hiérarchique en optimiser l'infrastructure de distribution entre des dépôts et des stations-services.
Gilbert. [Gilbert 98]	1998	La résolution du m-PDPTW par la recherche Tabou pour maximiser le nombre de demandes en réduire le coût total du voyage.
Jih.et al [Jih 99]	1999	La résolution du 1-PDPTW en développer une approche basée sur les algorithmes génétiques hybrides pour minimiser le coût total et la somme des temps d'attente.
Jung, [Jung 00]	2000	ont développé un algorithme génétique qui résout le m-PDPTW dont on prend en compte le coût de pénalisations causées par la satisfaction d'une demande de transport en dehors de sa fenêtre de temps
Li, Lim. [Li 01]	2001	Une nouvelle méta-heuristique se basant sur un algorithme de recherche tabou intégré dans un recuit simulé, a été développée par pour résoudre le m-PDPTW, La fonction objectif est une pondération du nombre de véhicules, de la distance totale parcourue, du temps total et d'attente
Li, Lim, [Li 02]	2002	Développé une méthode appelée « Squeakywheel » pour résoudre le m-PDPTW avec une recherche locale

Quan [Quan 03]	2003	La résolution par une heuristique de construction basée sur le principe d'insertion pour la minimisation du coût total, en prend en compte les coûts fixes des véhicules et les frais de déplacement.
Velasco et al, [Velasco 06]	2006	La résolution de 1-PDP bi-objectif par un algorithme génétique pour minimisée la durée totale des tournées
Kammarti. et al [Kammarti 09]	2009	Une nouvelle approche basée sur l'utilisation de bornes inférieures pour l'évaluation des solutions et de leur qualité, minimisant le compromis entre la distance totale parcourue et la somme des retards
Kammarti. et al [Kammarti 10]	2010	La résolution du 1- PDPTW en utilisant des algorithmes évolutionnistes avec des opérateurs génétiques pour réduire le temps de calcul
Cadet, et al [Cadet 13]	2013	Résolu le VRP avec compartiment MC-PRP qui a traité le problème d'affectation de chaque produit à un seul compartiment.
BenYahia et Kizi, [BenYahia 16]	2016	la gestion de transport du carburant cas de NAFTAL BEJAIA pour savoir comment l'entreprise NAFTAL gère le transport des carburants.
Zeddami et Mena [Zeddami 17]	2017	Amélioration des performances d'une entreprise de distribution Cas d'étude : NAFTAL

Tableau 1.4 : Etat de l'art du problème de tournée de véhicules

## 1.5 Inventory Routing Problems (stockage - distribution) :

### 1.5.1 Présentation de l'IRP :

Les activités de transport et de gestion des stocks ont un impact important les unes sur les autres. Assurer un niveau de stock idéal peut demander des livraisons fréquentes, ce qui entraîne des coûts logistiques élevés. Pour optimiser les compromis entre les coûts de stock et de transport, des systèmes VMI (Vendor Managed Inventory) ont été développés pour gérer ensemble les opérations de stock et de transport. Pour un ensemble de clients ayant des demandes sur un horizon de temps.

Lorsque l'aspect de routage est inclus et que l'aspect de production n'est pas pris en compte, le problème est transformé en Inventory distribution and routing problem. Il est généralement connu sous le nom de Inventory routing problem (IRP) [Andersson 2010], qui a fait l'objet de nombreuses études au cours de la dernière décennie et qui a été appliqué au transport terrestre et à la logistique maritime, où les stocks jouent un rôle important.

Inventory routing problem (IRP) est développé sous le modèle d'inventaire géré par le fournisseur (VMI). Dans ce modèle, le vendeur (ou le fournisseur) est généralement le fabricant, mais peut parfois être un revendeur ou un distributeur. Il agit en tant que décideur central et surveille le niveau de stock de chaque client physiquement ou via des capteurs électroniques et la messagerie. Le fournisseur doit prendre des décisions de réapprovisionnement périodiques concernant les quantités à livrer et le calendrier. En pratique, en ce qui concerne l'inventaire géré par le détaillant (« Retailer Managed Inventory » RMI) traditionnel, dans lequel les clients établissent des commandes pour les fournisseurs, le

VMI peut entraîner une réduction des coûts et une amélioration des services pour les fournisseurs et les clients. Pour les fournisseurs, des capacités de stockage et des stocks plus petits sont possibles car l'incertitude liée à la demande est atténuée. La coordination des services à plusieurs clients permet également une distribution plus efficace et une planification des livraisons plus prévisible. Pour les clients, ils consacrent moins de ressources à la surveillance des stocks tout en ayant la garantie qu'une rupture de stock ne se produira jamais.

Donc on peut définir « IRP » comme Un ensemble de nœuds client ayant un stock et une consommation de ce stock dans l'horizon de planification ; un ensemble d'arêtes (munies de coûts) ; une flotte illimitée de véhicules de capacité fixée  $Q$  partant d'un unique dépôt, dans le but de trouver Un ensemble des tournées de véhicules, évitant toute rupture de stock chez le client, en respectant les contraintes de capacité des véhicules. En minimisant le coût total de transport lié aux arcs empruntés par les véhicules.

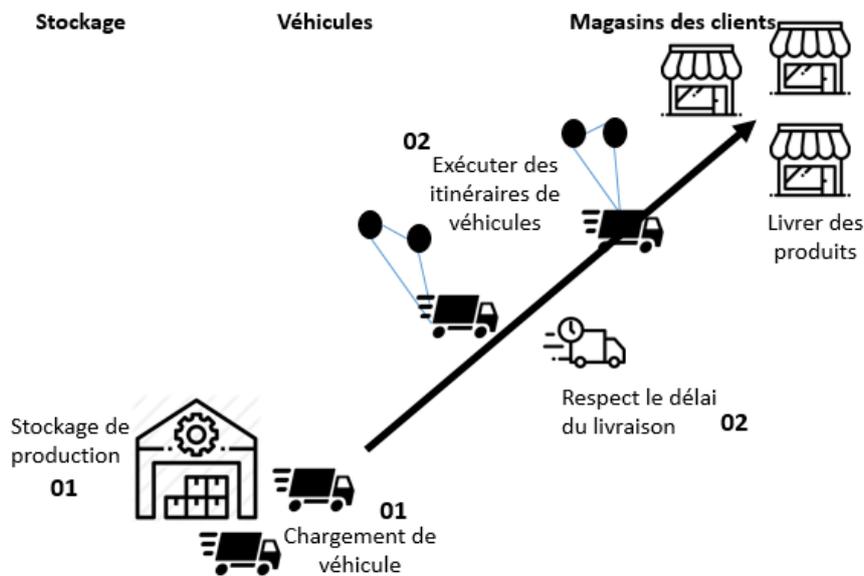


Figure 1.7 : présentation du nventory Routing Problems

### 1.5.2 Etat de l'art de l'IRP :

Auteur	Année	Thème
Bell et al [Bell 83]	1983	une étude sur les livraisons de gaz en utilisant une méthode de relaxation lagrangienne et a été décomposé par période et par véhicule
Carter et al [Carter 96]	1996	proposé des procédures heuristiques efficaces en décomposant l'IRP en un problème d'allocation (AP) et un problème d'acheminement des véhicules (VRP).
Campbell et Savelsbergh [Campbell 04]	2004	proposé des procédures heuristiques efficaces en décomposant l'IRP en un problème d'allocation (AP) et un problème d'acheminement des véhicules (VRP).
Gaur et Fisher [Gaur 04]	2004	examiné un IRP périodique dans lequel le modèle de demande est répété et développé une heuristique pour résoudre le problème

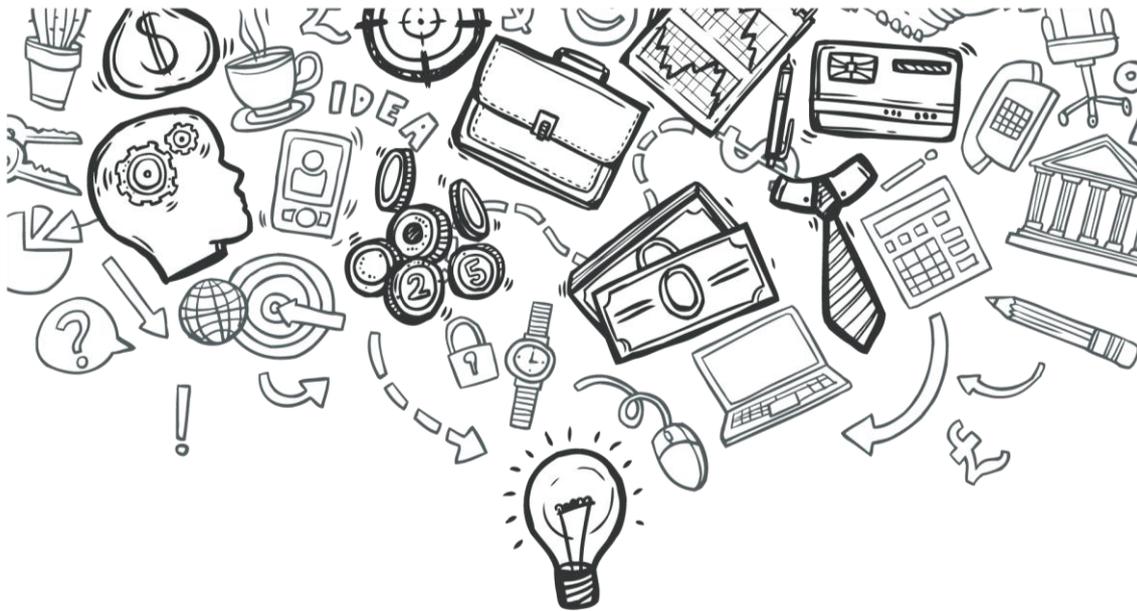
Rusdiansyah et Tsao [Tsao 05]	2005	Utilise la recherche taboue pour la résolution de problème
Abdelmaguid et Dessouky [Abdelmaguid 06]	2006	Utilise l'algorithme génétique pour la résolution de problème
Savelsbergh et Song [Song 07]	2007	Propose la procédure de "adaptive large neighborhood search" (GRASP)
Archetti et al [Archetti 11]	2011	une heuristique hybride associant recherche taboue et MIP
Coelho et al [Coelho 12]	2012 a-b	Résolu le problème d'une recherche adaptative dans les grands quartiers (ALNS)
Coelho et al [Coelho 12]	2012b	Propose le sujet "L'IRP est évidemment NP-difficile car il contient le VRP comme cas particulier"

**Tableau 1.5** : Etat de l'art du IRP

## 1.6 Conclusion :

Nous avons posé dans ce chapitre les bases de notre étude de l'intégration de la planification de la production, stockage et distribution dans une chaîne logistique. Ainsi, nous avons décrit la configuration générale d'une chaîne logistique, en expliquant les étapes principales de gestion, les niveaux décisionnels et les contraintes les plus communes, dans le milieu industriel.

D'une manière plus approfondie, nous avons expliqué les approches couplées seulement pour deux activités mais afin d'obtenir une meilleure rentabilité Il faut une meilleure satisfaction du client, ce qui a forcé les entreprises à considérer non seulement le prix et la qualité du produit, mais aussi le temps de livraison. Ceci ne peut être réalisé qu'à travers l'intégration des trois fonctions liées à l'approvisionnement, production, stockage et distribution, chose qui va être traité d'une manière plus détaillé dans le chapitre suivant



## Chapitre 02 :

# **PRP et moyens de résolution**

## Chapitre 2 :

### PRP et Moyennes de Résolution

---

Ce chapitre est constitué de deux parties théorique et pratique, pour la partie théorique nous introduirons, dans un premier temps, une vue globale sur les PRP, Il permet d'acquérir les principaux concepts liés à cette approche. Nous accordons ensuite une attention particulière sur l'état de l'art général qui est consacrée à une revue de la littérature des axes de recherche connexes à notre travail. Dans un deuxième temps, nous étudierons les différentes méthodes de résolution (méthode exacte et approchée) pour résoudre les problèmes d'optimisation étudiés dans cette mémoire. La partie pratique, décrit la première étape dans le développement de l'approche PRP proposée dans cette mémoire. Il est dédié à la modélisation et la résolution du problème de la planification intégrée durant un horizon fini, dans un premier temps on pose notre problématique et nous aborderons le modèle mathématique de notre approche et faire une évaluation sur des instances théoriques générées aléatoirement afin d'étudier sa pertinence. Ensuite, nous finirons par un algorithme de recuit simulé évalué et testé avec des scénarios. Ce chapitre est conclu par une comparaison des nouveaux résultats d'algorithme avec celles obtenus dans la modélisation afin de souligner les principaux avantages de notre algorithme.

#### Sommaire :

---

2.1 Introduction :	46
2.2 Production Routing Problem :	46
2.3 Etat de l'art :	47
2.4 L'optimisation et méthodes de résolution :	47
2.4.1 Introduction à l'optimisation :	50
2.4.2 Présentation des méthodes d'optimisation utilisées (Méthodes de résolution) :	51
2.4.3 Choix d'un algorithme métaheuristique :	53
2.4.3.1 Le Recuit Simulé	54
2.4.3.2 La Recherche Tabou	55
2.4.3.3 Les algorithmes génétiques	56
2.4.3.4 Les colonies de fourmis	57
2.5 Modélisation par la programmation mathématique	59
2.5.1 Solveur CPLEX	60
2.5.1.1 Le langage OPL (Optimization Programming Language) :	60
2.5.2 Objectifs et décisions :	60
2.5.3 Modélisation du PRP	61
2.5.3.1 Notations :	61
2.5.3.2 La fonction objectif :	62
2.5.3.3 Les contraintes :	62
2.5.4 Expérimentations et résultats	64
2.6 Application de Recuit Simulé pour la résolution du problème de PRP :	81
2.6.1 Le codage :	81
2.6.2 Les algorithmes de réparation :	81
2.7 Mesure de performance de l'approche de résolution adaptée à l'expérimentation numérique :	90

---

## 2.1 Introduction :

Au sein d'une chaîne d'approvisionnement traditionnelle, les activités fondamentales comme la production, l'inventaire et le routage sont souvent gérées de manière indépendante en raison de la complexité introduite par la planification conjointe de ces activités et du manque de partage d'informations entre les parties prenantes. Face à une concurrence de marché de plus en plus féroce, l'intérêt pour la coordination des activités de la chaîne d'approvisionnement s'est rapidement développé parmi les entreprises du monde entier. Les partenaires de la chaîne d'approvisionnement sont amenés à travailler en coopération pour améliorer ses performances globales, créant ainsi un avantage concurrentiel. Production routing problem montré qu'une coordination efficace des activités de production, d'inventaire et de routage peut améliorer la synchronisation, réduire le coût des produits et améliorer le niveau de service.

## 2.2 Production Routing Problem :

Le problème d'acheminement et de la production est un problème de planification des opérations qui traite de l'intégration des activités clés de la chaîne d'approvisionnement de la production, de l'inventaire, de la distribution et de l'acheminement des véhicules.

Ces activités sont généralement traitées de manière séquentielle ou hiérarchique. Par exemple, la planification de la production prend des décisions de production et de stockage des lots qui ont un impact sur les coûts d'installation et d'inventaire. Par la suite, les décisions de distribution et d'acheminement sont prises en fonction de l'offre disponible, de la demande des détaillants et des capacités des véhicules. Une telle approche conduit à des solutions sous-optimales à ces activités de chaîne d'approvisionnement interdépendantes.

Des travaux récents sur « Production Routing Problem (PRP) » ont tenté d'intégrer et d'optimiser conjointement le processus de décision de la production à la distribution.

Le problème de production-routage (PRP) est un problème de planification intégrée qui optimise conjointement la production, la gestion des stocks et les décisions de transport. L'intégration de ces activités est particulièrement intéressante dans un contexte d'inventaire géré par le fournisseur (VMI) où les stocks détenus sur les sites de vente au détail sont gérés par une seule entité, généralement le fournisseur des produits. Le fournisseur produit un ensemble de produits en décidant s'il les envoie directement pour être stockés sur des sites de vente au détail ou s'il les stocke dans son propre entrepôt afin de les distribuer ultérieurement. Par conséquent, comme le montre la figure 8.2, les décisions typiques comprises dans le PRP comprennent (1) quand et combien produire ; (2) quand et combien livrer à chaque site de vente au détail ; (3) comment acheminer les véhicules de manière à minimiser les coûts de production, d'inventaire et de transport tout en répondant à la demande des sites de vente au détail. Ces décisions doivent généralement être prises au cours d'un horizon de planification composé de plusieurs jours.

Ce problème est extrêmement difficile car il intègre deux problèmes d'optimisation classiques, le Lot-Sizing Problem (LSP) et le Vehicle Routing Problem (VRP), qui ont été proposés par Wagner et Whitin [7] et par Dantzig et Ramser respectivement. De même que dans son cas particulier où la production n'est pas prise en compte, le problème d'inventaire-

routing (IRP), donc Le PRP est également une extension du problème (IRP), le PRP est NP-difficile, car il exige la solution de plusieurs VRP.

Ainsi, la solution du problème PRP est très difficile à calculer. Bien qu'il existe des formulations mixtes entières pour le PRP, la solution directe via des solveurs de pointe ne peut pas fournir de solutions optimales à des problèmes réalistes du monde réel.

Les approches de solution dans la littérature impliquent généralement des métaheuristiques ou des approches heuristiques à plusieurs étapes.

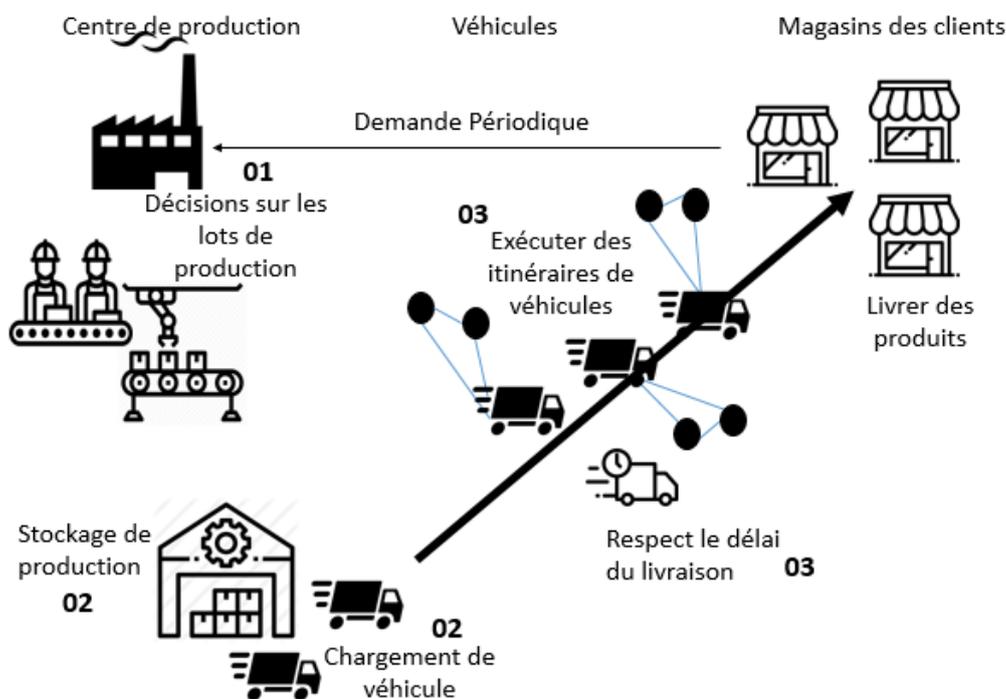


Figure 2.8 : présentation de la production routing problems

### 2.3 Etat de l'art :

Malgré la dureté des problèmes intégrés, plusieurs études rapportent d'importantes économies de coûts. Chandra et Fisher [62] ont rapporté des économies de coûts de 3 à 20% provenant de l'intégration.

Nous avons résumé les travaux déjà existé dans le tableau suivant :

Auteur	Année	Thème
Chandra [Chandra 93]	1993	l'objectif considéré est de minimiser le coût total qui englobe le coût de lancement, de production, de stockage et de transport
Chandra et Fisher [Fisher 94]	1993-1994	discuté des avantages de la coordination dans le cadre du PRP. Ils ont montré qu'il est possible de réaliser des économies de coûts de 3 à 20% en résolvant le PRP par rapport à la résolution séquentielle de problèmes distincts.
Fumero et Vercellis	1999	considéré comme une variante PRP avec des coûts de transport unitaires ;_ont développé une approche de relaxation lagrangienne pour obtenir des limites inférieures sur la base de la formulation de flux multi-produits.

[Fumero 99]		
Bertazzi et al. [Bertazzi 05]	2005	Considérons un système complexe de production-distribution afin du minimization de cout globale
Lei et al. [Lei 06]	2006	étudie un problème de production et de distribution d'un produit sur un horizon multi-période
Boudia et al. [Boudia 07]	2007	Des métaheuristiques qui abordent simultanément les décisions de production et d'acheminement sont développées : un GRASP (procédure de recherche adaptative aléatoire gourmande) et deux versions améliorées utilisant soit un mécanisme réactif ou un processus de reconnexion de chemin
Boudia et al. [Boudia 08]	2008	Deux heuristiques suivies de deux procédures de recherche locale sont proposées pour un problème difficile. La première approche heuristique ou découplée calcule de manière classique un plan de production puis un plan de distribution. La seconde approche ou approche couplée détermine les deux plans simultanément
Boudia and Prins [Boudia 09]	2009	Ce problème est résolu par l'algorithme métaheuristique appelé mémétique avec gestion de population pour aborde simultanément les décisions de production et de distribution en plusieurs versions avec différentes stratégies de gestion de la population , ils sont évaluées et comparées à une heuristique en deux phases et à (GRASP)
Solyalı et Süral [Solyalı 09]	2009	développé une approche de « relaxation lagrangienne » pour obtenir des limites inférieures sur la base de la formulation de flux multi-produits (dans le cas où lorsqu'un client est visité, son stock doit atteindre sa capacité maximale)
Bard et Nananukul [Bard 09]	2009b	traite du problème de l'intégration de la planification de la production et de la distribution sur des périodes à horizon fini
Bard et Nananukul [Bard 10]	2010	Une heuristique « Branch And Price » a été développé pour résoudre le problème avec plusieurs véhicules
Ruokokoski et al [Ruokokoski 10]	2010	Utilisé une approche de type « branche-and-cut » et étudié différentes reformulations de LSP pour le PRP avec une production non condensée, un seul véhicule non condensé et en respectant la capacité maximale du stock
Armentano et al. [Armentano 11]	2011	Propose deux variantes de recherche tabou pour ce problème, une qui implique une construction et une mémoire à court terme, et une qui intègre une mémoire à plus long terme utilisée pour intégrer une procédure de reconnexion de chemin à la première variante
Archetti et al [Archetti 11]	2011	Examiné le PRP dans le cadre des stratégies ML et OU et développé une heuristique de programmation en nombres entiers mixtes pour résoudre le problème.
Melo et Wolsey [Melo 12]	2012	Ont étudié les différentes formulations du PRP et proposé des heuristiques hybrides pour le PRP à deux niveaux en considérant la capacité de production et des véhicules
Adulyasak et al [Adulyasak 14]	2014a	Modélisation mathématique et une algorithmme “Branch and cut est d&veloppé pour la resolution de production routing problem avec multi véhicule

Adulyasak et al [Adulyasak 14]	2014b	Présente une heuristique de recherche adaptative de grand voisinage basée sur l'optimisation pour le PRP
Absi et al. [Absi 15]	2015	ont introduit un algorithme d'heuristique pour le PRP en respectant la capacité de stockage, ils ont proposé une approche itérative en deux phases où le PRP a été décomposé en un problème de production et un problème de transport, dans la première phase le problème de production est résolu pour déterminer les quantités à produire, à stocker et à livrer, la deuxième phase sert à résoudre une série des VRPs ou TSPs pour déterminer les routes optimales pour les véhicules
Adulyasak et al. [Adulyasak 15]	2015a	considère un PRP stochastique avec l'incertitude de la demande dans des processus de décision en deux et plusieurs étapes et résolu avec l'algorithme branch-and-cut
Adulyasak et al. [Adulyasak 15]	2015b	fournir une revue complète des différentes techniques de solution qui ont été proposées pour résoudre le PRP
Brahimi et Tarik [Brahimi 16]	2016	ont développé une heuristique hybride qui combine une recherche Relax-and-fix et une recherche locale, le PRP est résolu par une relaxation de l'intégralité de variables de routage du modèle original, puis une série des modèles MILP est résolue.
Kumar et al. [Kumar 16]	(2016)	Développé un VRP qui considère simultanément les problèmes de production et d'acheminement de la pollution avec la fenêtre temporelle (PPRP-TW)
Qiu et al. [Qiu 16]	(2016)	Algorithm branch-and-price est développée pour la résolution du production routing problems
Zhang et al. [Zhang 17]	2017	ont proposé une heuristique basée sur un modèle MILP itératif, dont un modèle mathématique est résolu itérativement avec un ensemble limité de routes (chemins) candidats
Solyali et Süral [Solyali 17]	2017	Développé une heuristique qui sert à résoudre le PRP en le décomposant en cinq phases.
Russell [Russell 17]	2017	Deux heuristiques basées sur la programmation mathématique sont développées qui utilisent un modèle d'entiers mixtes décontracté pour déterminer une solution initiale
Agra et al. [Agra 18]	2018	An adjustable sample average approximation algorithm for the stochastic production-inventory-routing problem.
Qiu, Wang et al. [Qiu 18]	2018a	La résolution de la production routing problem dans une chaîne logistique inverse avec aspect de remanufacturing
Qiu et al. [Qiu 18]	2018b	développé une heuristique de recherche de voisinage variable avec l'aide de la résolution d'un MILP.
Miranda et al. [Miranda 18]	2018	Une méthode similaire de Relax-and-fix a été proposée pour résoudre le Production Routing Problem multi-produit.
Darvish et al. [Darvish 18]	(2018)	Cherche à comparer l'effet des décisions opérationnelles non seulement sur les coûts mais aussi sur les émissions
Li et al. [Li 19]	(2019)	une heuristique basée sur la programmation mathématique à trois niveaux appelée TLH est développée. TLH combine une méthode itérative en deux phases, une stratégie de réparation et une procédure de correction et

		d'optimisation pour trouver des solutions quasi optimales.
Chitsaz et al. [Chitsaz 19]	(2019)	formulons le problème comme un programme linéaire à entiers mixtes et propose une décomposition matheuristique en trois phases : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Un calendrier de configuration.</li> <li>✓ optimise les quantités de production, les calendriers de visite des fournisseurs et les quantités d'expédition.</li> <li>✓ Résout un problème d'itinéraire de véhicule pour chaque période de l'horizon de planification.</li> </ul>
Neves-Moreira et al. [Neves 19]	(2019)	Résolution de production routing problem multi produits avec fenêtre du temp
Zeddami et al. [Zeddami 19] [Zeddami 20]	(2019) (2020)	Résolution d'un problème qui prend en considération les services de production, de stockage et de transport sous des contraintes environnementales.

**Tableau 2.6 :** Etat de l'art de PRP

## 2.4 L'optimisation et méthodes de résolution :

### 2.4.1 Introduction à l'optimisation :

L'étymologie du mot optimisation, vient du verbe anglais to optimize consistant à rendre le fonctionnement d'un système le plus favorable possible. En mathématique, un problème d'optimisation consiste à maximiser (ou minimiser) une fonction objectif de  $n$  variables de décision soumises à un ensemble de contraintes exprimées sous forme d'équations ou d'inéquations.

La terminologie d'optimisation est due à Georges B. Dantzig, inventeur de l'algorithme du simplexe (1947) [Sau 17]. L'idée de cet algorithme consiste, à partir d'un sommet d'un polytope à chercher un sommet voisin qui améliore l'objectif. Il s'agit du principe d'amélioration locale et d'une méthode de résolution itérative utilisant un algorithme naïf [Kleiner 13]. Pour utiliser cette méthode de résolution, il faut commencer par énumérer tous les sommets et si le nombre de sommets est fini, il est possible de trouver la solution.

Par la suite, différentes méthodes d'optimisation ont été développées et Y. Collette et P. Siarry [Collette 04], ont synthétisé sur un graphique (Figure 9.2) l'ensemble des méthodes existantes pour résoudre les problèmes d'optimisation.

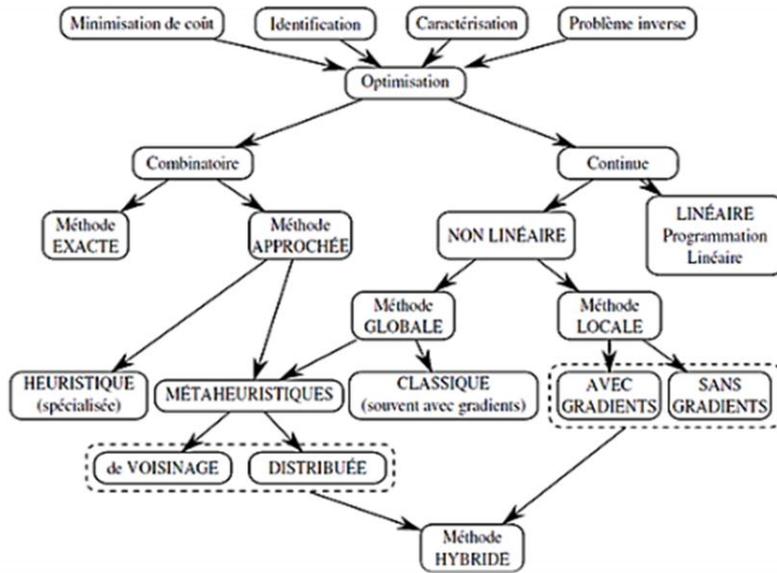


Figure 2.9 : Graphique hiérarchique des méthodes d'optimisation [Collette 04]

## 2.4.2 Les problèmes d'optimisation :

Les problèmes sont classés en deux catégories : les problèmes d'optimisation combinatoire et les problèmes d'optimisation continue. Une troisième catégorie mêlant ces deux types d'optimisations existe sous le nom de métaheuristiques.

Dans la littérature, deux grandes familles de méthodes d'optimisation sont proposées, à savoir : “les méthodes exactes” et les “méthodes approchés”.

### 2.4.2.1 Les problèmes d'optimisation continue :

Les problèmes d'optimisation continue sont utilisés lorsque l'espace de recherche est continu. Les méthodes non linéaires globales peuvent également être des métaheuristiques, étant donné que ces derniers sont suffisamment généraux pour être transposés aux problèmes d'optimisation continue. Les méthodes non linéaires locales avec gradient cherchent un minimum local en exploitant le gradient d'une fonction objectif. Au contraire les méthodes non linéaires locales Sans gradient, les méthodes constructives considèrent une variable après l'autre pour la construction de la solution, tandis que les méthodes stochastiques reposent sur un processus aléatoire.

Enfin, la combinaison de métaheuristiques avec des méthodes d'optimisation locale forme les méthodes hybrides. Une fonction objectif (ou fonction de coût ou critère d'optimisation) est le nom donné à une fonction  $f$  qui est la fonction à optimiser par l'algorithme d'optimisation.

### 2.4.2.2 Les problèmes d'optimisation combinatoires :

Les problèmes d'optimisation combinatoires se distinguent par le nombre fini de solutions. Par exemple, les **méthodes combinatoire exacte** est basées sur une modélisation

mathématique et cherche l'optimum global d'une fonction objectif, grâce à une résolution algorithmique, une exploration intelligente ou une énumération exhaustive de l'espace de recherche, mais elle ne peut pas s'appliquer si l'espace de recherche est de taille trop importante car elle effectue en général une énumération des solutions de l'espace de recherche. Ces méthodes reposent sur le principe de décomposition du problème en plusieurs sous problèmes de telle sorte que l'analyste puisse éliminer les sous problèmes qui ne mènent pas à une solution optimale sans pour autant explorer la totalité des sous problèmes. Parmi ces méthodes, il y a le « Branch and Bound », le « Branch and Cut », la méthode de décomposition de Benders, l'algorithme Global Optimization (GOP) et la programmation dynamique....

Par ailleurs, **les méthodes combinatoires approchées** ont été développées pour faire face aux limites des méthodes exactes (le temps de calcul important). Suite aux nombreux cas où l'optimalité n'est pas importante pour gagner en efficacité les chercheurs se sont mis à développer des algorithmes assez robustes pour les aider à trouver une solution appelée "la solution acceptable" dans un laps de temps réduit, en s'aidant de nouveaux logiciels de programmation informatique tels que Matlab, Eclipse,... etc. Il Ya deux types de ces algorithmes heuristiques-métaheuristiques

Les méthodes approchées heuristiques constituent le moyen le plus efficace pour obtenir une solution de bonne qualité et ils partagent l'inconvénient de ne fonctionnent que pour résoudre un type de problème particulier, pour lequel elles ont été développées.

Les méthodes approchées métaheuristiques sont fondées sur une idée générale et peuvent s'adapter à n'importe quel type de problème sans changements profonds des algorithmes donc elles ont réduit les difficultés des différentes heuristiques et donner de très bons résultats.

Parmi les métaheuristiques, la distinction est faite entre les métaheuristiques à base de solution unique (appelées aussi « méthodes de recherche par voisinage » ou encore « méthode de recherche locale ») qui font progresser une seule fonction à la fois et permettent de surmonter l'obstacle des minimas locaux, nombreuses méthodes ont été proposés dans la littérature. Elles diffèrent essentiellement par le système de voisinage utilisé et la stratégie de parcours du système de voisinage. Parmi lesquelles : la recherche locale simple (la descente), la recherche locale réitérée (Iterated Local Search - ILS), la recherche locale guidée Guided Local Search-GLS), la recherche à voisinage variable (VNS:Variable Neighbourhood Search), le recuit simulé, la recherche tabou ...)

Les métaheuristiques à base de population de solutions ou bien les méthodes distribuées qui manipulent en parallèle toute une population de solutions, elles débutent et manipulent la recherche avec un ensemble de solutions au lieu d'une seule solution, il existe plusieurs (algorithmes génétiques, l'algorithme d'optimisation par essaim de particules, l'algorithme de colonies de fourmis, l'algorithme de colonies d'abeilles, la recherche coucou...).

### 2.4.3 Choix d'un algorithme métaheuristique :

Avant l'adoption de ce mot, on parlait plutôt d'heuristique moderne. Plusieurs définitions ont été proposées pour expliquer clairement ce qu'est une métaheuristique. Aucune de ces définitions n'est universellement reconnue :

“Une métaheuristique est formellement définie comme un processus de génération itératif qui guide une heuristique subordonnée en combinant intelligemment différents concepts pour explorer et exploiter l'espace de recherche, des stratégies d'apprentissage sont utilisées pour structurer l'information afin de trouver efficacement des solutions quasi optimales.”

“Une métaheuristique est un processus maître itératif qui guide et modifie les opérations d'heuristiques subordonnées pour produire efficacement des solutions de haute qualité. Il peut manipuler une solution unique complète (ou incomplète) ou une collection de solutions à chaque itération. Les heuristiques subordonnées peuvent être des procédures de haut (ou bas) niveau, ou une simple recherche locale, ou simplement une méthode constructive.”

Les algorithmes métaheuristicques [Ausiello 95], [Hao 99] sont basés sur l'utilisation de méthodes stochastiques, ils explorent l'ensemble du domaine de recherche et sont directs (pas de calcul de gradient souvent coûteux). L'avantage des méthodes métaheuristicques est de ne pas calculer la jacobienne et la hessienne de la fonction objectif.

Ils permettent également d'optimiser des fonctions discontinues et de s'affranchir des problèmes liés aux minimums locaux. Parmi eux, les algorithmes évolutionnaires sont une famille d'algorithmes métaheuristicques stochastiques s'inspirant des comportements analogues à ceux rencontrés dans la nature. Les avantages de ces algorithmes sont nombreux comme leur mise en œuvre généralement simple et leur robustesse (ils ne sont pas aussi sensibles que les méthodes d'optimisation déterministes). Ils permettent d'intégrer différents types de variables lors de l'optimisation, les calculs peuvent être facilement réalisables en parallèle contrairement à la plupart des autres méthodes et ils permettent de traiter des problèmes multi-objectifs [Jacquenot 10] [Belkaid 16a] [Belkaid 16b].

Pour résumer ces définitions, on peut dire que les propriétés fondamentales des métaheuristicques sont les suivantes.

- ✓ Les métaheuristicques sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution optimale mais sont en général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité
- ✓ Le but visé par les métaheuristicques est d'explorer l'espace de recherche efficacement afin de déterminer des solutions (presque) optimales.
- ✓ Les techniques qui constituent des algorithmes de type métaheuristique vont de la simple procédure de recherche locale à des processus d'apprentissage complexes.
- ✓ Les métaheuristicques peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche.

- ✓ Les concepts de base des métaheuristiques peuvent être décrits de manière abstraite, sans faire appel à un problème spécifique.
- ✓ Les métaheuristiques peuvent faire appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème traité.
- ✓ Les métaheuristiques peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider la suite du processus de recherche.

Comme c'est déjà cité d'une manière générale dans les paragraphes précédents de l'existence de plusieurs familles de méta-heuristiques dans la littérature. Nous citerons dans ce qui suit les plus utilisées dans les problèmes de planification intégré (production-stockage-distribution-routing) les métaheuristiques, telles que le Recuit Simulé [Kirkpatrick 83], la Recherche Tabou [Glover 89] les Algorithmes Génétiques [Holland, 75], les Algorithmes de Colonies de Fourmis [Colomi 91], [Colomi 92], constituent des méthodes générales de recherche dédiées aux problèmes d'optimisation difficiles [Tangour 87], [Borne 10]. Elles sont, en général, présentées sous forme de concepts.

#### **2.4.3.1 Le Recuit Simulé :**

Le Recuit Simulé (Simulated Annealing) est une métaheuristique basée sur la recherche locale qui a prouvé son efficacité grâce à des résultats pratiques obtenus sur de nombreux problèmes NP-difficiles [Dréo 03] et [Karray 08]. Le recuit simulé [Kirkpatrick 83] trouve ses origines dans le phénomène thermodynamique de recuit des métaux [Metropolis 53]. Cette méthode imite une procédure utilisée par les métallurgistes qui, pour obtenir un alliage exempt de défauts, chauffent d'abord à blanc leur morceau de métal et laissent ensuite l'alliage se refroidir très lentement de manière à ce que les atomes aient le temps de s'ordonner régulièrement. Cependant, lorsque la baisse progressive de la température est trop rapide (comme pour la méthode de la Trempe), le solide présente alors des défauts, et un minimum local d'énergie est obtenu. Se basant sur l'évolution d'un système thermodynamique, l'algorithme du recuit simulé accepte, pour sortir d'un minimum local, une dégradation de la fonction de coût avec une certaine probabilité.

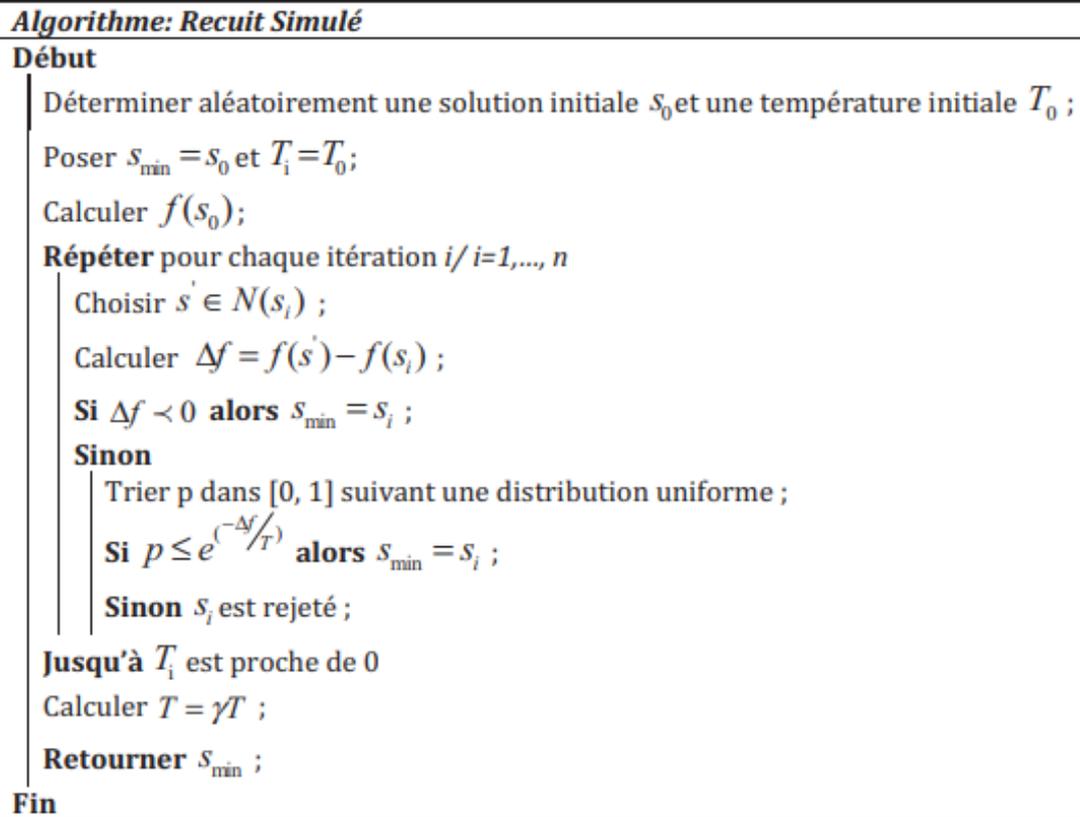


Figure 2.10 : Algorithme général du Recuit Simulé

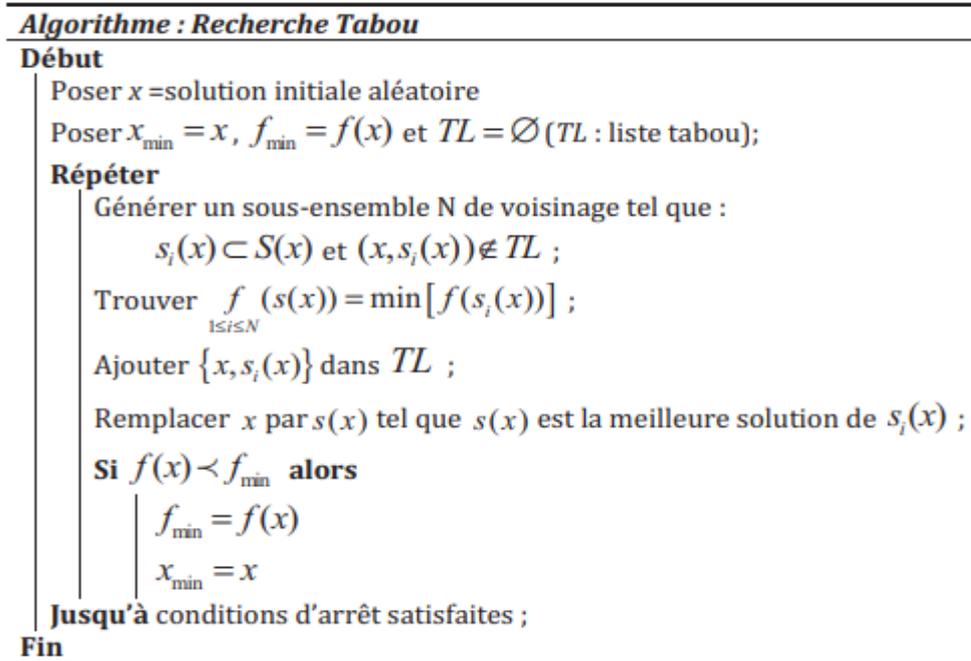
### 2.4.3.2 La Recherche Tabou :

La Recherche Tabou (Tabu Search) est une métaheuristique originalement développée par Glover [Glover 89], [Glover 90]. Elle a été appliquée avec succès pour résoudre de nombreux problèmes NP-difficiles, comme les problèmes de routage de véhicules, les problèmes d'affectation quadratique, aussi les problèmes d'ordonnancement, les problèmes de coloration de graphes et problème de planification intégré. Le principe de la Recherche Tabou est similaire à celui des méthodes de recherche locales itératives. Il est basé sur la création et l'évaluation d'un voisinage de solutions [Dréo 03], [Kammarti 05] et [Karray08] Comme le Recuit Simulé, la Recherche Tabou fonctionne avec une seule configuration courante qui est actualisée au cours des itérations. A chaque itération, figure I.8, le mécanisme de passage d'une configuration à une autre comporte deux étapes :

- la construction d'un ensemble de solutions voisines de la solution courante
- l'évaluation de la fonction objectif  $f$  du problème en chacune des configurations appartenant à l'ensemble de solutions voisines afin de choisir la meilleure solution, même si ce choix entraîne une augmentation de la fonction objectif à minimiser.

En acceptant de détériorer la valeur de la solution courante, le minimum local peut être évité mais, en contrepartie, des parcours répétitifs sont évités. Aussi, pour éviter la présence de cycle, la Recherche Tabou utilise une mémoire afin de conserver pendant un moment les informations sur les solutions déjà visitées. Cette mémoire constitue la liste Tabou, ainsi, une nouvelle solution n'est acceptée que si elle n'appartient pas à cette liste. Ce critère

d'acceptation d'une nouvelle solution évite les cycles et dirige l'exploration de la méthode vers des régions du domaine de solutions non encore visitées. Un critère d'aspiration, également utilisé, permet de lever l'interdiction et de revenir à une solution déjà visitée pour redémarrer la recherche dans une autre direction. Cette idée est développée dans [Glover 95].



**Figure 2.11** : Algorithme général de la Recherche Tabou

### 2.4.3.3 Les algorithmes génétiques :

Selon l'une des théories de l'évolution et de la sélection naturelle (basée sur le néodarwinisme de Charles Darwin, XIX<sup>ème</sup> siècle), les caractéristiques des êtres vivants se modifient progressivement, lors de la phase de reproduction, sous l'influence des conditions extérieures.

Les générations successives d'individus s'adaptent de mieux en mieux aux conditions complexes de leur environnement, maximisant ainsi leur probabilité de survie [Dupont 05]. Pour passer d'une génération à la suivante, deux mécanismes fondamentaux ont été identifiés pour créer un nouvel individu à partir de ses parents :

- le croisement, qui consiste à combiner deux moitiés du patrimoine génétique de chacun des parents pour constituer le patrimoine génétique de l'enfant ;
- la mutation, ou la modification spontanée de quelques gènes de l'enfant.

Le nouvel individu ainsi créé est différent de chacun de ses parents mais partage certaines de leurs caractéristiques. Si le hasard fait que l'enfant hérite de «bonnes» caractéristiques, son espérance de vie est plus élevée et il aura, par conséquent, de plus grande chance de se reproduire. L'analogie entre cette théorie de l'évolution et une métaheuristique pour l'optimisation combinatoire a été proposée par Holland en 1975 [Holland 75]. Ce qui distingue les algorithmes génétiques des autres méthodes, peut être formulé selon quatre axes principaux [Lerman 95] :

- ✓ les algorithmes génétiques utilisent un codage des paramètres, et non les paramètres eux-mêmes,
- ✓ les algorithmes génétiques travaillent sur une population de points, au lieu d'un point unique,
- ✓ les algorithmes génétiques n'utilisent que les valeurs de la fonction étudiée, pas sa dérivée, ou une autre connaissance auxiliaire,
- ✓ les algorithmes génétiques utilisent des règles de transition probabilistes, et non déterministes.

L'utilisation d'un algorithme génétique nécessite la définition, au préalable, d'un espace de recherche dont les éléments de base sont les chromosomes et d'une fonction définie sur cet espace (fonction fitness) dont la valeur optimale est évaluée en rapport avec les opérateurs de croisement et de mutation choisis [Iyer 2004].

L'enchaînement de ces différents éléments de l'algorithme est présenté dans la figure 12.2.

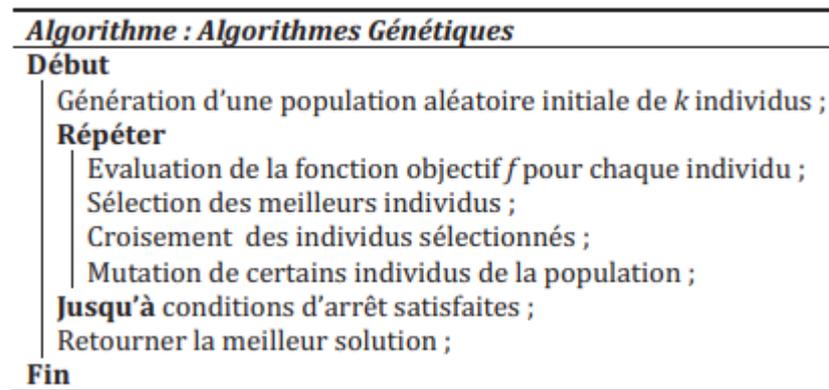


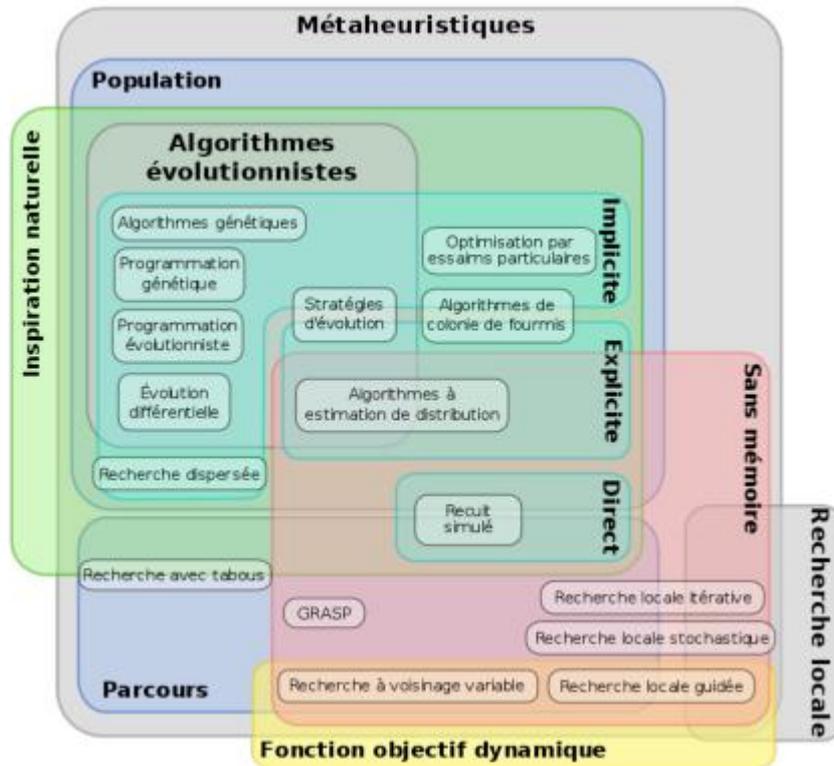
Figure 2.12 : Les Algorithmes Génétiques

#### 2.4.3.4 Les colonies de fourmis :

L'intelligence en essaim est une approche de résolution de problèmes qui inclut les mécanismes de conception d'un algorithme en s'inspirant du comportement social et collectif des insectes ou d'autres animaux (Bonabeau et al., 1999). Ainsi, les phénomènes biologiques sont la principale source d'inspiration pour l'intelligence en essaim (Charrier, 2009). En particulier, les fourmis ont été une source d'inspiration pour un grand nombre de méthodes et de techniques d'optimisation reconnues par les algorithmes de colonies de fourmis (ACO) (Dorigo et al. 2006a). L'ACO est une métaheuristique qui est inspirée du comportement de recherche du chemin le plus court de diverses espèces de fourmis et repose sur la tâche quotidienne des fourmis qui est de trouver la nourriture et la ramener à la fourmilière. Les fourmis parcourent le plus court chemin menant à cette nourriture en suivant les phéromones laissées par chaque fourmi. Là où il y a le plus grand nombre de phéromones, là est le chemin menant le plus rapidement à la nourriture. En général, il se base sur quatre étapes : l'information heuristique, les traces de phéromones, la mise à jour des phéromones et la sélection.

Depuis le travail initial de Dorigo, Maniezzo et Colorni sur l’algorithme Ant System (Dorigo et al., 1996), les ACO sont devenus rapidement un domaine de recherche mature qui s’est développé au travers de modèles de plus en plus sophistiqués pour résoudre un grand nombre de problèmes d’optimisation combinatoire (Cordón et al., 2002).

Cette méthode n’est pas utilisée largement dans la littérature pour la résolution des problèmes de planification intégré. Nous citons juste un exemple de résolution du problème de plus court chemin multimodal par [Engelsman et al. 2013] et [Sawadogo, 2011].



**Figure 2.13** : Classification des algorithmes métaheuristiques (Tabassum et The Society of Digital Information and Wireless Communication 2014)

La Figure 13.2 résume les algorithmes métaheuristiques en fonction de leurs caractéristiques de fonctionnement qui sont basées sur : la population (un ensemble d’individus avec chaque individu correspondant à une section d’alvéole instrumentée), l’inspiration naturelle (les algorithmes génétiques qui agissent comme les chromosomes en biologie ou les colonies de fourmis qui cherchent le chemin le plus court entre leur habitat et la nourriture), le parcours (à l’image du randonneur cherchant le fond de la vallée, comme l’algorithme cherchant le minimum d’une fonction) et la mémoire (les algorithmes génétiques ou l’essaim particulier conservent les meilleurs éléments entre deux itérations de calcul)

Les principales méthodes vont être comparées par la suite afin de choisir l’algorithme d’optimisation à mettre en place pour optimiser notre approche PRP

Parmi c'est algorithme de métaheuristiques nous avons choisis l'algorithme de recuit simulé pour la résolution de notre problème, cette méthode est présentée avec plus de détails dans la partie suivante de ce mémoire.

## 2.5 Modélisation par la programmation mathématique :

Nous nous intéressons, dans ce travail, à la modélisation par programmation mathématique, La modélisation mathématique avant tout est un moyen important pour comprendre un problème d'optimisation donné, impliquant plusieurs variables inter-reliées. Modéliser consiste à écrire en notation mathématique ce qui est exprimé d'abord en mots en faisant intervenir des variables au besoin. C'est l'une des techniques classiques en recherche opérationnelle qui permet de représenter d'une manière concise l'objectif à atteindre et les contraintes à respecter à l'aide d'un ensemble des symboles et des expressions mathématiques. L'objectif cherché est traduit en une fonction à un but avec des variables dont la valeur maximale ou minimale correspond à la meilleure situation du point de vue de décideur, tandis que les contraintes sont souvent représentées par des équations ou des inéquations. L'obtention d'un modèle mathématique amène à tirer profit des techniques mathématiques et des outils informatiques de résolution les plus appropriées. D'autres types de modélisations, que nous ne décrivons pas dans ce travail, sont les modèles d'optimisation combinatoire, les modèles de satisfaction de contraintes et les modèles non analytiques.

En programmation mathématique, les modèles peuvent être classés en :

- problèmes en nombres réels (continuous programs)
- problèmes en nombres entiers (IP ou integer programs)
- problèmes en nombres entiers mixtes (MIP ou mixed integer programs).

Le nom de chaque type de modèle fait référence à la nature des variables de décision utilisées dans la formulation. Ainsi par exemple, les modèles MIP comportent des variables de décision réelles (ou continues) et entières (ou discrètes). Ce type de modélisation peut être vue comme une sous-catégorie de la modélisation IP, car les méthodes de résolution pour des problèmes à nombres réels ne donnent pas des solutions réalisables pour ces modèles, contrairement aux méthodes dédiées pour des problèmes à nombres entiers. Un autre sous-ensemble des modèles IP est celui des modèles 0-1, où les variables de décision prennent uniquement des valeurs binaires (0 ou 1).

Les modèles avec uniquement des variables de décision réelles sont plus faciles à résoudre, avec une complexité polynomiale quand la fonction objectif et les contraintes sont linéaires.

La plupart des problèmes de planification intégrée sont modélisés par des programmes à variables mixtes, les variables entières étant souvent binaires, comme la variable de lancement « Y » il qui vaut 1 si la production du produit  $i$  est lancée à la période  $l$ , ou 0 sinon.

En général, l'inclusion de variables binaires dans la formulation mathématique rend plus difficile la résolution du problème. C'est pourquoi, des méthodes de relaxation et de décomposition sont utilisées pour ne pas considérer ou pour fixer ces variables.

### 2.5.1 Solveur CPLEX

BM ILOG CPLEX Optimization Studio regroupe un ensemble d'outils pour la programmation mathématique et la programmation par contraintes. Il associe :

- ✓ un environnement de développement intégré (Integrated Development Environment - IDE) nommé Cplex Studio IDE (sous Windows) ou oplide (sous Linux),
- ✓ un langage de modélisation : le langage OPL (Optimization Programming Language),
- ✓ deux solveurs : IBM ILOG CPLEX pour la programmation mathématique (résolution de programmes linéaires en nombres fractionnaires, mixtes ou entiers et de programmes quadratiques) et IBM ILOG CP Optimizer pour la programmation par contraintes. Par défaut c'est le solveur CPLEX qui est activé.

#### 2.5.1.1 Le langage OPL (Optimization Programming Language) :

Le langage utilisé dans Cplex Studio IDE est OPL (Optimization Programming Language). Il s'agit d'un langage de modélisation qui permet d'écrire facilement des programmes linéaires (ou quadratiques) grâce à une syntaxe proche de la formulation mathématique. Par ailleurs OPL offre à l'utilisateur la possibilité de séparer le modèle des données, de ce fait un même modèle peut être facilement testé avec différents jeux de données.

OPL fonctionne par projets : pour résoudre un modèle l'utilisateur doit créer un projet OPL dans Cplex Studio IDE qui doit contenir au minimum un fichier "modèle" et un fichier de "configuration d'exécution". En effet chaque projet est constitué de plusieurs types de fichiers :

- ✓ un fichier modèle (.mod) qui contient le modèle à résoudre,
- ✓ un fichier de données (facultatif) qui contient les données pour un modèle,
- ✓ un fichier de paramètres (.ops) (facultatif) qui permet de paramétrer le solveur CPLEX,
- ✓ un fichier de configuration d'exécution (.oplproject) qui indique à l'IDE ce qu'il doit faire quand l'utilisateur demande l'exécution du projet. C'est à dire quel est le modèle à résoudre et quels sont les paramètres et les données (s'il y en a).

### 2.5.2 Objectifs et décisions :

L'objectif est d'assurer la satisfaction du client en minimisant le coût logistique global, formé par les coûts de transport entre chaque point du réseau (linéaires selon la quantité transportée), les coûts de production, stockage.

La figure 14.2 résume la liste de décisions, objectif et contraintes de ce problème.

<b>Objectif</b>
Minimiser le coût global de la chaîne logistique
<b>Décisions</b>
Le trajet suivi dans le routage Calculer la quantité produite, stockée et transportée
<b>Contraintes</b>
Satisfaction de la demande Respecter la capacité de Véhicule et de production Respecter la capacité du stock des nœuds Éliminer les subtours

**Figure 2.14** : Principaux aspects du problème tactique

### 2.5.3 Modélisation du PRP :

Nous proposons dans cette section la formulation mathématique d'un nouveau problème d'optimisation nommé Production Routing Problème (PRP). Nous modélisons ce nouveau problème riche par un modèle linéaire mixte, composé de variables continues, entières et binaire.

Ce modèle d'optimisation porte sur des périodes de temps unique. Nous énumérons dans un premier temps les notations utilisées pour modéliser le problème et présentons dans un second temps les équations du modèle. L'ensemble des notations ci-dessous est résumé dans le Tableau 7.2.

#### 2.5.3.1 Notations :

Les indices :

$j, i$ : indices des noeuds  
 $t$ : indice de périodes

Les paramètres :

$T$ : nombre de périodes  
 $N$ : nombre de noeud  
 $C$ : nombre de client  
 $P$ : types des produits  
 $V$ : ensemble des véhicules  
 $R$ : ensemble des rotation

L'ensemble des notations décrites ci-dessus est résumé dans le Tableau 7.2 :

Donnée	Description
$CPr_{p,t}$	Coût unitaire de production de produit $p$ dans la période $t$
$CSt_{i,p}$	Coût unitaire de stockage de produit $p$ aux noeuds $i$ (usine et client)
$CLn_{p,t}$	Coût de lancement de production de produit $p$ pour la période $t$
$CUt_{v,t,r}$	Coût d'utilisation de la véhicule $v$ dans la période $t$ par la rotation $r$
$CapSt_i$	Capacité maximale de stockage chez le noeud $i$
$CapVe_v$	Capacité de la véhicule $v$
$Cap$	Capacité maximale de l'usine

$DEm_{i,p,t}$	<i>Demande de produit p à la période t par le client i</i>
$st0_{i,p}$	<i>Stock initiale du produit p chez le noeud i</i>

Variable	Description
$QPr_{p,t}$	<i>Quantité produite de produit p à la période t.</i>
$QSt_{i,p,t}$	<i>Quantité Stocké du produit p chez le noeud i à la période t.</i>
$QLv_{i,p,t,v,r}$	<i>Quantité livrée du produit p au client i à la période t par la véhicule v pendant la rotation r</i>
$chrg_{i,j,t,v,r}$	<i>la charge du véhicule v envoyés de noeud i au noeud j à la période t dans la rotation r</i>
$H_{i,t,v,r}$	<i>= 1 si le client i est visité et servi à la période t par la véhicule v pendant la rotation r, 0 sinon.</i>
$Y_{i,j,t,v,r}$	<i>= 1 s'il y a un lien entre le noeud i et l noeud j dans la période t par la véhicule v pendant la rotation r , 0 sinon</i>
$R_{p,t}$	<i>= 1 s'il y a de la production du produit pdans la période t , 0 sinon</i>

**Tableau 2.7** : Notations utilisées dans le modèle mathématique tactique multi périodique

### 2.5.3.2 La fonction objectif :

La fonction objectif sert à minimiser le coût total d'exploitation, Cette valeur exprimée dans l'équation (A) est composée des coûts de production, de stockage, d'utilisation du véhicule, de lancement de production

$$\min \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} CPr_{p,t} * QPr_{p,t} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} QSt_{i,p,t} * CSt_{i,p} \quad \boxed{A}$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} CLn_{p,t} * R_{p,t} + \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} CUt_{v,t,r} * H_{1,v,t,r}$$

### 2.5.3.3 Les contraintes :

$$QSt_{1,p,t} = QSt_{1,p,t-1} + QPr_{p,t} - \sum_{i \in C} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,t,v,r} \quad \forall t \in T - \{1\} , \forall p \in P \quad (1)$$

$$QSt_{i,p,t} = QSt_{i,p,t-1} + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,t,v,r} - DEm_{i,p,t} \quad \forall p \in P, \forall i \in C , \forall t \in T - \{1\} \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} QSt_{i,p,t} \leq CapSt_i \quad \forall i \in N , \forall t \in T \quad (3)$$

Les contraintes (1) et (2) sont pour calculer la valeur du stock de chaque produit et assurer son équilibrage chez le fournisseur et les clients respectivement. La contrainte (3) assure que le stock de tous les produits ne peut pas dépasser sa capacité maximale.

$$\sum_{p \in P} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,t,v,r} \leq \left( CapSt_i + \sum_{p \in P} Dem_{i,p,t} \right) * \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} H_{i,v,t,r} \quad \forall t \in T, \forall i \in C \quad (4)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in C} Qlv_{i,p,t,v,r} \leq CapVe_v * H_{1,v,t,r} \quad \forall t \in T, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (5)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,t,v,r} = \sum_{t \in T} Dem_{i,p,t} \quad \forall i \in C, \forall p \in P \quad (6)$$

La contrainte (4) indique que les quantités livrées des produits doivent respecter la capacité du stock. Les quantités livrées ne doivent pas dépasser la capacité du véhicule, ce qui est indiqué dans la contrainte (5). La contrainte (6) indique que les quantités livrées doivent respecter les demandes des clients.

$$chrg_{i,j,t,v,r} \leq CapVe_v * Y_{i,j,t,v,r} \quad \forall i, j \in N, \forall t \in T, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (7)$$

$$\sum_{j \in C} chrg_{1,j,t,v,r} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in C} Qlv_{j,p,t,v,r} \quad \forall t \in T, \forall p \in P, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} chrg_{i,j,t,v,r} - \sum_{i \in N} chrg_{i,j,t,v,r} = \sum_{p \in P} Qlv_{j,p,t,v,r} \quad \forall t \in T, \forall j \in C, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (9)$$

$$chrg_{i,1,t,v,r} = 0 \quad \forall t \in T, \forall i \in C, \quad , \forall v \in V, \forall r \in R \quad (10)$$

$$chrg_{i,i,t,v,r} = 0 \quad \forall t \in T, \forall i \in N, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (11)$$

Les quantités livrées ne doivent pas dépasser la capacité du véhicule, ce qui est indiqué dans la contrainte (7). La contrainte (8) indique que la somme des quantités sorties de l'usine est égale à la somme des quantités livrées. La contrainte (9) sert à calculer la quantité livrée à chaque client durant la tournée par rapport à la charge du véhicule avant et après visiter ce client. La contrainte (10) assure que le véhicule doit revenir à l'usine vide. La contrainte (11) indique qu'entre un nœud et lui-même il n'y a pas une charge à transporter.

$$\sum_{j \in N} Y_{i,j,t,v,r} + \sum_{j \in N} Y_{j,i,t,v,r} = 2 * H_{i,v,t,r} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (12)$$

$$Y_{i,i,t,v,r} = 0 \quad \forall t \in T, \forall i \in N, \quad , \forall v \in V, \forall r \in R \quad (13)$$

$$\sum_{i \in N} Y_{i,j,t,v,r} = H_{j,v,t,r} \quad \forall j \in N, \forall t \in T, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (14)$$

La contrainte (12) assure que lorsqu'un client est visité, le véhicule doit avoir une entrée et une sortie pour ce client. La contrainte (13) indique qu'entre un nœud et lui-même il n'y a pas un lien. La contrainte (14) exige que si un nœud est visité, il y'a forcément un sommet de départ pour parcourir le lien.

$$QPr_{p,t} \leq R_{p,t} * \sum_{i \in C} \sum_{t' \in T} DEm_{i,p,t'} \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (15)$$

$$QPr_{p,t} \leq Cap_p \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (16)$$

La contrainte (15) indique que les quantités produites doivent respecter les demandes des clients. Les quantités produites ne doivent pas dépasser la capacité de production ce qui assuré dans la contrainte (16)

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in C} Y_{i,j,t,v,r} \geq \frac{\sum_{j \in C} Qlv_{j,p,t,v,r}}{CapVe_v} \quad \forall t \in T, \forall v \in V, \forall r \in R, \forall p \in P \quad (17)$$

La contrainte (17) est la contrainte d'élimination de sub-tour présentée par Chandra et Fisher adaptée pour ce modèle, cette contrainte est appelée : Fractional Capacity Constraints (FCCs)

$$Y_{i,j,t,v,r}, R_{p,t}, H_{j,v,t,r} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall t \in T \quad (18)$$

$$QPr_{p,t}, QSt_{i,p,t}, chrg_{i,j,t,v,r} \geq 0 \quad \forall i, j \in N, \forall t \in T, \forall p \in P \quad (19)$$

$$Qlv_{i,p,t,v,r} \geq 0 \quad \forall t \in T, \forall p \in P, \forall i \in C \quad (20)$$

Pour finir, les équations (18), (19) et (20) expriment les domaines de définition et la nature des variables de décisions des variables. On note également la non-négativité des quantités d'activités (production, stockage et livrée et même la charge).

#### 2.5.4 Expérimentations et résultats :

Afin d'étudier la pertinence de notre approche et son effet sur les performances de résolution,

Nous présentons dans cette partie l'évaluation du modèle mathématique proposé en section 2.5.3 sur des instances théoriques générées aléatoirement et une étude de cas réel proposé par l'entreprise de production TOP Gloves Latex Industrie qui est notre contribution dans le chapitre suivant.

Nous définissons pour cette étude 6 scénarios de répartition d'une production de 5 périodes

- Constant et (mono-produit/multi-produit) : répartition uniforme de la production
- Croissant et (mono-produit/multi-produit) : augmentation constante de la production

- Décroissant et (mono-produit/multi-produit) : diminution constante de la production

**Scenario01 : mono-produit vs demande constante**

➤ Données :

	clients	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Demande	client-01-	100	100	100	100	100
	client-02-	200	200	200	200	200

**Tableau 2.8** : demande constante d'un seul type de produit

Coûts		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Cout de production		10	10	10	10	10
Cout de lancement		6	12	6	12	6
Cout d'utilisation du véhicule	Rotation-01-	150	150	150	150	150
	Rotation-02-	100	100	100	100	100

**Tableau 2.9** : le cout de production-lancement et d'utilisation du véhicule pour le 1er scénario

	Entreprise	Client 01	Client 02
Cout de stockage	0	10	10
Capacité de stockage	1200	500	500
Stock initiale	0	0	0

**Tableau 2.10** : capacité et cout de stockage pour le 1er scénario

Cout de transport	Entreprise	Client 01	Client 02
Entreprise	0	10	20
Client 01	10	0	30
Client 02	20	30	0

**Tableau 2.11** : le cout de transport entre les nœuds pour le 1er scénario

Capacité de véhicule	800
Capacité de production	1200

**Tableau 2.12** : capacité de production et véhicule

➤ Résultats :

**Fonction objectif** : cout totale = 15812

- ❖ La quantité produite

Produit	Période				
	1	2	3	4	5
1	1200	0	0	0	300

**Tableau 2.13** : La quantité produite pour chaque période (scénario 01)

❖ La quantité stockée

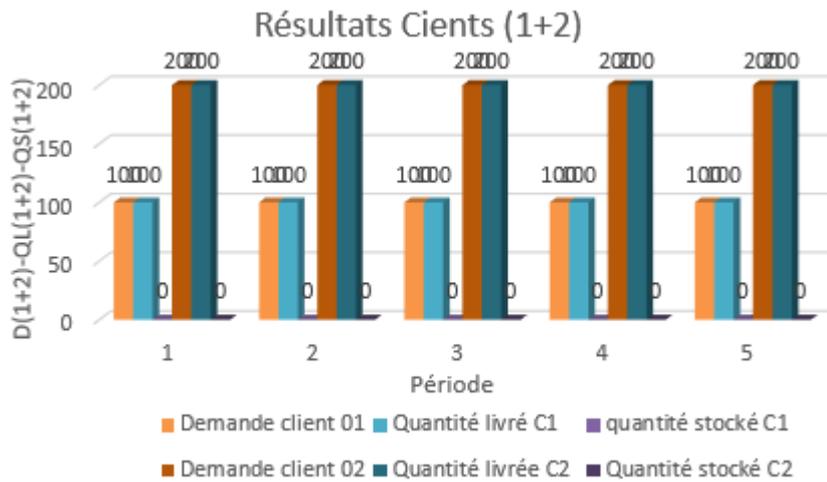
	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Entreprise	900	600	300	0	0
Client-01-	0	0	0	0	0
Client-02-	0	0	0	0	0

**Tableau 2.14** : La quantité stockée dans chaque nœuds et pour chaque période (scénario01)

❖ La quantité livrée :

Client	Produit	Véhicule	Période	Routage	Valeur
Client 01	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	100
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	100
	1	1	3	1	0
	1	1	3	2	100
	1	1	4	1	0
	1	1	4	2	100
	1	1	5	1	0
	1	1	5	2	100
Client 02	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	200
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	200
	1	1	3	1	0
	1	1	3	2	200
	1	1	4	1	0
	1	1	4	2	200
	1	1	5	1	0
	1	1	5	2	200

**Tableau 2.15** : la quantité livrée pour chaque clients avec le routage utilisé



### Interprétation des résultats :

Le tableau numéro 01 nous indique que le solveur CPLEX opte pour une production de 1200 produits dans la première période et la stocker au magasin pour la livrer dans les périodes de 1- 4 pour les raison suivante :

- ✓ La capacité maximale du système est de 1200 P
- ✓ Vu que le cout de production est stable CPLEX vérifie on premier lieu le cout de lancement pour choisir la valeur minimale qui se trouve dans les périodes impaire et on second lieu le cout de stockage pour opté toujours pour une valeur inférieur par rapport au cout de lancement.
- ✓ On ce qui concerne la période 05 CPLEX opte pour une production selon la demande prévu dans cette période

### Remarque :

- ✓ Pour la quantité stockée elle correspond à la quantité livrée graduellement selon le solveur CPLEX périodiquement jusqu'à épuisements du stock
- ✓ CPLEX utilisé le deuxième routage pour la livraison à cause du cout qui est inférieure au premier routage
- ✓ Pour le reste des résultats comme la charge ... voir l'annexe

### **Scenario02 : mono-produit vs demande décroissante**

On a changé que la demande qui devient une demande décroissante et faire un changement entre les deux périodes successive du cout de lancement et nous avons changé le cout de production d'une façon décroissante jusqu'à la période avant dernier et Rê-augmenter dans la période 5 et finalement diminue le cout de stockage chez le client 2 de 10 à 5 unité, tout sa par rapport au scénario numéro 01

➤ Données :

	Clients	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Demande	Client-01-	200	180	150	100	50
	Client-02-	300	200	100	60	10

**Tableau 2.16** : la demande décroissant d'un seul type de produit

Coûts	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Cout de production	10	8	6	4	10
Cout de lancement	12	6	12	6	12

**Tableau 2.17** : cout de production et de lancement pour chaque période (scénario 02)

	Entreprise	Client 01	Client 02
Cout de stockage	0	0	0

**Tableau 2.18** : cout de stockage

➤ **Résultats :**

Fonction objectif : cout totale= F.O : 11096

❖ La quantité produite

Produit	Période				
	1	2	3	4	5
1	500	380	250	220	0

**Tableau 2.19** : La quantité produite pour chaque période (scénario 02)

❖ La quantité stockée

	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Entreprise	0	0	0	0	0
Client-01-	0	0	0	50	0
Client-02-	0	0	0	10	0

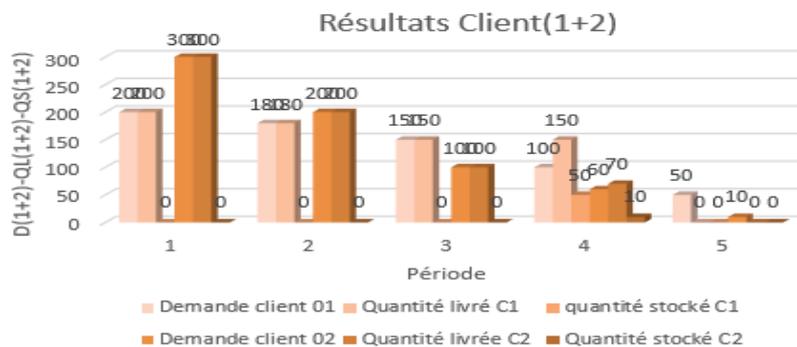
**Tableau 2.20** : la quantité stockée dans chaque nœuds (scénarios 02)

❖ La quantité livrée

Client	Produit	Véhicule	Période	Routage	Valeur
Client 01	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	200
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	180
	1	1	3	1	0
	1	1	3	2	150
	1	1	4	1	0
	1	1	4	2	150

Client 02	1	1	5	1	0
	1	1	5	2	0
	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	300
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	200
	1	1	3	1	0
	1	1	3	2	100
	1	1	4	1	0
	1	1	4	2	70
	1	1	5	1	0
	1	1	5	2	0

Tableau 2.21 : la quantité livrée par le routage et véhicule spécifiée



➤ **Interprétation des résultats :**

Le tableau numéro 02 nous indique que le solveur CPLEX opte pour une production relative à la même période de livraison par ce que durant tous ces période le cout de production est décroissant et inférieure au cout de lancement mise à part la dernière période où on constate que le cout de production et de lancement est supérieure à ce de la période précédente c'est pour ça que CPLEX a basculé la production de la période 5 dans la période 4 et la stocker.

CPLEX utilisé le deuxième routage pour la livraison à cause du cout qui est inférieure au premier routage.

**Scenario 03 : Mono produit vs demande croissante**

On a changé que la demande qui devient une demande croissante et fixé le cout de lancement et finalement change le cout de production de façon croissante, tout sa par rapport au scénario numéro 02.

➤ **Données :**

	clients	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
--	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Demande	Client-01-	50	60	80	100	120
	Client-02-	50	100	200	300	300

**Tableau 2.22** : la demande croissante pour chaque client

Couts	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Cout de production	4	6	8	10	12
Cout de lancement	6	6	6	6	6

**Tableau 2.23** : cout de production et cout de lancement pour chaque période

➤ **Résultats :**

Fonction objectif : cout totale= F.O : 6572

❖ La quantité produite

Produit	Période				
	1	2	3	4	5
1	1200	160	0	0	0

**Tableau 2.24** : la quantité produite pour le 3ème scénario

❖ La quantité stockée

	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Entreprise	1100	1100	820	420	0
Client-01-	0	0	0	0	0
Client-02-	0	0	0	0	0

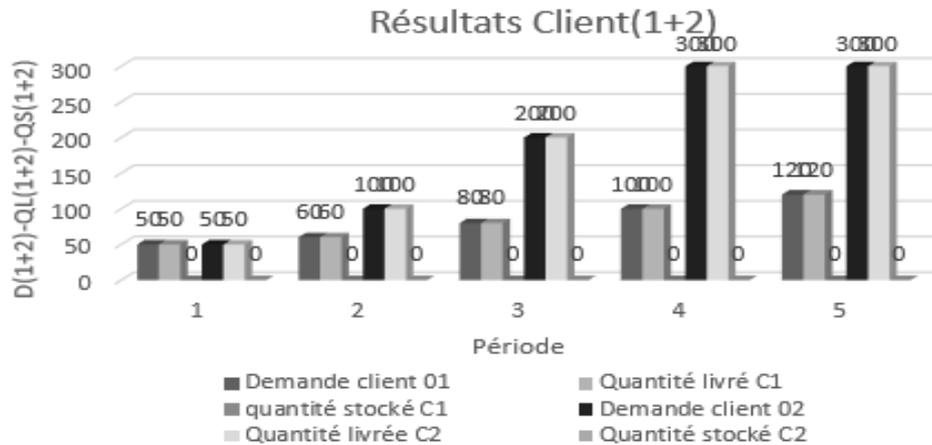
**Tableau 2.25** : La quantité stockée dans chaque nœud

❖ La quantité livrée

Client	Produit	Véhicule	Période	Routage	Valeur
Client 01	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	50
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	60
	1	1	3	1	0
	1	1	3	2	80
	1	1	4	1	0
	1	1	4	2	100
	1	1	5	1	0
	1	1	5	2	120
Client 02	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	50
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	100

1	1	3	1	0
1	1	3	2	200
1	1	4	1	0
1	1	4	2	300
1	1	5	1	0
1	1	5	2	300

**Tableau 2.26** : la quantité livrée dans chaque routage avec une des véhicules



➤ **Interprétations des résultats :**

Dans le tableau numéro 03 on remarque une demande croissante de 100 à 420 avec un cout de lancement stable, cout de production croissant et un cout de stockage nulle alors CPLEX vérifiée ces paramètres et opte pour la solution suivante :

- ✓ Sur une demande de 1360 produits CPLEX opte pour une production de 1200P dans la première période et 160P pour la deuxième période, stockés et livrés graduellement selon le demande jusqu'à épuisements.

**Scenario04 : Multi produit vs demande constante**

➤ **Données :**

clients - Types de P		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Demande	Client-01-	Produit01	100	100	100	100
		Produit02	80	80	80	80
	Client-02-	Produit01	50	50	50	50
		Produit02	60	60	60	60

**Tableau 2.27** : la demande de chaque client avec chaque type de produits dans chaque période

Coûts			Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Cout de production		Produit-01-	10	10	10	10	10
		Produit-02-	5	5	5	5	5
Cout de lancement		Produit-01-	6	6	6	6	6
		Produit-02-	6	6	6	6	6
Cout d'utilisation du	Routage -01-	véhicule-01-	150	150	150	150	150
		véhicule -02-	150	150	150	150	150

véhicule	Routage-02-	véhicule-01-	100	100	100	100	100
		véhicule -02-	100	100	100	100	100

**Tableau 2.28 :** le cout de production, le cout de lancement pour chaque type de produits et le cout par routage d'utilisation du véhicule

		Entreprise	Client 01	Client 02
Cout de stockage	Produit-01-	0	10	10
	Produit-02-	0	10	10
Capacité de stockage	Produit-01-	1200	500	500
	Produit-02-	1200	500	500
Stock initiale	Produit-01-	50	0	0
	Produit-02-	80	0	0

**Tableau 2.2 :** cout et capacité de stockage pour les deux types de produit et dans chaque nœud

Capacité de véhicule	Produit-01-	800
	Produit-02-	800
Capacité de production	Produit-01-	1200
	Produit-02-	1200

**Tableau 3.2 :** capacité de véhicule et de production pour chaque type produit

Cout de transport	Entreprise	Client 01	Client 02
Entreprise	0	10	20
Client 01	10	0	30
Client 02	20	0	0

**Tableau 4.2 :** le cout de transport entre les nœuds

➤ **Résultats :**

Fonction objectif : cout totale= F.O : 10912

❖ La quantité produite

Produit	Période				
	1	2	3	4	5
1	700	0	0	0	0
2	620	0	0	0	0

**Tableau 2.32 :** La quantité produite pour les deux types de produits

❖ La quantité stockée

		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Entreprise	Produit01	600	450	300	150	0
	Produit02	560	420	280	140	0

Client-01-	Produit01	0	0	0	0	0
	Produit02	0	0	0	0	0
Client-02-	Produit01	0	0	0	0	0
	Produit02	0	0	0	0	0

**Tableau 2.33** : la quantité stockée dans chaque nœud

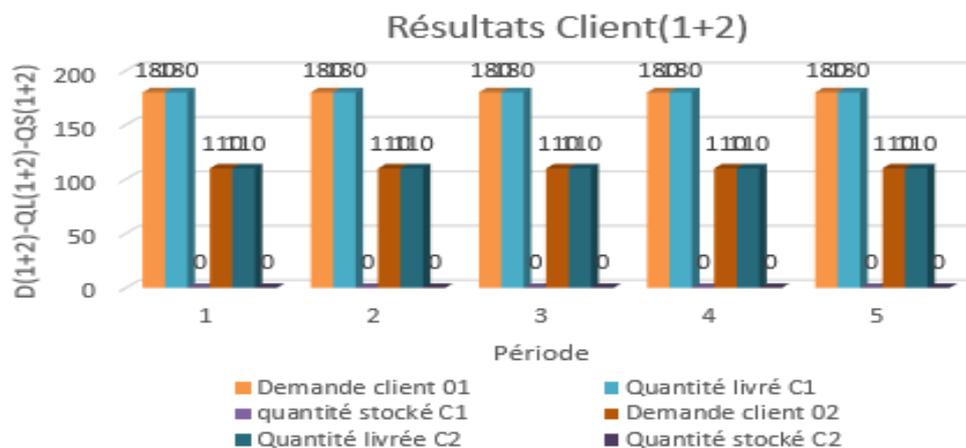
❖ La quantité livrée

Client	Produit	Période	Véhicule	Routage	Valeur	
Client 01	1	1	1	1	0	
	1	1	1	2	0	
	1	1	2	1	0	
	1	1	2	2	100	
	1	2	1	1	0	
	1	2	1	2	100	
	1	2	2	1	0	
	1	2	2	2	0	
	1	3	1	1	0	
	1	3	1	2	100	
	1	3	2	1	0	
	1	3	2	2	0	
	1	4	1	1	0	
	1	4	1	2	0	
	1	4	2	1	0	
	1	4	2	2	100	
	1	5	1	1	0	
	1	5	1	2	0	
	1	5	2	1	0	
	1	5	2	2	100	
	2	1	1	1	1	0
	2	1	1	2	2	0
	2	1	2	1	1	0
	2	1	2	2	2	80
	2	2	1	1	1	0
	2	2	1	2	2	80
	2	2	2	1	1	0
	2	2	2	2	2	0
	2	3	1	1	1	0
	2	3	1	2	2	80
	2	3	2	1	1	0
	2	3	2	2	2	0
	2	4	1	1	1	0
	2	4	1	2	2	0
	2	4	2	1	1	0
	2	4	2	2	2	80
	2	5	1	1	1	0
	2	5	1	2	2	0
	2	5	2	1	1	0
	2	5	2	2	2	80
	1	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	2	0
	1	1	1	2	1	0

Client 02

1	1	2	2	50
1	2	1	1	0
1	2	1	2	50
1	2	2	1	0
1	2	2	2	0
1	3	1	1	0
1	3	1	2	50
1	3	2	1	0
1	3	2	2	0
1	4	1	1	0
1	4	1	2	0
1	4	2	1	0
1	4	2	2	50
1	5	1	1	0
1	5	1	2	0
1	5	2	1	0
1	5	2	2	50
2	1	1	1	0
2	1	1	2	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	60
2	2	1	1	0
2	2	1	2	60
2	2	2	1	0
2	2	2	2	0
2	3	1	1	0
2	3	1	2	60
2	3	2	1	0
2	3	2	2	0
2	4	1	1	0
2	4	1	2	0
2	4	2	1	0
2	4	2	2	60
2	5	1	1	0
2	5	1	2	0
2	5	2	1	0
2	5	2	2	60

Tableau 2.34 : la quantité livrée pour le scénario 04



➤ **interprétation des résultats :**

Dans le tableau numéro 04 on remarque que on a un cout de production et de lancement stable dans tous les période avec un cout de stockage nulle et une capacité de 50 P de type 01 et 80 P de type 02, après vérification de CPLEX la production totale se fait dans la première période, elle est équivalente à la valeur de la demande totale moins le stock disponible, stockée et livrée graduellement selon les périodes.

**Remarque:** la livraison peut être faite par l'un des deux véhicules par ce qu'ils présentent le même cout de revient et bien sur cette livraison doit être faite pendant le deuxième routage vu le coût inférieur.

**Scenario 05 : Multi produit vs demande décroissante**

➤ Données :

Nous avons changé que la demande qui devient une demande décroissante et nous avons inversé entre le cout de production de produit type 01 et type 02 par rapport au scénario numéro 05.

Types de Produit		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5	
Demande	Client-01-	Produit01	300	200	150	100	50
		Produit02	150	120	100	80	0
	Client-02-	Produit01	200	100	50	0	00
		Produit02	100	80	60	40	20

**Tableau 2.35 :** la demande décroissante de chaque client

Couts		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Cout de production	Produit-01-	5	5	5	5	5
	Produit-02-	10	10	10	10	10

**Tableau 2.36 :** le cout de production de chaque type

➤ **Résultats :**

Fonction objectif : cout totale= F.O : 13012

❖ La quantité produite

Produit	Période				
	1	2	3	4	5
1	1100	0	0	0	0
2	670	0	0	0	0

**Tableau 2.37 :** la quantité produite pour le scénario 05

❖ La quantité stockée

		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Entreprise	Produit01	650	350	150	50	0
	Produit02	500	300	140	20	0
Client-01-	Produit01	0	0	0	0	0

	Produit02	0	0	0	0	0
Client-02-	Produit01	0	0	0	0	0
	Produit02	0	0	0	0	0

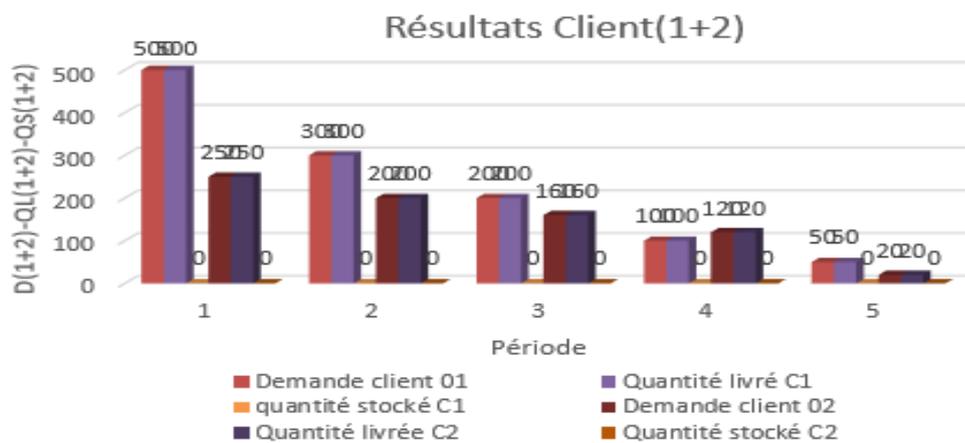
Tableau 2.38 : la quantité stockée pour le scénario 05

❖ La quantité livrée

Client	Produit	Période	Véhicule	Routage	Valeur
Client 01	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	0
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	300
	1	2	1	1	0
	1	2	1	2	200
	1	2	2	1	0
	1	2	2	2	0
	1	3	1	1	0
	1	3	1	2	0
	1	3	2	1	0
	1	3	2	2	150
	1	4	1	1	0
	1	4	1	2	100
	1	4	2	1	0
	1	4	2	2	0
	1	5	1	1	0
	1	5	1	2	50
	1	5	2	1	0
	1	5	2	2	0
Client 01	2	1	1	1	0
	2	1	1	2	0
	2	1	2	1	0
	2	1	2	2	150
	2	2	1	1	0
	2	2	1	2	120
	2	2	2	1	0
	2	2	2	2	0
	2	3	1	1	0
	2	3	1	2	0
	2	3	2	1	0
	2	3	2	2	100
	2	4	1	1	0
	2	4	1	2	80
	2	4	2	1	0
	2	4	2	2	0
	2	5	1	1	0
	2	5	1	2	0
	2	5	2	1	0
	2	5	2	2	0
	1	1	1	1	0
	1	1	1	2	0
	1	1	2	1	0
	1	1	2	2	200
	1	2	1	1	0

Client 02	1	2	1	2	100
	1	2	2	1	0
	1	2	2	2	0
	1	3	1	1	0
	1	3	1	2	0
	1	3	2	1	0
	1	3	2	2	50
	1	4	1	1	0
	1	4	1	2	0
	1	4	2	1	0
	1	4	2	2	0
	1	5	1	1	0
	1	5	1	2	0
	1	5	2	1	0
	1	5	2	2	0
	2	1	1	1	0
	2	1	1	2	0
	2	1	2	1	0
	2	1	2	2	100
	2	2	1	1	0
	2	2	1	2	80
	2	2	2	1	0
	2	2	2	2	0
	2	3	1	1	0
	2	3	1	2	0
	2	3	2	1	0
	2	3	2	2	60
	2	4	1	1	0
	2	4	1	2	40
	2	4	2	1	0
	2	4	2	2	0
	2	5	1	1	0
	2	5	1	2	20
	2	5	2	1	0
2	5	2	2	0	

Tableau 2.39 : la quantité livrée pour chaque routage et véhicule (le scénario 05)



➤ **interprétation des résultats :**

Dans le tableau numéro 05 on remarque que on a un cout de production et de lancement stable dans tous les période avec un cout de stockage nulle et une capacité de 50 P de type 01

et 80 P de type 02, après vérification de CPLEX la production totale se fait dans la première période, elle est équivalente à la valeur de la demande totale moins le stock disponible, stockée et livrée graduellement selon les période

**Remarque :** la livraison peut être faite par l'un des deux véhicules par ce qu'ils présentent le même cout de revient et bien sur cette livraison doit être faite pendant le deuxième routage vu le cout inférieure

### **Scenario06 : Multi produit vs demande croissante**

Nous avons changé la demande qui devient une demande croissante et même le cout de production qui devient un cout décroissant pour les deux types de produit, tout sa par rapport au scénario numéro 05

		Types de P	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Demande	Client-01-	Produit01	20	40	60	80	100
		Produit02	0	0	50	100	200
	Client-02-	Produit01	50	100	150	200	300
		Produit02	20	50	90	110	300

**Tableau 2.40 :** La demande croissante pour deux types de produit

Couts		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Cout de production	Produit-01-	12	10	8	6	4
	Produit-02-	10	6	4	2	1

**Tableau 2.41 :** cout de production pour le scénario 06

#### ➤ Résultats :

Fonction objectif : cout totale= F.O : 8988

#### ❖ La quantité produite

Produit	Période				
	1	2	3	4	5
1	20	140	210	280	400
2	0	0	130	210	500

**Tableau 2.42 :** La quantité produite pour les deux types

#### ❖ La quantité stockée

		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Entreprise	Produit01	0	0	0	0	0
	Produit02	60	10	0	0	0
Client-01-	Produit01	0	0	0	0	0
	Produit02	0	0	0	0	0
Client-02-	Produit01	0	0	0	0	0
	Produit02	0	0	0	0	0

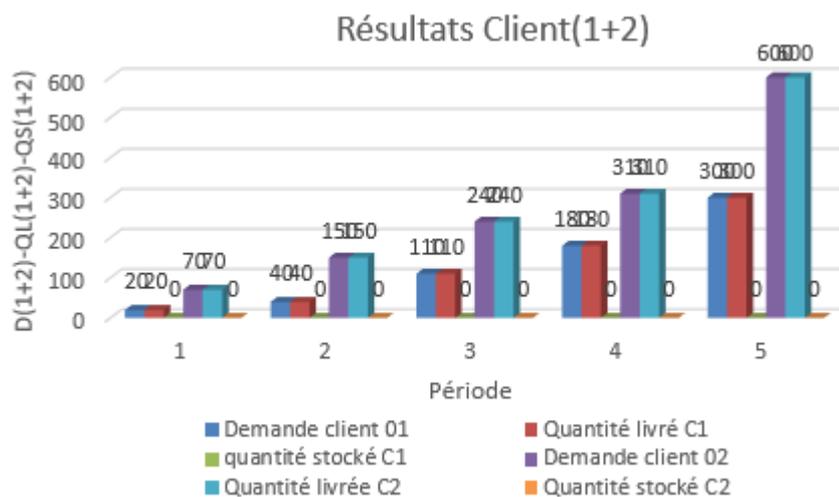
**Tableau 2.43** : la quantité stockée dans chaque nœud

❖ La quantité livrée

Client	Produit	Période	Véhicule	Routage	Valeur	
Client 01	1	1	1	1	0	
	1	1	1	2	20	
	1	1	2	1	0	
	1	1	2	2	0	
	1	2	1	1	0	
	1	2	1	2	40	
	1	2	2	1	0	
	1	2	2	2	0	
	1	3	1	1	0	
	1	3	1	2	0	
	1	3	2	1	0	
	1	3	2	2	60	
	1	4	1	1	0	
	1	4	1	2	80	
	1	4	2	1	0	
	1	4	2	2	0	
	1	5	1	1	0	
	1	5	1	2	0	
	1	5	2	1	0	
	1	5	2	2	100	
	2	1	1	1	1	0
	2	1	1	1	2	0
	2	1	2	1	1	0
	2	1	2	2	2	0
	2	2	1	1	1	0
	2	2	1	2	2	0
	2	2	2	1	1	0
	2	2	2	2	2	0
	2	3	1	1	1	0
	2	3	1	2	2	0
	2	3	2	1	1	0
	2	3	2	2	2	50
	2	4	1	1	1	0
	2	4	1	2	2	100
	2	4	2	1	1	0
	2	4	2	2	2	0
	2	5	1	1	1	0
	2	5	1	2	2	0
	2	5	2	1	1	0
	2	5	2	2	2	200
	1	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	2	50
	1	1	2	1	1	0
	1	1	2	2	2	0
	1	2	1	1	1	0

Client 02	1	2	1	2	100
	1	2	2	1	0
	1	2	2	2	0
	1	3	1	1	0
	1	3	1	2	0
	1	3	2	1	0
	1	3	2	2	150
	1	4	1	1	0
	1	4	1	2	200
	1	4	2	1	0
	1	4	2	2	0
	1	5	1	1	0
	1	5	1	2	300
	1	5	2	1	0
	1	5	2	2	0
	2	1	1	1	0
	2	1	1	2	20
	2	1	2	1	0
	2	1	2	2	0
	2	2	1	1	0
	2	2	1	2	50
	2	2	2	1	0
	2	2	2	2	0
	2	3	1	1	0
	2	3	1	2	0
	2	3	2	1	0
	2	3	2	2	90
	2	4	1	1	0
	2	4	1	2	110
	2	4	2	1	0
	2	4	2	2	0
	2	5	1	1	0
	2	5	1	2	300
2	5	2	1	0	
2	5	2	2	0	

Tableau 2.44 : la quantité livré pour chaque clients par routage



➤ interprétation des résultats :

Dans le tableau numéro 06 on remarque que on a un cout de production décroissant et de lancement stable dans tous les périodes avec un cout de stockage nulle et une capacité de 50 P de type 01 et 80 P de type 02

CPLEX utilise périodiquement la théorie de production de chaque période = demande client- stock disponible

Remarque : la livraison peut être faite par l'un des deux véhicules par ce qu'ils présentent le même cout de revient et bien sur cette livraison doit être faite pendant le deuxième routage vu le cout inférieure

## 2.6 Application de Recuit Simulé pour la résolution du problème de PRP :

L'application de Recuit Simulé, pour la résolution du problème de PRP considéré, sur le modèle dans sa globalité est très difficile, aussi nous avons opté pour décomposer le modèle en trois parties :

- ✓ Partie 1 : c'est la partie principal qui présente les clients visité, les quantités livré et les stocks clients avec des variable des décisions :  $H(i, t, v, r)$ ,  $QLv(i, p, t, v, r)$ ,  $I(i, p, t)$  pour calculer en premier le coût d'utilisation de la véhicule et le coût de stockage chez les clients ensuite on va calculer le coût globale
- ✓ Partie 2 : qui présente l'entreprise et son stock avec des variables de décisions  $R(p, t)$ ,  $Qp(p, t)$ ,  $Qs(p, t)$  pour calculer le coût de lancement, production et de stockage
- ✓ Partie 3 : qui présente le chemin de transport avec une variable de décision  $Y(i, j, t, v, r)$  pour calculer le coût de transport

Ainsi notre fonction objectif est constituée de 6 variables de décisions qui sont  $H(i, t, v, r)$ ,  $I(i, p, t)$ ,  $R(p, t)$ ,  $Qp(p, t)$ ,  $Qs(p, t)$ ,  $Y(i, j, t, v, r)$ . Nous remarquons que la variable  $QLv(i, p, t, v, r)$  est une variable qui ne fait pas partie de la fonction objectif mais qu'on a utilisé comme variable intermédiaire pour calculer d'autres variables. L'application de Recuit Simulé sur le modèle dans son état brut est difficile si ce n'est impossible. Nous utiliserons un codage pour quelque variable et nous déduirons le reste des variables de décision avec des algorithmes de réparation.

### 2.6.1 Le codage :

Dans le cadre de notre application, nous avons opté pour un codage binaire pour les variables suivantes :  $R(p, t)$ ,  $H(i, t, v, r)$ ,  $Y(i, j, t, v, r)$ .

Le reste des variables de décision  $Qp(p, t)$ ,  $Qs(p, t)$  sont des variables entiers, alors nous avons appliqué des algorithmes de réparation pour les déduire

### 2.6.2 Les algorithmes de réparation :

L'opération de répartition nous aide à déterminer les variables de décision, nous avons pu développer 06 algorithmes de réparation.

### 2.6.2.1 Les clients à visiter :

Cet algorithme déduit les clients à visiter pour chaque période, chaque véhicule et chaque routage si possible. Nous avons comme donnée d'entrée la matrice  $QLv(i, p, t, v, r)$  qui signifie les quantités livrées à chaque client chaque période, chaque véhicule et chaque routage si possible. Par exemple si on va livrer les clients : 1,3 et 5 dans la période 1 par la véhicule 1 et le 1 er routage, alors cet algorithme que l'entreprise doit visiter les clients : 1,3 et 5 dans la période 1 par la véhicule 1 et le 1 er routage.

#### *Algorithme : Client à visiter*

**Début :**  
**Pour** chaque période  $t$   
     **Pour** chaque client  $i$   
         **Pour** chaque véhicule  $v$   
             **Pour** chaque routage  $r$   
                 **Si**  $(\sum_{p \in P} QLv(i, p, t, v, r)) > 0 :$   
                      $H(i, t, v, r) = 1$   
                 **Fin Si**  
             **Fin pour**  $r$   
         **Fin pour**  $v$   
     **Fin pour**  $i$   
**Fin pour**  $t$   
**Return**  $H$   
**Fin**

**Figure 2.15 :** l'algorithme pour Client à visiter

### 2.6.2.2 Calcul de la quantité à produire :

Cet algorithme calcule la quantité à produire pour chaque produit et chaque période. Nous avons comme données d'entrée  $R(p, t)$  qui signifie s'il y a de production de produit  $p$  dans la période  $t$ , et  $QLv(i, p, t, v, r)$  car la quantité à produire n'est pas en fonction de la demande mais en fonction de la somme des quantités livrées. Pour mieux comprendre l'algorithme voici un exemple d'un seul produit et 05 périodes :

Si $R(1, t) :$	1	1	1	1	1
Alors $Qp(1, t) :$	30	25	20	40	12
Et si $R(1, t) :$	1	0	0	1	1
Alors $Qp(1, t) :$	75	0	0	40	12

$30+25+20$

#### *Algorithme : Calcul de la quantité à produire*

**Début :**  
**Pour** chaque période  $t$   
     **Pour** chaque produit  $p$   
         **Si**  $R(p, t) = 1 :$   
              $Qp(p, t) = \sum_{i \in C} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} QLv(i, p, t, v, r)$

```

Sinon :
     $k=1$ 
    Faire :
        Si  $R(p,t-k)=1$  :
             $Qp(p,t)=\sum_{f=t-k}^t \sum_{i \in C} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} QLv(i, p, f, v, r)$ 
        Fin Si
         $k=k+1$ 
    Tant que (  $R(p,t-k)=0$  )
Fin Si
Fin pour p
Fin pour t
Return  $Qp$ 
Fin

```

---

**Figure 2.16 :** Algorithme pour le calcul de la quantité à produire

### 2.6.2.3 Calc\_stock\_client :

Le principe de cet algorithme est de calculer la quantité stockée chez les clients par une simple équation. Nous avons comme donnée d'entrée  $QLv(i, p, t, v, r)$ .

---

#### *Algorithme : Calc\_stock\_client*

---

```

Début :
    Pour chaque période  $t$ 
        Pour chaque produit  $p$ 
            Pour chaque client  $i$ 
                 $I(i, p, t) = I(i, p, t - 1) + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} QLv(i, p, t, v, r) - dem(i, p, t)$ 
            Fin pour i
        Fin pour p
    Fin pour t
    Return  $I$ 
Fin

```

---

**Figure 2.17 :** Algorithme pour calculer la quantité stockée chez les clients

### 2.6.2.4 Calcul de la quantité à stocker :

Cet algorithme permet de calculer la quantité stockée chez l'entreprise par une équation. Nous avons comme données d'entrée  $QLv(i, p, t, v, r)$  et  $Qp(p, t)$ .

---

#### *Algorithme : Calcul de la quantité à stocker*

---

**Début :**

*Pour* chaque période  $t$

*Pour* chaque produit  $p$

$Qs(p, t)$

$$= Qs(p, t - 1) + Qp(p, t) - \sum_{i \in C} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} QLv(i, p, t, v, r)$$

*Fin* pour  $p$

*Fin* pour  $t$

**Return**  $Qs$

**Fin**

---

**Figure 2.18 :** Algorithme pour calculer la quantité stockée chez l'entreprise

### 2.6.2.5 Coût de pro\_lan\_stock :

Dans cet algorithme nous avons appliqué le Recuit Simulé qui est pour but de trouver le moindre coût de production, lancement et stockage avec une donnée d'entrée  $QLv(i, p, t, v, r)$ . Voici les étapes de cet algorithme :

**Etape 1 :** générer une solution initiale  $R\_init(p, t)$  d'une manière aléatoire soit 0 soit 1.

**Etape 2 :** calculer les quantités à produire et les quantités stockées chez l'entreprise en utilisant les algorithmes de réparation.

**Etape 3 :** valider les 03 contraintes. Dans ce cas nous avons pu développer 03 fonctions pour vérifier ces contraintes.

**Etape 4 :** à partir de notre solution initiale  $R\_init(p, t)$ , le recuit simulé se déroule en plusieurs itérations. A chaque itération un voisin aléatoire est générer (par le choix d'un élément et changer sa valeur de 1 à 0 ou l'inverse) pour chaque type de produit. Ensuite on doit refaire les étapes 2 et 3.

**Etape 5 :** le voisin est accepté avec une probabilité donnée qui dépend de la température actuelle et la quantité de dégradation  $\Delta E$  de la fonction objectif (coût de production, lancement et stockage).

**Etape 6 :** une fois que l'état d'équilibre est atteint, la température diminue progressivement selon un planning de refroidissement de sorte que peu de solutions dégradées sont acceptées à la fin de la recherche.

**Etape 7 :** la solution trouvée va être envoyée à l'algorithme principal.

---

### *Algorithme : Coût de pro\_lan\_stock*

---

**Début :**

*Pour* chaque période  $t$

*Pour* chaque produit  $p$

$R\_init(p, t) = \text{random}(0, 1)$

*Fin* pour  $p$

*Fin* pour  $t$

$Qp\_init = \text{appel à "Calcul de la quantité à produire}(R\_init)"$

---

---

```

Qs_init = appel à "Calcul de la quantité à stocker(Qp_init)"
#Validation des contraintes :
- Contrainte de satisfaction de la demande
- Contrainte de capacité de production
- Contrainte capacité de stockage de l'entreprise
R = R_init
Qp = Qp_init
Qs = Qs_init
T=Tmax
Répéter #à une température fixe
    Répéter
        # à partir de R, générer un voisin R2 par le choix d'un élément de R
        et changer sa valeur (de 1 à 0 ou l'inverse)
        Qp2 = appel à "Calcul de la quantité à produire(R2)"
        Qs2 = appel à "Calcul de la quantité à stocker(Qp2)"
        #Validation des contraintes :
        - Contrainte de satisfaction de la demande
        - Contrainte de capacité de production
        - Contrainte capacité de stockage de l'entreprise
        ΔE = coût_E(R2, Qp2, Qs2) – coût_E(R, Qp, Qs) #calculer le
        coût de lancement, production et de stockage
        Si ΔE < 0 :
            R = R2
            Qp = Qp2
            Qs = Qs2
        Sinon :
            Accepter R , Qp , Qs avec une probabilité  $e^{-\frac{DE}{T}}$ 
        Fin Si
    Jusqu'à condition d'équilibre
    T=a*T #abaisser doucement la température
Jusqu'à condition d'arrêt
Return coût_E(R, Qp, Qs)
Fin

```

---

**Figure 2.19 :** Algorithme pour le calcul des couts (production, lancement et stock)

### 2.6.2.6 Coût de transport :

Dans cet algorithme nous avons appliqué le Recuit Simulé qui est pour but de trouver le moindre coût de transport avec une donnée d'entrée  $H(i, t, v, r)$ . Voici les étapes de cet algorithme :

**Etape 1 :** générer une solution initiale  $y_{init}(t, v, r, i)$  à partir de  $H(i, t, v, r)$ . Si par exemple on va visiter les clients 1, 2, 5 et 7 dans la 1<sup>er</sup> période, 1<sup>er</sup> véhicule et le 1<sup>er</sup> routage alors

$y_{init}(t, v, r, i)$  Devient :

E : entreprise

Client	E	1	2	3	4	5	6	7	
Classe		1	2	3	0	0	4	0	5

**Etape 2 :** transformer le  $y_{init}$ . Prenons l'exemple précédent :

Client \ Client	E	1	2	3	4	5	6	7
E	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0

$Y(i, j, t, v, r)$  devient :

**Etape 3 :** à partir de notre solution initiale  $y_{init}(t, v, r, i)$ , le recuit simulé se déroule en plusieurs itérations. A chaque itération un voisin aléatoire est générer (par le choix de 2 clients aléatoire ensuite on doit les permuter) pour chaque période, véhicule et routage.

**Etape 4 :** le voisin est accepté avec une probabilité donnée qui dépend de la température actuelle et la quantité de dégradation  $\Delta E$  de la fonction objectif (coût de transport).

**Etape 5 :** une fois que l'état d'équilibre est atteint, la température diminue progressivement selon un planning de refroidissement de sorte que peu de solutions dégradées sont acceptés à la fin de la recherche.

**Etape 6 :** la solution trouvée va être envoyée à l'algorithme principal.

---

### *Algorithme : Coût de transport*

---

**Début :**

**Pour** chaque période  $t$

**Pour** chaque véhicule  $v$

**Pour** chaque routage  $r$

**val** = 1 #pour le classement des clients à visiter

**Pour** chaque client  $i$

**Si**  $H(i, t, v, r) = 0$  :

$y_{init}(t, v, r, i) = 0$

**Sinon :**

$y_{init}(t, v, r, i) = val$

$val = val + 1$

**Fin Si**

**Fin pour**  $n$

**Fin pour**  $r$

**Fin pour**  $v$

**Fin pour**  $t$

$yI = y_{init}$

#on va utiliser une fonction qui va transformer la matrice  $yI(t, v, r, i)$  à une matrice

$Y(i, j, t, v, r)$  qui contient des variables binaires qui nous montre les liens entre le client  $i$

---

```

et le client j par des l
Y=transformer (y1)
T=Tmax
Répéter #à une température fixe
    Répéter
        #à partir de y1, générer un voisin y2 par la permutation de 2 éléments
        Y2=transformer (y2)
         $\Delta E = \text{coût}_T(Y2) - \text{coût}_T(Y)$  #calculer le coût de transport
        Si  $\Delta E < 0$  :
            Y=Y2
        Sinon :
            Accepter Y avec une probabilité  $e^{-\frac{\Delta E}{T}}$ 
        Fin Si
    Jusqu'à condition d'équilibre
    T=a*T #abaisser doucement la température T

Jusqu'à condition d'arrêt
Return coût_T(Y)
Fin

```

**Figure 2.20** : algorithme calcule le cout de transport

### 2.6.2.7 Algorithme principal :

Dans cet algorithme nous avons aussi appliqué le Recuit Simulé pour trouver le moindre coût d'utilisation de véhicule et de stockage chez les clients. Ensuite on fait appel aux 02 algorithmes : « client à visiter » et « calc\_stock\_client » afin de calculer le coût globale par la somme des 03 coûts (coût d'utilisation de véhicule et de stockage chez + coût de transport + coût de production, lancement et stockage). Voici les étapes de cet algorithme :

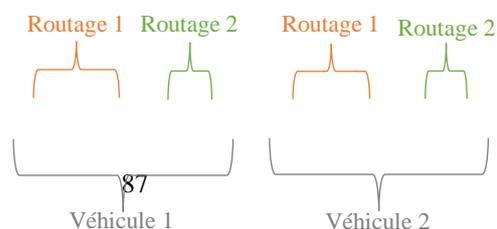
**Etape 1** : générer une solution initiale pour  $QLv\_init(i, p, t, v, r)$  et  $H\_init(i, t, v, r)$ . Ensuite on va calculer la quantité à stocker chez l'entreprise par une équation.

**Etape 2** : valider les 03 contraintes. Dans ce cas nous avons pu développer 03 fonctions pour vérifier ces contraintes.

**Etape 3** : à partir de notre solution initiale  $QLv\_init(i, p, t, v, r)$ , le recuit simulé se déroule en plusieurs itérations. A chaque itération un voisin aléatoire est générer (tout d'abord on va choisir d'une manière aléatoire un des trois voisinages ensuite le processus fait les permutations nécessaire).

#### Le voisinage :

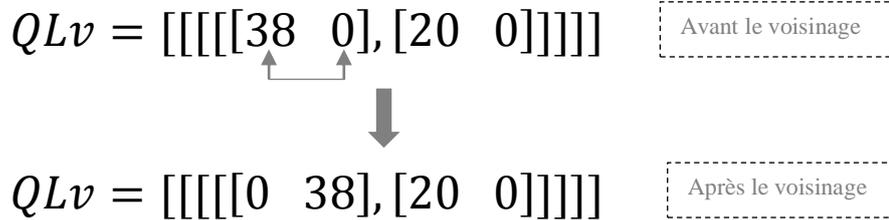
Prenons un exemple : nous avons un client  $i=1$ , une période  $t=1$ , un produit  $p=1$ , 2 véhicules et une possibilité de 2 routage, alors notre matrice  $QLv(i, p, t, v, r)$  devient :



$$QLv = [[[[[38 \ 0], [20 \ 0]]]]]$$

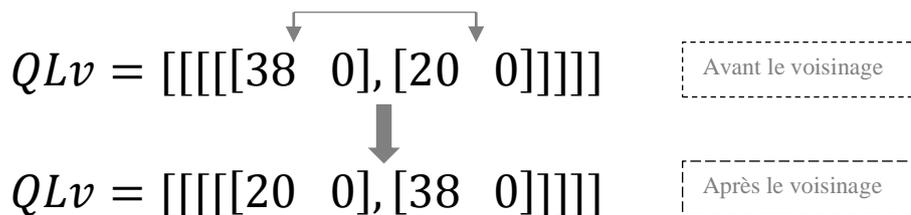
**Voisin de Routage :**

Dans cet exemple on va choisir le véhicule 1 et permuter les éléments de routage.



**Voisin de véhicule :**

Dans le même exemple nous avons 2 véhicules donc la permutation doit être effectuée sur ces 2 véhicules.



**Etape 4 :** valider les 03 contraintes.

**Etape 5 :** le voisin est accepté avec une probabilité donnée qui dépend de la température actuelle et la quantité de dégradation  $\Delta E$  de la fonction objectif (coût d'utilisation de véhicule et stockage).

**Etape 6 :** une fois que l'état d'équilibre est atteint, la température diminue progressivement selon un planning de refroidissement de sorte que peu de solutions dégradées sont acceptées à la fin de la recherche.

**Etape 7 :** faire appel aux 02 algorithmes : « client à visiter » et « calc\_stock\_client » et rassembler les 2 résultats avec la 3<sup>ème</sup> (coût d'utilisation de véhicule et stockage) afin de trouver le meilleur coût global.

---

***Algorithme : Principal***

---

**Début :**

***Pour*** chaque client  $i$   
                   ***Pour*** chaque période  $t$   
                                    $v$  et  $r$  sont aléatoires

---

```

H_init(i, t, v, r) = 1
Pour chaque produit p
    QLv_init(i, p, t, v, r) = dem(i, p, t) - I_init(i, p, t - 1)
    I_init(i, p, t) = QLv_init(i, p, t, v, r) - dem(i, p, t)
Fin pour p
Fin pour t
Fin pour i
#Validation des contraintes :
-contrainte capacité de véhicule
- contrainte capacité de stockage de client
- contrainte capacité de production
QLv = QLv_init
I = I_init
H = H_init
T=Tmax
Répéter #à une température fixe
    Répéter
        #à partir de QLv et un des voisinages :
        - Voisin de routage #effectuer des permutations entre 2 éléments
          au niveau de vecteur de routage
        - Voisin de véhicule # choisir 2 véhicule (2 vecteurs) si possible et
          permuter les deux entre eux
        - Voisin de période #permuter entre 2 période prenant en
          considération les contraintes de satisfaction de demande
        On va générer un voisin QLv_v
        #Validation des contraintes :
        -contrainte capacité de véhicule
        - contrainte capacité de stockage de client
        - contrainte capacité de production
        H_v = appel à "Client à visiter(QLv_v)"
        I_v = appel à "calc_stock_client(QLv_v)"
         $\Delta E = \text{coût}(\mathbf{H}_v, \mathbf{I}_v) - \text{coût}(\mathbf{H}, \mathbf{I})$  #calculer le coût d'utilisation
          de la véhicule et le coût de stockage de chaque client
        Si  $\Delta E < 0$  :
            QLv = QLv_v
            H = H_v
            I = I_v
        Sinon :
            Accepter QLv , H , I avec une probabilité  $e^{-\frac{\Delta E}{T}}$ 
        Fin Si
    Jusqu'à condition d'équilibre
    T=a*T #abaisser doucement la température T
    Jusqu'à condition d'arrêt
    Coût globale= coût (H, I)+appel à "Coût de pro_lan_stock(QLv)" +appel à
    "Coût de transport(H)"
    Print « Coût globale »
Fin

```

Figure 2.21 : Algorithme principale de notre approche

**Schéma explicatif :**

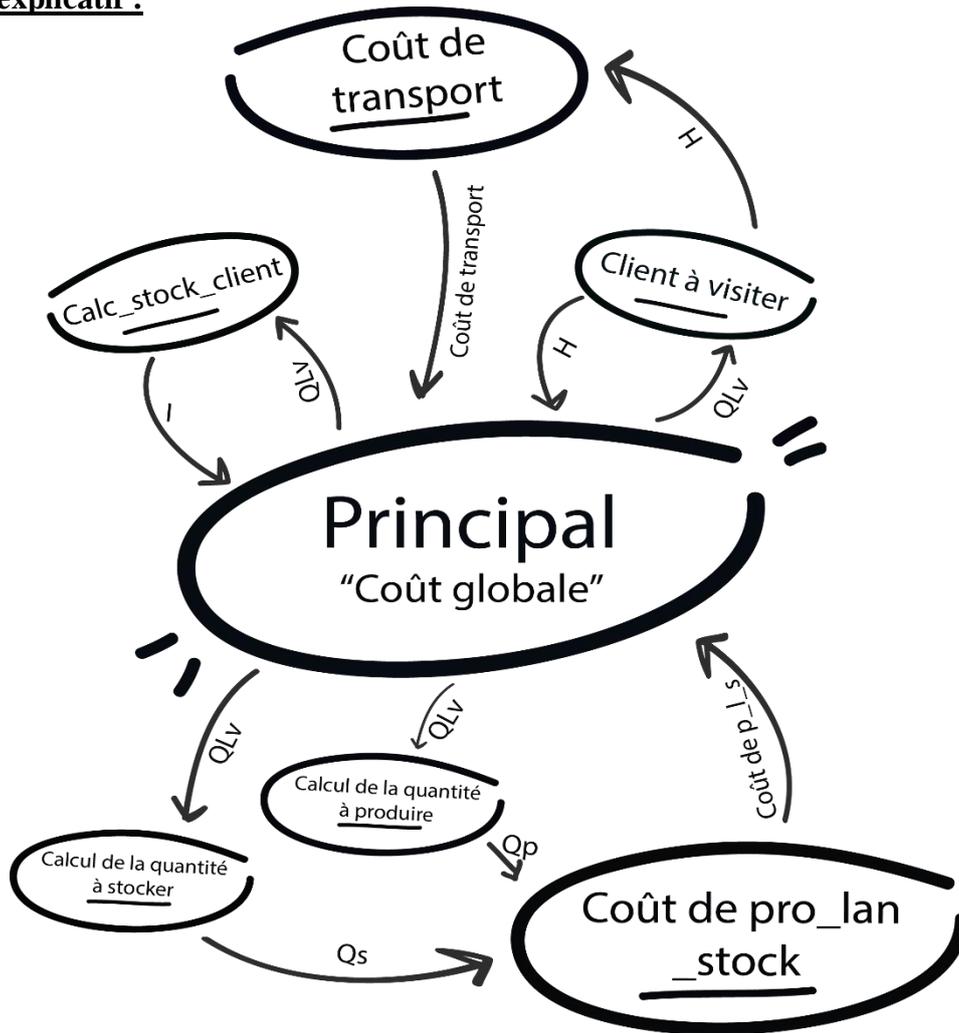


Figure 2.22 : schéma explicatif qui résume notre algorithme

**2.7 Mesure de performance de l'approche de résolution adaptée à l'expérimentation numérique :**

Les résultats fournis par CPLEX et Recuit Simulé sont présentés dans le tableau 23.2, où les colonnes 1 à 3 indiquent les périodes, le nombre de clients et de véhicule, respectivement.

Problème				Solveur Cplex			Recuit Simulé		
T	C	V	D	Fitness C	T-C	GAP	Fitness R	Itération	GAP
4	C=2	V=3	0 ≤ D ≤ 40	1028	1s	0%	1028	8	0%
			40 < D ≤ 120	2444	1s	0%	2444	12	0%
			120 < D ≤ 250	5878	1s	0%	5878	5	0%
		V=1	0 ≤ D ≤ 40	1028	1s	0%	1028	4	0%
			40 < D ≤ 120	2444	1s	0%	2444	13	0%
			120 < D ≤ 250	5878	1s	0%	5878	2	0%
	C=5	V=1	0 ≤ D ≤ 40	1826	4s	0%	1826	10	0%
			40 < D ≤ 120	5950	4s	0%	5950	4	0%
			120 < D ≤ 250	13220	4s	0%	13220	2	0%
		V=3	0 ≤ D ≤ 40	1826	4s	0%	1826	36	0%

8	C=7	40<D≤120	5944	4s	0%	5944	69	0%	
		120<D≤250	13800	15s	0%	13932	11	0.9%	
		0≤D≤40	6467	46s	0%	6712	2	3.7%	
		40<D≤120	28457	43s	0%	29323	2	3%	
		120<D≤250	Pas de sol	>2h	/	76084	2	0	
	C=10	0≤D≤40	9477	7min55s	0	10619	7	0	
		40<D≤120	Pas de sol	>2h	/	40253	2		
		120<D≤250				107489	2		
	C=15	0≤D≤40	Pas de sol	>2h	/	14615	1	0	
		40<D≤120				61377	1		
		120<D≤250				160648	1		
	8	C=2	0≤D≤40	4512	2s	0	4512	79	0%
			40<D≤120	15132	2s	0	15144	45	0.07%
			120<D≤250	40182	2s	0	40182	31	0%
		C=5	0≤D≤40	9702	1min56s	0	10078	1	3%
40<D≤120			39052	22s	0	39802	1	1.9%	
120<D≤250			Pas de sol	>2h	/	107018	26	0	
C=7		0≤D≤40	12922	8min27s	0	12940	2	0.1%	
		40<D≤120	56902	2min24s	0	56920	2	0.03%	
		120<D≤250	Pas de sol	>2h	/	150328	3	0	
C=10		0≤D≤40	Pas de sol	>2h	/	20802	3	0	
		40<D≤120				0	80352		7
		120<D≤250				0	214426		2
C=15		0≤D≤40	Pas de sol	>2h	/	0	30020	1	0
		40<D≤120				0	123256	1	
		120<D≤250				0	321356	1	

Figure 2.23 : comparaisons entre les résultats de python et Cplex

Les colonnes «Fitness C» et «Fitness R» indiquent respectivement la valeur objectif optimale fournie par CPLEX et la meilleure valeur objectif obtenue par le recuit simulé

La colonne «Gap» indique l'écart moyen entre Fitness C et Fitness R, où :

$$\text{Gap} = (\text{Fitness R} - \text{Fitness C}) / \text{Fitness C} * 100\%.$$

La colonne «T-C» fournisse le temps de calcul par CPLEX

La colonne « Itération » fournisse le nombre d'itération pour trouver la solution

### Explication des résultats :

L'objectif dans cette partie est d'évaluer les performances de l'algorithme de recuit simulé proposée afin de mettre en évidence son efficacité pour la résolution des problèmes de planification intégrée production, stockage et transport

Après l'analyse des résultats, nous remarquons que les deux méthodes ont pu obtenir la même solution pour toutes les instances dont le nombre de clients et véhicules ne dépasse pas 5 et 3 respectivement. Cela implique que toutes ces instances, ont été résolues à l'optimalité, sauf la ligne ou on a un horizon de 4 périodes et 5 clients avec des demandes forte, pour laquelle la meilleure solution obtenue par l'algorithme RS est très proche de l'optimale

(0.9%). Cependant, pour ces instances de petite taille, le solveur Cplex a nécessité un temps de calcul assez important par rapport à notre algorithme.

Quand nous avons augmenté le nombre de client à 7 nous remarquons que la qualité des solutions obtenues par l'algorithme RS surpasse la qualité de celles obtenues par le solveur et le solveur prend plus de temps pour la résolution des instances dont les demandes sont faibles ou moyennes avec GAP de 3.7 et 3 respectivement et dans le cas des demandes fortes le solveur prend plus que de 2 heure et ne donne aucune résultat

En ce qui concerne le temps d'exécution, il augmente exponentiellement avec l'augmentation de la longueur de l'horizon, clients, véhicules et demandes pour le solveur Cplex, alors qu'il reste très petit pour l'algorithme RS

Quand nous avons prend un horizon de 8 périodes nous remarquons que la solution obtenue par l'algorithme RS est très proche du celle de solveur (0.07%) pour seulement 2 clients. Mais si nous avons augmenté les paramètres on ne peut pas trouver des solutions par le solveur

Cependant, le reste des instances n'ont pas pu être résolu à travers le solveur, ce qui confirme l'incapacité de ce dernier à résoudre les problèmes de grandes tailles, contrairement à l'algorithme RS qui a pu fournir des solutions satisfaisantes dans un temps très réduit.

## **2.8 Conclusion :**

Ce chapitre propose un examen approfondi du problème de la planification intégrée des services de production, stockage et transport pour soutenir l'intérêt croissant de ce domaine de recherche. Nous avons d'abord décrit la pertinence de ce problème par l'état de l'art pour présenter notre contribution par rapport aux travaux existants.

Premièrement, nous introduisons un modèle MILP pour le problème classique d'optimisation de la logistique intégré de PRP traités dans le cadre d'un objectif de minimisation des coûts et nous avons testé la faisabilité de ce modèle avec des scénarios pour plusieurs types de demande (constante –décroissante et croissante) et avec plusieurs nombre de clients mais l'exécution est arrêter quand on a 13 clients ou plus donc on a passé à la résolution par algorithme le recuits simulé. Sur les instances de moyenne et grande taille, notre algorithme fournit généralement des solutions acceptables dans un temps de calcul raisonnable par rapport au solveur Cplex.

Le chapitre suivant a pour but de positionner notre approche du PRP et l'appliqué sur le domaine industrielle par le choix d'un cas d'étude.



## Chapitre 3 :

### Cas d'étude « TOP GLOVES LATEX INDUSTRIE »

---

Ce chapitre présente une vue détaillée sur notre cas d'étude et sa résolution avec modélisation et métaheuristique, Nous nous intéressons aux produits pharmaceutiques plus précisément aux gants par « l'entreprise TOP GLOVES LATEX Industrie » avec des systèmes de production complexes. La première partie correspond à l'anatomie des mains qui représente le point d'utilisation spéciale du produit fabriqué avec une explication des différents types des gants pharmaceutiques, ensuite nous avons entamé la présentation de TOP Gloves (organisations, produits commercialisés et clients), en plus nous mettons l'accent sur le processus de fabrication de la matière première au produit fini. La deuxième partie, nous ajoutons notre contribution par rapport à l'approche précédente cependant nous améliorons la productivité, le stockage et distributions en minimisant le coût global et sa avec la modélisation de le cas d'entreprise tel qu'il est sans modification et nous utilisant notre algorithme dans le cas où le solveur ne donne pas de solution et on se termine avec une conclusion.

#### Sommaire :

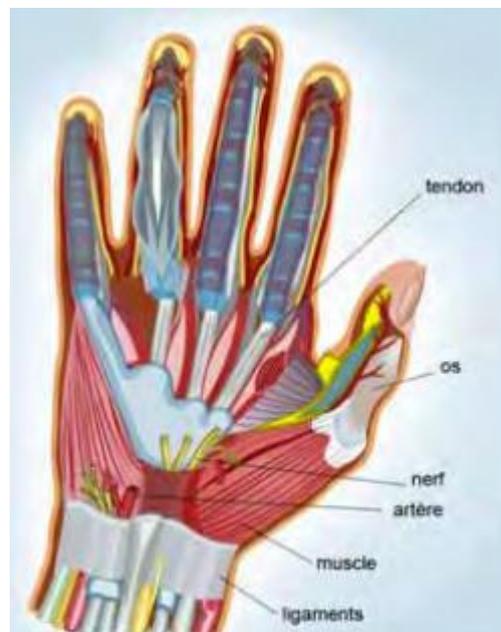
---

3.1 Les mains :.....	95
3.2 Les type des gants : .....	96
3.3 Classification des gants :.....	96
3.3.1 Gant stérile dit « de chirurgie » :.....	96
3.3.2 Gant stérile dit « médical » :.....	98
3.3.3 Gant de soins non stérile :.....	99
3.3.4 Gant de soins en pvc non stérile :.....	99
3.3.5 Gant de radioprotection :.....	100
3.4 L'entreprise TOP GLOVES LATEX INDUSTRIE .....	102
3.4.1 Organisation de TOP GLOVES : .....	102
3.4.2 Produits de TOP GLOVES : .....	103
3.4.3 Ligne de production :.....	104
3.4.4 Procédé de fabrication Du gant médical.....	104
3.5 Problématique de TOP GLOVES :.....	117
3.5.1 Modèle mathématique de PRP :.....	117
3.5.2 Explication des résultats :.....	120
3.6 Conclusion :.....	126

---

### 3.1 Les mains :

La fonction normale de la main est assurée par un ensemble d'éléments complexes et interactifs qui la composent [Medical MultiMedia Group, 2003]. Les principaux éléments de la main peuvent être répartis en cinq grandes catégories, soit les os et les articulations, les ligaments et les tendons, les muscles, les nerfs et les vaisseaux sanguins, sans oublier bien entendu la peau qui protège l'ensemble.



**Figure 3.24 :** Représentation anatomique de la main (image adaptée de Wikimedia Commons)

La main et le poignet comptent un total de 27 os, dont l'ajustement des uns par rapport aux autres est critique. De plus, les articulations sont recouvertes à leurs extrémités de cartilage articulaire dont la fonction est d'absorber les chocs et d'offrir une surface extrêmement lisse pour le mouvement relatif des os. Les ligaments lient les os entre eux et assurent l'alignement de leurs mouvements relatifs dont ils limitent l'amplitude. De leur côté, les tendons permettent entre autres aux articulations des doigts de se redresser. Les muscles contrôlent le mouvement de la main, en particulier au niveau du poignet et des doigts. Ils permettent par exemple de saisir et de tenir un objet. Les nerfs transmettent l'information entre la main et le cerveau. Dans une direction, les signaux venus du cerveau actionnent les muscles et par conséquent les mouvements de la main. Dans l'autre direction, les nerfs communiquent au cerveau les données relatives aux sensations, comme le toucher, la douleur et la température. L'irrigation sanguine de la main est assurée par de gros vaisseaux parallèles aux nerfs. Les mains sont des éléments indispensables à l'autonomie de l'humain. Fragiles, elles sont irremplaçables : elles doivent être considérées avec soin et protégées

En milieu de travail, l'usage des équipements de protection individuelle, dont font partie les gants de protection, est couvert par des lois et règlements de juridictions provinciale et fédérale.

### 3.2 Les type des gants :

Différents types de gants sont disponibles pour répondre aux exigences particulières des tâches à effectuer. Selon le type de gant, plusieurs méthodes de fabrication peuvent être utilisées. En plus de la structure du gant, les matériaux qui le composent ont également une influence majeure sur les propriétés finales obtenues.

### 3.3 Classification des gants :

Les gants de protection peuvent être classés selon différents critères, par exemple leur usage, leur mode de fabrication, le type de protection offerte, les matériaux qui les composent, leur épaisseur, leur durabilité, etc. [Mellstrom & Boman, 2005]. Si on considère leur structure, les gants de protection peuvent être répartis en quatre catégories :

- Gant stérile dit « de chirurgie »
- Gant stérile dit « médical »
- Gant de soins non stérile
- Gant de soins en pvc non stérile
- Gant de radioprotection

#### 3.3.1 Gant stérile dit « de chirurgie » :

##### a. Définition

Gant stérile, de forme anatomique, réservé aux actes chirurgicaux et aux techniques invasives, utilisé par l'opérateur médical, chirurgien, les aides et l'instrumentiste, il établit une barrière étanche entre le patient et l'opérateur.

Où on peut l'utilisé ?

→ Tous les lieux où sont pratiqués des gestes invasifs nécessitant un habillage chirurgical :

- salle de bloc opératoire
- salle de radiologie interventionnelle : pour l'opérateur lui-même
- endoscopie : dans les salles de vidéo-chirurgie

→ Salles de soins ou de consultations pour des actes médicaux invasifs (sous réserve d'un environnement adapté à l'asepsie du geste)

##### b. Composition:

- Le latex, dérivé de la sève d'hévéa, est le plus fréquemment utilisé:

→ la teneur en latex est très variable d'un fabricant à l'autre (et notamment les protéines du latex qui sont les plus souvent en cause dans les phénomènes d'allergie : 250 protéines différentes ont été identifiées dont 50 seraient allergisantes)

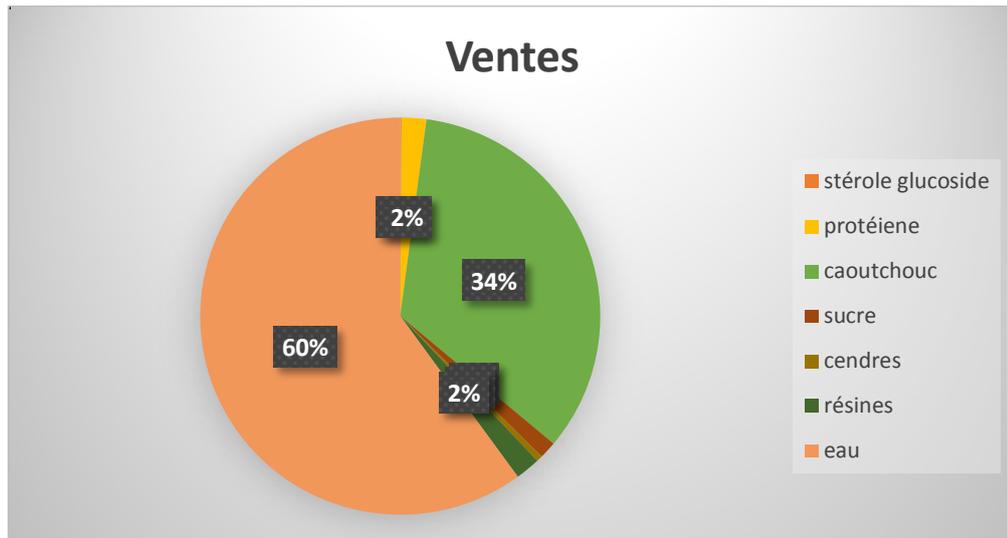


Figure 3.25 : Composition du latex

- Autres composants principaux existants (gants sans latex) :

- ✓ Néoprène
- ✓ vinyle

**c. Variations :**

- épaisseur minimale pour le latex : 0,17 mm (0,20 mm  $\pm$  0,03 mm) ; puis variable au-dessus selon les chirurgies et les opérateurs. Il existe des gants très épais pouvant atteindre une épaisseur  $>$  ou  $=$  0,30 mm, stériles.
- gants non poudrés
- hypoallergéniques (ex : faible teneur en latex, autres composants que le latex...)
- à manchettes longues, pour l'obstétrique

**d. Particularités :**

- présentation unitaire sous double emballage en sachet préalable
- différentes formes de pliage du gant possibles mais qui doivent permettre un enfilage aseptique
- lors d'une piqûre accidentelle, par effet d'essuyage, le gant latex participe à la prévention du risque de contamination par le sang et les liquides biologiques.

Attention :

Il existe des gants dit « de soins stériles » ou « gants d'intervention stériles » :

→ Ce ne sont pas des gants de chirurgie mais des gants médicaux stériles

### 3.3.2 Gant stérile dit « médical » :

#### a. Définition :

Gant stérile, réservé aux techniques invasives non chirurgicales, utilisé par l'opérateur médical et l'infirmière .Il établit une barrière étanche entre le patient et l'opérateur.

Où on peut l'utilisé ?

→ Tous les lieux où sont pratiqués des gestes invasifs

- salle de radiologie interventionnelle : pour les assistants et les aides
- endoscopie : en vidéo-chirurgie
- salles de soins ou de consultations pour des actes médicaux invasifs (sous réserve d'un environnement adapté à l'asepsie du geste)
- chambre du patient pour des soins effectués par l'infirmière
- (Liste non-exhaustive)

#### b. Composition :

La même comme DE CHIRURGIE

#### c. Variations :

- épaisseur minimale :
  - 90 µm pour le latex
  - 50 µm pour le vinyle
- gants non poudrés
- hypoallergéniques (ex : faible teneur en latex, autres composants que le latex...)

#### d. Particularités :

- Terme de « gant médical » peu utilisé en dehors des normes. On emploie plutôt les expressions suivantes : « gants de soins stériles » ou « gants d'intervention stériles »
- Généralement ambidextres mais pas de forme anatomique
- La longueur de la manchette est celle d'un gant de soins
- Présentation unitaire sous double emballage ou emballage simple en sachet préalable
- Différentes formes de pliage du gant possibles mais elles doivent permettre un enfilage aseptique (au minimum les manchettes sont repliées)
- Lors d'une piqûre accidentelle, par effet d'essuyage, le gant latex participe à la prévention du risque de contamination par le sang et les liquides biologiques.

### **3.3.3 Gant de soins non stérile :**

#### **a. Définition**

Gant non stérile à usage unique, industriellement propre, réservé aux soins nécessitant une barrière de protection

Composition :

- latex, dérivé de la sève d'hévéa
- vinyle
- nitrile
- (liste non-exhaustive)

#### **b. Variations :**

- Doit répondre aux normes NF EN 455-1 et 2. Cette information doit être inscrite en clair sur l'emballage
- Être exempt de micro-trous
- Être isolant électrique
- Réaliser une barrière bactériologique
- Être étanche aux colorants
- Permettre une bonne sensibilité tactile
- Avoir une bonne résistance à la traction

⇒ La plupart de ces derniers critères sont contenus dans la norme.

Remarque : la norme NF EN 455-3 (poudre et additifs) est en cours de validation

Il existe des gants de soins en PVC polyuréthane avec soudure. Leur fragilité ne leur permet pas de répondre aux propriétés citées ci-dessus. Ils sont donc réservés à des soins ponctuels

#### **c. Particularités :**

- présentation en vrac dans une boîte distributrice
- notification des tailles présentée en chiffres ou en lettres
- lors d'une piqûre accidentelle, par effet d'essuyage, le gant latex participe à la prévention du risque de contamination par le sang et les liquides biologiques.

### **3.3.4 Gant de soins en pvc non stérile :**

#### **a. définition**

Gant non stérile à usage unique, industriellement propre, réservé aux soins nécessitant une barrière de protection durant un temps très court.

→ « pour un effort manuel faible et simple »

Il n'existe pas de normalisation ni de marquage CE, contrairement aux gants de soins

**b. Composition :**

- PVC : polychlorure de vinyle

**c. Variations :**

- soudure dessinant la forme du gant
- à manchette longue (ex : gant Vilain + utilisation en poubelle par retournement du gant)
- épaisseur variable

**d. Particularités :**

Présentation :

- en vrac en boîte distributrice
- en pile
- en rouleau (collés 1 par 1 sur une feuille)

Taille :

- petit/moyen/grand
- gants Vilain : taille unique

Le gant Vilain n'a que trois doigts et une manchette longue (longueur variable selon les fournisseurs)

Inconvénients :

- la soudure représente un point de faible résistance
- faible sensibilité tactile

### **3.3.5 Gant de radioprotection :**

**a. Définition :**

Gant de protection atténuateur des rayons X, Ce gants doit être porté par toute personne dont les mains risquent d'être exposées aux rayons X, Ces gants sont aussi utilisés en :

- angiographie
- urographie
- hémodynamique
- coloscopie
- chirurgie fine
- médecine nucléaire
- oncologie
- installation de pompe infusive

- mise en place de pacemaker
- chirurgie générale
- traumatologie

Ces gants sont particulièrement recommandés en cas dès qu'il y a utilisation d'un amplificateur de brillance radio.

**b. Composition :**

La base principale est le plomb, intégré à des composants variés

- plastique plombifère : 0,25 à 0,50 mm de plomb
- polychloroprène oxyde de bismuth caoutchouc : 0,0267 à 0,0302 mm de plomb
- similiair et plomb : 0,25 à 0,50 mm de plomb
- (Liste non-exhaustive)

Remarque : (Les épaisseurs sont données à titre indicatif)

**c. Variation :**

- épaisseur : l'épaisseur est souvent en relation avec le niveau d'atténuation des rayons X :

Ex : Gants non stérilisables : 0,15 à 0,50 mm

Gants stérilisables : 0,025 à 0,035 mm

- longueur de manchette variable
- forme anatomique
- forme ne couvrant pas la face palmaire de la main
- gants intérieurs à porter sous le gant plombé pour éviter la transpiration (livrés ou non avec le gant plombé)

**d. Particularités :**

Les composants des gants de radioprotection nécessitent des précautions de stockage afin de préserver leur intégrité et donc leur qualité de protection. Il est important de consulter la fiche technique ou de demander des précisions au fabricant.

Ex : les gants de radioprotection réalisés en caoutchouc para-naturel ne doivent pas être exposés aux rayons ou à la lumière solaire et aux rayons ultraviolets, ils ne doivent pas être déposés dans un local où se trouvent des lampes germicides qui produisent de l'ozone. Eviter le contact avec le cuivre, le manganèse, les huiles minérales ou végétales.

Taille :

La plupart du temps notée : petit - moyen – grand

Sous-gant :

Certains gants nécessitent des gants intérieurs à porter sous le gant plombé pour éviter la transpiration (livrés ou non avec le gant plombé)

### 3.4 L'entreprise TOP GLOVES LATEX INDUSTRIE

La Sarl Top GLOVES étant une entreprise de production des gants a certainement un marché spécifique à couvrir, notamment quelques clients dont « ECOTEM » et « PCH » qui font partie ainsi que d'autres potentiels clients qui ont l'intention travailler avec SARL Top Gloves dans quelques années futur, la vente est redirigée aux distributeurs, le marché ciblé ici c'est le marché pharmaceutique algérien et aussi prochainement l'export vers le marché européen.

Les produits commercialisés pour l'instant par Top Gloves sont :

- **EXAM GLOVES** (Gant d'examen en Latex et en Nitrile), répartis en taille (SMALL – S / MEDIUM – M / et LARGE – L) et répartis aussi en option selon les préférences du client (Option Gant d'examen Parfumé ou Non parfumé / Gant poudré ou non poudré)
- **SURGI GLOVE** (Gant Stérile a usage chirurgical - Anatomique Surface Micro Granuleuse \* Poudré) (SURGI GLOVE) répartis en taille (6,5 - 7 - 7,5 - 8 - 8,5)

#### 3.4.1 Organisation de TOP GLOVES :

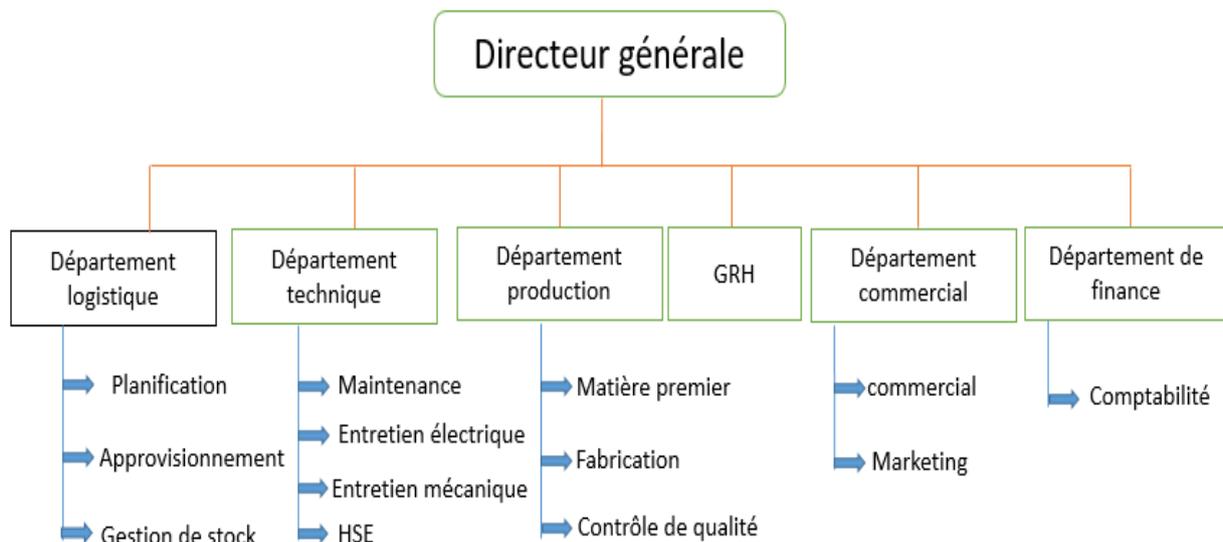


Figure 3.3 : l'organigramme de TOP GLOVES

### 3.4.2 Produits de TOP GLOVES :



Figure 4.3 : Les gants chirurgicaux en latex

#### SURGI GLOVE

##### GANT STERILE A USAGE CHIRURGICAL

Les gants chirurgicaux sont en latex de caoutchouc naturel souples, s'adaptent à la morphologie de la main et donnent à l'utilisateur une excellente sensibilité tactile. C'est un dispositif médical pour tous les milieux hospitaliers, les services d'urgences et les opérations chirurgicales.

#### EXAM GLOVE

##### GANT D'EXAMEN EN LATEX

Les gants d'examen EXAM GLOVES sont fabriqués à partir de latex de caoutchouc naturel, non stériles poudrés et non poudrés. EXAM GLOVES dispose d'une excellente propriété d'élasticité et résistance face aux produits biologique et chimiques. Le latex permet des gestes précis et une grande dextérité grâce à la souplesse et à la fine épaisseur de la matière.

EXAM GLOVES protège les utilisateurs et les patients contre les infections et les micros organismes. EXAM GLOVES sont généralement abordables et économique en termes de prix



Figure 5.3 : Gant d'examen en latex

#### EXAM GLOVE

##### GANT D'EXAMEN EN NITRILE

Les gants d'examen jetables en Nitrile sont fabriqués à partir de nitrile-butadiène latex synthétique ; ambidextre, non stérile. Ils sont destinés à l'usage médical pour la protection du patient et de l'utilisateur de toute contamination croisée. Ils sont à considérer comme des « dispositifs médicaux non invasifs ou invasifs à usage temporaire ou à court terme » Il existe plusieurs tailles : Small, Medium, Large.



Figure 3.29 : Gant d'examen en nitrile

### 3.4.3 Ligne de production :

L'entrepris TOP GLOVES latex industrie possède 3 lignes productions automatique de gants en latex ou en nitrile a usage médicale de type LN-ES 706 chaque ligne contient 3386 moule de différents taille (6.5/7/7.5/8/8.5) pour les gants chirurgical et (S/M/L) pour les gants d'examen avec une longueur 254 maitre chaque ligne a une production moyenne de 1200 kg par jour de gants chirurgicale et 700 kg gants d'exam.

Il y a 3 lignes de production : Ligne 1 et 3 : Gants churigical

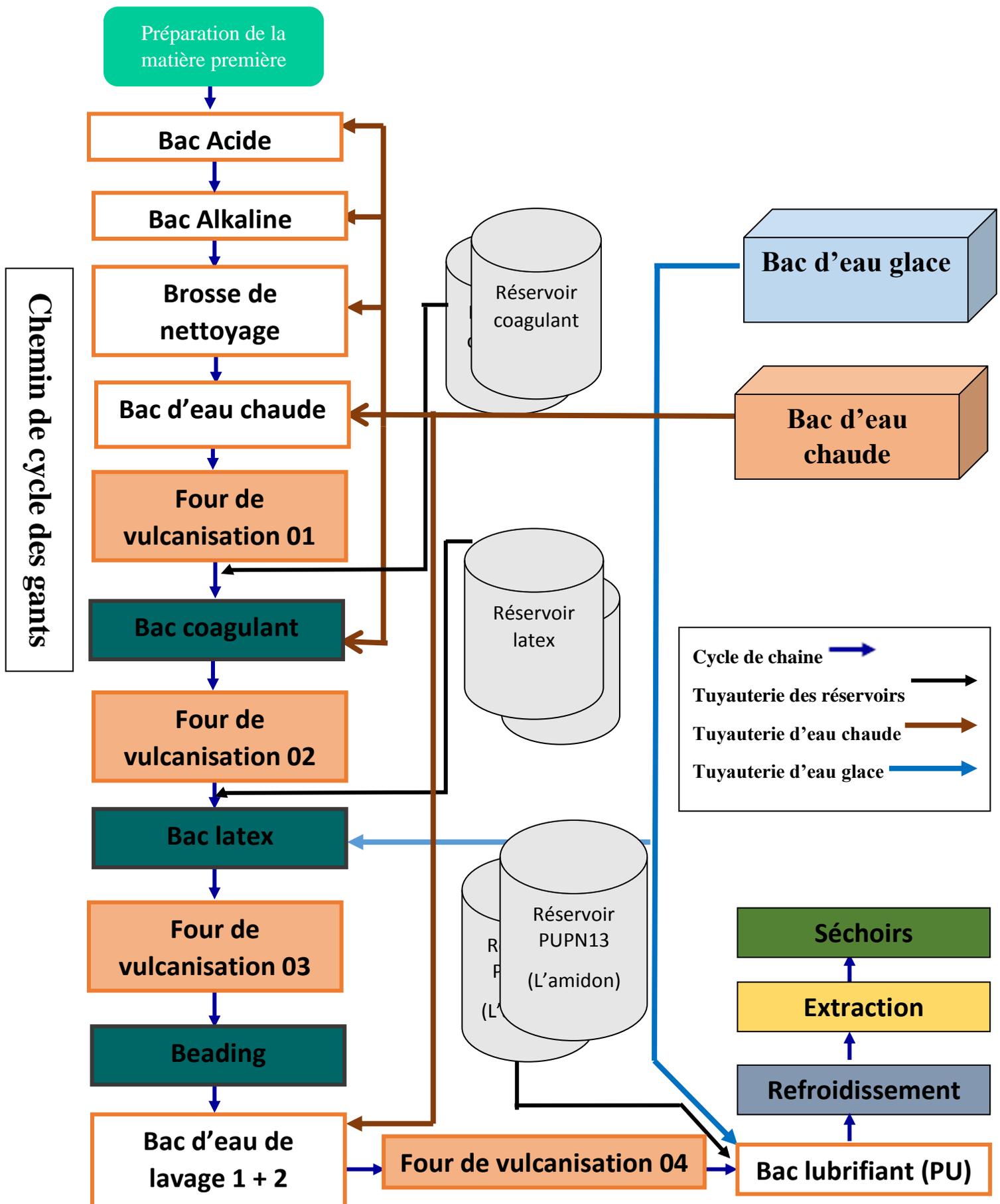
Ligne 2 : Gants exam

#Pour les lignes (caractéristiques)

- **Machine spec:** LN-ES-706-
- **Size:** 51M (L) \*3,5M (w)\*6M (H)
- **Production speed:** 7.5M/MIN
- **Capacity:** 6000pcs/hr
- **Chain length:** 254M
- **Hand mold:** pitch 150mm
- **Quantity:** 3386pcs
- **Electricity:** 45kw/h
- **Using:** 720000kcal/hr
- **Calorie Equipment:** 900000kcal/hr

### 3.4.4 Procédé de fabrication Du gant médical :

Notre processus de fabrication est constitué de 23 étapes représentées dans schéma qui suit :



## Explication des étapes :

### A. Préparation de la matière première

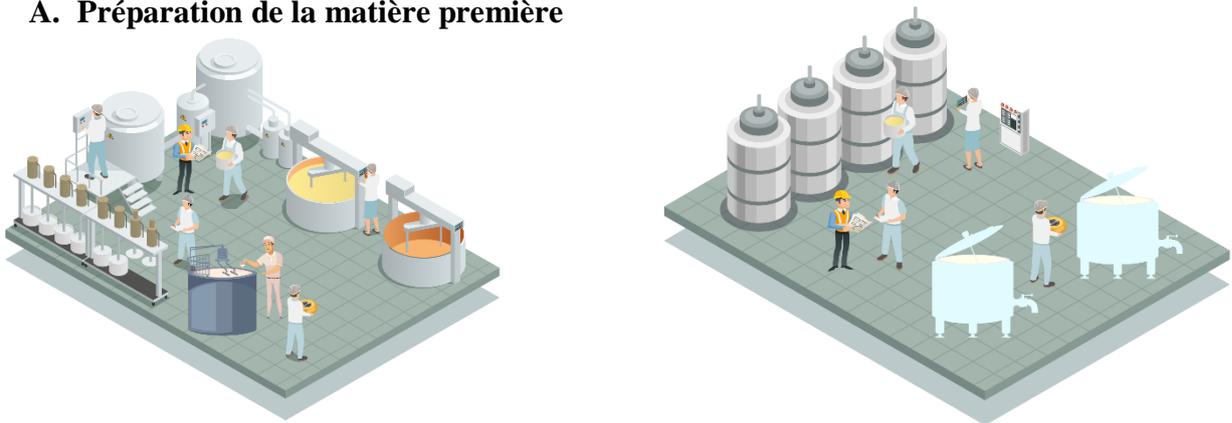


Figure 3.30 : Zone componding (préparation matières premières)

L'usine TOP GLOVES est munie d'une zone (componding) constitué de deux étages et un magasin de stockage des matières premières, au 1<sup>er</sup> étage on trouve :

- des futs
- des broyeur ou chaqu'un est responsable a mélangé et produire la matière nécessaire pour la production finale des gants (broyeur pour l'acide, l'alkaline, coagulant, latex, nitrile, et amidon
- deux installations de chaudière pour l'eau chaude et froide

Une fois cette matière est produite elle est transféré au 2<sup>ème</sup> étage à l'aide de tuyauterie pour quelle repose le temps nécessaire avant d'aitre acheminé aux l lignes de production

### B. Les lignes de production :



Figure 3.31 : Ligne de production avec latex pour les gants chirurgicale



Figure 3.32 : Ligne de production avec nitrile pour les gants infirmier

« **Nettoyage des moules de gants (Rinçage)** » : “ un bon nettoyage des moules de gant est très important pour l'atteinte d'une bonne qualité du produit fini ”

### 1. Solution pour le nettoyage Acide :

- Dosage solution acide 2%
- Ajouter 24kg d'acide nitrile ( $\text{HNO}_3$ ) concentré à 60 % au 1200 kg d'eau au niveau du bac acide
- Procéder à des appoints horaires. au niveau du Bac Alcalin. d'une quantité de 180 Gr d'Hydroxyde de Potassium (KOH) concentré à 35%.

### 2. Solution pour le nettoyage Alcalin :

- Dosage solution Alcalin à 4%
- Ajouter 48 Kg d'Hydroxyde de Potassium (KOH) concentré a 35% au 1200 Kg d'eau au niveau du Bac Alcaline.
- Procéder à des appoints horaires. au niveau du Bac Alcaline. d'une quantité de 360 Gr d'Hydroxyde dc Potassium (KOH) concentré a 35%.

Le dosage de la solution pour le nettoyage « **Acide** » et le nettoyage «**Alcaline**» pourra être modifié (augmenté) selon la situation et sur instruction du Responsable de Ligne.

Le niveau du bac de trempage de les solutions « **Acide** », « **Alcaline** » et « **eau chaud** » devra rigoureusement être surveillé pour permettre un bon trempage des moules de gants. En cas de baisse de niveau, il y a lieu de procéder à un appoint d'eau et (de l'Acide Nitrile ( $\text{HNO}_3$ ) pour le bac « **Acide** ») et (de d'Hydroxyde de Potassium (KOH) pour le bac « **Alcaline** ») et « **eau chaud** » toutes les deux (02) heures selon le dosage initial pour l'ajuster selon le niveau requis

### 3. Les brosses de nettoyage :

Ils sont utilisé pour nettoyés les moules des impuretés resté coller

#### 4. L'eau chaude :

Après le trempage des moules dans les deux bacs et leur passage au niveau des brosses pour nettoyage, les moules doivent être chauffés à une température avoisinant la température de 60 C et un Ph neutre

Les bacs de trempage « **Acide** », « **Alcaline** » et « **eau chaud** » devront être vidangés, nettoyés et remplis par une autre solution pour la neutralisation de « l'**Acide** », le nettoyage « **Alcaline** » et « **eau chaud** » toutes les 24 heures de service.

Il pourra faire l'objet d'un vidange, nettoyage et remplissage plutôt que prévu en cas de :

- dégradation de la concentration de la solution (ph >4 contrôlé et enregistrer tous les 2heures)
- mauvaise qualité du gant produit après inspection visuelle et test d'étanchéité à l'eau qui doivent être effectués toutes les 2 heures

Procéder au nettoyage manuel des moules s'il y a une dégradation de la qualité du gant produit après inspection visuelle. Ou en cas de mauvaise étanchéité à l'eau.

#### 5. Egouttage :

Le moule passe par une pause de quelques minutes pour égoutter

#### 6. Le séchage des moules de gants au niveau des fours avant leur trempage à travers le coagulant :

- Les fours séchage sont conçus avec un système de circulation d'un courant d'air chaud obtenu grâce à la présence de ventilateurs installés sur les fours, ou la température de séchage est contrôlée par un dispositif. Avec un point de consigne donné, à la température exigée par le procédé soit 85°C à 95°C.
- Après leur trempage au niveau des bacs de la solution "Acide" et de la solution "Alcaline", leur passage au niveau des brosses de nettoyage et bac d'eau chaude, les moules sont séchés au niveau d'une série de fours dont la température avoisine les 85°C à 95°C, cette température pourra être ajustée selon les saisons (Eté et Hiver) et selon le taux d'humidité au niveau de l'environnement immédiat des lignes de production.
- Cette phase de séchage des moules de gants à travers les fours permet d'éviter la présence d'eau dans ces moules pouvant être amenée au niveau du bac de trempage du coagulant ce qui aura un impact certain sur la qualité des gants
- S'assurer du bon fonctionnement des ventilateurs pour permettre une homogénéisation de l'air chaud à l'intérieur des fours qui permettra un bon séchage des moules de gants avant leur trempage dans le bac coagulant

#### 7. Bac de trempage des moules de gants dans le coagulant :

- Il faut savoir que le coagulant contenu dans le bac de trempage est composé d'un mélange de l'agent coagulant (Nitrile de Calcium avec l'eau à un agent mouillant) et la solution de carbonate de calcium (mélange de l'eau, de

carbonate de calcium et d'un agent mouillant) ce qui permet de faciliter le dépôt du latex sur la moules de gants.

- Après leur lavage, les moules de gants vont vers le bas du bac pour le trempage du " Coagulant" qui a une capacité de stockage de mille (1.000) Kilogrammes (kg) et ensuite vers le haut pour le séchage en passant par une série de fours dont la température avoisine les 85°C-90°C, cette température pourra être ajustée selon les saisons et selon le taux d'humidité
- Le bac de trempage de « coagulant » est directement alimenté et en continu à partir de deux (02) réservoirs de stockage du coagulant, d'une capacité de stockage unitaire de cinq- cents (500) kilogrammes, ces réservoirs une fois vide, sont remplis par 78.7 kilogrammes de la solution de carbonate de calcium (mélange de l'eau , de carbonate, de calcium et d'un agent mouillant) à partir des broyeurs se trouvant au niveau de la zone de préparation de la matière première et le reste jusqu'à une hauteur de 26.4 centimètre a partir du bac stockage se trouvant également au niveau de la zone de la préparation de la matière première
- il Ya lieu de noter qu'une quantité de cinquante kilogrammes est ajouté à chacun des réservoirs et à chaque remplissage
- Le coagulant est chauffé à une température avoisinant 42C par l'intermédiaire de l'eau chaud qui circule au niveau de l'inter-paroi du bac de trempage du « coagulant »

#### **8. Le séchage des moules de gants au niveau des fours avant leur trempage à travers le latex :**

- Le même principe que sixième étape

#### **9. Bac de trempage des moules de gants dans le latex**

- Il faut savoir que le latex contenu dans le bac de trempage est composé d'un mélange de latex DHC 60% et la solution chimique préparer au niveau des broyeurs se trouvent au niveau de la zone de préparation de la MP ce qui est représenté la partie la plus importante de processus globale de production, il a une capacité de stockage de deux milles (2.000) Kilogrammes (kg)
- Le bac de trempage de « coagulant » est directement alimenté et en continu à partir de deux (02) réservoirs de stockage du coagulant d'une capacité de stockage unitaire de cinq- cents (500) kilogrammes
- Le bac de trempage du « latex »est muni d'une pompe pour permettre la circulation du latex dans ce bac évitant ainsi le dépôt au fond de celui-ci de particules solide en suspension et de son moussage ainsi que d'un variateur de vitesse pour sa stabilité.
- Procéder toutes les heures au nettoyage du filtre se trouvant au niveau bac de trempage du « latex»

- Le bac de trempage du « latex » devra être vidangé, nettoyé et rempli une fois tous les mois par le latex également refroidi par de l'eau froide circulant à son inter-paroi et ce, à une température avoisinant la température de 27 C.
- Le bac de trempage du « latex » est muni d'un dispositif de protection pour éviter le dépôt des impuretés et autre salubrités sur latex évitant ainsi leurs impacts sur la qualité du produit fini.

#### **10. Le séchage des moules de gants au niveau des fours avant le perlage (beading) des gants**

- Le même principe que sixième étape (avec une température de 95°C à 110°C)

#### **11. Processus de perlage (beading) des gants :**

- Après le séchage au niveau d'une série de fours dont la température avoisine les 95°C à 110°C. les gants passent à travers la machine de perlage (beading) pour assurer l'ourlet ou le bourrelet de chacun des gants
- Assurer la bonne vitesse de rotation du cylindre de perlage qui est équipé d'un convertisseur à fréquence variable.
- Assurer également que le cylindre du bourrelet reste tout le temps en contact avec les moules de gants. Il y a lieu d'éliminer systématiquement toute bosse de plus de trois (03) millimètre qui pourraient se former sur les cylindres de bourrelets qui pourraient avoir un impact certain sur la qualité du produit fini.
- Un système d'alarme (Gyrophare) prévenant tout dysfonctionnement du système de perlage (beading) est installé juste à côté de l'armoire principale de commande. Il y a lieu par conséquent d'intervenir rapidement pour corriger les défauts rencontrés jusqu'à extinction de l'alarme

#### **12. Lessivage avant la phase de vulcanisation (For-Leaching/Post-Leaching) :**

- L'eau pour le lessivage des gants, après le passage des moules de gants au niveau des fours de vulcanisation, doit être chauffé à une température avoisinant la température de 60 C.
- Le niveau du bac de trempage à l'eau chaude pour le lessivage des gants devra rigoureusement être surveillé pour permettre un bon trempage des moules de gants. En cas de baisse de niveau, il y a lieu de procéder à un appoint d'eau pour l'ajuster selon le niveau requis.
- Ce bac devra être vidangé, nettoyé et rempli tous les 4 jours par une propre également chauffé à une température avoisinant la température de 60 C, il pourra faire l'objet d'une vidange, nettoyage et remplissage plutôt que prévu en cas de dégradation de la qualité de l'eau chaude (ph inférieur à 4 contrôle et enregistré toutes les 2 heures) ou en même temps que la vidange, nettoyage et remplissage des bacs de trempage « Acide » et « Solution Alkaline ».

- S'assurer que les deux (02) bacs de trempage à l'eau chaude pour le lessivage des gants ne devront jamais être vidangé et nettoyé et rempli par même temps mais l'un après l'autre.

### **13. Le processus de vulcanisation des gants :**

- Le même principe que sixième étape (avec une température de 95°C à 110°C)

### **14. Bac lubrifiant (bac de poudrage par voie humide) :**

- Il existe deux (2) possibilités pour l'opération de poudrage, la voie humide et la voie sèche, l'opération de poudrage humide utilise la poudre de maïs
- La machine de trempage est alors équipée d'un bac de poudrage par voie humide est équipé aussi d'un dispositif de circulation pour éviter la sédimentation
- Il faut savoir que la poudre humide contenu dans le bac de trempage est composé d'un mélange de l'amidon (poudre de maïs), de l'eau, du carbonate de calcium et d'un agent dispersant (DBN), ce mélange peut être ajusté selon les besoins du procédé de fabrication des gants.
- Le bac de poudrage par voie humide doit tout le temps être nettoyé et tenu propre.
- Les orifices des doucettes se trouvant au niveau du bac de poudrage par voie humide devront être débouchés à chaque fois que nécessaire pour permettre une bonne circulation du lubrifiant.
- S'assurer du bon ajustement et serrage des doucettes au niveau du bac de poudrage par voie humide a l'effet de permettre au lubrifiant d'arroser toutes les endroits concernés du gant .un bon arrosage des gants au lubrifiant est un facteur important dans l'atteinte d'une bonne qualité du produit fini ce qui permettra non seulement d'éviter le roulé et les plis sur les gants mais aussi une meilleure faciliter d'extraction des gants .

### **15. Refroidissement des gants avant leur extraction :**

- Cette étape permet de diminuer grandement le risque d'endommagement
- Après le passage des moules de gants dans la chambre de vulcanisation pour l'opération de séchage et après la lubrification des gants, leur température avoisine les 100°C. Ce qui nécessite leur refroidissement avant la phase d'extraction.
- Le refroidissement est obtenu grâce à l'existence de six (06) ventilateurs et permet de s'assurer du refroidissement pour faciliter l'extraction des gants (Shipping)
-

### **16. Zone d'extraction des gants :**

- L'extraction des gants devra faire d'une manière souple afin d'éviter tout endommagement
- Les gants devront être mis dans le panier correspondant, ceux dont la qualité est jugée doivent être mis dans le panier de couleur approprié et ceux qui présentent des défauts doivent être mis dans le panier de couleur rouge.
- Une fois rempli. Les bacs contenant les gants ne présentant pas de défauts doivent être acheminé vers la table de qualité pour inspection visuelle avant leur transfert vers les séchoirs pour la cuisson. Quant aux gants présentant des défauts majeurs. Ils doivent être mis dans les sachets appropriés, pesé et inscrit dans le registre de quart

### **17. Cuisson des gants après extraction :**

- La cuisson est une opération qui intervient juste après l'extraction des gants et se fait à l'intérieur des séchoirs réglée à une température d'environ 78°C et a pour but de mieux consolider les gants d'une part et d'éliminer l'excès de poudre contenu dans les gants d'autre part. Cette opération de cuisson se déroule en deux (02) phases comme suit :
  - ✓ Une période de chauffe d'une durée de 15 à 30 minutes
  - ✓ Une période de refroidissement d'une durée de 5 à 30 minutes également.
- Cette zone de cuisson doit être maintenue tout le temps proposé et le fond des séchoirs doit faire l'objet de nettoyage après 2 à 3 utilisations

Remarque : Réservoir d'eau chaude / Réservoir d'eau glacée

L'eau chaude sert à alimenter les inter-parois des bacs de trempage de la solution Alcaline, de l'eau chaude de nettoyage, du coagulant, de lessivage avant la vulcanisation et du lessivage après la vulcanisation pour chauffer leur contenu à une température des 60°C du bac de

L'eau glacée sert à alimenter les inter-parois des bacs de trempage du latex et du bac de lubrifiant (PU) pour refroidir leur contenu à une température avoisinant la température ambiante de 27°C.

Pour les deux réservoirs, le contrôle de cette température se fait à l'aide du capteur mis en place permettant d'actionner l'ouverture de l'électrovanne pour établir la température de consigne ou à la fermeture lorsque celui-ci dépasse le point de consigne. Cette étude convient de la même façon pour les réservoirs donc le fonctionnement est identique :

Le niveau du réservoir d'eau (glacée/chaude) est automatiquement contrôlé à l'aide du capteur mis en place permettant d'actionner l'ouverture de l'électrovanne pour établir le point de consigne ou sa fermeture lorsque celui-ci dépasse le point de consigne.

L'eau (glacée/ chaude) utilisée dans les inter-parois a recueillie dans le bac de recyclage de l'eau (glacée/ chaude), qui une fois plein est recyclée vers le réservoir de stockage de l'eau par le biais d'une pompe de recyclage qui fonctionne d'une manière automatique selon le niveau du bac de recyclage.

Les deux réservoirs devront être vidangés, nettoyés et remplis par une eau propre également refroidi à une température 8°C- 12°C / chauffé à une température 55°C- 60°C une fois tous les trente (30) jours. Ils pourront faire l'objet d'une vidange, nettoyage et remplissage plutôt que prévu au cas où des dépôts de sédiments sont observés dans les réservoirs

### 18. Conditionnement :

#### → Pour les gants chirurgicaux:

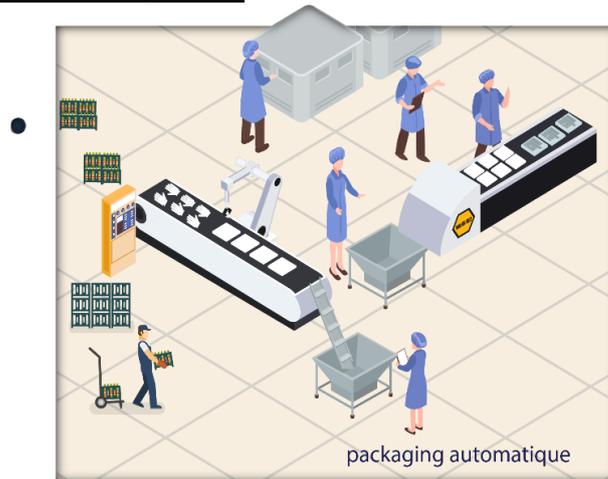


Figure 3.33 : la chambre de packaging automatique



Figure 3.34 : la chambre de stérilisation

#### A. Unité packaging (automatique) :

Le packaging de l'entreprise TOP GLOVES latex industries consiste pour une première phase à envelopper le produit de façon à mettre une paire de gant (gauche et droite) sous enveloppe de manière befolding. Cette opération est réalisée à l'aide d'une machine appelée

INNER qui est composé de trois compartiments (partie imprimante – partie robot et partie convoyeur de transport) pour une production moyenne 40 P / minute.

Deuxième phase (mise en sachet) le produit INNER est mis en sachet à l'aide d'une machine appelée ensacheuse.

### **Les entrées :**

Les bacs des gants contrôlés + les bobines du papier (pour l'emballage)

#### **Sous-ligne 01 :** (partie INNER)

- Imprimante
- Partie robots
- Ajustement
- Packaging →
  1. Attirons le papier
  2. coupé
  3. pressé
  4. 1<sup>er</sup> pilé
  5. 2eme plie
  6. fermé la pochette (en plie sur 2)
  7. sortie des INNER
  8. entassement de gants dans les bacs

#### **Sous-ligne 02 :**

1. Placé les bobines
2. Placé le gant manuellement au convoyeur
3. Collage les 2 faces d'emballage →
  1. coller
  2. met le gant on milieu
4. Coupé
5. Fixer la date
6. Contrôle qualité (s'il n'y a pas l'aire dans la pochette)

### **B. Stérilisation :**

La stérilisation du gant représente la dernière phase avant commercialisation ou le produit après son emballage dans des cartons et admis dans une unité de stérilisation qui peut durer jusqu'à 12 heures, il contient 3 phases :

#### **Conditionnement :**

- 1- HEATING → T >>> 49C
- 2- KEEP warm → (Le tempe de m (donner) est 2h)
- 3- PRE-VOCUUM → vide  
Pression → -80kpa=-0,8bar
- 4- Leak testing → test de fuite
- 5- N2 replacement → entassé (E-0)
- 6- HUMIDIING → % HR (75% ,65%, 45%)
- 7- STEAM DWELLING → (temps de 20min)
- 8- N2 BLANKET A → (entasser E-0)

**L'exposition :**

- 1- Injection E-0 → (dosage de 17,5kg E-0)
- 2- N2 BLANKET B → (entasser E0)
- 3- E-0 DWELLING → (C 05H, 30min temps l'exposition)

**Le dégazage :**

- 1- E-0 REMOVEL → (évacuation E-0)
- 2- N2 WASTING → (injection N2 dans la chambre)
- 3- Air WASTING → (injection d'air pure dans la chambre)
- 4- Aération → (l'ouverture des portes I et II)

**→ Pour les gants exams :**



Figure 3.35 : la chambre de conditionnements manuelle

**Conditionnement et marquages Boîte**

- Boîte de 100 gants.
- Identification des tailles par codes couleurs, lettres et chiffres.
- Traçabilité par numéro de lot et date de péremption.
- Poids moyen : 520 g.
- Symboles réglementaires selon normes en vigueur.
- Fourniture de supports de boîtes adaptés sur demande.
- Personnalisation possible sur demande

## 19. Stockage



Figure 3.36 : la chambre pour le dateur



Figure 3.37 : la charge des camions pour la distribution

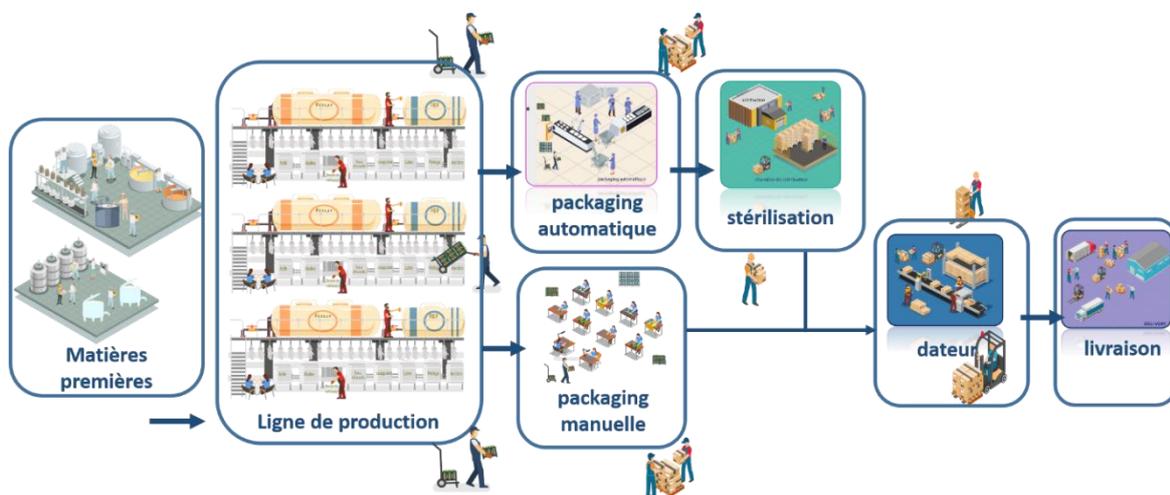


Figure 3.38 : Schéma générale pour le processus des gants

### 3.5 Problématique de TOP GLOVES :

Dans cette partie on prend l'entreprise avec sa situation actuelle alors nous considérons un réseau de production/distribution qui traite deux types du produits et se compose d'un nœud d'installation avec un système de production complexe de 910800 gants/période comme capacité de production et un dépôt un Oran qui considérer comme un client pour l'entreprise, et une flotte de véhicule pour la distribution de Top Gloves au dépôt. Afin de faciliter le bon fonctionnement au niveau tactique, il est supposé que l'usine de production et les clients peuvent conserver les stocks initiaux au début de l'horizon de planification.

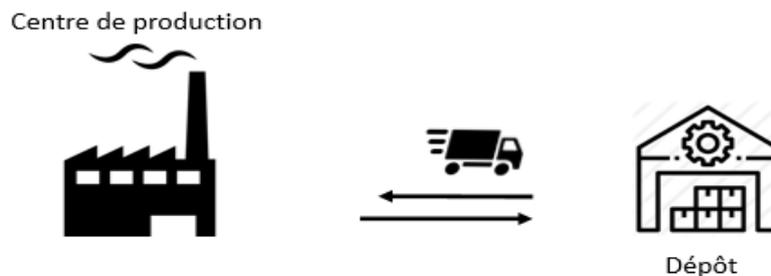


Figure 3.39 : Représentation de notre 1ère problématique

#### 3.5.1 Modèle mathématique de PRP :

##### Les paramètres :

*P*: nombre de produits

*M*: nombre de lignes

*T*: nombre de périodes

*C*: les cadences

*R*: nombre de routage

##### **Production :**

- $Cp_{j,t,c}$ : coût unitaire de production de produit *j* à la période *t* avec la cadence *c*
- $Cap_{m,c,t}$ : Capacité de la ligne *m* par la cadence *c* dans chaque période *t*
- $Ng_j$ : nombre de gants de type *j* dans chaque carton

##### **Stockage :**

- $h_{j,t}$ : Coût unitaire de stockage du produit *j* par période *t* dans l'entreprise
- $CapSt$ : Capacité maximale de stockage chez l'entreprise
- $h2_{j,t}$ : Coût unitaire de stockage du produit *j* par période *t* chez le dépôt
- $Dem_{p,s,t}$ : Demande de produit *p* à la période *t* par le dépôt
- $CS$ : Capacité maximale de stockage chez le dépôt
- $Ss_{j,s}$ : stock de sécurité chez l'entreprise
- $Ss2_{j,s}$ : stock de sécurité chez le dépôt

##### **Transport :**

- $Ct$ : Coût de transport de l'usine au dépôt

- $NbrC$ : Nombre de camion
- $CapC$ : Capacité de camion

**Les variables de décision :**

**Production :**

- $x_{j,s,m,t,c}$ : Quantité produite en produit  $j$  de taille  $s$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$ .
- $y_{j,m,t,c}$ : Variable binaire, égale à 1 si on lance la production du produit  $j$  sur la ligne de production  $m$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$ , 0 sinon

**Stockage :**

- $I_{j,s,t}$ : la quantité de produit  $j$  de taille  $s$  stocké dans l'entreprise
- $I2_{j,s,t}$ : la quantité de produit  $j$  de taille  $s$  stocké chez dépôt

**Transport :**

- $v_{t,r}$ : Variable entière représentant le nombre de camions envoyés au dépôt à la période  $t$  par le routage  $r$
- $q_{j,s,t,r}$ : Quantité de produit  $j$  livrée au client à la période  $t$  par le routage  $r$

**La fonction objectif :**

$$\min \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \frac{(\sum_{m \in M} x_{j,s,m,t,c})}{Ng_j} * Cp_{j,t,c} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} I_{j,s,t} * h_{j,t} \\ + \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} I2_{j,s,t} * h2_{j,t} + \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} v_{t,r} * Ct$$

**Les contraintes :**

$$I_{j,s,t} = I_{j,s,t-1} + \frac{(\sum_{m \in M} \sum_{c \in C} x_{j,s,m,t,c})}{Ng_j} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall s \in S \quad (1)$$

$$I_{j,s,t+1} = I_{j,s,t} - \sum_{r \in R} q_{j,s,t+1,r} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall s \in S \quad (2)$$

$$I2_{1,j,s,t+1} = I2_{1,j,s,t} + \sum_{r \in R} q_{j,s,t+1,r} - Dem_{i,j,s,t+1} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - \{1\}, \forall s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} I_{j,s,t} \leq CapSt \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} I2_{j,s,t} \leq CS \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$I_{j,s,t} \geq Ss_{j,s} \quad \forall j \in P, \forall s \in S, \forall t \in T - 1 \quad (6)$$

$$I2_{j,s,t+1} \geq Ss2_{j,s} \quad \forall j \in P, \forall s \in S, \forall t \in T - 1 \quad (7)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} x_{j,s,m,t,c} \leq Cap_{m,t,c} \quad \forall t \in T, \forall m \in M, \forall c \in C \quad (8)$$

$$\frac{x_{j,s,m,t,c}}{Ng_j} \leq y_{j,m,t,c} * B \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall s \in S, \forall c \in C \quad (9)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq 1 \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (10)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} q_{j,s,t,r} \leq CapC * v_{t,r} \quad \forall t \in T, \forall r \in R \quad (11)$$

$$\sum_{r \in R} q_{j,s,t+1,r} \geq Dem_{j,s,t+1} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall s \in S \quad (12)$$

$$v_{t,r} \leq NbrC \quad \forall t \in T, \forall r \in R \quad (13)$$

$$y_{j,m,t,c} \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$I_{j,s,t}, I2_{j,s,t}, x_{j,s,m,t,c}, v_{t,r}, q_{j,s,t,r} \geq 0 \quad (15)$$

La fonction objective sert à minimiser le coût total qui englobe le coût de production, stockage chez le dépôt et l'entreprise et le coût de transport. Les contraintes (1), (2) et (3) sont pour calculer la valeur du stock de chaque produit et assurer son équilibrage chez l'usine et le dépôt respectivement. Les contraintes (4) et (5) assurent que le stock de tous les produits ne peut pas dépasser sa capacité maximale chez l'usine, le dépôt et les clients respectivement. Les contraintes (6) et (7) imposent les stocks de sécurité convenus avec le dépôt, l'entreprise et produit j.

Notons aussi que les quantités produites ne doivent pas dépasser la capacité de production pour chaque ligne ce qui assuré dans la contrainte (8). la liaison entre l'état de la ligne et la quantité produite pour une référence donnée est exprimée à travers la contrainte (9). La contrainte (10) détermine la cadence utilisée pour lancer chaque ligne. Contraintes (11) s'assurer que les capacités du véhicule sont respectées. La contrainte (12) assure la satisfaction de la demande de dépôt. la contrainte (13) assure le respect de nombre maximal de véhicules envoyés au dépôt et les contraintes (14) et (15) sont pour indiquer la nature des variables de décisions.

### Les demandes :

Dépôt	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	9	15	15	11	12	12	6	8	9	13	8
	M	210	148	261	106	149	254	292	192	211	239	196
	L	9	7	11	8	12	10	10	11	5	10	7
CHURIGICALE	7	71	64	67	29	100	87	95	94	65	84	105
	7.5	107	89	83	28	80	101	61	92	83	52	101
	8	38	45	43	28	34	43	33	40	20	31	39

**Tableau 3.45 :** les demandes de dépôt pour chaque type de produits

### 3.5.2 Explication des résultats :

Coûts	Production	Stockage chez l'usine	Stockage chez dépôt	Transport	Totale	durée
Cplex	37812800	0	2100	31950	37846850	5 s
Recuit simulé	37812800	0	2100	31950	37846850	1 itération

**Tableau 3.46** : le cout totale "production\_stockages\_transport" sous Cplex et RS

✓ Pour la quantité produite et stockée voir l'annexe

#### Quantité livrée :

Produit	Taille	Période	Routage	Valeur
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	9
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	15
1	1	3	1	0
1	1	3	2	0
1	1	3	3	0
1	1	3	4	0
1	1	3	5	0
1	1	3	6	26
1	1	4	1	0
1	1	4	2	0
1	1	4	3	0
1	1	4	4	0
1	1	4	5	0
1	1	4	6	0
1	1	5	1	0
1	1	5	2	0
1	1	5	3	12
1	1	5	4	0
1	1	5	5	0
1	1	5	6	0
1	1	6	1	12
1	1	6	2	0
1	1	6	3	0
1	1	6	4	0
1	1	6	5	0
1	1	6	6	0

1	1	7	1	0
1	1	7	2	0
1	1	7	3	0
1	1	7	4	0
1	1	7	5	6
1	1	7	6	0
1	1	8	1	8
1	1	8	2	0
1	1	8	3	0
1	1	8	4	0
1	1	8	5	0
1	1	8	6	0
1	1	9	1	0
1	1	9	2	9
1	1	9	3	0
1	1	9	4	0
1	1	9	5	0
1	1	9	6	0
1	1	10	1	13
1	1	10	2	0
1	1	10	3	0
1	1	10	4	0
1	1	10	5	0
1	1	10	6	0
1	1	11	1	0
1	1	11	2	0
1	1	11	3	0
1	1	11	4	8
1	1	11	5	0
1	1	11	6	0
1	2	1	1	0
1	2	1	2	0
1	2	1	3	0
1	2	1	4	0
1	2	1	5	0
1	2	1	6	210
1	2	2	1	0
1	2	2	2	0
1	2	2	3	0
1	2	2	4	0
1	2	2	5	0
1	2	2	6	148
1	2	3	1	0
1	2	3	2	0
1	2	3	3	0
1	2	3	4	0
1	2	3	5	0
1	2	3	6	367
1	2	4	1	0
1	2	4	2	0

1	2	4	3	0
1	2	4	4	0
1	2	4	5	0
1	2	4	6	0
1	2	5	1	0
1	2	5	2	0
1	2	5	3	149
1	2	5	4	0
1	2	5	5	0
1	2	5	6	0
1	2	6	1	254
1	2	6	2	0
1	2	6	3	0
1	2	6	4	0
1	2	6	5	0
1	2	6	6	0
1	2	7	1	0
1	2	7	2	0
1	2	7	3	0
1	2	7	4	0
1	2	7	5	292
1	2	7	6	0
1	2	8	1	192
1	2	8	2	0
1	2	8	3	0
1	2	8	4	0
1	2	8	5	0
1	2	8	6	0
1	2	9	1	0
1	2	9	2	211
1	2	9	3	0
1	2	9	4	0
1	2	9	5	0
1	2	9	6	0
1	2	10	1	239
1	2	10	2	0
1	2	10	3	0
1	2	10	4	0
1	2	10	5	0
1	2	10	6	0
1	2	11	1	0
1	2	11	2	0
1	2	11	3	0
1	2	11	4	196
1	2	11	5	0
1	2	11	6	0

Tableau 3.47 : les quantités livrées au dépôt

**Nombre de véhicule utilisés :**

Période	Routage					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0
8	1	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0

**Tableau 5.3 :** Nombre de véhicule utilisés pour chaque routage périodiquement

**Lancement des lignes :**

Produit	Ligne	Période	Cadence	Valeur
1	1	1	1	1
1	1	1	2	0
1	1	2	1	1
1	1	2	2	0
1	1	3	1	1
1	1	3	2	0
1	1	4	1	1
1	1	4	2	0
1	1	5	1	1
1	1	5	2	0
1	1	6	1	1
1	1	6	2	0
1	1	7	1	1
1	1	7	2	0
1	1	8	1	1
1	1	8	2	0
1	1	9	1	1
1	1	9	2	0
1	1	10	1	1
1	1	10	2	0
1	1	11	1	1
1	1	11	2	0
1	2	1	1	1
1	2	1	2	0
1	2	2	1	1
1	2	2	2	0
1	2	3	1	1
1	2	3	2	0
1	2	4	1	1

1	2	4	2	0
1	2	5	1	1
1	2	5	2	0
1	2	6	1	1
1	2	6	2	0
1	2	7	1	1
1	2	7	2	0
1	2	8	1	1
1	2	8	2	0
1	2	9	1	1
1	2	9	2	0
1	2	10	1	1
1	2	10	2	0
1	2	11	1	1
1	2	11	2	0
1	3	1	1	1
1	3	1	2	0
1	3	2	1	1
1	3	2	2	0
1	3	3	1	1
1	3	3	2	0
1	3	4	1	1
1	3	4	2	0
1	3	5	1	1
1	3	5	2	0
1	3	6	1	1
1	3	6	2	0
1	3	7	1	1
1	3	7	2	0
1	3	8	1	1
1	3	8	2	0
1	3	9	1	1
1	3	9	2	0
1	3	10	1	1
1	3	10	2	0
1	3	11	1	1
1	3	11	2	0
2	1	1	1	1
2	1	1	2	0
2	1	2	1	1
2	1	2	2	0
2	1	3	1	1
2	1	3	2	0
2	1	4	1	1
2	1	4	2	0
2	1	5	1	1
2	1	5	2	0
2	1	6	1	1
2	1	6	2	0
2	1	7	1	1

2	1	7	2	0
2	1	8	1	1
2	1	8	2	0
2	1	9	1	1
2	1	9	2	0
2	1	10	1	1
2	1	10	2	0
2	1	11	1	1
2	1	11	2	0
2	2	1	1	1
2	2	1	2	0
2	2	2	1	1
2	2	2	2	0
2	2	3	1	1
2	2	3	2	0
2	2	4	1	1
2	2	4	2	0
2	2	5	1	1
2	2	5	2	0
2	2	6	1	1
2	2	6	2	0
2	2	7	1	1
2	2	7	2	0
2	2	8	1	1
2	2	8	2	0
2	2	9	1	1
2	2	9	2	0
2	2	10	1	1
2	2	10	2	0
2	2	11	1	1
2	2	11	2	0
2	3	1	1	1
2	3	1	2	0
2	3	2	1	1
2	3	2	2	0
2	3	3	1	1
2	3	3	2	0
2	3	4	1	1
2	3	4	2	0
2	3	5	1	1
2	3	5	2	0
2	3	6	1	1
2	3	6	2	0
2	3	7	1	1
2	3	7	2	0
2	3	8	1	1
2	3	8	2	0
2	3	9	1	1
2	3	9	2	0
2	3	10	1	1

2	3	10	2	0
2	3	11	1	1
2	3	11	2	0

**Tableau 3.49** : le choix de ligne et de cadence pour le lancement de production périodiquement

**Comparaison :**

Pour la déférence entre CPLEX et RS

Périodes	Cplex	Durée	Recuit Simulé	Itération	GAP
22	75698700	14 s	75698700	10	0%
33	113552000	27 s	113552000	2	0%
44	151403850	41 s	151403850	2	0%
55	189254900	1 min 4s	189254900	25	0%
66	227107870	2 min	227107870	4	0%
77	264956500	3 min	264956500	2	0%
88	302811890	15 min 32 s	302811890	11	0%
99	/	>1h	340660780	39	/
110	/	>1h	378512050	16	/
121	/	>1h	416359610	9	/

**Tableau 3.50** : comparaison entre Cplex et RS pour 121 périodes

En analysant les résultats, nous remarquons que les deux méthodes ont pu obtenir la même solution pour toutes les instances dont la longueur de l'horizon ne dépasse pas 99 périodes (9 mois). Cela implique que toutes ces instances, ont été résolues à l'optimalité mais le reste des instances de 99 périodes a 121 périodes n'ont pas pu être résolu à travers le solveur au contraire de notre algorithme qui fournit des solutions de bonne qualité avec un nombre d'itération petit

**Pour le cout total :**

Après l'exécution de notre modèle mathématique nous avons remarqué que nous réalisons des économies de coûts globales de 44.14 % par rapport à la solution de l'entreprise.

	Solution de l'entreprise	Solution du modèle
Coût totale	67748640 DA	37846850 DA
Réduction de coût	//	29901790 DA
Pourcentage d'économies	//	44.14%

**3.6 Conclusion :**

La littérature concernant les approches d'optimisation qui gèrent les caractéristiques réelles des problèmes industriels est rare. Alors le problème abordé dans ce chapitre est inspiré des contextes industriels où nous avons résolu avec la modélisation et l'algorithme de recuit simulé le problème d'origine de cette entreprise et recherchent des améliorations dans la

production, la gestion des stocks et les coûts de transport. Après l'explication approfondie sur le processus de fabrication des gants, une nouvelle formulation mathématique a été proposée afin de fournir des plans intégrés de production, d'inventaire et d'acheminement avec l'approche de lot sizing with direct shippement . Les instances de grande taille entraînent des problèmes insolubles qui doivent être résolus par des méthodes de résolution efficaces. Ce fait nous a motivé à proposer un nouvel algorithme de recuit simulé permettant la construction des solutions de bonne qualité quelle que soit la taille du problème

Nous réalisons des économies de coûts globales de 44.14 % par rapport à la solution de l'entreprise.



**Investigation sur le réseau logistique de TOP GLOVES**

---

Le quatrième chapitre décrit les contributions principales. Le nouveau niveau décisionnel à considérer dans ce chapitre concerne l'élargissement du réseau et prendre en compte tous les clients de dépôt et les rendre clients d'entreprise. Au premier lieu nous avons résolu le système relativement au données précédente, au deuxième point l'accès a été donné à l'entreprise pour assurer la distribué au dépôt et clients en même temps et pour le dernier point nous avons ajouté l'aspect mutualisation au notre modèle. L'objectif de ces contribution est de minimiser les coûts de la production stockage et les coûts de transport. Ce chapitre est conclu par une analyse de sensibilité des principaux paramètres du problème sur la planification intégrée pour nous permettre d'ouvrir toute les portes pour les différents travaux dans la future.

**Sommaire :**

---

4.1 Explication de notre problème.....	130
4.1.1 Cadre général sur la mutualisation :.....	130
4.2 Les clients de TOP GLOVE :.....	131
4.2.1 La Pharmacie Centrale des Hôpitaux ‘‘PCH’’ :.....	131
4.2.2 Ecotem : .....	132
4.3 1ère Contribution : .....	132
4.3.1 Notre problématique :.....	132
4.3.2 Modèle mathématique de PRP :.....	133
4.4 2ème Contribution :.....	137
4.4.1 Notre problématique.....	137
4.4.2 Modèle mathématique de PRP :.....	137
4.5 3ème Contribution.....	141
4.5.1 Notre problématique :.....	141
4.5.2 Modèle mathématique de PRP :.....	142
4.6 La demande client : .....	146
4.7 Explication des résultats : .....	148
4.7.1 Pour la 1ère problématique : .....	148
4.7.2 Pour la 2ème problématique : .....	149
4.7.3 Pour la 3ème problématique : .....	150
4.7.4 Pour le cout total :.....	150
4.8 Conclusion.....	150

---

## 4.1 Introduction :

Dans un contexte industriel, avec une féroce concurrence et des circonstances en perpétuel changement, le management du réseau logistique est devenu un facteur clé pour la survie des entreprises. L'intégration de tous les maillons et le partage des ressources humaines, matériels... est devenue un point crucial pour minimiser les coûts d'exploitation. En outre, prendre en considération l'aspect temporel dans la planification peut changer la vision des industriels afin de satisfaire au mieux les demandes et les besoins de leurs clients tout en minimisant les coûts et les délais de livraison. Très souvent, les produits pharmaceutiques sont transportés dans une fenêtre de temps recommandée.

C'est dans ce contexte que les logisticiens de l'entreprise TOP GLOVES voudraient proposer de nouvelles extensions de leur réseau de distribution en intégrant la notion du temps ainsi que de mutualisation.

## 4.2 Explication de la problématique :

Nous considérons un réseau de production/distribution qui traite deux types de produits et se compose d'un nœud d'installation avec un système de production complexe de 910800 gants/période comme capacité de production et d'un ensemble de 11 clients géographiquement dispersés avec leur propre espace de stockage (500 carton pour les deux premiers clients, et 200 carton pour le reste). Afin de faciliter le bon fonctionnement au niveau tactique, il est supposé que l'usine de production et les clients peuvent conserver les stocks initiaux au début de l'horizon de planification. La pénurie est strictement interdite sur tous les nœuds. À chaque période (période de deux jours), chaque client dispose d'un stock suffisant pour satisfaire la demande. Une flotte de véhicules à capacité identique (3 camions avec une capacité de 800 cartons) transportent les produits finis de l'entreprise vers des clients disposant d'une capacité de stockage limitée avec deux ou trois chauffeur selon la distance.

Les contributions que nous avons proposées dans cette étude se résument en 3 problématiques :

1. L'entreprise TOP GLOVES assure la production et la distribution uniquement pour leur dépôt situé à Oran. Et ce dernier sera responsable de la livraison vers les différents clients.  
Notre but est d'appliquer Production Routing Problem sur ce réseau.
2. Nous élargissons ce réseau de distribution vue les pertes de temps et de cout qui ont été remarqué tel que un client qui se trouve à Tlemcen sera bien pris en charge à partir de Ain Temouchent au lieu d'aller jusqu'à Oran.
3. Utiliser l'aspect de mutualisation entre l'entreprise /dépôt/ client vue l'efficacité et la rapidité ainsi qu'une minimisation du cout globale

### 4.2.1 Cadre général sur la mutualisation :

La mutualisation est définie comme "la mise en commun à des fins de partage" (Dujardin, 2006). C'est un mécanisme organisé par plusieurs acteurs d'un même territoire pour regrouper un ou plusieurs ressources. Cette mutualisation est souvent une réponse à un besoin économique. Son but peut être de rationaliser pour économiser de l'argent ou le temps

de travail, de bénéficier de compétences accrues, de meilleurs outils ou de meilleures méthodes ou de réduire le besoin globale des moyens partagé on augmenter l'efficacité pour les acteurs. La mutualisation peut être entreprise au sein d'une même structure, au niveau régional, national, international, elle entraîne forcément une réorganisation du travail, des habitudes à changer, des peurs à lever, la création d'interdépendances.

On distingue plusieurs cas de mutualisation [Dujardin 06] :

- ✓ Acquisition (achat de ressources)
- ✓ Traitement (exécution de tâches)
- ✓ Expertise (personnes, ressources)
- ✓ Produit et services (guichet d'accueil, base de données, ...)

On identifie aussi 3 cadres de mutualisation [Granata, 11] :

- La mutualisation d'opportunité, qui répond principalement à des logiques de court-terme. Elle peut être liée à des pics d'activité imprévus, des besoins d'acquisition ou de remplacement de ressources dans l'urgence ou contrainte pour des raisons économiques.
- La mutualisation contractualisée, qui répond à des logiques de court et moyen termes. Elle est liée a un besoin anticipé et découle d'une concertation entre les parties. Elle entraîne une relation contractuelle généralement entre un nombre restreint de structures.
- La mutualisation collective, qui répond à des logiques de moyen et long termes. Elle est liée à un important besoin d'acquisition de ressources et/ou compétences fondamentales qui restent difficiles à acquérir individuellement. Elle engage un nombre plus important de structures dans un projet collectif qui conduit obligatoirement à constituer une structure collective formelle de mutualisation. L'animation de la structure collective est nécessaire pour fédérer divers partenaires qui peuvent parfois être concurrents.

### **4.3 Les clients de TOP GLOVES :**

#### **4.3.1 La Pharmacie Centrale des Hôpitaux "PCH" :**

La Pharmacie Centrale des Hôpitaux est un établissement à caractère industriel et commerciale dont l'objet social est l'approvisionnement des établissements hospitaliers en produit pharmaceutique. Sa clientèle ainsi que ses fournisseurs sont à la fois public et privé

Les activités de la filière des produits pharmaceutiques regroupent : Fabrication, Conditionnement, Grossistes importateurs, Distributeurs en gros, Distributeurs en détails..., comme EPH (établissement public hospitalier), EHS (établissements hospitalier spécialisé) EPSP (établissements publics de sante de proximité), CHU (centre hospitalier universitaire)...

On trouve 5 directions PCH

1. Direction d'Alger qui situé à la route de wilaya, BP354, Oued Smar, Dar el Beida, Alger et regroupe :

ALGER, BLIDA, BOUIRA, BOUMERDES, Tipaza, AIN DEFLA, BEJAIA, BORDJ BOU ARRERIDJ, CHLEF, DJELFA, LAGHOUAT, MEDEA, M'SILA, TISSEMSILT, TIZI OUZOU

2. Direction d'Annaba qui situé à route d'El Hadjar, El Bouni, Annaba et regroupe :

ANNABA, COSTANTINE, BATNA, GUELMA, JIJEL, KHENCHELA, MILA, OUM EL BOUAGHI, SETIF, SKIKDA, SOUK AHRAS, EL TAREF, TEBESSA

3. Direction Oran qui situé a 01, rue Dr. Benmaine Es Seddikia BP7269, ORAN et regroupe :

ORAN, AIN TEMOUCHENT, SIDI BELAABES, TIARET, MOSTAGANEM, TLEMECEN, RELIZEN, MASCARA, SAIDA

4. Direction de Bechar qui situé à la zone Industriel Bechar, BP596 et regroupe :

BéCHAR, TINDOUF, OURGLA, TAMANRASSET, ADRAR, EL-BAYADH, NAAMA

5. Direction de Biskra qui situé à la Zone Industriel, BP418, Biskra et regroupe :

BISKRA, DJELFA, GHARDAIA, EL OUED, ILLIZI

#### 4.3.2 Ecotem :

C'est le commerce de gros de produits pharmaceutiques, matériel et instruments médico-chirurgicaux (vente, location, réparation), leur accessoires, pièces détachées et consommable et en même temps c'est le vendeur principale de l'entreprise TOP GLOVES

Il situé à 268 rue NACHET ABDELKADER cité OTHMANIA MARAVAL Oran

Plus des grossistes ou bien des paraphâmes située à sidi belabes, Ghardaïa, Tipaza, Oran Saida et Relizane. Donc en tout, on a 11 clients et un dépôt situé à Oran.

#### 4.4 Contribution 01 :

##### 4.4.1 Problématique 01 :

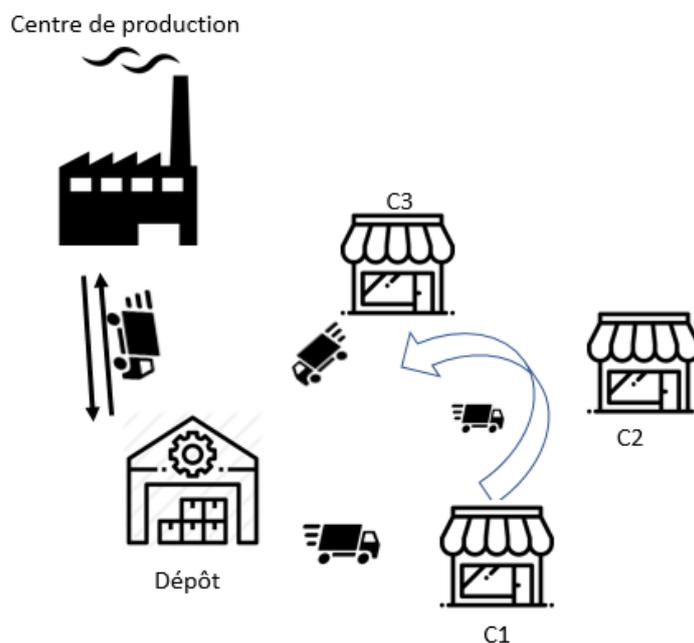


Figure 3.40 : schéma explicatif pour la 1ère problématique

La figure citée ci-dessus représente l'entreprise qui fournit le produit fini au dépôt en utilisant le lot sizing avec un direct shippement et c'est au dépôt de servir les différents clients avec un routage en utilisant le véhicule routing problème

#### 4.4.2 Modèle mathématique de la 1ère problématique :

Les paramètres :

*P*: nombre de produits

*M*: nombre de lignes

*T*: nombre de périodes

*K*: nombre de clients

*C*: les cadences

*N*: ensemble de noeuds

*V*: nombre de véhicules de dépôt

*R*: nombre de routage

Production :

- $Cp_{j,t,c}$ : coût unitaire de production de produit  $j$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$
- $Cc_{i,j,m,t}$ : Coût de changement de production du produit  $i$  au produit  $j$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$
- $Cst$ : Coût de stérilisation
- $Cap_{m,c,t}$ : Capacité de la ligne  $m$  par la cadence  $c$  dans chaque période  $t$
- $Ng_j$ : nombre de gants de type  $j$  dans chaque carton

Stockage :

- $h_{j,t}$ : Coût unitaire de stockage du produit  $j$  par période  $t$  dans l'entreprise
- $CapSt$ : Capacité maximale de stockage chez l'entreprise
- $h2_{k,j,t}$ : Coût unitaire de stockage du produit  $j$  par période  $t$  dans chaque noeud  $k$
- $Dem_{i,p,s,t}$ : Demande de produit  $p$  à la période  $t$  par le client  $i$
- $CS_k$ : Capacité maximale de stockage chez le noeud  $k$
- $Ss_{j,s}$ : stock de sécurité chez l'entreprise
- $Ss2_{k,j,s}$ : stock de sécurité chez le noeud  $k$

Routage :

- $Ct$ : Coût de transport de l'usine au dépôt
- $NbrC$ : Nombre de camion
- $CapC$ : Capacité de camion
- $CapVe_v$ : Capacité de la véhicule  $v$
- $CT_{i,j}$ : coût de transport entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$ .
- $Maxdur$ : la durée maximale de routage

- $t_{i,j}$ : temps de transport entre le nœud  $i$  et le nœud  $j$ .
- $[a_i, b_i]$ : Fenêtre de temps du nœud  $i$ ,

Les variables de décision :

Production :

- $x_{j,s,m,t,c}$ : Quantité produite en produit  $j$  de taille  $s$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$ .
- $y_{j,m,t,c}$ : Variable binaire, égale à 1 si en lance la production du produit  $j$  sur la ligne de production  $m$  à la période  $g$  avec la cadence  $c$ , 0 sinon
- $z_{i,j,m,t}$ : Variable binaire, égale à 1 si le changement de la production sur la ligne  $m$  à la période  $g$  est du produit  $i$  au produit  $j$ , 0 sinon.
- $l_{j,m,t}$ : Variable binaire, égale à 1 si en lance la production du produit  $j$  sur la ligne  $m$  à la période  $g$ , 0 sinon
- $S_t$ : Variable binaire, égale à 1 si en lance la stérilisation, 0 sinon

Stockage :

- $I_{j,s,t}$ : la quantité de produit  $j$  de taille  $s$  stocké dans l'entreprise
- $I2_{i,j,s,t}$ : la quantité de produit  $j$  de taille  $s$  stocké dans chaque nœud  $i$

Routage :

- $v_{t,r}$ : Variable entière représentant le nombre de camions envoyés au dépôt à la période  $t$  par le routage  $r$
- $q_{j,s,t,r}$ : Quantité de produit  $j$  livrée au client à la période  $t$  par le routage  $r$
- $H_{i,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 si le client  $i$  est visité et servi à la période  $t$  par la véhicule  $v$  pendant le routage  $r$ , 0 sinon.
- $QLv_{i,p,s,t,v,r}$ : Quantité livrée du produit  $p$  au client  $i$  à la période  $t$  par la véhicule  $v$  pendant le routage  $r$
- $chrg_{i,j,t,v,r}$ : la charge du véhicule  $v$  envoyés de nœud  $i$  au nœud  $j$  à la période  $t$  dans le routage  $r$
- $Y_{i,j,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 s'il y a un lien entre le nœud  $i$  et le nœud  $j$  dans la période  $t$  par la véhicule  $v$  pendant le routage  $r$ , 0 sinon
- $A_{i,v,t,r}$ : Temps d'arrivée au nœud  $i$

La fonction objectif:

$$\begin{aligned} \min \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \frac{(\sum_{m \in M} x_{j,s,m,t,c})}{Ng_j} * Cp_{j,t,c} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} I_{j,s,t} * h_{j,t} \\ + \sum_{s \in S} \sum_{i \in N} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} I2_{i,j,s,t} * h2_{i,j} + \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} z_{i,j,m,t} * Cc_{i,j,m,t} \\ + \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} v_{t,r} * Ct + \sum_{t \in T} S_t * Cst + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Y_{i,j,t,v,r} * CT_{i,j} \end{aligned}$$

Les contraintes :

$$I_{j,s,t} = I_{j,s,t-1} + \frac{(\sum_{m \in M} \sum_{c \in C} x_{j,s,m,t,c})}{Ng_j} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall s \in S \quad (1.1)$$

$$I_{j,s,t+1} = I_{j,s,t} - \sum_{r \in R} q_{j,s,t+1,r} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall s \in S \quad (1)$$

$$I2_{1,j,s,t+1} = I2_{1,j,s,t} + \sum_{r \in R} q_{j,s,t+1,r} - \sum_{v \in V} \sum_{i \in K} Qlv_{i,j,s,t+1,v} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - \{1\}, \forall s \in S \quad (2)$$

$$I2_{i,j,s,t+1} = I2_{i,j,s,t} + \sum_{v \in V} Qlv_{i,j,s,t+1,v} - Dem_{i,j,s,t+1} \quad \forall s \in S, \forall j \in P, \forall i \in K, \forall t \in T - \{1\} \quad (3)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} I_{j,s,t} \leq CapSt \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} I2_{i,j,s,t} \leq CS_i \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (5)$$

$$I_{j,s,t} \geq Ss_{j,s} \quad \forall j \in P, \forall s \in S, \forall t \in T - 1 \quad (6)$$

$$I2_{i,j,s,t+1} \geq Ss2_{i,j,s} \quad \forall j \in P, \forall i \in N, \forall s \in S, \forall t \in T - 1 \quad (7)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} x_{j,s,m,t,c} \leq Cap_{m,t,c} \quad \forall t \in T, \forall m \in M, \forall c \in C \quad (8)$$

$$\frac{x_{j,s,m,t,c}}{Ng_j} \leq y_{j,m,t,c} * B \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall s \in S, \forall c \in C \quad (9)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq 1 \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (10)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (11)$$

$$\sum_{i \in P, i \neq j} z_{i,j,m,t} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (12)$$

$$\sum_{i \in P, i \neq j} z_{j,i,m,t} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (13)$$

$$\sum_{j \in P} l_{j,m,t} - 1 \leq \sum_{i \in P, i \neq j} \sum_{j \in P} z_{i,j,m,t} \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (14)$$

$$l_{2,m,t} \leq S_t \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (15)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} q_{j,s,t,r} \leq CapC * v_{t,r} \quad \forall t \in T, \forall r \in R \quad (16)$$

$$\sum_{r \in R} q_{j,s,t+1,r} \geq \sum_{i \in K} Dem_{i,j,s,t+1} \quad (17)$$

$$v_{t,r} \leq NbrC \quad \forall t \in T, \forall r \in R \quad (18)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{i \in K} Qlv_{i,j,s,t+1,v,r} \leq CapVe_v * H_{1,v,t+1,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (19)$$

$$chrg_{i,j,t+1,v,r} \leq CapVe_v * Y_{i,j,t+1,v,r} \quad \forall i, j \in N, \forall t \in T - 1, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (20)$$

$$\sum_{j \in N} Y_{i,j,t+1,v,r} + \sum_{j \in N} Y_{j,i,t+1,v,r} = 2 * H_{i,v,t+1,r} \quad \forall i \in N, \forall t \in T - 1, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (21)$$

La fonction objective sert à minimiser le coût total qui englobe le coût de production, changement, stérilisation et de stockage chez les clients, dépôt et l'entreprise et le coût de transport. Les contraintes (1.1) (1), (2) et (3) sont pour calculer la valeur du stock de chaque produit et assurer son équilibrage chez l'usine, le dépôt et les clients respectivement. Les contraintes (4) et (5) assurent que le stock de tous les produits ne peut pas dépasser sa capacité maximale chez l'usine, le dépôt et les clients respectivement.

Les contraintes (6) et (7) imposent les stocks de sécurité convenus avec chaque client  $i$  et produit  $j$ . Les quantités produites ne doivent pas dépasser la capacité de production pour chaque ligne ce qui assuré dans la contrainte (8).

La liaison entre l'état de la ligne et la quantité produite pour une référence donnée est exprimée à travers la contrainte (9). Les contraintes (10) à (14) déterminent le séquençement des produits. Le produit de type 2 doit passer à la stérilisation ce qui est assuré dans la contrainte (15). Contraintes (16) s'assurer que les capacités du véhicule sont respectées. La contrainte (17) assure la satisfaction de la demande de dépôt. La contrainte (18) assure le respect de nombre maximal de véhicules envoyés au dépôt. Les quantités livrées et la charge du véhicule ne doivent pas dépasser la capacité du véhicule, ce qui est indiqué dans les contraintes (19) et (20). La contrainte (21) assure que lorsqu'un client est visité, le véhicule doit avoir une entrée et une sortie pour ce client.

Notons que dans le modèle, on doit prendre en considération les points suivants :

- La somme des quantités sorties de dépôt est égale à la somme des quantités livrées.
- La quantité livrée à chaque client durant la tournée par rapport à la charge du véhicule avant et après visiter ce client.
- Le véhicule doit revenir au dépôt vide.
- Entre un nœud et lui-même il n'y a ni un lien ni une charge à transporter.
- Les quantités livrées doivent respecter les demandes des clients. .
- Si un nœud est visité, il y'a forcément un sommet de départ pour parcourir le lien tout en modélisant la durée maximale de routage
- Les temps d'arrivées à chaque emplacement pour chaque véhicule doivent être considérés et les fenêtres de temps doivent être respectées.
- Les contraintes d'élimination de sub-tour présentée par Chandra et Fisher doit être prise en considération tout en considérant la nature des variables de décisions

## 4.5 Contribution 02 :

### 4.5.1 Problématique 02 :

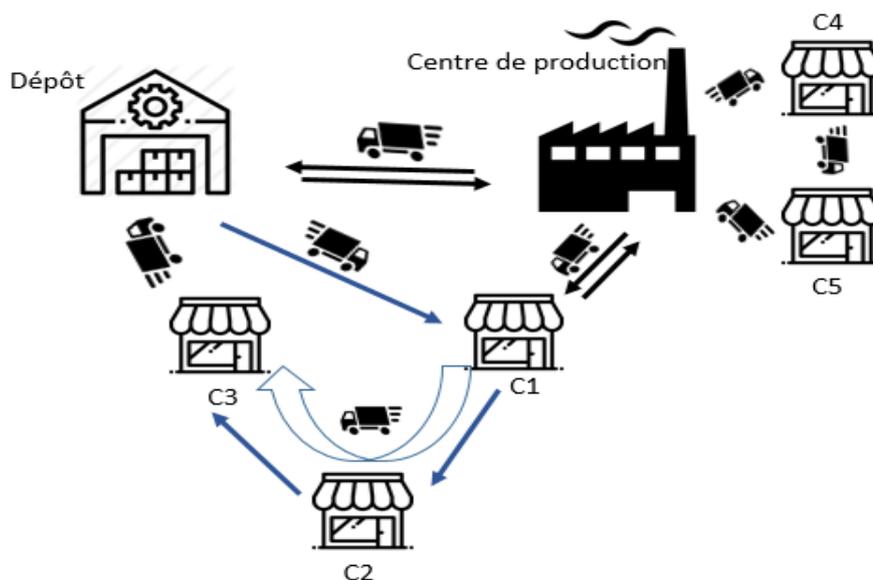


Figure 3.41: Schéma explicatif pour la 2ème problématique

La figure N°41.3 représente l'explication de notre deuxième modèle mathématique qui stipule que l'entreprise assure la livraison au dépôt qui lui-même assure la livraison aux clients de son entourage avec un routage. En même temps Top Gloves assure la continuité de service de distribution aux clients loin du dépôt qui sont proche d'elle.

### 4.5.2 Modèle mathématique de la 2ème problématique :

#### Les paramètres :

*P*: nombre de produits

*M*: nombre de lignes

*T*: nombre de périodes

*C*: les cadences

*S*: nombre des taille des produits

*N*: nombre de noeuds (entreprise, dépôt et les clients)

*K*: nombre de clients de l'entreprise (dépôt et les clients)

*K1*: nombres de clients peuvent livrer par le dépôt

*V*: nombre de véhicules de l'entreprise

*V2*: nombre de véhicules de dépôt

*R*: nombre de routage

#### **Production :**

- $C_{p,j,t,c}$ : coût unitaire de production de produit  $j$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$
- $C_{c,i,j,m,t}$ : Coût de changement de production du produit  $i$  au produit  $j$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$

- $Cst$ : Coût de stérilisation
- $Cap_{m,t,c}$ : Capacité de la ligne  $m$  avec la cadence  $c$
- $Ng_j$ : nombre de gants de type  $j$  dans chaque carton

**Stockage :**

- $h_{i,j,t}$ : Coût unitaire de stockage du produit  $j$  par période  $t$  dans chaque noeud  $i$  ( $i \in N$ )
- $CapSt_i$ : Capacité maximale de stockage chez le noeud  $i$  ( $i \in N$ )
- $Ss_{i,j,s}$ : stock de sécurité chez le noeud  $i$  ( $i \in N$ )
- $Dem_{i,p,s,t}$ : Demande de produit  $p$  de taille  $s$  à la période  $t$  par le client  $i$  ( $i \in K1$ )

**Routage :**

- $CapVe_v$ : Capacité de la véhicule  $v$  ( $v \in V$ )
- $CapVe2_v$ : Capacité de la véhicule  $v$  ( $v \in V2$ )
- $CT_{i,j}$ : coût de transport entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in N$ ).
- $CT2_{i,j}$ : coût de transport entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in K$ ).
- $Maxdur$ : la durée maximale de routage
- $t_{i,j}$ : temps de transport entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in N$ ).
- $[a_i, b_i]$ : Fenêtre de temps du noeud  $i$  ( $i \in N$ ).

**Les variables de décision :**

**Production :**

- $x_{j,s,m,t,c}$ : Quantité produite en produit  $j$  de taille  $s$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$ .
- $y_{j,m,t,c}$ : Variable binaire, égale à 1 si en lancia la production du produit  $j$  sur la ligne de production  $m$  à la période  $g$  avec la cadence  $c$ , 0 sinon
- $z_{i,j,m,t}$ : Variable binaire, égale à 1 si le changement de la production sur la ligne  $m$  à la période  $g$  est du produit  $i$  au produit  $j$ , 0 sinon.
- $l_{j,m,t}$ : Variable binaire, égale à 1 si en lance la production du produit  $j$  sur la ligne  $m$  à la période  $g$ , 0 sinon
- $S_t$ : Variable binaire, égale à 1 si en lance la stérilisation, 0 sinon

**Stockage :**

- $I_{i,j,s,t}$ : la quantité de produit  $j$  de taille  $s$  stocké dans chaque noeud  $i$  ( $i \in N$ )

**Routage :**

- $Qlv_{k,p,s,t,v,r}$ : Quantité livrée du produit  $p$  au client  $k$  ( $k \in K$ ) à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V$ ) pendant le routage  $r$
- $QLv2_{i,p,s,t,v,r}$ : Quantité livrée du produit  $p$  au client  $i$  ( $i \in K1$ ) à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V2$ ) pendant le routage  $r$
- $chrg_{i,j,t,v,r}$ : la charge du véhicule  $v$  envoyés de noeud  $i$  au noeud  $j$  ( $i, j \in N$ )

- à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V$ ) pendant le routage  $r$
- $chrg2_{i,j,t,v,r}$ : la charge du véhicule  $v$  envoyés de noeud  $i$  au noeud  $j$  ( $i, j \in K$ ) à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V2$ ) pendant le routage  $r$
- $H_{k,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 si le client  $k$  ( $k \in K$ ) est visité et servi à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V$ ) pendant le routage  $r$ , 0 sinon.
- $H2_{i,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 si le client  $i$  ( $i \in K1$ ) est visité et servi à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V2$ ) pendant le routage  $r$ , 0 sinon.
- $Y_{i,j,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 s'il y a un lien entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in N$ ) dans la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V$ ) pendant le routage  $r$ , 0 sinon
- $Y2_{i,j,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 s'il y a un lien entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in K$ ) dans la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V2$ ) pendant le routage  $r$ , 0 sinon
- $A_{k,v,t,r}$ : Temps d'arrivée au noeud  $k$  ( $k \in N$ )
- $A2_{i,v,t,r}$ : Temps d'arrivée au noeud  $i$  ( $i \in K$ )

**La fonction objective :**

$$\begin{aligned} \min \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \frac{(\sum_{m \in M} x_{j,s,m,t,c})}{Ng_j} * Cp_{j,t,c} + \sum_{s \in S} \sum_{i \in N} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} I_{i,j,s,t} * h_{i,j,t} \\ + \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} z_{i,j,m,t} * Cc_{i,j,m,t} + \sum_{t \in T} S_t * Cst \\ + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Y_{i,j,t,v,r} * CT_{i,j} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} Y2_{i,j,t,v,r} * CT2_{i,j} \end{aligned}$$

**Les contraintes :**

$$I_{1,p,s,t} = I_{1,p,s,t-1} + \frac{(\sum_{m \in M} \sum_{c \in C} x_{p,s,m,t,c})}{Ng_j} \quad \forall p \in P, \forall t \in (T - 1) - \{1\}, \forall s \in S \quad (1)$$

$$I_{1,p,s,t+1} = I_{1,p,s,t} - \sum_{i \in K} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,s,t+1,v,r} \quad \forall p \in P, \forall t \in (T - 1) - \{1\}, \forall s \in S \quad (2)$$

$$I_{2,j,s,t+1} = I_{2,j,s,t} + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{1,j,s,t+1,v,r} - \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} \sum_{i \in K1} QLv2_{i,j,s,t+1,v,r} \quad \forall j \in P, \forall t \in (T - 1) - \{1\}, \forall s \in S \quad (3)$$

$$I_{i,p,s,t+1} = I_{i,p,s,t} + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,s,t+1,v,r} + \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} QLv2_{i,j,s,t+1,v,r} - Dem_{i,p,s,t+1} \quad \forall s \in S, \forall p \in P, \forall i \in K - \{1\}, \forall t \in (T - 1) - \{1\} \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} I_{i,j,s,t} \leq CapSt_i \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (5)$$

$$I_{i,j,s,t} \geq Ss_{i,j,s} \quad \forall j \in P, \forall s \in S, \forall i \in N, \forall t \in T \quad (6)$$

$$\frac{x_{j,s,m,t,c}}{Ng_j} \leq y_{j,m,t,c} * B \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall s \in S \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq 1 \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (8)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (9)$$

$$\sum_{i \in P, i \neq j} z_{i,j,m,t} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (10)$$

$$\sum_{i \in P, i \neq j} z_{j,i,m,t} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (11)$$

$$\sum_{j \in P} l_{j,m,t} - 1 \leq \sum_{i \in P, i \neq j} \sum_{j \in P} z_{i,j,m,t} \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (12)$$

$$l_{2,m,t} \leq S_t \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (13)$$

$$\sum_{j \in P} \sum_{s \in S} x_{j,s,m,t,c} \leq Cap_{m,t,c} \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall c \in C, \forall s \in S \quad (14)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{i \in K} Qlv_{i,p,t+1,v,r} \leq CapVe_v * H_{1,t+1,v,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (15)$$

$$chrg_{i,j,t+1,v,r} \leq CapVe_v * Y_{i,j,t+1,v,r} \quad \forall i, j \in N, \forall t \in T - 1, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (16)$$

$$\sum_{j \in N} Y_{i,j,t+1,v,r} + \sum_{j \in N} Y_{j,i,t+1,v,r} = 2 * H_{i,t+1,v,r} \quad \forall i \in N, \forall t \in T - 1, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (17)$$

$$\sum_{j \in K} chrg_{1,j,t+1,v,r} = \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{j \in K} Qlv_{j,p,s,t+1,v,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall p \in P, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (18)$$

$$\sum_{i \in N} chrg_{i,j,t+1,v,r} - \sum_{i \in N} chrg_{j,i,t+1,v,r} = \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} Qlv_{j,s,p,t+1,v,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall j \in K, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (19)$$

$$chrg_{i,1,t+1,v,r} = 0 \quad \forall t \in T - 1, \forall i \in K, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (20)$$

$$chrg_{i,i,t+1,v,r} = 0 \quad \forall t \in T - 1, \forall i \in N, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (21)$$

$$Y_{i,i,t+1,v,r} = 0 \quad \forall t \in T - 1, \forall i \in N, \forall v \in V, \forall r \in R \quad (22)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,s,t+1,v,r} + \sum_{t \in T} \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} Qlv2_{i,p,s,t+1,v,r} = \sum_{t \in T} Dem_{i,p,s,t+1} \quad \forall i \in K1, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (23)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{1,p,s,t+1,v,r} = \sum_{t \in T} \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} \sum_{i \in K1} Qlv2_{i,p,s,t+1,v,r} \quad \forall p \in P, \forall s \in S \quad (24)$$

La fonction objective sert à minimiser le coût total qui englobe le coût de production, changement, stérilisation et de stockage chez les clients dépôt et l'entreprise et le coût de transport. Les contraintes (1), (2), (3) et (4) sont pour calculer la valeur du stock de chaque produit et assurer son équilibrage chez l'usine, le dépôt et les clients respectivement. La contrainte (5) assure que le stock de tous les produits ne peut pas dépasser sa capacité

maximale dans chaque nœud. La contrainte (6) impose les stocks de sécurité convenus avec chaque client  $i$  et produit  $j$ . La liaison entre l'état de la ligne et la quantité produite pour une référence donnée est exprimée à travers la contrainte (7). Les contraintes (8) à (12) déterminent le séquençement des produits. Le produit de type 2 doit passer à la stérilisation ce qui est assuré dans la contrainte (13). Les quantités produites ne doivent pas dépasser la capacité de production pour chaque ligne ce qui est assuré dans la contrainte (14).

Les quantités livrées et la charge du véhicule ne doivent pas dépasser la capacité du véhicule (entreprise), ce qui est indiqué dans les contraintes (15), (16). Les contraintes (17) assurent que lorsqu'un client est visité, le véhicule doit avoir une entrée et une sortie pour ce client. Les contraintes (18) indiquent que la somme des quantités sorties de l'usine est égale à la somme des quantités livrées. Les contraintes (19) servent à calculer la quantité livrée à chaque client durant la tournée par rapport à la charge du véhicule avant et après la visite de ce client. Les contraintes (20) assurent que le véhicule doit revenir à l'entreprise vide. Les contraintes (21), (22) indiquent qu'entre un nœud et lui-même il n'y a ni un lien ni une charge à transporter. Les contraintes (23) et (24) indiquent que les quantités livrées doivent respecter les demandes des clients.

Notons que dans le modèle, les points suivants doivent être considérés :

- si un nœud est visité, il y'a forcément un sommet de départ pour parcourir le lien tout en modélisant la durée maximale de routage.
- Le véhicule doit revenir au dépôt vide
- la somme des quantités sorties du dépôt est égale à la somme des quantités livrées.
- Les temps d'arrivées à chaque emplacement pour chaque véhicule doivent être définis.
- Les contraintes des fenêtres de temps doivent être respectées.
- Les contraintes d'élimination de sub-tour présentée par Chandra et Fisher doit être prise en considération tout en considérant la nature des variables de décisions.

## **4.6 Contribution 03 :**

### **4.6.1 Problématique 03 :**

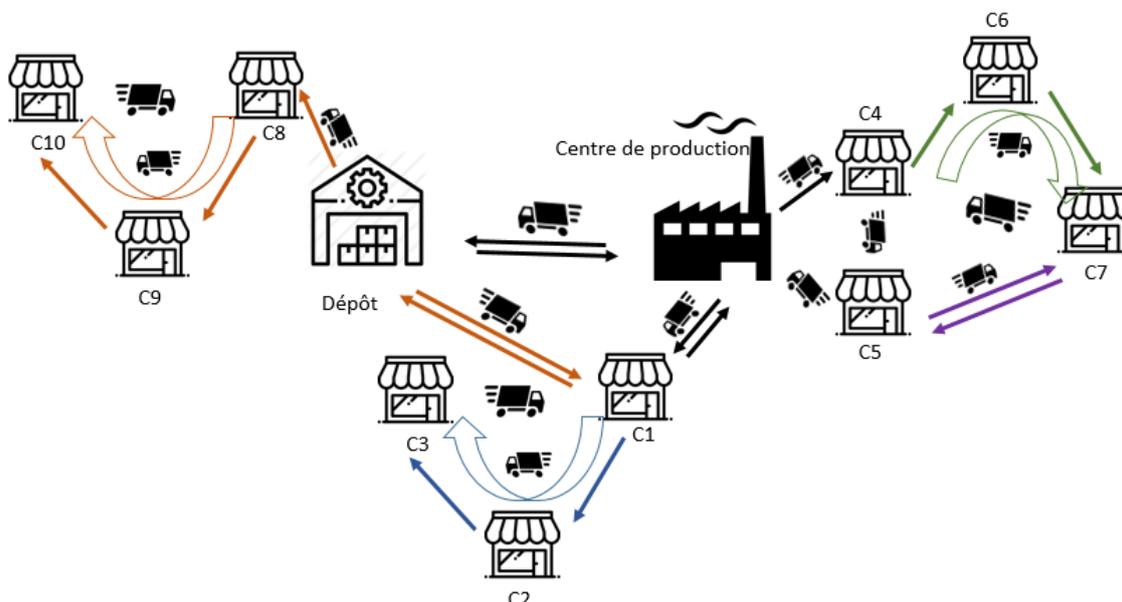


Figure 4.42 : schéma explicatif pour la 2ème problématique

Cette figure représente en détails l'aspect de mutualisation ou l'entreprise assure la livraison à deux clients et le dépôt et le reste se fait en mutualisation de chaque client

#### 4.6.2 Modèle mathématique de la 3ème problématique :

Les paramètres :

*P*: nombre de produits

*M*: nombre de lignes

*T*: nombre de périodes

*C*: les cadences

*S*: nombre des taille des produits

*N1*: nombre de noeuds (entreprise, dépôt et les clients)

*K1*: *N2*: nombre de clients de entreprise (dépôt et les clients)

*K2*: *N3*: *N4*: nombres de clients peuvent livrer par le dépôt

*K3*: nombres de clients peuvent livrer par le client1

*K4*: nombres de clients peuvent livrer par le client2

*V(i)*: nombre de véhicules de l'entreprise, dépôt, client1, client2.

*R*: nombre de routage

*L*: ensemble de distributeurs (1: entreprise, 2: dépôt, 3: client1, 4: client2)

Production :

- $C_{p,j,t,c}$ : coût unitaire de production de produit *j* sur la ligne *m* à la période *t* avec la cadence *c*
- $CC_{i,j,m,t}$ : Coût de changement de production du produit *i* au produit *j* sur la ligne *m* à la période *t*
- *Cst*: Coût de stérilisation
- $Cap_{m,t,c}$ : Capacité de la ligne *m* avec la cadence *c*
- $Ng_j$ : nombre de gants de type *j* dans chaque carton

Stockage :

- $h_{i,j,t}$ : Coût unitaire de stockage du produit  $j$  par période  $t$  dans chaque noeud  $i$  ( $i \in N1$ )
- $CapSt_i$ : Capacité maximale de stockage chez le noeud  $i$  ( $i \in N1$ )
- $Ss_{i,j,s}$ : stock de sécurité chez le noeud  $i$  ( $i \in N1$ )
- $Dem_{i,p,s,t}$ : Demande de produit  $p$  de taille  $s$  à la période  $t$  par le client  $i$  ( $i \in K2$ )

Routage :

- $CapVe(i)_v$ : Capacité de la véhicule  $v$  ( $v \in V(i)$ )
- $CT(k)_{i,j}$ : coût de transport entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in N(k)$ ).
- $Maxdur$ : la durée maximale de routage
- $t_{i,j}$ : temps de transport entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in N1$ ).
- $[a_i, b_i]$ : Fenêtre de temps du noeud  $i$  ( $i \in N1$ ).

Les variables de décision :

Production :

- $x_{j,s,m,t,c}$ : Quantité produite en produit  $j$  de taille  $s$  sur la ligne  $m$  à la période  $t$  avec la cadence  $c$ .
- $y_{j,m,t,c}$ : Variable binaire, égale à 1 si on lance la production du produit  $j$  sur la ligne de production  $m$  à la période  $g$  avec la cadence  $c$ , 0 sinon
- $z_{i,j,m,t}$ : Variable binaire, égale à 1 si le changement de la production sur la ligne  $m$  à la période  $g$  est du produit  $i$  au produit  $j$ , 0 sinon.
- $l_{j,m,t}$ : Variable binaire, égale à 1 si on lance la production du produit  $j$  sur la ligne  $m$  à la période  $g$ , 0 sinon
- $S_t$ : Variable binaire, égale à 1 si on lance la stérilisation, 0 sinon

Stockage :

- $I_{i,j,s,t}$ : la quantité de produit  $j$  de taille  $s$  stocké dans chaque noeud  $i$  ( $i \in N1$ )

Routage :

- $Qlv(i)_{k,p,s,t,v,r}$ : Quantité livrée du produit  $p$  au client  $k$  ( $k \in K(i)$ ) à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V(i)$ ) pendant le routage  $r$
- $chrg(k)_{i,j,t,v,r}$ : la charge du véhicule  $v$  envoyés de noeud  $i$  au noeud  $j$  ( $i, j \in N(k)$ ) à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V(k)$ ) pendant le routage  $r$
- $H(i)_{k,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 si le client  $k$  ( $k \in K(i)$ ) est visité et servi à la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V(i)$ ) pendant le routage  $r$ , 0 sinon.
- $Y(k)_{i,j,t,v,r}$ : Variable binaire, égale à 1 s'il y a un lien entre le noeud  $i$  et le noeud  $j$  ( $i, j \in N(k)$ ) dans la période  $t$  par la véhicule  $v$  ( $v \in V(k)$ ) pendant le routage  $r$ , 0 sinon
- $A(i)_{k,v,t,r}$ : Temps d'arrivée au noeud  $k$  ( $k \in N(i)$ )

La fonction objective :

$$\begin{aligned} \min \sum_{s \in S} \sum_{j \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \frac{(\sum_{m \in M} x_{j,s,m,t,c})}{Ng_j} * Cp_{j,t,c} + \sum_{s \in S} \sum_{i \in N1} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} I_{i,j,s,t} * h_{i,j,t} \\ + \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} z_{i,j,m,t} * Cc_{i,j,m,t} + \sum_{t \in T} S_t * Cst \\ + \sum_{l \in L} \sum_{i \in N(l)} \sum_{j \in N(l)} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V(l)} \sum_{r \in R} Y(l)_{i,j,t,v,r} * CT(l)_{i,j} \end{aligned}$$

Les contraintes :

$$I_{1,p,s,t} = I_{1,p,s,t-1} + \frac{(\sum_{m \in M} \sum_{c \in C} x_{p,s,m,t,c})}{Ng_j} \quad \forall p \in P, \forall t \in (T - 1) - \{1\}, \forall s \in S \quad (1)$$

$$I_{1,p,s,t+1} = I_{1,p,s,t} - \sum_{i \in K} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,s,t+1,v,r} \quad \forall p \in P, \forall t \in (T - 1) - \{1\}, \forall s \in S \quad (2)$$

$$I_{2,j,s,t+1} = I_{2,j,s,t} + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{1,j,s,t+1,v,r} - \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} \sum_{i \in K1} QLv2_{i,j,s,t+1,v,r} \\ \forall j \in P, \forall t \in (T - 1) - \{1\}, \forall s \in S \quad (3)$$

$$I_{i,p,s,t+1} = I_{i,p,s,t} + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Qlv_{i,p,s,t+1,v,r} + \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} QLv2_{i,j,s,t+1,v,r} - Dem_{i,p,s,t+1} \\ \forall s \in S, \forall p \in P, \forall i \in K - \{1\}, \forall t \in (T - 1) - \{1\} \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in P} I_{i,j,s,t} \leq CapSt_i \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (5)$$

$$I_{i,j,s,t} \geq Ss_{i,j,s} \quad \forall j \in P, \forall s \in S, \forall i \in N, \forall t \in T \quad (6)$$

$$\frac{x_{j,s,m,t,c}}{Ng_j} \leq y_{j,m,t,c} * B \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall s \in S \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq 1 \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (8)$$

$$\sum_{c \in C} y_{j,m,t,c} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (9)$$

$$\sum_{i \in P, i \neq j} z_{i,j,m,t} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (10)$$

$$\sum_{i \in P, i \neq j} z_{j,i,m,t} \leq l_{j,m,t} \quad \forall j \in P, \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (11)$$

$$\sum_{j \in P} l_{j,m,t} - 1 \leq \sum_{i \in P, i \neq j} \sum_{j \in P} z_{i,j,m,t} \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (12)$$

$$l_{2,m,t} \leq S_t \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (13)$$

$$\sum_{j \in P} \sum_{s \in S} x_{j,s,m,t,c} \leq Cap_{m,t,c} \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall c \in C, \forall s \in S \quad (14)$$

$$l_{2,m,t} \leq S_t \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M \quad (15)$$

$$\sum_{j \in P} \sum_{s \in S} x_{j,s,m,t,c} \leq Cap_{m,t,c} \quad \forall t \in T - 1, \forall m \in M, \forall c \in C, \forall s \in S \quad (16)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{i \in K(l)} Qlv(l)_{i,p,t+1,v,r} \leq CapVe(l)_v * H(l)_{1,t+1,v,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (17)$$

$$chrg(l)_{i,j,t+1,v,r} \leq CapVe(l)_v * Y(l)_{i,j,t+1,v,r} \quad \forall i, j \in N(l), \forall t \in T - 1, \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (18)$$

$$\sum_{j \in N(l)} Y(l)_{i,j,t+1,v,r} + \sum_{j \in N(l)} Y(l)_{j,i,t+1,v,r} = 2 * H(l)_{i,t+1,v,r} \quad \forall i \in N(l), \forall t \in T - 1, \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (19)$$

$$\sum_{j \in K(l)} chrg(l)_{l,j,t+1,v,r} = \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{j \in K(l)} Qlv(l)_{j,p,s,t+1,v,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall p \in P, \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (20)$$

$$\sum_{i \in N(l)} chrg(l)_{i,j,t+1,v,r} - \sum_{i \in N(l)} chrg(l)_{j,i,t+1,v,r} = \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} Qlv(l)_{j,s,p,t+1,v,r} \quad \forall t \in T - 1, \forall j \in K(l), \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (21)$$

$$chrg_{i,l,t+1,v,r} = 0 \quad \forall t \in T - 1, \forall i \in K(l), \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (22)$$

$$chrg_{i,i,t+1,v,r} = 0 \quad \forall t \in T - 1, \forall i \in N(l), \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (23)$$

$$Y_{i,i,t+1,v,r} = 0 \quad \forall t \in T - 1, \forall i \in N(l), \forall v \in V(l), \forall r \in R, \forall l \in L \quad (24)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V1} \sum_{r \in R} Qlv1_{1,p,s,t+1,v,r} = \sum_{t \in T} \sum_{v \in V2} \sum_{r \in R} \sum_{i \in K2} Qlv2_{i,p,s,t+1,v,r} \quad \forall p \in P, \forall s \in S \quad (25)$$

La fonction objectif sert à minimiser le coût total qui englobe le coût de production, changement, stérilisation et de stockage chez les clients dépôt et l'entreprise et le coût de transport. Les contraintes (1), (2), (3), (4), (5) et (6) sont pour calculer la valeur du stock de chaque produit et assurer son équilibrage chez l'usine, le dépôt et les clients respectivement. La contrainte (7) assure que le stock de tous les produits ne peut pas dépasser sa capacité maximale dans chaque nœud. La contrainte (8) impose les stocks de sécurité convenus avec chaque client  $i$  et produit  $j$ . La liaison entre l'état de la ligne et la quantité produite pour une référence donnée est exprimée à travers la contrainte (9). Les contraintes (10) à (14) déterminent le séquençement des produits. Le produit de type 2 doit passer à la stérilisation ce qui est assuré dans la contrainte (15). Les quantités produites ne doivent pas dépasser la capacité de production pour chaque ligne ce qui est assuré dans la contrainte (16). Les quantités livrées et la charge du véhicule ne doivent pas dépasser la capacité du véhicule pour chaque distributeur  $l$ , ce qui est indiqué dans les contraintes (17) et (18). La contrainte (19) assure que lorsqu'un client est visité, le véhicule doit avoir une entrée et une sortie pour ce client. Les

contraintes (20) et (21) indiquent que la somme des quantités sorties de l'usine, dépôt, client1 et client2 est égale à la somme des quantités livrées. La contrainte (22) sert à calculer la quantité livrée à chaque client durant la tournée par rapport à la charge du véhicule avant et après visiter ce client. La contrainte (23) assure que le véhicule doit revenir à l'entreprise, au dépôt, au client1 et au client 2 respectivement vide. Les contraintes (24) et (25) indiquent qu'entre un nœud et lui-même il n'y a ni un lien ni une charge à transporter

Notons que dans le modèle, les points suivants doivent être considérés :

- Les quantités livrées doivent respecter les demandes des clients.
- Si un nœud est visité, il y'a forcément un sommet de départ pour parcourir le lien.
- La durée maximale de routage doit être modélisé.
- Les temps d'arrivées à chaque emplacement pour chaque véhicule doivent être intégrés.
- Les fenêtres de temps doivent être considérés
- Les contraintes d'élimination de sub-tour présentée par Chandra et Fisher doit être prise en considération tout en considérant la nature des variables de décisions.

#### 4.7 La demande client :

C1	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	1	2	1	2	1	2	0	0	1	2	2
	M	3	3	14	4	11	29	28	8	21	39	13
	L	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0
CHURIGICALE	7	10	2	9	5	7	13	5	13	3	6	13
	7.5	2	13	4	1	5	8	3	6	1	8	16
	8	4	0	3	5	6	2	5	1	0	3	4

Tableau 4.51 la demande réelle du client C1 pour les tous les types des gants

C2	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	0	2	2	0	2	2	0	0	1	0	0
	M	13	18	8	39	14	8	39	17	15	3	23
	L	1	2	2	0	0	0	2	2	0	2	0
CHURIGICALE	7	0	12	3	5	4	3	1	2	0	8	13
	7.5	15	6	7	13	10	13	3	3	6	10	13
	8	5	7	2	6	7	4	7	6	1	3	5

Tableau 4.52 : la demande réelle du client C2 pour les tous les types des gants

C3	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	0	1	2	1	0	0	0	0	0	2	1
	M	33	29	34	34	1	5	39	36	13	20	3
	L	1	1	0	1	2	0	0	2	0	0	0
CHURIGICALE	7	8	3	4	7	13	8	8	6	2	13	10
	7.5	10	3	10	11	7	8	10	12	0	11	2
	8	1	2	3	4	1	5	1	3	1	2	1

Tableau 4.53 : la demande réelle du client C3 pour les tous les types des gants

C4	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	2	1	2	0	1	0	2	2	2	0	1

	M	5	1	33	6	4	1	35	3	29	11	11
	L	0	1	1	2	0	2	2	0	0	1	1
CHURIGICALE	7	6	14	9	0	9	9	9	11	0	1	14
	7.5	8	12	7	10	3	11	6	7	5	0	16
	8	4	3	5		0	7	2	7	1	1	7

Tableau 4.54 : la demande réelle du client C4 pour les tous les types des gants

C5	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	1	2	2	2	1	1	1	0	0	2	1
	M	9	33	22	12	6	41	1	12	6	20	23
	L	1	0	1	2	1	0	2	0	0	0	1
CHURIGICALE	7	3	3	0	12	5	12	14	10	12	8	15
	7.5	12	8	0	2	3	2	6	4	14	6	6
	8	4	5	4	6	4	2	5	2	1	3	1

Tableau 4.55 : la demande réelle du client C5 pour les tous les types des gants

C6	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	2	0	0	2	1	2	1	0	1	2	1
	M	16	20	33	3	16	18	40	8	41	39	39
	L	0	0	0	0	0	2	0	1	1	2	1
CHURIGICALE	7	8	1	7		15	3	13	3	7	5	5
	7.5	12	15	12	11	9	10	3	12	16	6	0
	8	6	3	2	5	1	4	6	0		5	1

Tableau 4.56 : la demande réelle du client C6 pour les tous les des gants types

C7	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	1	2	1	0	2	0	0	2	0	0	0
	M	2	3	31	22	31	19	16	5	17	27	14
	L	0	0	0	2	2	0	1	1	2	1	0
CHURIGICALE	7	5	13	6	3	14	11	8	11	15	13	14
	7.5	7	4	7	15	10	7	2	9	10	0	4
	8	0	5	3	6	2	0	1	7	1	5	4

Tableau 4.57 : la demande réelle du client C7 pour les tous les types des gants

C8	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	1	1	1	2	1	0	0	1	2	2	0
	M	6	6	23	12	5	20	16	5	8	1	19
	L	1	0	2	2	2	2	2	2	0	0	1
CHURIGICALE	7	6	1	7	3	8	7	7	7	11	14	7
	7.5	15	11	11	2	12	12	12	9	1	7	9
	8	4	7	2	5	5	5	2	2	5	4	1

Tableau 4.58: la demande réelle du client C8 pour les tous les types des gants

C9	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	0	2	0	0	2	2	0	0	2	0	1
	M	36	2	12	1	35	37	21	19	20	14	21
	L	1	1	0	2	1	0	1	1	2	2	1
CHURIGICALE	7	11	0	3	12	3	10	14	4	0	6	4
	7.5	12	13	7	12	13	12	0	12	4	2	4
	8	3	3	7	7	0	7	2	6	7	2	5

Tableau 4.59 : la demande réelle du client C9 pour les tous les types des gants

C10	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	1	1	2	0	0	1	1	1	0	1	1

	M	31	30	28	11	15	37	28	44	39	39	5
	L	0	0	2	1	1	2	0	2	0	1	2
CHURIGICALE	7	4	5	14	11	7	6	6	13	13	3	4
	7.5	3	3	3	8	11	6	44	7	14	1	15
	8	6	5	5	2	6	3	2	3	0	0	4

Tableau 4.60 : la demande réelle du client C10 pour les tous les types des gants

C11	Taille	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EXAM	S	0	1	2	2	1	2	1	2	0	2	0
	M	33	3	23	41	111	39	29	35	2	26	25
	L	2	2	1	1	1	2	0	0	0	1	0
CHURIGICALE	7	10	10	5	2	15	5	10	14	2	7	6
	7.5	11	1	15	1	9	12	12	11	12	1	16
	8	1	5	7	3	2	4	0	3	3	3	6

Tableau 4.61 : la demande réelle du client C11 pour les tous les types des gants

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	somme
D	22	34	53	25	30	44	39	33	63	45	57	444

Tableau 4.62 : la demande réelle des 11 clients pour les tous les types des gants seulement pour la 1ère période

## 4.8 Explication des résultats :

### 4.8.1 Résultats de la 1ère problématique :

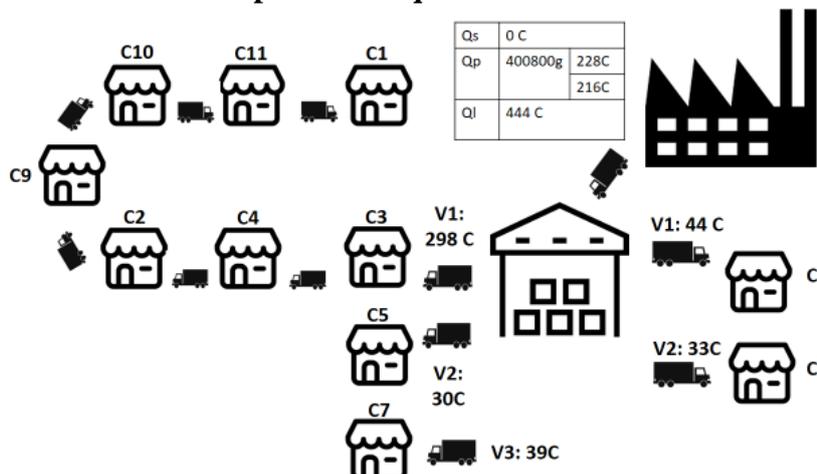


Figure 4.43 : schéma représente la 1ère solution

Après exécution du modèle mathématique sous CPLEX nous avons obtenu des résultats relatifs à chaque période. On s'est limité par explique les résultats de la 1ère période vu le nombre important des résultats de tous les périodes ainsi que cette analyse est identique pour le reste des périodes

Dans la 1ère période TOP GLOVES produit la quantité demandée pour la livraison au dépôt d'Oran sans être stockée à l'usine. Cette quantité représente 228 Cartons de type 01 et 216 cartons de deuxième type au totale une quantité de 444 cartons

Pour la distribution de cette quantité le dépôt utilisera deux routages :

- le premier représente un routage de trois véhicules, le 1<sup>er</sup> véhicule assurera la distribution à sept clients (C3-C4-C2-C9-C10-C11-C1) avec routage pour une quantité de 298 cartons. Le deuxième et le troisième véhicule assurent une distribution avec direct shippement pour le C5 (30 cartons) et C7 (39 cartons) respectivement
- le deuxième représente un routage de deux véhicules, ces derniers assurent la distribution avec direct shippement pour le C6 (44 cartons) et C8 (33 cartons) respectivement.

#### 4.8.2 Résultat de la 2<sup>ème</sup> problématique :

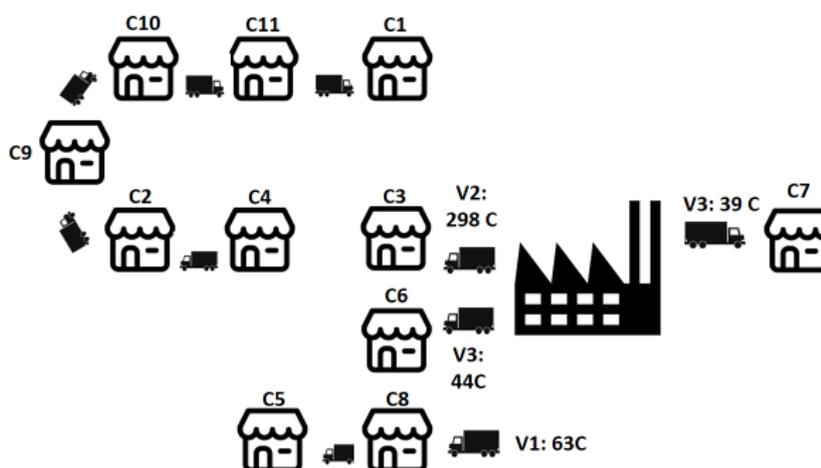


Figure 4.44 : schéma représente la 2<sup>ème</sup> solution

Dans la 1<sup>ère</sup> période TOP GLOVES produit et distribue la quantité demandée sans être stockée à l'usine. Donc Cplex ignore totalement le dépôt, la livraison complète est faite par l'usine.

La quantité représente 228 Cartons de type 01 et 216 cartons de deuxième type au totale une quantité de 444 cartons

Pour la distribution de cette quantité le dépôt utilisera deux routages :

- le premier représente un routage de trois véhicules, le 1<sup>er</sup> véhicule assurera la distribution à deux clients (C8-C5) avec routage pour une quantité de 63 carton. Le deuxième véhicule assurera la distribution à sept clients (C3-C4-C2-C9-C10-C11-C1) avec routage pour une quantité de 298 carton et le troisième véhicule assurera une distribution avec direct shippement pour le C6 (44 cartons)
- le deuxième représente un routage d'un seul véhicule, il assure la distribution avec direct shippement pour le C7 (39 cartons).

4.8.3 Résultats de la 3ème problématique :

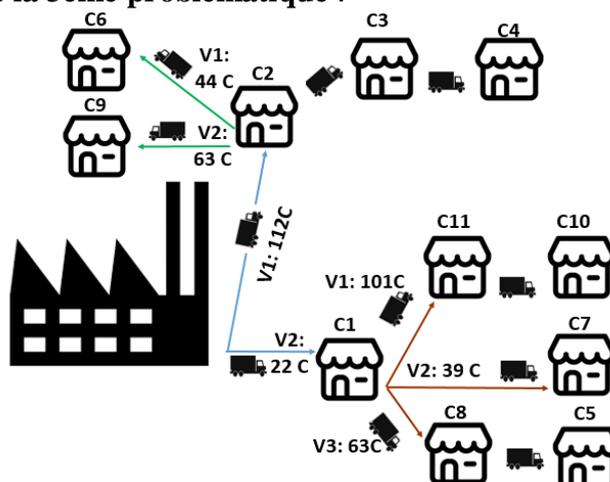


Figure 4.45 : schéma représente la 3ème solution

Dans la 1ère période TOP GLOVES produit et distribué la quantité demandée sans être stockée à l'usine. Donc Cplex ignore totalement le dépôt, la livraison complète faite par l'usine. La quantité représente 228 Cartons de type 01 et 216 cartons de deuxième type au totale une quantité de 444 cartons.

Pour la distribution de cette quantité le dépôt utilisera deux routages :

- ✓ le premier représente un routage de trois véhicule, le 1er véhicule assurera la distribution à deux clients (C8-C5) avec routage pour une quantité de 63 carton. Le deuxième véhicule assurera la distribution à sept clients (C3-C4-C2-C9-C10-C11-C1) avec routage pour une quantité de 298 cartons et le troisième véhicule assurera une distribution avec direct shippement pour le C6 (44 cartons)
- ✓ le deuxième représente un routage d'un seul véhicule, il assure la distribution avec direct shippement pour le C7 (39 cartons)

4.8.4 Résultats des coûts :

Après l'exécution de nos 3 modèles mathématiques nous avons remarqué que nous réalisons des économies de coûts globales de 40.71 % par rapport à la solution de l'entreprise.

	Solution de l'entreprise	Solution de dépôt	Solution du 1 <sup>er</sup> modèle	Solution du 2 <sup>ème</sup> modèle	Solution du 3 <sup>er</sup> modèle
	67748640 DA	226640 DA	//		
Coût totale	67975280 DA		40331210 DA	40312350 DA	40303004 DA
Réduction de coût	//		27644070 DA	27661930 DA	27672276 DA
Pourcentage d'économies	//		40.67%	40.7%	40.71%

Tableau 4.63 : la comparaison les solutions des trois approches avec la solution de l'entreprise..

## **4.9 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à quelques extensions possibles de l'entreprise TOP GLOVES. Nous avons proposé trois modèles mathématiques afin de fournir des plans intégrés de production, de stockage et de distribution dont le but est d'améliorer les performances de l'entreprise TOP GLOVES LATEX INDUSTRIE. Un ensemble d'instances plus complexes a été résolu afin de valider les idées proposées dans cette partie de mémoire dans un contexte réel.

Nous nous sommes principalement à l'amélioration de la productivité en minimisant les coûts globaux de l'entreprise en augmentant le réseau des clients et en variant la demande sous différentes et des spécifications différentes ; alors notre vision permet d'améliorer les performances de l'entreprise d'environ 40 % pour les différents scénarios considérés. Notons que la meilleure amélioration était obtenus lorsqu'on nous avons introduit l'aspect mutualisation entre les nœuds (égale à 40.71%).

Enfin, notons que pour se rapprocher de la réalité et selon le besoin de TOP GLOVES, une extension intéressante serait de développer notre algorithme du recuit simulé proposé dans le chapitre précédent en incluant l'aspect fenêtre temporelle pour la résolution les problèmes de grandes tailles. Bien que cela dépasse le cadre de ce mémoire vu la contrainte de temps et la complexité de développer, c'est une voie intéressante pour les travaux futurs.

---

## Conclusion générale et perspectives

---

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés particulièrement au PRP qui est une classe de problèmes de planification intégrée de la chaîne logistique, qui optimisent simultanément les décisions de production, de stockage et de distribution. Nous avons décrit la pertinence de ce problème d'une manière détaillée, compréhensible et chronologique.

Nous avons tout d'abord mis en évidence l'importance des approches couplées d'optimisation utilisées dans ce mémoire pour la gestion d'une chaîne logistique dans sa globalité. Puis, nous avons présenté un état de l'art sur les problèmes de PRP. Pour une meilleure présentation de celui-ci, nous avons proposé une classification des approches par ordre croissant de la première recherche jusqu'à travaux de tendance. Nous avons accordé une attention particulière aux travaux proches de celles abordées dans notre travail pour inspirer notre modèle de base et développer nos contributions.

Par la suite, dans le chapitre deux, nous avons présenté le modèle mathématique proposé pour le cas général seulement pour les problèmes de petite taille, nous avons également illustré un algorithme de programmation par recuit simulé pour la résolution des problèmes de PRP de tailles industrielles. Les résultats obtenus démontrent l'efficacité de l'approche proposée.

Dans une troisième étape, nous avons commencé par la description détaillée de notre cas d'étude à savoir l'entreprise TOP GLOVES. Nous nous sommes focalisés sur la résolution des problèmes rencontrés au sein de cette entreprise spécialisée dans le domaine pharmaceutique. Nous avons proposé une modélisation mathématique de notre problématique qui prend en considération les différents services de production, de stockage et de distribution. De plus, nous avons rajouté une métaheuristique basée sur le recuit simulé pour pouvoir résoudre un modèle intégré sur plusieurs périodes.

Dans le dernier chapitre, nous avons introduit de nouvelles notions qui à notre connaissance, ont très peu été traitées dans la littérature, mais qui représentent des pistes envisagées par l'entreprise TOP GLOVES.

La vision intégrée proposée ici aide le chef d'entreprise à élargir ce réseau de distribution et permet de générer des profits importants, non seulement pour la production mais aussi pour la distribution. D'une part, la considération de l'aspect temporel va certainement diminuer les délais et les temps d'attente, et d'autre part l'intégration de l'aspect mutualisation va permettre une collaboration intime et fructueuse entre tout l'ensemble des nœuds (entreprise, dépôt et clients). Nous avons proposé trois modélisations pour l'entreprise TOP GLOVES qui ont été testées et validées. Cette nouvelle vision d'optimisation intégrée et les résultats affirment qu'il est possible d'améliorer considérablement les performances de l'entreprise.

Bien que diverses contributions aient été apportées à ce problème, il reste un certain nombre de questions intéressantes qui n'ont pas été abordées. Nous encourageons les chercheurs à poursuivre les développements dans ce domaine de recherche prometteur.

- Dans le dernier chapitre, nous nous sommes contentés que sur la validation des modèles proposés pour des problèmes de tailles acceptables donc il est nécessaire d'étendre cette piste de recherche en appliquant l'algorithme de recuit simulé tout en considérant l'aspect fenêtre du temps pour la résolution des trois dernières contributions.
- Dans ce mémoire, nous avons considéré que l'aspect coût et nous avons négligé l'aspect environnemental. Afin de faire face au changement climatique mondial, la quantité d'émissions de gaz à effet de serre est adoptée comme indicateur de performance clé par de nombreuses entreprises. Le PRP comprend les activités de production et de distribution au cours desquelles du gaz à effet de serre est émis. De plus, comme la quantité des gants quotidienne produite et distribuée est énorme, les emballages de recyclage et la redistribution méritent également d'être étudiés. Ces activités contribueront à réduire les émissions de gaz à effet de serre et le gaspillage.
- Contrôle de la température tout au long de la planification intégrée. La production, le stockage et le transport des produits pharmaceutiques doivent respecter certaines conditions et réglementations. En particulier, les produits pharmaceutiques sont souvent stockés et transportés dans une plage de températures recommandée. Ainsi, dans une longue chaîne d'approvisionnement, il est significatif d'adopter différents modes de transport avec différentes capacités, températures et vitesses. Une planification appropriée de cette distribution multimodale réduira le gaspillage et améliorera la qualité et la sécurité.
- En outre, dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés qu'à l'optimisation mono-objectif afin de minimiser les différents coûts de l'entreprise, donc nous pensons qu'il serait intéressant de projeter cette vision sur l'optimisation multi-objectifs comme effectués dans les travaux de [Sekkal 20] et [Boufellouh 20].

## Références Bibliographiques

- [Absi 15] : N. Absi, C. Archetti, S. Dauzère-Pérès et D. Feillet, «A Two-Phase Iterative Heuristic Approach for the Production Routing Problem,» 2015.
- [Adulyasak 14] : Y. Adulyasak, C. J-F ET J. R, «Formulations and branch-and-cut algorithms for multivehicle production and inventory» 2014.
- [Adulyasak 14] : Adulyasak Y, Cordeau JF, Jans R. 2014b. Optimization-based adaptive large neighborhood search for the production routing problem. *Transport Sci.* 48(1):20–45.
- [Adulyasak 15] : Adulyasak Y, Cordeau JF, Jans R. 2015a. Benders decomposition for production routing under demand uncertainty. *Oper Res.* 63(4):851–867.
- [Adulyasak 15] : Adulyasak Y, Cordeau JF, Jans R. 2015b. The production routing problem: A review of formulations and solution algorithms. *Comput Oper Res.* 55:141–152.
- [Aggarwal 74] : Aggarwal, S. C. (1974). A review of current inventory theory and its applications. *International Journal of Production Research*, 12(4):443–482
- [Agra 18] : Agra, A, Requejo, C, & Rodrigues, F. (2018). An adjustable sample average approximation algorithm for the stochastic production-inventory-routing problem. *Networks*, 72 (1), 5–24.
- [Akbari 02] : Akbari Jokaar M.R: L'évolution du concept de logistique. *Revue Française de Gestion industrielle* .Vol 21/3, p5-22 (2002)
- [Aksoy 88] : Aksoy, Y. and Selcuk Erenguc, S. (1988). MultiItem Inventory Models with Coordinated Replenishments: A Survey. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(1):63–73.
- [Allahverdi 08] : Allahverdi, A., Ng, C. T., Cheng, T. C. E., and Kovalyov, M. Y. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*, 187:985–1032
- [Armentano 11] : V. A. Armentano, A. L. Shiguemoto et A. Løkketangen, «Tabu search with path relinking for an integrated production–distribution problem,» 2011.
- [Archetti 11] : C. Archetti, L. Bertazzi, G. Paletta et M. Speranza, «Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system,» 2011.
- [Amorim 13] : Amorim P, Belo-Filho M, Toledo F, Almeder C, Almada-Lobo B. 2013. Lot sizing versus batching in the production and distribution planning of perishable goods. *Int J Prod Econ.* 146(1):208–218.
- [Archetti 11] : Archetti C, Bertazzi L, Paletta G, Speranza MG. Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system. *Comput Oper Res* 2011;38 (12):1731–46.
- [Bahl 87] : Bahl, H. C., Ritzman, L. P., and Gupta, J. N. D. (1987). OR Practice–Determining Lot Sizes and Resource Requirements: A Review. *Operations Research*, 35(3):329–345
- [Bard 09] : Bard JF, Nananukul N. 2009b. The integrated production–inventory–distribution–routing problem. *J Sched.* 12(3):257–280.

- [Bard 10] : Bard JF, Nananukul N. 2010. A branch-and-price algorithm for an integrated production and inventory routing problem. *Comput Oper Res.* 37(12):2202–2217.
- [Belkaid 16a] : Belkaid, F., Yalaoui, F., & Sari, Z. (2016). Investigations on Performance Evaluation of Scheduling Heuristics and Metaheuristics in a Parallel Machine Environment. In *Metaheuristics for Production Systems* (pp. 191-222). Springer, Cham.
- [Belkaid 16b] : Belkaid, F., Yalaoui, F., & Sari, Z. (2016). An efficient approach for the reentrant parallel machines scheduling problem under consumable resources constraints. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJSSCM)*, 9(3), 1-25.
- [Bertazzi 05] : Bertazzi L, Paletta G, Speranza MG. 2005. Minimizing the total cost in an integrated vendor–managed inventory system. *J Heuristics.* 11(5-6):393–419.
- [Borne 10] : P. Borne, M. Benrejeb, La nature source d’inspiration pour l’ingénieur. *L’ingénieur*, N° 260, pp. 12-15, janvier-février 2010.
- [Boudia 07] : M. Boudia, M. A. Ould Louly et C. Prins, «A reactive grasp and path relinking for a combined production–distribution problem,» 2007.
- [Boudia 08] : Boudia, M. , Louly, M. A. O. , & Prins, C. (2008). Fast heuristics for a combined production planning and vehicle routing problem. *Production Planning and Control*, 19 (2), 85–96 .
- [Boudia 09] : M. Boudia et C. Prins, «A memetic algorithm with dynamic population management for an integrated production–distribution problem,» 2009.
- [Bodt 84] : De Bodt, M. A., Gelders, L. F., & Van Wassenhove, L. N. (1984). Lot sizing under dynamic demand conditions: A review. *Engineering Costs and Production Economics*, 8, 165–187.
- [Boufellouh 20] : Boufellouh, R., & Belkaid, F. (2020). Bi-objective optimization algorithms for joint production and maintenance scheduling under a global resource constraint: Application to the permutation flow shop problem. *Computers & Operations Research*, 104943.
- [Brahimi 16] : N. Brahimi et A. Tarik, «Multi-item production routing problem with backordering: a milp approach,» 2016.
- [Brahimi 04] : N.brahimi « planification de la production : modèles et algorithmes pour le problème de dimensionnement de lot », Thèse de doctorat, université de Nante, 2004
- [Buschkühl 10] : Buschkühl, L., Sahling, F., Helber, S., and Tempelmeier, H. (2010). Dynamic capacitated lot-sizing problems: A classification and review of solution approaches, volume 32
- [Bell 83] : Bell WJ, Dalberto LM, Fisher ML, Greenfield AJ, Jaikumar R, Kedia P, et al. Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces* 1983;13(6):4–23.
- [Campbell 04] : Campbell AM, Savelsbergh MWP. A decomposition approach for the inventory-routing problem. *Transp Sci* 2004;38(4):488–502.
- [Carter 96] : Carter M, Farvolden J, Laporte G, Xu J. Solving an integrated logistics problem arising in grocery distribution. *INFOR J* 1996 ;34:290–306.

- [Chandra 93] : P. Chandra, «A dynamic distribution model with warehouse and customer replenishment» 1993.
- [Coelho 12] : Coelho LC, Cordeau J-F, Laporte G. Consistency in multi-vehicle inventory-routing. *Transport Res C—Emerg Technol* 2012;24:270–87.
- [Coelho 12] : Coelho LC, Cordeau J-F, Laporte G. The inventory-routing problem with transshipment. *Comput Oper Res* 2012;39(11):2537–48
- [Colorni 91] : A. Colorni, M. Dorigo, V. Maniezzo, Distributed Optimization by Ant Colonies. *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*, Paris, F. Varela and P. Bourguin (Eds.), Elsevier Publishing, pp. 134–142, 1991.
- [Colorni 92] : A. Colorni, M. Dorigo, V. Maniezzo, An Investigation of some Properties of an Ant Algorithm. *Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference (PPSN 92)*, Brussels, R. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing, pp. 509-520, 1992.
- [Chitsaz 19] : Chitsaz, M. , Cordeau, J. F. , & Jans, R. (2019). A unified decomposition metaheuristic for assembly, production, and inventory routing. *INFORMS Journal on Computing*, 31 (1), 134–152 .
- [Collette 04] : Collette, Y. Siarry, P. 2004. *Multiobjective Optimization: Principles and Case Studies*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- [Couture 99] : A. Loussararian G. : L'entreprise se transforme : de l'organisation mécanique à l'organisation réactive et vivante. *Revue Française de gestion industrielle*. Vol 18, no.2 p 73-88 (1999)
- [Chand 07] : Chand S, Hsu VN, Sethi S, Deshpande V. A dynamic lot sizing problem with multiple customers: customer-specific shipping and backlogging costs. *IIE Trans* 2007; 39(11):1059–69
- [Darvish 18] : Darvish, M. , Archetti, C. , & Coelho, L. C. (2018). Trade-offs between environmental and economic performance in production and inventory-routing problems. *International Journal of Production Economics*.
- [Dilts 89] : Dilts, D. M. and Ramsing, K. D. (1989). Joint Lot Sizing and Scheduling of Multiple Items with Sequence Dependent Setup Costs. *Decision Sciences*, 20(1):120–133
- [Drexl 97] : A. Drexl et Kimms, A. (1997). Lot sizing and scheduling-survey and extensions. *European Journal of Operational Research*, 99, 221–235.
- [Dupont 98] : Dupont L. : *La gestion industrielle*. edition HERMES, (1998).
- [Dupont 05] : A. Dupont, Étude d'une métaheuristique hybride pour l'affectation de fréquences dans les réseaux tactiques évolutifs. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc Montpellier II, 2005
- [Dréo 03] : J. Dréo, A. Pérowski, P. Siarry, E. Taillard, Métaheuristicques pour l'optimisation difficile. Editions Eyrolles, Paris, France,2003.
- [Fatemi 03] : S.M.T. Fatemi Ghomi, B. Karimi et J.M. Wilson : The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *OMEGA - The International Journal of Management Science*, 31:365–378, April 2003

- [Federgruen 99] : Federgruen A, Tzur M. Time-partitioning heuristics: application to one ware-house, multi-item, multi-retailer lot-sizing problems. *Nav Res Logist* 1999; 46 (5):463–86
- [Fumero 99] : F. Fumero et C. Vercellis, «Synchronized development of production, inventory, and distribution schedules,» 1999.
- [Fisher 94] : P. Chandra et M. L. Fisher, «Coordination of production and distribution planning» 1994.
- [Glover 90] : F. Glover, Tabu search, part II. *ORSA. Journal of Computing*, vol.2, pp. 4-32, 1990.
- [Glover 95] : F. Glover, Tabu Thresholding: Improved Search by Nonmonotonic Trajectories, *ORSA Journal on Computing*, vol. 7(4), pp. 426-442, 1995.
- [Glover 97] : F. Glover, M. Laguna, Tabu search, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA, 1997.
- [Glover 89] : F. Glover, Tabu search, part I. *ORSA. Journal of Computing*, vol.1, pp. 190-206, 1989.
- [Gaur 04] : Gaur V, Fisher ML. A periodic inventory routing problem at a supermarket chain. *Oper Res* 2004;52(6):813–22.
- [Gupta 01] : Gupta, Y. P. and Keung, Y. (1990). A Review of Multistage Lot sizing Models. *International Journal of Operations & Production Management*, 10(9):57–73.
- [Goyal 01] : Goyal, S. K. and Giri, B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 134(1):1–16.
- [Guner 10] : Guner Goren, H., Tunali, S., and Jans, R. (2010). A review of applications of genetic algorithms in lot sizing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21(4):575–590.
- [Glok 14] : Glock, C. H., Grosse, E. H., and Ries, J. M. (2014). The lot sizing problem: A tertiary study. *International Journal of Production Economics*, 155(September):39–51
- [Guiffrida 15] : Guiffrida, M. A. B., Alfred, Jaber, M., and Khan, M. (2015). A review of inventory lot sizing review papers. *Management Research Review*, 38(3):283–298
- [Giard 03] : Giard V : *Gestion de la production*. Édition ECONOMICA, Paris, 3ème édition (2003).
- [Holland, 75] : J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1975
- [Herer 01] : Herer YT, Tzur M. The dynamic transshipment problem. *Nav Res Logist* 2001; 48(5):386–408.
- [Holland 75] : J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1975.
- [Iyer 2004] : S.K. Iyer, B. Saxena, Improved genetic algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. *Computers and Operations Research*, vol. 31, pp. 593–606, 2004

- [Jans 07] : Jans, R. and Degraeve, Z. (2007). Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches. *European Journal of Operational Research*, 177(3):1855–1875
- [Jans 08] : Jans, R. and Degraeve, Z. (2008). Modeling industrial lot sizing problems: a review. *International Journal of Production Research*, 46(March 2015):1619–1643.
- [Jaruphongs 07] : Jaruphongs W, Çetinkaya S, Lee C-Y. Outbound shipment mode considerations for integrated inventory and delivery lot-sizing decisions. *Oper Res Lett* 2007; 35(6):813–22
- [Karray 08] : A. Karray, K. Laabidi, M. Ksouri, Métaheuristiques pour la commande des systèmes non linéaires. CIFA Conférence International Francophone d’Automatique, 3-5 Septembre, Bucarest, 2008
- [Kammarti 05] : R. Kammarti, S. Hammadi, P. Borne, M. Ksouri, Special Tabu Search in an Hybrid Evolutionary Approach for the PDPTW. *SCI IEEE International Conference*, Orlando (USA), Juillet 2005.
- [Karimi 03] : Karimi, B., Fatemi Ghomi, S. M. T., and Wilson, J. M. (2003). The capacitated lot sizing problem: A review of models and algorithms. *Omega*, 31(5):365–378.
- [Kirkpatrick 83] : S. Kirkpatrick, C. D. Jr, M. P. Vecchi, Optimization by simulated annealing. *Science*, vol. 220, pp. 671-680, 1983.
- [Kuik 94] : Kuik, R., Salomon, M, and van Wassenhove, L. N. (1994). Batching decisions: structure and models. *European Journal of Operational Research*, 75(2):243–263.
- [Kumar 16] : Kumar, R. S., Kondapaneni, K., Dixit, V., Goswami, A., Thakur, L. S., & Tiwari, M. K. (2016). Multi-objective modeling of production and pollution routing problem with time window: A self-learning particle swarm optimization approach. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 29–40. doi:10.1016/j.cie.2015.07.003
- [Lerman 95] : I. Lerman, F. Ngouenet, Algorithmes génétiques séquentiels et parallèles pour une représentation affine des proximités. *Rapport de Recherche de l’INRIA Rennes - Projet REPCO 2570*, INRIA, 1995.
- [Lei 06] : Lei L, Liu S, Ruszczyński A, Park S. 2006. On the integrated production, inventory, and distribution routing problem. *IIE Trans.* 38(11):955–970.
- [Lee 05] : Lee W-S, Han J-H, Cho S-J. A heuristic algorithm for a multi-product dynamic lot-sizing and shipping problem. *Int J Prod Econ* 2005; 98(2):204–14.
- [Li 19] : Li, Y. , Chu, F. , Chu, C. , & Zhu, Z. (2019). An efficient three-level heuristic for the large-scaled multi-product production routing problem with outsourcing. *European Journal of Operational Research*, 272 (3), 914–927 .
- [Li 04] : Li C-L, Hsu VN, Xiao W-Q. Dynamic lot sizing with batch ordering and truckload discounts. *Oper Res* 2004; 52(4):639–54
- [Lee 08] : Jaruphongs W, Lee C-Y. Dynamic lot-sizing problem with demand time windows and container-based transportation cost. *Optim Lett* 2008;2 (1):39–51
- [Lee 95] : Lee H.L., Billington C. : The evaluation of the supply chain management models and practice at Hewlet-Packard (1995). *Interface*. Vol 25. P 42-63.

- [Maes 88] : Maes, J. and Wassenhove, L. V. (1988). Multi-Item Single-Level Capacitated Dynamic Lot-Sizing Heuristics: A General Review. *The Journal of the Operational Research Society*, 39(11):991–1004
- [Melo 12] : Melo RA, Wolsey LA. MIP formulations and heuristics for two-level production-transportation problems. *Comput Oper Res* 2012;39(11):2776–86.
- [Melo 12] : R. Melo et L. Wolsey, «MIP formulations and heuristics for two level production-transportation problems,» 2012.
- [Moin 15]: Moin, N. H., & Yuliana, T. (2015). Three-phase methodology incorporating scatter search for integrated production, inventory, and distribution routing problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015 , 304981, 11 pages. doi: 10.1155/2015/ 304981
- [Miranda 18] : P. L. Miranda, R. Morabito et D. Ferreira, «Optimization model for a production, inventory, distribution and routing problem in small furniture companies,» 2018.
- [Neves 19] : Neves-Moreira, F. , Almada-Lobo, B. , Cordeau, J. F. , Guimarães, L. , & Jans, R. (2019). Solving a large multi-product production-routing problem with delivery time windows. *Omega*, 86 , 154–172 .
- [Nascimento 09] : M.C.V. Nascimento, M.G.C. Resende et F.M.B. Toledo : GRASP Heuristic with Path-Relinking for the Multi-Plant Capacitated Lot Sizing Problem. *EJOR*, 200(3):747–754, 2009.
- [Nordent 05] : van Norden L, van de Velde S. Multi-product lot-sizing with a transportation capacity reservation contract. *Eur J Oper Res* 2005; 165(1):127–38.
- [Pochet 06] : Pochet, Y. and Wolsey, L. A. (2006). *Production Planning by Mixed Integer Programming*. Springer-Verlag New York
- [Qiu 18] : Qiu, Y. , Ni, M. , Wang, L. , Li, Q. , Fang, X. , & Pardalos, P. M. (2018a). Production routing problems with reverse logistics and remanufacturing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111 , 87–100 .
- [Qiu 18] : Y. Qiu, L. Wang, X. Xu, X. Fang et P. M. Pardalos, «A variable neighborhood search heuristic algorithm for production routing problems,» 2018.
- [Quadt 08] : Quadt, D. and Kuhn, H. (2008). Capacitated lot sizing with extensions: A review. *4or*, 6:61–83.
- [Qiu 16] : Qiu, Y. , Qiao, J. , & Pardalos, P. M. (2016). A branch-and-price algorithm for production routing problems with carbon cap-and-trade. *Omega*, 68 , 49–61 .
- [Robinson 09] : Robinson, P., Narayanan, A., and Sahin, F. (2009). Coordinated deterministic dynamic demand lot-sizing problem: A review of models and algorithms. *Omega*, 37(1):3–15.
- [Raafat 91] : Raafat, F. (1991). Survey of literature on continuously deteriorating inventory models. *Journal of the Operational Research Society*, 42(1):27–37
- [Rizk 01] : Rizk, N. and Martel, a. (2001). *Supply chain flow planning methods: a review of the lot-sizing literature*. Quebec City, QC, Canada: Universit´ e Laval, (January):1 – 66.

- [Rizk 06] : Rizk N, Martel A, Ramudhin A. A Lagrangean relaxation algorithm for multi- item lot-sizing problems with joint piecewise linear resource costs. *Int J Prod Econ* 2006; 102(2):344–57
- [Ruokokoski 10] : M. Ruokokoski, O. Solyali, J.-F. Cordeau, R. Jans et S. H, «Efficient formulations and a branch- and-cut algorithm for a production-Routing Problem,» 2010.
- [Russell 17] : Russell, R. A. (2017). Mathematical programming heuristics for the production routing problem. *International Journal of Production Economics*, 193 , 40–49 .
- [Sekkal 20] : Sekkal, N., & Belkaid, F. (2020). A multi-objective simulated annealing to solve an identical parallel machine scheduling problem with deterioration effect and resources consumption constraints. *Journal of Combinatorial Optimization*, 1-37.
- [Solyali 17] : O. Solyali et H. and Süral, «A multi-phase heuristic for the production Routing Problem,» 2017
- [Solyalı 09] : O. Solyali et H. Süral, «A relaxation based solution approach for the inventory control and vehicle routing problem in vendor managed systems,» 2009.
- [Song 07] : Savelsbergh MWP, Song J-H. Inventory routing with continuous moves. *Comput Oper Res* 2007;34(6):1744–63.
- [Sau 04] : Sau, F., Boote, K.J., Bostick, W.M., Jones, J.W., Mínguez, M.I., 2004. Testing and improving evapotranspiration and soil water balance of the DSSAT crop models. *Agron. J.* 96, 1243–1257
- [Solyalı 12] : computational results. *Ann Oper Res* 2012;196(1):517–41
- [Staggemeier 01] : Staggemeier, A. T. and Clark, A. (2001). A survey of lot-sizing and scheduling models
- [Suerie 05] : C. Suerie : *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Time Continuity in Discrete Time Models: New Approaches for Production Planning in Process Industries*, volume 552. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [Staggemeier 01] : Staggemeier, A. T., & Clark, A. R. (2001). A Survey of Lot-sizing and scheduling models. Presented at the Proceedings of 23rd Annual Symposium of the Brazilian Operational Research Society
- [Tangour 87] : R. Tanese, Parallel genetic algorithms for a hypercube. In 2nd International Conference on Genetic Algorithms, pp. 177-183, 1987
- [Tsao 05] : Rusdiansyah A, Tsao D. An integrated model of the periodic delivery problems for vending-machine supply chains. *J Food Eng* 2005;70(3):421–34.
- [Vallin 03] : Vallin P. : *La logistique : Modèles et méthodes du pilotage des ux.* Edition Econo- mica, ISBN 2-7178-4681-6, 3ème édition (2003).
- [Wagner 58] : Harvey M. Wagner & Thomson M. Whitin. Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science*, vol. 5, no. 1, pages 89–96, 1958.
- [Wolsey 95] : Wolsey, L. A. (1995). Progress with single-item lot-sizing. *European Journal of Operational Research*, 86(3):395–401.

[Zeddami 17] : Zeddami, B., & Menaoui, Z. Amélioration des performances d'une entreprise de distribution Cas d'étude: NAFTAL (Doctoral dissertation).

[Zeddami 19]: Zeddami, B., Belkaid, F., & Bennekrouf, M. (2019, November). Bi-objective optimization for the Production-Routing problem Cost vs Environment with energy consideration. In 2019 International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE) (pp. 1-6). IEEE.

[Zeddami 20]: Zeddami, B., Belkaid, F., & Bennekrouf, M. (2020). An Efficient Approach for Solving Integrated Production and Distribution Planning Problems: Cost vs. Energy. *International Journal of Applied Logistics (IJAL)*, 10(2), 25-44.

[Zhu 06] : Zhu, X. and Wilhelm, W. E. (2006). Scheduling and lot sizing with sequence dependent setup: A literature review. *IIE Transactions*, 38(11):987–1007.

[Zoller 88] : Zoller, K. and Robrade, A. (1988). Dynamic lot sizing techniques: Survey and comparison. *Journal of Operations Management*, 7(3-4):125–148.

[Zhang17] : Q. Zhang, A. Sundaramoorthy, I. E. Grossmann et J. M. Pinto, «Multiscale production routing in multicommodity supply chains with complex production facilities,» 2017.1

# Annexe

## Scénario 01

Nœud	Nœud	Période	Véhicule	Routing	Valeur
Entreprise	Entreprise	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Entreprise	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	300
		2	1	1	0
		2	1	2	300
		3	1	1	0
		3	1	2	300
		4	1	1	0
		4	1	2	300
		5	1	1	0
		5	1	2	300
Entreprise	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Client 01	Entreprise	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Client 01	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0

		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Client 01	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	200
		2	1	1	0
		2	1	2	200
		3	1	1	0
		3	1	2	200
		4	1	1	0
		4	1	2	200
		5	1	1	0
		5	1	2	200
Client 02	Entreprise	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Client 02	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Client 02	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0

Scénario 03

Nœud	Nœud	Période	Véhicule	Routage	Valeur
Entreprise	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	1100
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	280
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Entreprise	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	160
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	400
		5	1	1	0
		5	1	2	420
Client 01	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	50
		2	1	1	0
		2	1	2	00
		3	1	1	0
		3	1	2	200
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
Client 02	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	60
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	100
		5	1	1	0
		5	1	2	120

Scénario 04

	Nœud	Nœud	Période	Véhicule	Routage	Valeur
Entreprise	Client 01		1	1	1	0
			1	1	2	0
			1	2	1	0
			1	2	2	0
			2	1	1	0
			2	1	2	0
			2	2	1	0
			2	2	2	0
			3	1	1	0
			3	1	2	<b>290</b>
			3	2	1	0
			3	2	2	0
			4	1	1	0
			4	1	2	0
			4	2	1	0
			4	2	2	0
			5	1	1	0
			5	1	2	0
			5	2	1	0
			5	2	2	0
Entreprise	Client 02		1	1	1	0
			1	1	2	0
			1	2	1	0
			1	2	2	290
			2	1	1	0
			2	1	2	290
			2	2	1	0
			2	2	2	0
			3	1	1	0
			3	1	2	0
			3	2	1	0
			3	2	2	0
			4	1	1	0
			4	1	2	0
			4	2	1	0
			4	2	2	290
			5	1	1	0
			5	1	2	0
			5	2	1	0
			5	2	2	290
	1	1	1	0		
	1	1	2	0		
	1	2	1	0		
	1	2	2	0		
	2	1	1	0		
	2	1	2	0		
	2	2	1	0		

Client 01	Client 02	2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	110
		3	2	1	0
		3	2	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
		5	2	1	0
		5	2	2	0
		Client 02	Client 01	1	1
1	1			2	0
1	2			1	0
1	2			2	180
2	1			1	0
2	1			2	180
2	2			1	0
2	2			2	0
3	1			1	0
3	1			2	0
3	2			1	0
3	2			2	0
4	1			1	0
4	1			2	0
4	2			1	0
4	2			2	180
5	1			1	0
5	1			2	0
5	2			1	0
5	2			2	180

Scénario 05 :

Nœud	Nœud	Période	Véhicule	Routage	Valeur
Entreprise	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	0
		1	2	1	0
		1	2	2	750
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		2	2	1	0
		2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	0

		4	1	1	0
		4	1	2	0
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
		5	2	1	0
		5	2	2	0
Entreprise	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	0
		1	2	1	0
		1	2	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	500
		2	2	1	0
		2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	360
		4	1	1	0
		4	1	2	220
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	70
		5	2	1	0
		5	2	2	0
Client 01	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	0
		1	2	1	0
		1	2	2	300
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		2	2	1	0
		2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
		5	2	1	0
		5	2	2	0
		1	1	1	0
		1	1	2	0

<b>Client 02</b>	<b>Client 01</b>	1	2	1	0
		1	2	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	320
		2	2	1	0
		2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	250
		4	1	1	0
		4	1	2	180
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	50
		5	2	1	0
		5	2	2	0

Scénario 06 :

	<b>Nœud</b>	<b>Nœud</b>	<b>Période</b>	<b>Véhicule</b>	<b>Routage</b>	<b>Valeur</b>
<b>Entreprise</b>	<b>Client 01</b>	1	1	1	0	
		1	1	2	90	
		1	2	1	0	
		1	2	2	0	
		2	1	1	0	
		2	1	2	0	
		2	2	1	0	
		2	2	2	0	
		3	1	1	0	
		3	1	2	0	
		3	2	1	0	
		3	2	2	350	
		4	1	1	0	
		4	1	2	490	
		4	2	1	0	
		4	2	2	0	
		5	1	1	0	
		5	1	2	0	
		5	2	1	0	
		5	2	2	300	
		1	1	1	0	
		1	1	2	0	
		1	2	1	0	
		1	2	2	0	
		2	1	1	0	
		2	1	2	190	
		2	2	1	0	

Entreprise	Client 02	2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	600
		5	2	1	0
		5	2	2	0
		<hr/>			
Client 01	Client 02	1	1	1	0
		1	1	2	70
		1	2	1	0
		1	2	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	0
		2	2	1	0
		2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	240
		4	1	1	0
		4	1	2	310
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0
		5	1	2	0
		5	2	1	0
		5	2	2	0
<hr/>					
Client 02	Client 01	1	1	1	0
		1	1	2	0
		1	2	1	0
		1	2	2	0
		2	1	1	0
		2	1	2	40
		2	2	1	0
		2	2	2	0
		3	1	1	0
		3	1	2	0
		3	2	1	0
		3	2	2	0
		4	1	1	0
		4	1	2	0
		4	2	1	0
		4	2	2	0
		5	1	1	0

	5	1	2	0
	5	2	1	0
	5	2	2	0

**Quantité produite : (chapitre 03)**

Produit	Taille	Ligne	Période	Cadence	Valeur
1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	2	0
1	1	1	2	1	15000
1	1	1	2	2	0
1	1	1	3	1	26000
1	1	1	3	2	0
1	1	1	4	1	0
1	1	1	4	2	0
1	1	1	5	1	12000
1	1	1	5	2	0
1	1	1	6	1	12000
1	1	1	6	2	0
1	1	1	7	1	6000
1	1	1	7	2	0
1	1	1	8	1	8000
1	1	1	8	2	0
1	1	1	9	1	0
1	1	1	9	2	0
1	1	1	10	1	0
1	1	1	10	2	0
1	1	1	11	1	0
1	1	1	11	2	0
1	1	2	1	1	9000
1	1	2	1	2	0
1	1	2	2	1	0
1	1	2	2	2	0
1	1	2	3	1	0
1	1	2	3	2	0
1	1	2	4	1	0
1	1	2	4	2	0
1	1	2	5	1	0
1	1	2	5	2	0
1	1	2	6	1	0
1	1	2	6	2	0
1	1	2	7	1	0
1	1	2	7	2	0
1	1	2	8	1	0
1	1	2	8	2	0
1	1	2	9	1	0
1	1	2	9	2	0
1	1	2	10	1	13000
1	1	2	10	2	0

1	1	2	11	1	0
1	1	2	11	2	0
1	1	3	1	1	0
1	1	3	1	2	0
1	1	3	2	1	0
1	1	3	2	2	0
1	1	3	3	1	0
1	1	3	3	2	0
1	1	3	4	1	0
1	1	3	4	2	0
1	1	3	5	1	0
1	1	3	5	2	0
1	1	3	6	1	0
1	1	3	6	2	0
1	1	3	7	1	0
1	1	3	7	2	0
1	1	3	8	1	0
1	1	3	8	2	0
1	1	3	9	1	9000
1	1	3	9	2	0
1	1	3	10	1	0
1	1	3	10	2	0
1	1	3	11	1	8000
1	1	3	11	2	0
1	2	1	1	1	0
1	2	1	1	2	0
1	2	1	2	1	0
1	2	1	2	2	0
1	2	1	3	1	56600
1	2	1	3	2	0
1	2	1	4	1	0
1	2	1	4	2	0
1	2	1	5	1	0
1	2	1	5	2	0
1	2	1	6	1	254000
1	2	1	6	2	0
1	2	1	7	1	0
1	2	1	7	2	0
1	2	1	8	1	192000
1	2	1	8	2	0
1	2	1	9	1	211000
1	2	1	9	2	0
1	2	1	10	1	239000
1	2	1	10	2	0
1	2	1	11	1	196000
1	2	1	11	2	0
1	2	2	1	1	0
1	2	2	1	2	0
1	2	2	2	1	0
1	2	2	2	2	0

1	2	2	3	1	310400
1	2	2	3	2	0
1	2	2	4	1	0
1	2	2	4	2	0
1	2	2	5	1	149000
1	2	2	5	2	0
1	2	2	6	1	0
1	2	2	6	2	0
1	2	2	7	1	292000
1	2	2	7	2	0
1	2	2	8	1	0
1	2	2	8	2	0
1	2	2	9	1	0
1	2	2	9	2	0
1	2	2	10	1	0
1	2	2	10	2	0
1	2	2	11	1	0
1	2	2	11	2	0
1	2	3	1	1	210000
1	2	3	1	2	0
1	2	3	2	1	148000
1	2	3	2	2	0
1	2	3	3	1	0
1	2	3	3	2	0
1	2	3	4	1	0
1	2	3	4	2	0
1	2	3	5	1	0
1	2	3	5	2	0
1	2	3	6	1	0
1	2	3	6	2	0
1	2	3	7	1	0
1	2	3	7	2	0
1	2	3	8	1	0
1	2	3	8	2	0
1	2	3	9	1	0
1	2	3	9	2	0
1	2	3	10	1	0
1	2	3	10	2	0
1	2	3	11	1	0
1	2	3	11	2	0
1	3	1	1	1	0
1	3	1	1	2	0
1	3	1	2	1	7000
1	3	1	2	2	0
1	3	1	3	1	0
1	3	1	3	2	0
1	3	1	4	1	0
1	3	1	4	2	0
1	3	1	5	1	0
1	3	1	5	2	0

1	3	1	6	1	0
1	3	1	6	2	0
1	3	1	7	1	0
1	3	1	7	2	0
1	3	1	8	1	11000
1	3	1	8	2	0
1	3	1	9	1	0
1	3	1	9	2	0
1	3	1	10	1	0
1	3	1	10	2	0
1	3	1	11	1	0
1	3	1	11	2	0
1	3	2	1	1	9000
1	3	2	1	2	0
1	3	2	2	1	0
1	3	2	2	2	0
1	3	2	3	1	19000
1	3	2	3	2	0
1	3	2	4	1	0
1	3	2	4	2	0
1	3	2	5	1	12000
1	3	2	5	2	0
1	3	2	6	1	0
1	3	2	6	2	0
1	3	2	7	1	10000
1	3	2	7	2	0
1	3	2	8	1	0
1	3	2	8	2	0
1	3	2	9	1	0
1	3	2	9	2	0
1	3	2	10	1	0
1	3	2	10	2	0
1	3	2	11	1	7000
1	3	2	11	2	0
1	3	3	1	1	0
1	3	3	1	2	0
1	3	3	2	1	0
1	3	3	2	2	0
1	3	3	3	1	0
1	3	3	3	2	0
1	3	3	4	1	0
1	3	3	4	2	0
1	3	3	5	1	0
1	3	3	5	2	0
1	3	3	6	1	10000
1	3	3	6	2	0
1	3	3	7	1	0
1	3	3	7	2	0
1	3	3	8	1	0
1	3	3	8	2	0

1	3	3	9	1	5000
1	3	3	9	2	0
1	3	3	10	1	10000
1	3	3	10	2	0
1	3	3	11	1	0
1	3	3	11	2	0
2	1	1	1	1	0
2	1	1	1	2	0
2	1	1	2	1	51200
2	1	1	2	2	0
2	1	1	3	1	0
2	1	1	3	2	0
2	1	1	4	1	0
2	1	1	4	2	0
2	1	1	5	1	80000
2	1	1	5	2	0
2	1	1	6	1	69600
2	1	1	6	2	0
2	1	1	7	1	0
2	1	1	7	2	0
2	1	1	8	1	75200
2	1	1	8	2	0
2	1	1	9	1	0
2	1	1	9	2	0
2	1	1	10	1	0
2	1	1	10	2	0
2	1	1	11	1	0
2	1	1	11	2	0
2	1	2	1	1	56800
2	1	2	1	2	0
2	1	2	2	1	0
2	1	2	2	2	0
2	1	2	3	1	76800
2	1	2	3	2	0
2	1	2	4	1	0
2	1	2	4	2	0
2	1	2	5	1	0
2	1	2	5	2	0
2	1	2	6	1	0
2	1	2	6	2	0
2	1	2	7	1	0
2	1	2	7	2	0
2	1	2	8	1	0
2	1	2	8	2	0
2	1	2	9	1	0
2	1	2	9	2	0
2	1	2	10	1	0
2	1	2	10	2	0
2	1	2	11	1	84000
2	1	2	11	2	0

2	1	3	1	1	0
2	1	3	1	2	0
2	1	3	2	1	0
2	1	3	2	2	0
2	1	3	3	1	0
2	1	3	3	2	0
2	1	3	4	1	0
2	1	3	4	2	0
2	1	3	5	1	0
2	1	3	5	2	0
2	1	3	6	1	0
2	1	3	6	2	0
2	1	3	7	1	76000
2	1	3	7	2	0
2	1	3	8	1	0
2	1	3	8	2	0
2	1	3	9	1	52000
2	1	3	9	2	0
2	1	3	10	1	67200
2	1	3	10	2	0
2	1	3	11	1	0
2	1	3	11	2	0
2	2	1	1	1	0
2	2	1	1	2	0
2	2	1	2	1	71200
2	2	1	2	2	0
2	2	1	3	1	0
2	2	1	3	2	0
2	2	1	4	1	0
2	2	1	4	2	0
2	2	1	5	1	64000
2	2	1	5	2	0
2	2	1	6	1	0
2	2	1	6	2	0
2	2	1	7	1	48800
2	2	1	7	2	0
2	2	1	8	1	0
2	2	1	8	2	0
2	2	1	9	1	66400
2	2	1	9	2	0
2	2	1	10	1	0
2	2	1	10	2	0
2	2	1	11	1	80800
2	2	1	11	2	0
2	2	2	1	1	85600
2	2	2	1	2	0
2	2	2	2	1	0
2	2	2	2	2	0
2	2	2	3	1	88800
2	2	2	3	2	0

2	2	2	4	1	0
2	2	2	4	2	0
2	2	2	5	1	0
2	2	2	5	2	0
2	2	2	6	1	80800
2	2	2	6	2	0
2	2	2	7	1	0
2	2	2	7	2	0
2	2	2	8	1	73600
2	2	2	8	2	0
2	2	2	9	1	0
2	2	2	9	2	0
2	2	2	10	1	0
2	2	2	10	2	0
2	2	2	11	1	0
2	2	2	11	2	0
2	2	3	1	1	0
2	2	3	1	2	0
2	2	3	2	1	0
2	2	3	2	2	0
2	2	3	3	1	0
2	2	3	3	2	0
2	2	3	4	1	0
2	2	3	4	2	0
2	2	3	5	1	0
2	2	3	5	2	0
2	2	3	6	1	0
2	2	3	6	2	0
2	2	3	7	1	0
2	2	3	7	2	0
2	2	3	8	1	0
2	2	3	8	2	0
2	2	3	9	1	0
2	2	3	9	2	0
2	2	3	10	1	41600
2	2	3	10	2	0
2	2	3	11	1	0
2	2	3	11	2	0
2	3	1	1	1	0
2	3	1	1	2	0
2	3	1	2	1	36000
2	3	1	2	2	0
2	3	1	3	1	56800
2	3	1	3	2	0
2	3	1	4	1	0
2	3	1	4	2	0
2	3	1	5	1	27200
2	3	1	5	2	0
2	3	1	6	1	34400
2	3	1	6	2	0

2	3	1	7	1	0
2	3	1	7	2	0
2	3	1	8	1	0
2	3	1	8	2	0
2	3	1	9	1	0
2	3	1	9	2	0
2	3	1	10	1	0
2	3	1	10	2	0
2	3	1	11	1	0
2	3	1	11	2	0
2	3	2	1	1	30400
2	3	2	1	2	0
2	3	2	2	1	0
2	3	2	2	2	0
2	3	2	3	1	0
2	3	2	3	2	0
2	3	2	4	1	0
2	3	2	4	2	0
2	3	2	5	1	0
2	3	2	5	2	0
2	3	2	6	1	0
2	3	2	6	2	0
2	3	2	7	1	26400
2	3	2	7	2	0
2	3	2	8	1	32000
2	3	2	8	2	0
2	3	2	9	1	0
2	3	2	9	2	0
2	3	2	10	1	0
2	3	2	10	2	0
2	3	2	11	1	0
2	3	2	11	2	0
2	3	3	1	1	0
2	3	3	1	2	0
2	3	3	2	1	0
2	3	3	2	2	0
2	3	3	3	1	0
2	3	3	3	2	0
2	3	3	4	1	0
2	3	3	4	2	0
2	3	3	5	1	0
2	3	3	5	2	0
2	3	3	6	1	0
2	3	3	6	2	0
2	3	3	7	1	0
2	3	3	7	2	0
2	3	3	8	1	0
2	3	3	8	2	0
2	3	3	9	1	16000
2	3	3	9	2	0

2	3	3	10	1	24800
2	3	3	10	2	0
2	3	3	11	1	31200
2	3	3	11	2	0

Produit	Taille	Période	Valeur
1	1	1	0
1	1	2	0
1	1	3	11
1	1	4	0
1	1	5	0
1	1	6	0
1	1	7	0
1	1	8	0
1	1	9	0
1	1	10	0
1	1	11	0
1	2	1	0
1	2	2	0
1	2	3	106
1	2	4	0
1	2	5	0
1	2	6	0
1	2	7	0
1	2	8	0
1	2	9	0
1	2	10	0
1	2	11	0
1	3	1	0
1	3	2	0
1	3	3	8
1	3	4	0
1	3	5	0
1	3	6	0
1	3	7	0
1	3	8	0
1	3	9	0
1	3	10	0
1	3	11	0
2	1	1	0
2	1	2	0
2	1	3	29
2	1	4	0
2	1	5	0
2	1	6	0
2	1	7	0
2	1	8	0
2	1	9	0
2	1	10	0

2	1	11	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	28
2	2	4	0
2	2	5	0
2	2	6	0
2	2	7	0
2	2	8	0
2	2	9	0
2	2	10	0
2	2	11	0
2	3	1	0
2	3	2	0
2	3	3	28
2	3	4	0
2	3	5	0
2	3	6	0
2	3	7	0
2	3	8	0
2	3	9	0
2	3	10	0
2	3	11	0

**Stockage de dépôt : (chapitre 03)**

## **Résumé:**

Même si l'optimisation séquentielle des activités séquentielles de production, de stockage et de distribution dans les chaînes logistiques a été étudiée de manière approfondie pour générer des profits significatifs, l'optimisation intégrée des différentes fonctions d'une manière cohérente s'avère primordiale pour faire la différence dans le contexte économique actuel, qui connaît une concurrence féroce dans la plupart des secteurs industriels. C'est dans ce cadre, que ce mémoire s'inscrit et motivé par une entreprise de produits pharmaceutiques TOP GLOVES qui se compose d'un centre de fabrication avec plusieurs lignes de production et une flotte de véhicules servant à livrer un ensemble de clients dispersés géographiquement. Au premier lieu, nous avons résolu la problématique rencontrée par cette entreprise en proposant un modèle intégré qui prend en considération les différents services de production, de transport et de distribution tout en proposant un algorithme efficace de résolution. Dans un second lieu, nous nous sommes intéressés aux possibles extensions de TOP GLOVES à savoir l'élargissement du réseau en intégrant l'aspect temporel ainsi que de mutualisation ; pour le faire nous avons proposé plusieurs versions de modèles pour les PRP rencontrés tout en les testant et en les validant. Cette nouvelle vision d'optimisation intégrée démontre l'amélioration considérable des performances de cette entreprise.

**Mots clés :** Production, Stockage, Distribution, Optimisation intégrée, Modèle mathématique, métaheuristique.

## **Abstract:**

Although the sequential optimisation of production, storage and distribution activities in supply chains has been studied in depth to generate significant profits, the integrated optimisation of the different functions in a coherent manner is proving to be essential to make the difference in the current economic context, which is experiencing fierce competition in most industrial sectors. It is within this framework that this thesis is written and motivated by a pharmaceutical company TOP GLOVES, which consists of a manufacturing center with several production lines and a fleet of vehicles used to deliver to a geographically dispersed set of customers. Firstly, we solved the problem encountered by this company by proposing an integrated model that takes into account the different production, transport and distribution services, while at the same time providing an efficient algorithm for solving the problem. Secondly, we looked at the possible extensions of TOP GLOVES, i.e. the enlargement of the network by integrating the temporal aspect as well as the mutualisation aspect; to do so, we proposed several versions of models for the PRPs encountered while testing and validating them. This new vision of integrated optimisation demonstrates the considerable improvement in the performance of this company.

**Keywords:** Production, Storage, Distribution, Integrated optimisation, Mathematical model, Metaheuristics.

## **ملخص:**

على الرغم من أن التحسين التسلسلي لأنشطة الإنتاج والتخزين والتوزيع المتسلسلة في سلاسل التوريد قد تمت دراسته على نطاق واسع لتحقيق أرباح كبيرة إلا أن التحسين المتكامل للوظائف المختلفة بطريقة متماسكة يعد أمرًا ضروريًا لإحداث فرق في البيئة الاقتصادية الحالية، التي تشهد منافسة شرسة في معظم القطاعات الصناعية. في هذا السياق، يتم تسجيل هذه الأطروحة وتحفيزها من قبل شركة الأدوية لصنع القفازات الطبية التي تتكون من مركز تصنيع مع العديد من خطوط الإنتاج وأسطول من المركبات التي تقدم مجموعة من الزبائن المتناثرين جغرافيًا. أولاً، قمنا بحل المشكلة التي واجهتها هذه الشركة من خلال اقتراح نموذج متكامل يأخذ في الاعتبار خدمات الإنتاج والنقل والتوزيع المختلفة مع اقتراح خوارزمية حل فعالة. ثانيًا، نظرنا إلى الامتدادات المحتملة للشركة، وهي توسيع الشبكة من خلال دمج الجانب الزمني وكذلك التبادلية؛ للقيام بذلك، اقترحنا عدة إصدارات من النماذج المتكاملة التي تمت مواجهتها أثناء اختبارها والتحقق من صحتها. توضح هذه النظرة الجديدة للتحسين المتكامل التقدم المحكم والسريع في أداء الشركة.

**الكلمات المفتاحية:** جدولة، نظام الإنتاج، الخوارزميات الجينية، البحث الموضوعي، الموارد المستهلكة، العمليات المتكررة.