

Résumé

Actuellement, les entreprises font face à de nombreux défis. Elles visent à garantir un bon taux de service tout en minimisant le coût de stockage, sur un marché de plus en plus volatil et compétitif. Pour atteindre ce but, il est essentiel de gérer et d'améliorer en permanence le flux de produits et d'informations dans les réseaux de distribution. En fait, une gestion inefficace du flux peut avoir plusieurs conséquences imprévues liées aux situations du stock, ce qui impacte négativement le taux de service.

Dans cet objectif, ce travail se focalise sur la construction, l'évaluation et la généralisation d'un modèle de gestion des flux de distribution. Ce modèle s'intitule « la Planification des ressources de la distribution pilotée par la demande » (DDDRP). C'est une solution pour la planification et l'exécution des stocks dans les réseaux multiniveaux. Elle est basée sur des axes principaux, qui sont la planification des ressources de distribution (DRP), le Lean Distribution et la Théorie des Contraintes. Le principal objectif de ce modèle est d'atténuer l'amplification de toutes les formes de variabilité (demande, processus, etc.) dans les réseaux de distribution. Ce phénomène est signalé dans la littérature sous le nom « Effet Coup de Fouet ». Le concept du modèle est de placer des Buffers en des points stratégiques du réseau, les dimensionner et les ajuster selon la situation de la demande. Ainsi, la phase suivante est une planification axée sur la demande qui permet de tirer le flux entre les points équipés de Buffers. La dernière étape considère l'exécution des approvisionnements planifiés.

Après avoir construit les axes, les pilotes du modèle et ses éléments théoriques, une étude de cas est fournie pour comparer le modèle DDDRDP aux outils classiques de gestion des flux, notamment « Planification des Ressources de Distribution » (DRP). Pour entamer cette comparaison, une simulation à événements discrets est adoptée pour évaluer l'efficacité de chaque modèle par rapport aux fluctuations de la demande au moyen du calcul des indicateurs clés de performance. Autrement, des modèles mathématiques généraux et des outils de résolution sont proposés afin de généraliser et d'optimiser les phases du DDDRDP.

Ce travail propose les lignes directrices d'une approche dédiée à l'optimisation du flux de distribution pour faire face à toutes les fluctuations susceptibles d'apparaître dans la chaîne logistique. Il ouvre de nouvelles perspectives liées à la gestion basée sur la demande qui remplacent les méthodes conventionnelles basées sur la prévision, et intègre de nombreux outils pour construire une approche actualisée de la distribution.

Mots clés : Chaîne logistique ; DRP ; DDDRDP ; Variabilité de la demande ; Buffer.

Abstract

The current challenge for companies is to provide high levels of service while minimizing inventory costs in an increasingly competitive marketplace. To achieve this goal, one of the keys is to continuously manage and improve the flow of products and information through distribution networks. In fact, mismanagement of flows can have serious implications for the stock situation, affecting service levels. Moreover, this management involves optimally addressing the different types of variability, including demand, as well as process variability. In this regard, the work focuses on the construction, evaluation and generalization of a flow management model entitled Demand driven distribution resource planning (DDDRP). It is a multi-echelon inventory planning and execution solution, based on key axes, which are Distribution Resource Planning (DRP), Lean distribution and Theory of Constraints. The main objective of the DDDRDP is to reduce the amplification of variability (Bullwhip effect) in distribution networks. Its concept consists of putting protective buffers in strategic points of the network, then dimensioning and continuously adjusting the buffers according to customer demand. The model is also characterized by Demand-Driven planning that involves pulling the flow between buffered points. The last step is the execution of the planned supplies.

After constructing the axes of the model, its pilots and its theoretical elements, we provided a case study to compare the DDDRDP concept with conventional management methods like DRP. To perform this comparison, we adopted a discrete event simulation (DES) to measure the efficiency of each model in terms of demand fluctuations, using key performance indicators. We also proposed general mathematical models and resolution tools to generalize and optimize the DDDRDP phases.

This work proposes the first guidelines of an approach dedicated to optimizing the distribution flow to cope with all fluctuations likely to appear in the supply chain. It opens up new perspectives in Demand-Driven management that replace traditional forecasting methods, and incorporates many tools to build an up-to-date approach to distribution.

Keywords: Supply Chain; DRP; DDDRDP; Demand Variability; Buffer.

N° d'ordre



Université Hassan 1^{er}
Centre d'Études Doctorales



Faculté des Sciences et Techniques
Settat

THÈSE DE DOCTORAT

Pour l'obtention de grade de Docteur en Sciences et Techniques
Formation Doctorale: **Physique et Sciences de l'Ingénieur**

Spécialité: **Génie Industriel et Logistique**

Sous le thème

Titre de la thèse

Du Distribution Resource Planning (DRP) vers le Demand-Driven DRP (DDDRP) : Conceptualisation, modélisation et généralisation sur la logistique de distribution

Présentée par :

M. Yassine ERRAOUI

Soutenu le: 30/01/2023

A la Faculté des Sciences et Techniques de Settat devant le jury
composé de :

| | | | |
|-------------------------|-----|------------------|--------------------|
| Pr Abdelwahed ECHCHATBI | PES | FST-Settat | Président |
| Pr Said ELFEZAZI | PES | EST-Safi | Rapporteur |
| Pr Jamal BENHRA | PES | ENSEM-Casablanca | Rapporteur |
| Pr Charif MABROUKI | PH | FST-Settat | Rapporteur |
| Pr Hassan GZIRI | PH | FST-Settat | Examineur |
| Pr Abdelkabar CHARKAOUI | PH | FST-Settat | Directeur de thèse |

Année Universitaire: 2022/2023

Yassine ERRAOUI

Du Distribution Resource Planning (DRP) vers le Demand-Driven DRP (DDDRP) :
Conceptualisation, modélisation et généralisation sur la logistique de distribution.

Physique et Sciences de
l'Ingénieur

2022/2023

Dédicaces

À mes très chers parents,

*J'ai longtemps cherché les mots les plus justes
pour vous remercier d'avoir été, et d'être toujours présents
de m'avoir épaulé, soutenu, d'avoir toujours cru en moi et m'avoir poussé à
donner le meilleur de moi-même.
Mais après mûre réflexion, je ne vois rien de plus fort que...
Qu'ALLAH vous protège.*

À mes frères pour leur amour inconditionnel.

À ma femme,

*pour m'avoir toujours remonté le moral surtout pendant la période de
rédaction.*

À mon fils.

*À toutes les personnes qui ont croisé mon chemin, tout se passe pour une
raison.*

Je vous dédie tous, ce travail de thèse.

Remerciements

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Les travaux de recherche présentés dans ce rapport ont été réalisés au sein du laboratoire Ingénierie, Management Industriel et Innovation (IMII) de la Faculté des Sciences et Techniques (FST-Settat).

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadrant Monsieur Abdelkabar CHARKAOUI, Professeur à la FST-Settat pour m'avoir accueilli au sein de son équipe et pour avoir accepté de diriger et encadrer cette thèse. Je le remercie pour les moyens qui ont été mis à ma disposition, permettant ainsi l'avancée de mes travaux dans les meilleures conditions. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma profonde gratitude pour sa qualité scientifique et humaine, son soutien inconditionnel, ses conseils avisés et sa disponibilité constante dont il a toujours fait preuve. Sans oublier de le remercier pour les opportunités qu'il m'a offertes au niveau de la préparation et l'encadrement des cours, travaux dirigés et travaux pratiques au sein du département de Génie Mécanique et Génie Electrique. Je saisis l'occasion pour remercier également Monsieur Abdelwahed ECHCHATBI, Professeur à la FST-Settat et directeur du laboratoire IMII, pour son soutien inconditionnel et ses conseils précieux durant ces années de thèse.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur AbdelKhalid ESSAMADI, Directeur du centre d'études doctorales à FST-Settat et à Monsieur Bouchaib BENCHARKI, Directeur du pôle doctoral à l'université Hassan 1^{er}, pour leur accompagnement des doctorants dans les différents stades de la préparation de leurs thèses et leurs efforts considérables afin d'assurer une formation doctorale de qualité.

Je remercie chaleureusement Monsieur Abdelwahed ECHCHATBI, Professeur à la FST-Settat pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Je tiens également à remercier Monsieur Said ELFEZAZI, Professeur à l'EST-Safi, Monsieur Jamal BENCHRA, Professeur à l'ENSEM-Casablanca et Monsieur Charif MABROUKI, Professeur à la FST-Settat, pour avoir accepté de rapporter ces travaux de thèse. Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à

Remerciements

Monsieur Hassan GZIRI, Professeur à la FST-Settat, pour avoir accepté d'examiner ces travaux de thèse.

Enfin, je n'oublierai guère de remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement et à l'aboutissement de ce projet de thèse. Que ce modeste travail vienne récompenser mes chers parents pour leur amour, leur éducation et leur dévouement.

Du Distribution Resource Planning (DRP) vers le Demand-Driven DRP (DDDRP) : Conceptualisation, modélisation et généralisation sur la logistique de distribution

Résumé

Actuellement, les entreprises font face à de nombreux défis. Elles visent à garantir un bon taux de service tout en minimisant le coût de stockage, sur un marché de plus en plus volatil et compétitif. Pour atteindre ce but, il est essentiel de gérer et d'améliorer en permanence le flux de produits et d'informations dans les réseaux de distribution. En fait, une gestion inefficace du flux peut avoir plusieurs conséquences imprévues liées aux situations du stock, ce qui impacte négativement le taux de service.

Dans cet objectif, ce travail se focalise sur la construction, l'évaluation et la généralisation d'un modèle de gestion des flux de distribution. Ce modèle s'intitule « la Planification des ressources de la distribution pilotée par la demande » (DDDRP). C'est une solution pour la planification et l'exécution des stocks dans les réseaux multiniveaux. Elle est basée sur des axes principaux, qui sont la planification des ressources de distribution (DRP), le Lean Distribution et la Théorie des Contraintes. Le principal objectif de ce modèle est d'atténuer l'amplification de toutes les formes de variabilité (demande, processus, etc.) dans les réseaux de distribution. Ce phénomène est signalé dans la littérature sous le nom « Effet Coup de Fouet ». Le concept du modèle est de placer des Buffers en des points stratégiques du réseau, les dimensionner et les ajuster selon la situation de la demande. Ainsi, la phase suivante est une planification axée sur la demande qui permet de tirer le flux entre les points équipés de Buffers. La dernière étape considère l'exécution des approvisionnements planifiés.

Après avoir construit les axes, les pilotes du modèle et ses éléments théoriques, une étude de cas est fournie pour comparer le modèle DDDRPP aux outils classiques de gestion des flux, notamment « Planification des Ressources de Distribution » (DRP). Pour entamer cette comparaison, une simulation à événements discrets est adoptée pour évaluer l'efficacité de chaque modèle par rapport aux fluctuations de la demande au moyen du calcul des indicateurs clés de performance. Autrement, des modèles mathématiques généraux et des outils de résolution sont proposés afin de généraliser et d'optimiser les phases du DDDRPP.

Ce travail propose les lignes directrices d'une approche dédiée à l'optimisation du flux de distribution pour faire face à toutes les fluctuations susceptibles d'apparaître dans la chaîne logistique. Il ouvre de nouvelles perspectives liées à la gestion basée sur la demande qui remplacent les méthodes conventionnelles basées sur la prévision, et intègre de nombreux outils pour construire une approche actualisée de la distribution.

Mots clés

Chaîne logistique, DRP, DDDRPP, Variabilité de la demande, Buffer.

From Distribution Resource Planning (DRP) to Demand-Driven DRP (DDDRP): Conceptualization, modeling and generalization on distribution logistics

Abstract

The current challenge for companies is to provide high levels of service while minimizing inventory costs in an increasingly competitive marketplace. To achieve this goal, one of the keys is to continuously manage and improve the flow of products and information through distribution networks. In fact, mismanagement of flows can have serious implications for the stock situation, affecting service levels. Moreover, this management involves optimally addressing the different types of variability, including demand, as well as process variability. In this regard, the work focuses on the construction, evaluation and generalization of a flow management model entitled Demand driven distribution resource planning (DDDRP). It is a multi-echelon inventory planning and execution solution, based on key axes, which are Distribution Resource Planning (DRP), Lean distribution and Theory of Constraints. The main objective of the DDDRP is to reduce the amplification of variability (Bullwhip effect) in distribution networks. Its concept consists of putting protective buffers in strategic points of the network, then dimensioning and continuously adjusting the buffers according to customer demand. The model is also characterized by Demand-Driven planning that involves pulling the flow between buffered points. The last step is the execution of the planned supplies.

After constructing the axes of the model, its pilots and its theoretical elements, we provided a case study to compare the DDDRP concept with conventional management methods like DRP. To perform this comparison, we adopted a discrete event simulation (DES) to measure the efficiency of each model in terms of demand fluctuations, using key performance indicators. We also proposed general mathematical models and resolution tools to generalize and optimize the DDDRP phases.

This work proposes the first guidelines of an approach dedicated to optimizing the distribution flow to cope with all fluctuations likely to appear in the supply chain. It opens up new perspectives in Demand-Driven management that replace traditional forecasting methods, and incorporates many tools to build an up-to-date approach to distribution.

Keywords

Supply Chain, DRP, DDDRP, Demand Variability, Buffer.

نموذج لتخطيط موارد التوزيع حسب الطلب. وضع المفاهيم والنمذجة والتعميم على لوجستيات التوزيع

ملخص

يتمثل التحدي الذي تواجهه الشركات حالياً في تقديم مستويات خدمة عالية مع تقليل تكاليف التخزين، في ظل سوق يتميز بالتنافسية وبالحرورية المستمرة. ولتحقيق هذا الهدف، يكمن أحد المفاتيح الأساسية في تحسين إدارة تدفق المنتجات من ناحية المعلومات من ناحية أخرى في شبكات التوزيع، وذلك بشكل مستمر. في الحقيقة، قد تؤدي إدارة التدفقات بشكل غير لائق إلى آثار غير محمودة تتعلق بحالة المخزون، وبالتالي تؤثر سلباً على مستويات الخدمة. علاوة على ذلك تجبر إدارة هذه التدفقات على التعامل مع أنواع مختلفة من المتغيرات، من بينها تغيرات الطلب بالإضافة إلى التغيرات الداخلية في شبكة التوزيع. في هذا الصدد، يركز هذا العمل على بناء، اختبار وتعميم نموذج تحت عنوان "تخطيط موارد التوزيع حسب الطلب". يقدم هذا النموذج حل خاص بالتنظيم في الشبكات متعددة المستويات. كما أنه يعتمد على مجموعة من المحاور الرئيسية، من بينها تخطيط موارد التوزيع، التوزيع الخالي من الهدر، ونظرية القيود. الغرض الرئيسي من هذا النموذج يكمن في التخفيف من التضخم الحاصل للتغيرات عند الانتقال عبر شبكة التوزيع. يركز هذا النموذج على وضع مخازن الحماية في النقاط الاستراتيجية للشبكة، ثم تحديد أبعاد تلك المخازن وتعديلها باستمرار. يتميز النموذج أيضاً بتخطيط يركز على الطلب ويعتمد على سحب التدفق بين النقاط المخزنة. وتستقر الخطوة الأخيرة على تنفيذ الإمدادات المخطط لها.

بعد التطرق لبناء المحاور، محركات النموذج وعناصره النظرية، تم تقديم دراسة من أجل مقارنة النموذج المقترح مع الأدوات التقليدية لإدارة التدفق. لتحقيق هذه المقارنة، تم اعتماد محاكاة الأحداث المنفصلة لقياس فعالية كل نموذج أمام تقلبات الطلب، وذلك باستخدام مؤشرات الأداء الرئيسية. بالإضافة إلى ذلك، تم اقتراح نماذج رياضية عامة وأدوات لتعميم وتحسين مراحل النموذج.

في النهاية، يقترح هذا العمل المبادئ التوجيهية الأولى لنهج مخصص من أجل تحسين تدفق التوزيع. الهدف منه هو التعامل مع جميع التقلبات التي من المحتمل أن تظهر في سلسلة التوريد. كما أن النموذج يفتح آفاقاً جديدة تتعلق بالتنظيم الذي يحركه الطلب ليحل محل الأساليب التقليدية المدفوعة بالتوقعات عوض الطلب الحقيقي للزبون.

الكلمات الدالة

سلسلة التوريد، شبكات التوزيع، تخطيط موارد التوزيع، تخطيط موارد التوزيع حسب الطلب، تغير الطلب.

Liste des abréviations

| | |
|--------|---|
| ADU | Average Daily Usage |
| ANN | Artificial Neural Network |
| AFNOR | Association Française de Normalisation |
| APICS | American Production and Inventory Control Society |
| AR | Auto-Regression |
| ARIMA | Auto-Regressive Integrated Moving Average |
| ARMA | Auto-Regressive Moving Average |
| BWE | Bullwhip Effect |
| CBS | Class Base Stock |
| CCR | Capacity Constraint resource |
| CD | Centre de distribution |
| CDR | Centre de distribution Régional |
| CDU | Centre de distribution Urbain |
| CS | Coût de Stockage |
| CSM | Coût de stockage moyen |
| CT | Coût total |
| CWH | Central Warehouse |
| DAF | Demand Adjustment Factors |
| DBR | Drum Buffer Rope |
| DDDRP | Demand Driven Distribution Resource planning |
| DDMRP | Demand Driven Material requirement production |
| DLT | Decoupling Lead Time |
| DRP | Distribution resources planning |
| EC | Evaporating Cloud |
| EOQ | Economic Order Quantity |
| ES | Exponential Smoothing |
| E-SCM | Electronic Supply Chain Management |
| FacLT | Facteur de délai |
| FacVar | Facteur de Variabilité |
| FCFS | First Come First Served |
| FRT | Future Reality Tree |

| | |
|---------|---|
| FS | Frais de stockage |
| GMS | Grandes et Moyen Surfaces |
| GS | Guaranteed service |
| Haut_ZJ | Haut de la zone jaune |
| Haut_ZR | Haut de la zone rouge |
| Haut_ZV | Haut de la zone verte |
| JIT | Juste-In-Time |
| LM | Lean Manufacturing |
| LT | Lead Time |
| MA | Moving Average |
| MMSE | Minimum Mean Square Error |
| MR | Multilevel Rationing |
| MRP | Material requirement production |
| NFP | Net Flow Position |
| OH | On Hand |
| OS | Open Supply |
| OSH | Open Supply Horizon |
| OST | Open Supply Threshold |
| OTS | On-time Service |
| OUT | Order-Up-To |
| PDA | Programme Directeur d'Approvisionnement |
| PDP | Programme Directeur de Production |
| PEN | Pénalité |
| PFN | Position de Flux net |
| PRT | Prerequisite Reality Tree |
| PU | Prix Unitaire |
| PWH | Plant Warehouse |
| QS | Qualified sales |
| RBWE | Reversed Bullwhip effect |
| RGA | Real Genetic Algorithm |
| RWH | Regional Warehouse |
| SAT | Satisfaisabilité booléenne |
| SC | Supply Chain |

| | |
|------|-----------------------------------|
| SCM | Supply Chain Management |
| SKU | Stock Keeping Unit |
| SMB | Stock Moyen du Buffer |
| SP | Strict Priority |
| ST | Service Toléré |
| SUPP | Supplier |
| TOC | Theory of Constraints |
| TOG | Top of Green |
| TOR | Top of Red |
| TOY | Top of Yellow |
| TPS | Toyota Production System |
| TP | Temps du Process |
| TRIA | Loi Triangulaire |
| TRT | Transition Tree |
| TS | Taux de service |
| TSM | Taux de possession du stock moyen |
| TSS | Taux de service souhaité |
| UDE | Undesirable effects |
| VMI | Vendor Managed Inventory |
| WC | Working Capital |
| ZJ | Zone Jaune |
| ZR | Zone Rouge |
| ZV | Zone Verte |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 0.1. Les objectifs de la thèse | 3 |
| Figure 1.1. Supply Chain Simple | 14 |
| Figure 1.2. Supply Chain à plusieurs rangs..... | 15 |
| Figure 1.3. Les composants principaux de la logistique de distribution | 21 |
| Figure 1.4. Illustration des quatre politiques de base de réapprovisionnement | 28 |
| Figure 1.5. Diagramme du Processus du DRP | 34 |
| Figure 1.6. Effet Coup de Fouet..... | 35 |
| Figure 1.7. Ventes VS Ordres | 35 |
| Figure 1.8. Cas réelles du BWE | 36 |
| Figure 1.9. Jeu de Bière pour BWE | 37 |
| Figure 2.1. Diagramme de la revue de littérature systématique..... | 51 |
| Figure 2.2. Les mots clés de la recherche systématique..... | 52 |
| Figure 2.3. Distribution des articles par thème | 52 |
| Figure 2.4. Distribution des articles par an durant la période étudiée..... | 52 |
| Figure 2.5. Les concepts du Lean Management..... | 57 |
| Figure 2.6. Illustration du concept « Drum Buffer Rope » | 68 |
| Figure 2.7. Buffer avec les trois niveaux | 70 |
| Figure 2.8. Réseaux de distribution et propagation de la variabilité..... | 70 |
| Figure 2.9. Effet Bimodal..... | 71 |
| Figure 2.10. Stockage optimal..... | 71 |
| Figure 2.11. Réseaux de distribution muni des Buffers | 72 |
| Figure 2.12. Mise à jour continu du Buffer..... | 73 |
| Figure 3.1. Réseau de distribution du cas d'étude..... | 77 |
| Figure 3.2. Les phases d'implémentation du modèle DDDRP | 82 |
| Figure 3.3. Réseau en étoile (Hub and Spoke)..... | 82 |
| Figure 3.4. Réseau de distribution en étoile | 82 |
| Figure 3.5. Positionnement du Buffer dans le réseau étudié avec la configuration en étoile .. | 83 |
| Figure 3.6. Ajustement du Buffer de CDU1 | 86 |
| Figure 3.7. Ajustement du Buffer de CDR1..... | 87 |
| Figure 3.8. NFP dans le Buffer de CDU1 | 90 |

| | |
|---|-----|
| Figure 3.9. NFP dans le Buffer de CDR1 | 91 |
| Figure 3.10. Demande saisonnière mensuelle au cours d'une année | 93 |
| Figure 3.11. Demande journalière avec pics dans un mois | 93 |
| Figure 3.12. Modèle DRP sous ARENA SOFTWARE | 96 |
| Figure 3.13. Modèle DDDRP sous ARENA SOFTWARE | 100 |
| Figure 3.14. La comparaison du WC entre les modèles DRP et DDDRP | 104 |
| Figure 3.15. La comparaison du OTS entre les modèles DRP et DDDRP | 104 |
| Figure 4.1. Démarche d'optimisation du dimensionnement des Buffers | 117 |
| Figure 4.2. Optimisation des trois premières phases du modèle DDDRP | 119 |
| Figure 4.3. Processus d'implémentation d'une planification basée sur la demande | 120 |
| Figure 4.4. Réseau de distribution du cas d'étude..... | 125 |
| Figure 4.5. La configuration optimale pour la semaine 22 | 127 |
| Figure 4.6. Données de contrôle de l'optimisation | 130 |
| Figure 4.7. Eléments de la fonction objectif | 130 |
| Figure 4.8. Inscription de la fonction objectif dans OptQuest | 131 |
| Figure 4.9. Résultats de neuf itérations | 131 |
| Figure 4.10. Résultats finaux après 500 itérations | 132 |
| Figure 4.11. Graphe de l'optimisation | 132 |
| Figure 4.12. Les meilleurs paramètres du dimensionnement..... | 133 |
| Figure 4.13. Inscription d'un délai déterministe | 134 |
| Figure 4.14. Fonction de densité de la loi triangulaire..... | 135 |
| Figure 4.15. Processus avec délai stochastique..... | 135 |
| Figure 4.16. Impact des retards sur le taux de service | 136 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1.1. Définitions de la logistique..... | 8 |
| Tableau 1.2. Types des flux dans la logistique | 9 |
| Tableau 1.3. Définitions de la SC | 12 |
| Tableau 1.4. Définitions du SCM..... | 17 |
| Tableau 1.5. Types des infrastructures logistiques | 22 |
| Tableau 1.6. Opérations liées à la logistique de distribution | 22 |
| Tableau 1.7. Enjeux de la logistique de distribution | 24 |
| Tableau 1.8. Contraintes liées à la distribution | 25 |
| Tableau 1.9. Politiques de base de gestion d’approvisionnement..... | 27 |
| Tableau 1.10. Les politiques de stockage et d’approvisionnement dans les réseaux de distribution Multi-échelons | 29 |
| Tableau 1.11. Causes du BWE..... | 38 |
| Tableau 1.12. Causes opérationnelles et significations..... | 45 |
| Tableau 2.1. Liste des définitions du LEAN..... | 54 |
| Tableau 2.2. Outils et techniques du Lean | 54 |
| Tableau 2.3. Comparaison entre une gestion traditionnelle de la distribution et une distribution Lean..... | 56 |
| Tableau 2.4. Les bénéfices de la distribution Lean et les méthodes de quantification | 56 |
| Tableau 2.5. Facilitateurs de la distribution Lean | 62 |
| Tableau 2.6. Indicateurs de performance de la distribution Lean | 62 |
| Tableau 2.7. Résultats obtenus chiffres après implémentation de la Distribution Lean aux entrepôts | 63 |
| Tableau 2.8. Outils du Thinking Process | 65 |
| Tableau 3.1. Extrait des données pour les six premiers CDUs | 77 |
| Tableau 3.2. DRP réalisé pour le CDU1 pendant dix jours | 78 |
| Tableau 3.3. Ordres arrivés au CDR1 | 80 |
| Tableau 3.4. Dimensionnement des Buffers pour les CDUs pendant le 1er mois | 83 |
| Tableau 3.5. Ajustement des Niveaux du Buffer du CDU1 | 86 |
| Tableau 3.6. Extrait de la planification basée sur la demande au niveau de CDU1 | 87 |
| Tableau 3.7. Planification basée sur la demande au niveau de CDR1 | 89 |
| Tableau 3.8. Scénarios de la demande | 92 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 3.9. Algorithme de la modélisation DRP par ARENA..... | 93 |
| Tableau 3.10. Algorithme de la modélisation DDDRP par ARENA..... | 97 |
| Tableau 3.11. Les parties du modèle complet..... | 101 |
| Tableau 3.12. Résultats de la simulation..... | 103 |
| Tableau 3.13. Synthèse de comparaison entre DRP et DDDRP | 105 |
| Tableau 3.14. Changement du paramétrage pour tous les scénarios..... | 106 |
| Tableau 4.1. Informations nécessaires d'optimisation pour chaque nœud | 118 |
| Tableau 4.2. Paramètres nécessaires de la planification basée sur la demande | 121 |
| Tableau 4.3. Valeurs des paramètres pour optimiser le positionnement..... | 126 |
| Tableau 4.4. Extrait des configurations possibles de positionnement..... | 126 |
| Tableau 4.5. Tableau de la configuration optimale..... | 128 |
| Tableau 4.6. Paramétrage des facteurs LT | 129 |
| Tableau 4.7. Paramétrage des facteurs de variabilité et de DLT..... | 129 |
| Tableau 4.8. Résultats de l'étude sur la variabilité du Processus..... | 136 |

Table des matières

| | |
|---|----------|
| Dédicaces | i |
| Remerciements | ii |
| Résumé..... | iv |
| Abstract. | v |
| ملخص..... | vi |
| Liste des abréviations | vii |
| Liste des figures | x |
| Liste des tableaux | xii |
| Table des matières | xiv |
| | |
| Introduction générale..... | 1 |
| | |
| Chapitre I : Logistique aval et problématiques liées à la distribution | 7 |
| Introduction | 7 |
| I.1. De la logistique au Supply Chain Management..... | 7 |
| I.1.1. Concept de la logistique | 7 |
| I.1.1.1. Historique et définitions | 7 |
| I.1.1.2. Flux et types de la logistique | 9 |
| I.1.2. Concept de Supply Chain..... | 11 |
| I.1.2.1. Définitions et historique de la chaîne logistique | 11 |
| I.1.2.2. Maillons et types de Supply Chain | 15 |
| I.1.3. Concept de Supply Chain Management | 17 |
| I.1.3.1. Définitions et historique | 17 |
| I.1.3.2. Niveaux de décision dans le SCM..... | 19 |
| I.2. La logistique de distribution | 20 |
| I.2.1. Définitions et enjeux | 20 |
| I.2.1.1. Définitions de la logistique de distribution..... | 20 |
| I.2.1.2. Infrastructures logistiques et opérations liées à la distribution..... | 21 |
| I.2.1.3. Enjeux de la logistique aval..... | 23 |
| I.2.1.4. Contraintes liées à la logistique aval | 25 |
| I.2.2. Politiques de gestion de flux en distribution | 26 |

| | |
|---|-----------|
| I.2.2.1. Politiques de base pour la gestion d’approvisionnement et de stocks | 26 |
| I.2.2.2. Politiques évoluées d’approvisionnement et de stocks dans les réseaux de distribution multi-échelons | 28 |
| I.2.2.3. Politique DRP | 33 |
| I.3. Problématique de l’Effet Coup de fouet en distribution | 35 |
| I.3.1. Définition et historique..... | 35 |
| I.3.2. Causes du BWE..... | 37 |
| I.3.2.1. Effet de la prévision..... | 38 |
| I.3.2.2. Effet de la politique de stockage et de réapprovisionnement | 41 |
| I.3.2.3. Effet du Lead Time..... | 42 |
| I.3.2.4. Manque de transparence | 43 |
| I.3.2.5. Autres causes opérationnelles du BWE..... | 44 |
| Conclusion..... | 46 |
| | |
| Chapitre II : Conceptualisation du modèle Demand-Driven DRP | 48 |
| Introduction | 48 |
| II.1. Limites du modèle DRP | 48 |
| II.1.1. Limites de la prévision..... | 48 |
| II.1.2. Limite de la dépendance | 49 |
| II.1.3. Distorsion de l’information..... | 50 |
| II.2. Méthodologie de recherche | 50 |
| II.3. Proposition des Axes du Modèle DDDRP | 53 |
| II.3.1. Lean distribution | 53 |
| II.3.1.1. Définitions et outils du Lean | 53 |
| II.3.1.2. La notion de la distribution Lean | 55 |
| II.3.1.3. Logique de la Lean Distribution..... | 57 |
| II.3.1.4. Les indicateurs de performance de la distribution Lean | 61 |
| II.3.1.5. Le rôle des Buffers dans la distribution Lean contre les variabilités | 64 |
| II.3.2. Théorie des Contraintes | 65 |
| II.3.2.1. Définitions et spécificités | 65 |
| II.3.2.2. Le rôle des Buffer dans la Théorie des Contraintes | 67 |
| II.4. Construction du modèle DDDRP | 69 |
| II.4.1. Pilotes du modèle DDDRP | 69 |

| | |
|--|----|
| II.4.2. Les éléments théoriques du modèle DDDRP..... | 72 |
| Conclusion..... | 73 |

Chapitre III : Implémentation et Evaluation du modèle DDDRP 76

| | |
|--|-----|
| Introduction | 76 |
| III.1. Données du cas d'étude..... | 76 |
| III.2. Implémentation du modèle DRP | 78 |
| III.2.1. Principe d'implémentation du DRP | 78 |
| III.2.2. Détermination du stock de sécurité | 79 |
| III.2.2.1. Stock de sécurité des CDUs | 79 |
| III.2.2.2. Stock de sécurité des CDRs | 80 |
| III.2.3. Détermination de la quantité optimale de commande | 80 |
| III.3. Implémentation du modèle DDDRP | 81 |
| III.3.1. Positionnement des Buffers | 82 |
| III.3.2. Dimensionnement des Buffers..... | 83 |
| III.3.3. Ajustement dynamique des Buffers..... | 85 |
| III.3.4. Planification basée sur la demande..... | 87 |
| III.3.5. Exécution visible et collaborative..... | 91 |
| III.4. Simulation des modèles par évènements discrets | 92 |
| III.4.1. Scénarios de la demande et expériences de la simulation | 92 |
| III.4.2. Modélisation par ARENA SOFTWARE..... | 93 |
| III.4.2.1. Modélisation et Simulation du modèle DRP | 93 |
| III.4.2.2. Modélisation et Simulation du modèle DDDRP | 97 |
| III.4.3. Résultats de la modélisation | 101 |
| III.4.4. Analyse des résultats | 104 |
| Conclusion..... | 106 |

Chapitre IV : Généralisation du modèle DDDRP et application sur un cas industriel . 109

| | |
|--|-----|
| Introduction | 109 |
| IV.1. Formulation du problème de positionnement des Buffers | 109 |
| IV.1.1. Notations du problème de positionnement des Buffers..... | 109 |
| IV.1.2. Formulation de la fonction objectif et des contraintes associées | 110 |
| IV.1.3. Analyse de la complexité du problème | 112 |

| | |
|---|------------|
| IV.1.3.1. Problème de Satisfaisabilité Booléenne..... | 113 |
| IV.1.3.2. Enoncé du Théorème de Cook-Levin | 113 |
| IV.1.4. Etude de la non-linéarité de la fonction objectif et des contraintes..... | 114 |
| IV.2. Formulation du problème de dimensionnement et d’ajustement des Buffers..... | 115 |
| IV.2.1. Fonction objectif du problème de dimensionnement des Buffers..... | 115 |
| IV.2.1.1. Fonction objectif..... | 115 |
| IV.2.1.2. Données de contrôle | 116 |
| IV.2.2. Démarche de traitement du problème de dimensionnement | 116 |
| IV.3. Formulation générale de la planification basée sur la demande | 118 |
| IV.3.1. Logigramme du modèle DDDRP | 119 |
| IV.3.2. Paramètres et Algorithme de la planification basée sur la demande | 121 |
| IV.4. Application industrielle : Etude de cas | 125 |
| IV.4.1. Données de l’étude de cas | 125 |
| IV.4.2. Positionnement des Buffers..... | 125 |
| IV.4.3. Optimisation des paramètres des Buffers | 128 |
| IV.4.3.1. Configuration de l’optimisation..... | 128 |
| IV.4.3.2. Résultats de l’optimisation | 131 |
| IV.4.4. Etude du modèle DDDRP sous un processus stochastique..... | 134 |
| IV.4.4.1. Modélisation du délai LT..... | 134 |
| IV.4.4.2. Comparaison des scénarios..... | 136 |
| Conclusion..... | 137 |
| | |
| Conclusion générale et Perspectives | 138 |
| Références | 142 |
| Annexes..... | 156 |
| Liste des publications | 165 |

Introduction générale

Introduction générale

Contexte général de la recherche

Le concept du Supply Chain Management (SCM) est perçu comme l'organisation d'un ensemble de réseaux qui gèrent les flux physiques, d'informations et financiers. Ces réseaux impliquent des relations entre les différents maillons de la chaîne logistique (SC) qui fournissent un produit ou un service afin de satisfaire le client final (Christopher, 1992). Le SCM est actuellement confronté à un certain nombre de défis dans un marché dynamique, flou et de plus en plus compétitif. De cette manière, les industriels s'intéressent et se focalisent sur le problème de la gestion du flux de produits et d'informations dans les réseaux de distribution à plusieurs échelons. En effet, un flux organisé et bien géré mène à une distribution optimisée adaptée aux variations imprévisibles du processus et de la demande des clients. Par contre, une gestion inefficace du flux peut entraîner plusieurs conséquences indésirables par rapport aux situations de stocks, ce qui affecte négativement le taux de service. En fait, une amplification de la variabilité du consommateur final vers l'usine est observée dans les structures de réseaux de distribution comportant plusieurs échelons (Lee et al., 2017). Ce phénomène est appelé « Effet Coup de Fouet ». Il a été analysé et traité dans la littérature, en spécifiant ses causes, ses effets et les outils qui permettent de remédier à ses conséquences voire éliminer le phénomène. Autrement, le stockage et l'approvisionnement sont des clés importantes dans la gestion du flux en distribution. Bien que la gestion de ces deux piliers connaisse diverses méthodes, ce travail évoque les politiques de bases ainsi que les politiques évoluées qui permettent de gérer le stockage et l'approvisionnement dans les réseaux multi-échelons. Parmi ces politiques, le modèle le plus courant demeure l'outil « Distribution Resource Planning » (DRP). Il consiste à contrôler les stocks et les approvisionnements dans les environnements de distribution physiques multi-produits et multi-échelons pour obtenir une visibilité complète des niveaux du stock dans chaque nœud de la SC, et ceci afin de répondre à la situation de la demande (André J. Martin, 1997). Toutefois, le DRP comporte plusieurs limites dans les SCs complexes, comme l'incertitude des prévisions, qui entraîne une erreur croissante dans les réseaux multi-nœuds, la dépendance entre les activités, et le problème de distorsion de l'information dans les points de distribution constituant le chemin de livraison de la commande.

Problématique de la thèse

La problématique réside dans la construction, l'évaluation et la généralisation d'un modèle qui optimise la gestion du flux de distribution, et qui atténue l'amplification de la variabilité pour faire face au phénomène du Coup de Fouet. Ainsi, le modèle proposé sera une amélioration du modèle conventionnel DRP, pour remédier à ses limites et de piloter le flux par la demande réelle des clients, et non pas par les prévisions. Cette gestion basée sur la demande commence par l'implantation des Buffers de protection dans les points stratégiques du réseau de distribution, et ensuite tirer le flux entre ces Buffers dimensionnés et ajustés suivant la situation de la demande. Le modèle est intitulé « DRP piloté par la demande » (DDDRP).

Objectifs de la recherche

Pour répondre à cette problématique, la thèse comporte un ensemble d'objectifs présentés dans la figure 0.1.

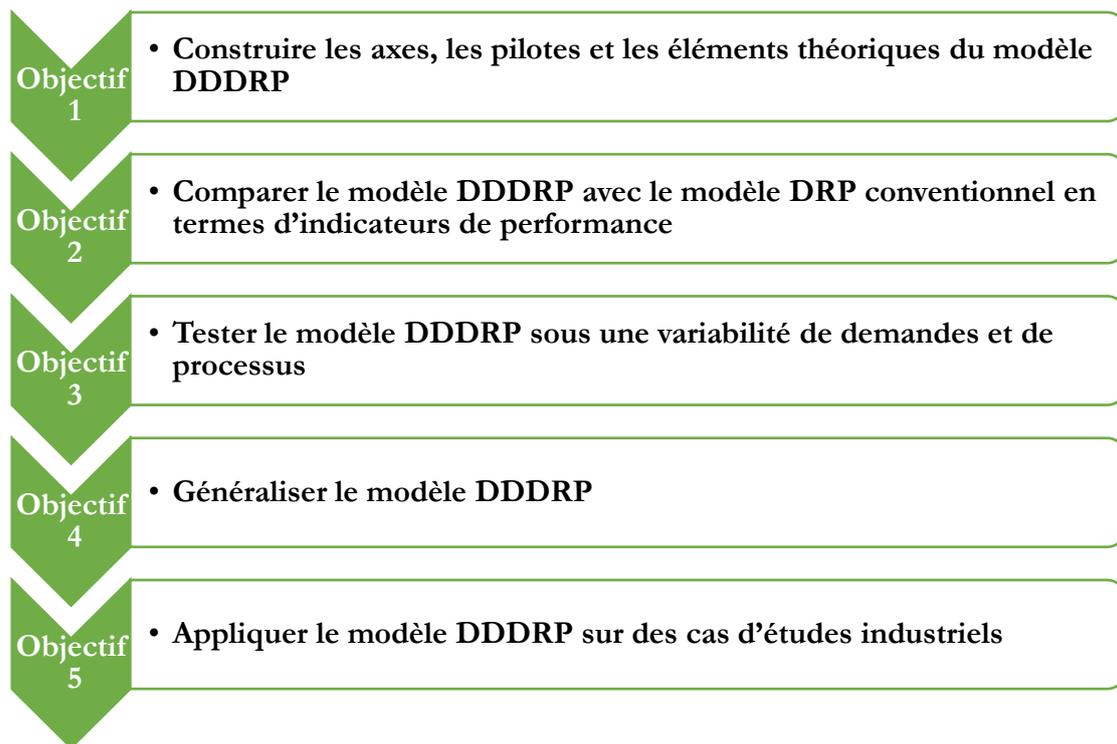


Figure 0. 1. Les objectifs de la thèse

Relativement au 1^{er} objectif, la construction des axes du modèle exige la consultation de la littérature qui étudie les approches utilisant le positionnement des Buffers comme outil pour la gestion des flux dans la distribution. Les travaux montrent que les concepts de « Lean Distribution » et de la « Théorie des Contraintes » sont des outils de flux tiré entre les points

stratégiques dans le processus de distribution. Ces points stratégiques sont généralement des ressources faibles dans la chaîne de distribution, où il est nécessaire de prévoir une protection. A cet égard, le modèle DDDRP reposera sur trois axes principaux qui sont DRP, Lean Distribution et la Théorie des Contraintes. L'adoption de ces axes mène ainsi à la construction des phases du modèle et de ses éléments théoriques. Le modèle DDDRP comprend cinq grandes phases :

- Positionnement des Buffers
- Dimensionnement des Buffers
- Ajustement des Buffers
- Planification basée sur la demande
- Exécution visible et collaborative

Le 2^{ème} objectif consiste à comparer le modèle DDDRP avec le modèle DRP conventionnel. En effet, l'objectif de cette comparaison est de tester les deux modèles au regard de la demande variable. Elle est menée à l'aide d'une simulation à événements discrets pour calculer les indicateurs clés de performance liés aux frais de stockage et au taux de service. Ce calcul permet d'analyser les forces et les faiblesses du modèle DDDRP (objectif 3).

En ce qui concerne l'objectif 4, la généralisation du modèle consiste à formuler mathématiquement ses phases et à les optimiser. Premièrement, la formulation du problème de positionnement consiste à mettre un modèle mathématique qui détermine les positions stratégiques garantissant la minimisation d'une fonction objective relative aux frais globaux de stockage. Deuxièmement, une approche d'optimisation du dimensionnement et d'ajustement des Buffers sera proposée. Il s'agit d'une approche itérative qui consiste à améliorer les paramètres relatifs aux tailles des Buffers en utilisant un outil d'optimisation. Cette optimisation est développée sur la base d'une fonction objective qui réduit les coûts de stockage et les pénalités dues aux mauvais taux de service. Finalement, la généralisation s'étend également à la phase de planification basée sur la demande. Un logigramme qui généralise ce processus est détaillé sous forme d'un algorithme qui fournit des instructions pour la mise en œuvre et l'implémentation de cette phase.

Structure de la thèse :

Pour structurer les travaux qui répondent à ces objectifs, la thèse s'organise sous forme de quatre chapitres. Le 1^{er} chapitre illustre le contexte et la problématique en décrivant le maillon de la distribution dans la SC, les méthodes de gestion de flux et le problème du Coup de Fouet.

Le 2^{ème} chapitre se focalise sur la construction du modèle DDDRP par la détermination de ses axes principaux, ses phases, ses pilotes et ses éléments théoriques. Le 3^{ème} chapitre concerne l'implémentation du modèle sur un cas d'étude et la comparaison avec le modèle DRP conventionnel. Les scénarios de la demande sont modélisés sous le logiciel ARENA SOFTWARE afin de calculer les indicateurs de performance pour chaque modèle. Le dernier chapitre porte sur la généralisation du modèle DDDRP en proposant des modèles mathématiques d'optimisation de ses phases. Il propose également une application industrielle pour valider les modélisations mathématiques proposées et étudier l'aspect stochastique du processus de distribution.

Chapitre I

Logistique aval et problématiques liées à la distribution

Chapitre I : Logistique aval et problématiques liées à la distribution

Introduction

Ce chapitre détaille les concepts clés de notre étude, dans l'objectif de converger vers la problématique de cette thèse. Il se divise en trois parties : la première partie consiste à étudier le concept du Supply Chain Management, elle traite son émergence historique depuis l'apparition des concepts de la logistique et de la chaîne logistique, et se focalise sur ses maillons, ses flux et ses niveaux de décision. La deuxième partie définit le maillon de distribution en présentant les enjeux de la logistique aval et les politiques de gestion de flux dans les réseaux de distribution. La troisième partie de ce chapitre met en contexte la problématique et traite l'Effet du Coup de Fouet dans le maillon de la distribution, son origine, ses causes et les solutions pour y remédier.

I.1. De la logistique au Supply Chain Management

I.1.1. Concept de la logistique

I.1.1.1. Historique et définitions

Le mot « logistique » apparaît au XVIII^e siècle, lorsque les problèmes de soutien à la stratégie militaire (réapprovisionnement en armes, munitions, vivres, chevaux, uniformes, chaussures...) ne sont plus négligés. Ce terme s'est ensuite répandu, dans le milieu industriel pour évoquer principalement la manutention et le transport des marchandises.

Jusqu'aux années 70, la logistique n'avait que peu d'importance dans la gestion des entreprises, considérée comme une fonction secondaire, limitée aux tâches d'exécution dans des entrepôts et sur les quais d'expédition. Ensuite, la logistique est comprise comme un lien opérationnel entre les différentes activités de l'entreprise, assurant la cohérence et la fiabilité des flux-matière, en vue d'assurer la qualité du service aux clients tout en permettant l'optimisation des ressources et la réduction des coûts. La logistique devient, au milieu des années 90, une fonction globalisée voire mondialisée de gestion du flux physique dans une vision complète de la chaîne du client du client au fournisseur du fournisseur, et constitue une nouvelle discipline du management des entreprises. Les différentes définitions de la logistique prennent un certain nombre d'idées communes et sont regroupées dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1. Définitions de la logistique

| Source | Définition |
|--|--|
| American Marketing Association, (1948) | « Mouvement et manutention de marchandises du point de production au point de consommation ou d'utilisation ». |
| National Council of Physical Distribution Management, (1962) | « Terme employé dans l'industrie et le commerce pour décrire le vaste spectre d'activités nécessaires pour obtenir un mouvement efficace de produits finis depuis la sortie des chaînes de fabrication jusqu'au consommateur, et qui dans quelques cas inclut le mouvement des matières premières depuis leurs fournisseurs jusqu'au début des chaînes de fabrication ». |
| Magee, (1968) | « Technique de contrôle et de gestion des flux des matières et de produits depuis leur source d'approvisionnement jusqu'à leur point de consommation ». |
| National Council of Physical Distribution Management, (1972) | « Terme décrivant l'intégration de deux (ou plus) activités dans le but de planifier, mettre en œuvre et contrôler un flux efficace de matières premières, produits semi finis et produits finis, de leur point d'origine au point de consommation ». |
| Association Française de la Logistique, (1972) | « Ensemble des activités ayant pour but la mise en place, au moindre coût, d'une quantité de produit, à l'endroit et au moment où une demande existe ». |
| Norme AFNOR X50-600, (1991) | « Une fonction, dont la finalité est la satisfaction des besoins exprimés et latents ». |
| Pons et Chevalier, (1993) | « La gestion des flux physiques et d'informations qui s'y rapportent en partant de la demande du client pour remonter au fournisseur de matières premières, en passant par l'organisation des expéditions, la gestion des stocks, l'ordonnancement des approvisionnements ». |
| Ratliff et Nulty, (1997) | « Une collection d'activités relatives à l'acquisition, le mouvement, le stockage et la livraison des pièces et marchandises dans une chaîne logistique. La logistique inclut les fonctions de transport, de distribution, d'entreposage, de management de matière et de stock. Elle est liée avec la fabrication et le marketing ». |
| Jokar et al., (2002) | « L'ensemble des fonctions de planification, d'exécution et de contrôle des flux des marchandises et des informations pour l'acquisition, le stockage, le déplacement et la livraison des marchandises tout en coopérant avec les autres membres de la chaîne afin d'atteindre les |

| | |
|-------------------------|---|
| | objectifs attendus, en particulier la diminution du temps de réponse au marché ». |
| Fulconis et al., (2009) | « Démarche transversale planifiant, mettant en œuvre et contrôlant des flux physiques et informationnels du point de consommation jusqu'au point d'origine ». |

A la lumière de ces définitions, la logistique est un ensemble d'activités dont le périmètre varie d'une définition à l'autre. En l'absence d'une définition partagée, le terme « logistique » prête souvent à confusion.

I.1.1.2. Flux et types de la logistique

Le flux logistique désigne l'ensemble des processus par lesquels passent un produit, de sa fabrication à sa commercialisation, incluant le transport, le stockage et la distribution. Ce concept a un rôle clé dans le fonctionnement d'une entreprise et dans sa performance logistique. En effet, la capacité de répondre aux besoins des clients dans les conditions prévues dépend de la bonne gestion du flux logistique.

Dans la littérature, on trouve une différenciation entre les flux physiques, humains, d'informations et financiers. Ils sont définis dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2. Types des flux dans la logistique

| Type de flux | Auteurs | Définitions |
|--------------------|---------------------------|---|
| Flux physique | Biteau et Biteau, (2003) | Un déplacement, dans le temps et dans l'espace, de matériels, depuis la réception des matières premières ou composants, jusqu'à l'arrivée chez le client. Ces matériels subissent des transformations et doivent répondre à des attentes extérieures. |
| Flux financier | Roche, (1990) | Appelés « cash-flows », ces flux sont créés en harmonie avec les différentes activités que subissent les flux physiques telles que la production, le transport, le stockage ou le recyclage. Ils sont toujours en contrepartie des flux physiques. |
| Flux d'information | Fawcett et Magnan, (2001) | L'ensemble des transferts ou échanges de données entre les différents acteurs de la chaîne logistique, afin que ces derniers puissent répondre aux besoins exprimés par la commande du client final. |
| Flux humain | Delfamn et al., (2010) | Le flux humain est appréhendé du point de vue technique où les gens opèrent dans tout type d'activités logistiques, telles que celles |

| | | |
|--|--|--|
| | | du ramassage, opérateurs des chariots élévateurs, chauffeurs de camion, etc. |
|--|--|--|

Les flux logistiques sont directement liés à la performance organisationnelle d'une entreprise. On distingue ainsi deux grandes familles de flux logistiques, la première regroupant les flux internes et la seconde les flux externes :

- **Les flux internes :** Aussi appelés flux de production, ils désignent l'ensemble des mouvements liés aux composants et aux différents matériaux requis dans le réseau de production (approvisionnement). Cela comprend les processus de transformation, de fabrication, de manutention, de stockage et de transport des matières premières.
- **Les flux externes :** Il en existe deux sous types : le flux d'approvisionnement et le flux de distribution. Le flux d'approvisionnement concerne la circulation de matériaux et de consommables du fournisseur jusqu'à l'entrepôt. Le flux de distribution, en revanche, concerne la circulation des produits finis ou semi-finis de l'entrepôt vers le client final.

D'autre part, les flux logistiques peuvent prendre différentes formes selon les méthodes de planification choisies dans le processus. On distingue quatre types de flux logistiques :

- **Les flux poussés :** Une méthode de production basée sur les prévisions de la demande afin d'améliorer l'efficacité de la gestion logistique de l'entreprise. La production est stockée dans l'attente d'une demande.
- **Les flux tirés :** Une méthode de production qui repose essentiellement sur la logique de la demande. L'expédition ou la production est déclenchée seulement sur commande ou demande du client afin de réduire le plus possible les coûts de stockage.
- **Les flux tendus :** Une méthode combinant « flux poussés » et « flux tirés » et dont la finalité est d'avoir le moins de produits stockés en entrepôt (pour réduire les coûts).
- **Les flux synchrones :** La logistique d'approvisionnement obéit à la logique des procédés de production. Les composants sont acheminés au moment même où ils sont utilisés dans le processus de production.

Pour optimiser les flux logistiques dans ses différentes formes, chaque entreprise adopte des stratégies globales. A partir de ces dernières, une classification se met en place :

- **La logistique environnementale :** Aussi appelée logistique verte ou logistique durable, elle garantit la réalisation d'activités durables et la réduction de l'impact sur l'environnement.

- **La logistique intégrée** : Elle coordonne toutes les activités et les départements d'une entreprise pour optimiser la livraison des commandes.
- **La logistique 4.0** : Il s'agit de l'engagement à automatiser et à digitaliser toutes les opérations logistiques. Le concept de logistique 4.0 n'inclut pas seulement les systèmes de stockage automatiques mais encourage également la gestion robotisée des entrepôts par l'interconnexion, la digitalisation des informations.

I.1.2. Concept de Supply Chain

I.1.2.1. Définitions et historique de la chaîne logistique

De 1950 à 1970, les entreprises produisent principalement sur stock. Cette production de masse a pour objectif principal la minimisation des coûts de production. Mais ce mode de production a présenté des inconvénients relatifs aux manques de développement et d'industrialisation de nouveaux produits, ainsi que le stockage excessif devant les poste « goulots », induisant des immobilisations financières (Tan et al., 2001). Dans la période 1970-1980, les managers prennent conscience des coûts induits par les stocks, lors de l'introduction du Materials Requirements Planning (MRP). L'économie est donc basée sur la demande (Les entreprises produisent à la commande). Durant les années 1980, les grands groupes proposent des produits de bonne qualité à prix bas suite aux exigences de performance financière, combinés aux progrès technologiques (TIC, nouveaux procédés...). Parallèlement, des consultants et experts sur la gestion logistique disséminent les concepts de matériels management et de Distribution Ressources Planning (DRP), une étape supplémentaire pour définir les fonctions transport et distribution physique de la chaîne logistique (SC) (Lambert et al., 2000).

La SC est définie comme un « réseau d'entreprises liées entre elles par des échanges de produits, de services et d'informations en vue de répondre à la demande d'un consommateur final » (Aman et al., 2021). La SC recouvre l'ensemble des mécanismes permettant de fournir des produits ou des services au bon moment, avec les bonnes quantités et au bon endroit :

- Elle traite l'ensemble d'infrastructures, de flux physiques et de l'information nécessaires à la mise à disposition de ces produits-services, depuis la matière première jusqu'au client final ;
- Elle inclut les processus d'achats-approvisionnements, de production et de distribution, et doit opérer de façon entièrement intégrée avec les ventes, le marketing et le développement de nouveaux produits.

Il existe une multitude de définitions de la SC. Cependant, il n'y a pas de définition universelle de ce concept. Le tableau 1.3 recense quelques-unes des définitions rencontrées dans la littérature.

Tableau 1.3. Définitions de la SC

| | |
|--------------------------------|--|
| Institute of Logistics, (1919) | « Une séquence d'événements pour satisfaire les clients. Elle peut contenir les activités d'approvisionnement, production, distribution et gestion des déchets, avec le transport associé, stockage et technologie informatique ». |
| Christopher, (1992) | « La SC peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client ». |
| Lee et Billington, (1993) | « La SC est un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client ». |
| La Londe et Masters, (1994) | « Une SC est un ensemble d'entreprises qui se transmettent des matières. En règle générale, plusieurs acteurs indépendants participent à la fabrication d'un produit et à son acheminement jusqu'à l'utilisateur final - producteurs de matières premières et de composants, assembleurs, grossistes, distributeurs et transporteurs sont tous membres de la SC ». |
| Ganeshan et al., (1995) | « Une SC est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre ». |
| Tayur et al., (1999) | « Un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens ». |
| Tsay et al., (1999) | « Un ensemble de deux ou plusieurs entreprises liées par des flux de marchandises, d'informations et financiers ». |

| | |
|------------------------------------|--|
| Ballou et al., (2000) | « Se réfère à toutes les activités liées à la transformation et la circulation des biens et des services, y compris leurs flux d'informations, à partir des sources de matières premières jusqu'aux utilisateurs finaux ». |
| Stadlter et Kilger, (2000) | « Une SC est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physiques, informationnel et financier. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis, des prestataires de service logistique et même le client final lui-même ». |
| Mentzer et al., (2001) | « Une SC est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client ». |
| Rota-Franz et al., (2001) | « La SC d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime ». |
| Génin, (2003) | « Une SC est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre ». |
| Lummus et Vokurka, (2004) | « Toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matière première et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités ». |
| Ageron et Spalanzani, (2010) | « Réseau d'entreprises liées par des processus ». |
| Rouse et al., (2016) | « La surveillance des matériaux, des informations et des finances au fur et à mesure qu'ils passent par fournisseur, fabricant, grossiste et détaillant » |
| J Van Engeland et al., (2018) | « Le rôle de la SC dans les retours de produits est la réduction à la source, le recyclage, la substitution de matière, la réutilisation de la matière, l'élimination des déchets et la remise à neuf, la réparation et la fabrication » |

Une SC correspond à tous les maillons impliqués dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matière première et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités. A partir de toutes ces définitions, nous considérerons que :

- Une SC se rapporte généralement à un produit fini ou à une famille de produits finis donnés.
- Elle fait intervenir plusieurs entreprises.
- Ces entreprises sont liées entre elles par quatre flux : le flux d'information, le flux physique, le flux financier et le flux humain.
- Chacune des entreprises partenaires assure les fonctions d'approvisionnement, de transformation / production, de distribution et de vente. Ce sont les quatre processus clés que l'on rencontre dans toute entreprise.
- Une entreprise est potentiellement impliquée dans plusieurs SCs.

Une SC est souvent représentée comme une chaîne reliant le fournisseur du fournisseur au client du client (Figure 1.1).

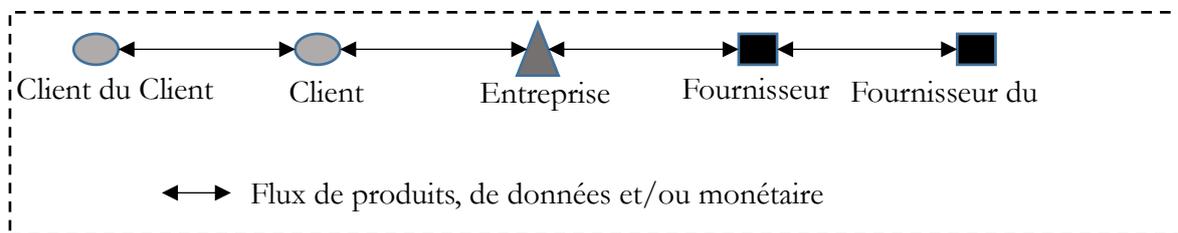


Figure 1.1. Supply Chain Simple

En réalité, les SCs sont constituées d'un réseau complexe d'organisations dont la figure 1.2 reste une illustration simplifiée.

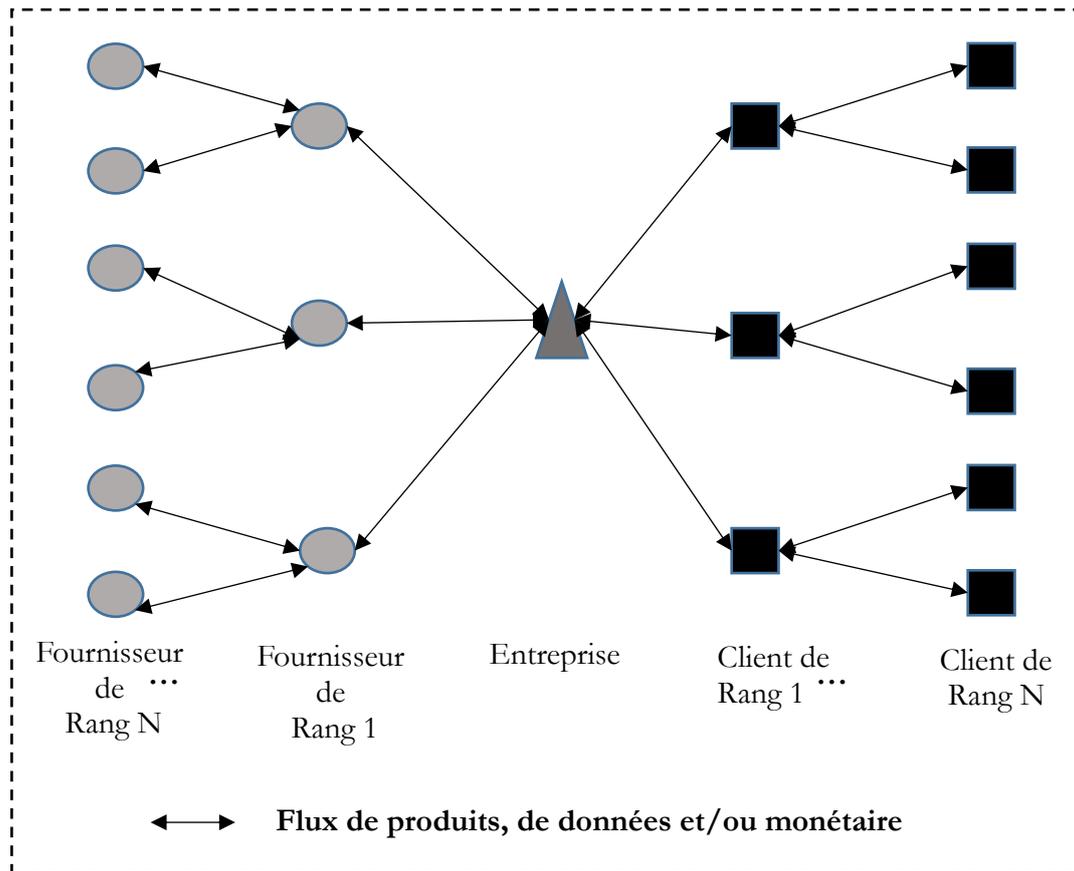


Figure 1.2. Supply Chain à plusieurs rangs

La SC est un modèle séquentiel d'activités organisé autour d'un réseau d'entreprises dont le but est de mettre un produit ou un service à la disposition du client dans des conditions optimales en termes de quantité, date, lieu... Ce réseau regroupe des organisations à l'amont et à l'aval du processus productif. Elles partagent un objectif commun, celui de s'engager dans un processus de création de valeur représenté par le produit ou le service livré au consommateur.

I.1.2.2. Maillons et types de Supply Chain

Différents maillons de la SC sont distingués en fonction du stade auquel se trouvent les produits. En effet, quatre maillons de base font partie de la SC qui sont le maillon des approvisionnements, de la production, de la distribution et celui de la logistique inverse.

- Le maillon des approvisionnements est la gestion des approvisionnements nécessaires à la vente et à la fabrication des produits finis, des produits semi-finis et des matières premières. Il existe trois méthodes de gestion des approvisionnements :
 - **Just-in-time** : la marchandise requise est livrée au moment où elle est nécessaire pour terminer le processus de production, et non avant.

- **Synchrone à la production** : l'approvisionnement est planifié afin d'anticiper les besoins de production.
- **Approvisionnement pour stockage** : il correspond au niveau de stock supplémentaire détenu par un entrepôt pour faire face aux aléas liés à des modifications de la demande ou à des retards de livraison des fournisseurs.

Pour avoir une logistique des approvisionnements efficace, il est essentiel de prendre en compte un ensemble de facteurs, comme la sélection des fournisseurs, les quantités de stock optimales et la fréquence d'approvisionnement.

- Le maillon de production couvre et optimise tous les processus logistiques qui interviennent entre l'achat des matières premières et la fabrication du produit. La production peut prendre deux modes :
 - **La fabrication sur commande** : Le produit est fabriqué une fois que la commande du client est validée.
 - **Assemblage à la commande** : Assemblage final réalisé, après réception d'une commande, à partir des ensembles ou modules déjà fabriqués et des pièces disponibles en stock.
 - **La fabrication pour le stock** : les produits sont fabriqués à l'avance, puis stockés dans l'entrepôt. Le département commercial vend uniquement le stock disponible.

La fonction principale de la logistique de production est de réduire le lead time de la production, c'est-à-dire le temps passé entre la génération d'une commande et l'obtention du produit fini.

- Le maillon de distribution vise à assurer l'acheminement rapide et efficace d'un produit pour qu'il parvienne au client dans les délais et quantités convenus tout en étant fonctionnel et à bon prix.

La logistique de distribution peut être :

- **Directe** : le fabricant se charge de distribuer directement le produit aux consommateurs finaux.
- **Indirecte** : le produit passe par un intermédiaire (grossiste ou détaillant) se chargeant de la vente au consommateur final.

Le maillon de distribution intervient après celui de la production. On y prévoit le transport, le stockage, la préparation de la commande et la livraison au client.

- Le maillon de la logistique inverse désigne l'ensemble des processus destinés à la gestion des remboursements et des retours des produits. On y distingue :
 - **La logistique des retours** : elle permet de traiter les commandes retournées aux centres de distribution.
 - **La logistique des déchets** : elle concerne le recyclage, le traitement et la valorisation des déchets afin d'en tirer profit ou de les éliminer pour éviter de nuire à l'environnement.

I.1.3. Concept de Supply Chain Management

I.1.3.1. Définitions et historique

Le Supply Chain Management (SCM) a été introduit au début des années 80. Depuis le début des années 90, les académiciens ont essayé de focaliser leurs travaux sur l'étude et l'analyse du SCM. Les premiers travaux ont été menés par Christopher et al., (1992). Ils considèrent que le SCM s'inscrit dans la continuité d'une logistique stratégique intégrative à laquelle le SCM emprunte de nombreux éléments. Ils mettent l'accent sur l'évolution des structures organisationnelles tant en interne qu'en externe. Les entreprises doivent ainsi passer d'un système structuré en fonctions à une logique en termes de processus, d'une notion de profit à une notion de performance, d'une gestion des produits à une gestion des clients, d'une logique verticale à une logique virtuelle (Christopher et al., 1994).

Le tableau 1.4 regroupe les définitions les plus importantes adoptées par les auteurs concernant le SCM.

Tableau 1.4. Définitions du SCM

| | |
|---------------------------|---|
| Helmick et al., (2000) | « Un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs et les distributeurs, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée à la bonne quantité, au bon endroit et au bon moment dans le but de minimiser les coûts et d'assurer le niveau de service requis par le client ». |
| Spalanzani, (2003) | « La gestion des flux physiques et d'information du client au fournisseur, afin d'offrir une réponse la plus satisfaisante possible aux besoins des clients ». |
| Keutgen, (2005) | « Met en œuvre un ensemble de méthodes pour mettre à la disposition du client la marchandise qu'il attend, au moindre coût, dans les délais, états et quantités demandés ». |

| | |
|--|---|
| Lièvre, (2006) | « Une technologie de rationalisation d'une organisation en vue de son pilotage. Cette organisation fait l'objet d'une modélisation quant aux processus qui sont capables de rendre compte des interactions entre des flux d'informations et des flux des matières. La modélisation est orientée par le projet du logisticien vis-à-vis de l'organisation et prend comme base les processus d'action des acteurs en situation effective ». |
| Fabbe-Costes et Lancini, (2009) | « Philosophie managériale transverse et intégrative, basée sur une perspective de pilotage par l'aval et par la valeur ». |
| Council of Supply Chain Management Professionals, (2010) | « La planification et le management de toutes les activités relevant de la recherche de fournisseurs, de l'approvisionnement, de la transformation et toutes les activités du management logistique. Il inclut aussi la coordination et la coopération avec les partenaires de la chaîne qui peuvent être les fournisseurs, les intermédiaires, les prestataires de services logistiques et les clients. Par essence, le SCM intègre le management de l'offre et de la demande dans et entre les entreprises ». |
| Gaumand et al., (2010) | « Un réseau complexe, orienté de plus en plus vers la demande du client final. Elle implique l'entreprise et ses réseaux pour concevoir et acheminer efficacement les produits ou services aux clients finaux, ces derniers faisant parfois partie intégrante de la SC ». |
| Stanley E. Fawcett et al., (2014) | « Un cadre directeur pour la conception et la mise en œuvre d'une SC intégrée permettant aux managers de participer à la vision et la mise en œuvre des réseaux de SC de classe mondiale » |

Une définition complète du SCM est proposée par Mentzer et al., (2001). Les auteurs définissent le SCM comme : « la coordination systémique, stratégique, des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre des partenaires au sein de la SC, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne » (Mentzer et al., 2001).

Récemment, le SCM est impacté sévèrement par la pandémie de Covid-19. Ses perturbations ont été propagées à travers tous les maillons de la SC (de Sousa Jabbour et al., 2020). La pandémie de Covid-19 a perturbé également l'offre et la demande, ce qui a influencé toutes les parties de la logistique (Queiroz et al., 2020), (Mishra et al., 2021), (Sharma et Kumar, 2021).

Pour analyser les différents problèmes causés par Covid-19, la littérature explore différents aspects, tels que les stratégies de reprise de la production (Paul & Chowdhury, 2020), l'effet d'entraînement (Ivanov et Das, 2020), les systèmes d'aide à la décision pour gérer la demande

(Govindan et al., 2020), l'effet de Covid-19 sur la SC indienne (Agrawal et al., 2020). Cependant, aucun des travaux n'a étudié les défis du SCM auxquels les entreprises sont confrontées, ni la manière dont ces défis s'influencent mutuellement.

I.1.3.2. Niveaux de décision dans le SCM

Afin de réduire la difficulté de la prise de décisions, ces derniers sont souvent prises en trois étapes successives caractérisées par l'horizon sur lequel les décisions s'appliquent :

- *Les décisions stratégiques* qui concernent la politique générale de l'entreprise à long terme (horizon de plus de deux ans, en général). A partir de l'analyse de la tendance du marché, de la prévision, de l'évolution des technologies et de l'analyse de la concurrence. Les décisions stratégiques cherchent à faire évoluer l'ensemble des produits et à ajuster le mode d'organisation et la capacité de la production aux besoins du marché. Les décisions stratégiques se traduisent par :

- Investissement en équipements, recrutement et formation du personnel ;
- Arrêt de fabrication de certains produits ;
- Lancement en fabrication de nouveaux produits ;
- Conception de nouveaux produits ;
- Adaptation à de nouveaux modes de production, par exemple Juste-A-Temps ;
- Reconfiguration des stratégies ;
- etc.

- *Les décisions tactiques* qui correspondent à un ensemble de décisions à moyen terme (horizon variant entre 3 mois et 2 ans, en général). La capacité de production a été fixée par le niveau supérieur (décisions stratégiques). A partir du carnet de commandes fermes des clients et de la prévision des demandes, les décisions tactiques définissent un plan de fabrication. Elles se traduisent par un calendrier de production (programme de production).

- *Les décisions opérationnelles* qui contrôlent le déroulement quotidien du processus de production dans le respect des décisions tactiques. Les décisions opérationnelles assurent le suivi de l'ordonnancement des opérations sur les machines, l'affectation des opérateurs aux machines, la livraison des produits finis aux clients, etc. Elles tiennent compte de tous les détails du fonctionnement du système de production.

I.2. La logistique de distribution

La gestion du stockage et d'approvisionnement est une clé essentielle pour optimiser le flux dans la logistique aval. Dans cette partie, la logistique de distribution est définie. Ses enjeux et les contraintes associées sont illuminés, ainsi que les politiques de gestion des stocks et d'approvisionnement dans les réseaux de distribution à plusieurs échelons.

I.2.1. Définitions et enjeux

I.2.1.1. Définitions de la logistique de distribution

Essentiellement consacrée à la gestion des flux de marchandises, la finalité de la logistique de distribution est d'accomplir, dans les meilleures conditions économiques et les meilleurs délais, la livraison des commandes clients (Hou et al., 2015). Autrement dit, c'est l'ensemble des pratiques qui permettent une gestion optimisée des commandes clients, allant des entrepôts-fournisseurs (entrepôt d'usine, entrepôt de distribution...) jusqu'au lieux de livraison finaux. Pour ce faire, elle s'intéresse à la fois à la circulation des flux physiques à travers le réseau de distribution (gestion des transports, gestion des stocks...), et à la gestion des infrastructures logistiques qui composent ce réseau (implantations, gestion d'entrepôts...).

Dans l'objectif de faire une gestion optimale, la logistique de distribution est dominée par trois activités essentielles :

- La détermination des réseaux de distribution (ordonnancement des trajets, choix des itinéraires, choix des moyens de transports, choix des infrastructures de transbordement et de stockage...);
- La gestion des flux de transport (colisage, chargement/déchargement des véhicules, organisation des tournées, gestion des transports collectifs, gestion du retour des véhicules et des emballages vides...);
- La gestion des stocks sur l'ensemble du réseau de distribution (interne et externe).

En général, les activités logistiques peuvent être classées en logistique d'approvisionnement, logistique interne et logistique de distribution. Néanmoins, les activités de la logistique de distribution ont lieu une fois que les marchandises quittent une usine de production. La logistique de distribution joue un rôle essentiel car elle représente la composante fonctionnelle de la logistique d'entreprise qui interagit directement avec le client (Figure 1.3).

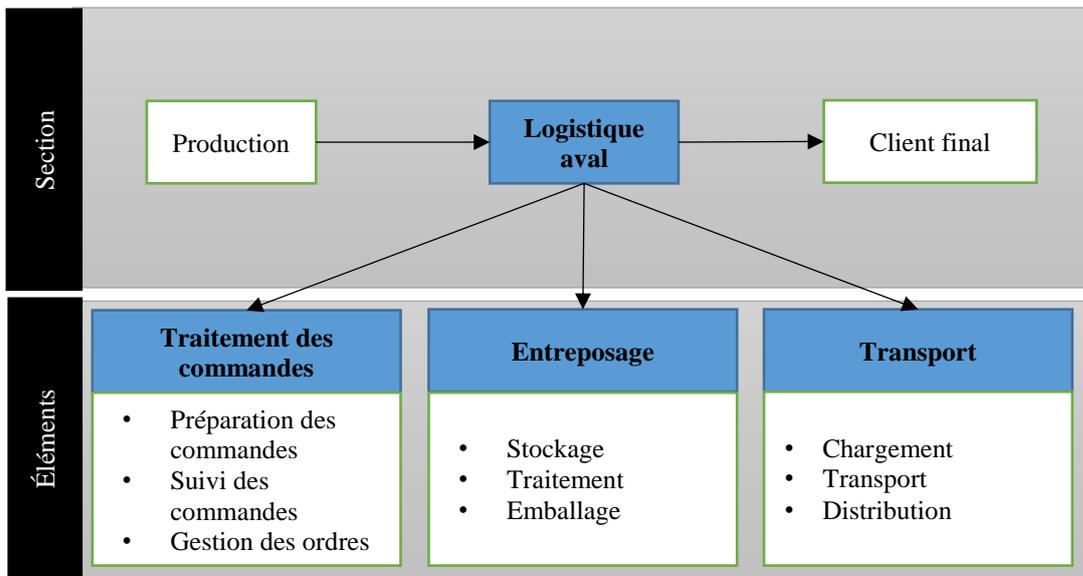


Figure 1.3. Les composants principaux de la logistique de distribution

La gestion globale des flux dans la logistique de distribution se fait principalement au sein des lieux nommés infrastructures logistiques. Ces dernières sont les lieux d'exécution d'une vaste quantité d'opérations, et en particulier la gestion des stocks entrants et sortants. La rapidité du traitement des commandes client, le suivi de l'acheminement, la traçabilité des produits et le contrôle qualité constituent d'autres fonctions. Ceci dans l'intérêt d'améliorer la fluidité des flux logistiques. Les infrastructures logistiques se présentent en plusieurs types et sont décrits dans la partie suivante.

I.2.1.2. Infrastructures logistiques et opérations liées à la distribution

a. Les Infrastructures logistiques

Les infrastructures du réseau logistique représentent l'ensemble des entrepôts, plates-formes logistiques, sites logistiques, usines y compris leurs moyens matériels de manutention et les voies de communication qui les relient les uns aux autres. Elles consistent à organiser la circulation des flux de matières vers les sites/usines de transformation, puis de ces sites/usines vers les lieux de consommation, en empruntant en amont un réseau d'approvisionnement et en aval un réseau de distribution.

Différentes typologies des infrastructures logistiques sont résumées dans le tableau 1.5.

Tableau 1.5. Types des infrastructures logistiques

| Type d'infrastructure | Définitions et particularités |
|---|---|
| Un magasin (Hors magasin de vente) | Lieu de stockage interne à l'entreprise. |
| Un dépôt | Lieu de stockage temporaire ou saisonnier externe à l'entreprise. |
| Un entrepôt | Lieu de stockage externe à l'entreprise, situé entre les usines et les zones de distribution, le plus souvent proche de celle-ci. |
| Une plateforme | Des entrepôts qui en plus des opérations classiques de réception, stockage et livraison ; réalisent des opérations à valeur ajoutée pour supporter la vente (Packing, Labelling, Co-packing, Co-branding ...). |
| Une plateforme industrielle ou Usine logistique | Des entrepôts qui, en plus des opérations classiques de réception, stockage et livraison ; réalisent des opérations à valeur ajoutée pour supporter les usines industrielles (Packing, Labelling, Co-Manufacturing, Kitting ...). |
| Magasin avancé | Des lieux de stockages externes à l'entreprise détenus par le fournisseur, qui livrent en temps réel les lignes de production. |
| Un Hub | Lieu où sont traités des flux, le plus souvent en groupage et dégroupages ; ils reçoivent des camions homogènes et transborde les flux pour charger des camions hétérogènes. |

Un ensemble d'opérations sont achevées au sein de ces infrastructures citées dans le tableau 1.5. Ces opérations concernent la gestion des colis en provenance de plusieurs fournisseurs jusqu'au déchargement et la réexpéditions aux destinataires.

b. Opérations de la logistique de distribution

Le tableau 1.6 résume les opérations et les sous-activités couvertes par la logistique aval.

Tableau 1.6. Opérations liées à la logistique de distribution

| Opérations | Désignations |
|-------------------|---|
| Packing | Désigne normalement l'emballage extérieur ou le conditionnement visible du produit. |
| Packaging | Désigne la prise en compte de la fonction de communication, de vente et de séduction exercée par l'emballage dans le lieu de vente et éventuellement après l'achat. |
| Co-packing | Désigne l'activité de préparation de commande et/ou de conditionnement qui consiste à assembler des produits complémentaires. Exemple : un produit assemblé avec un produit complémentaire. |

| | |
|------------------|--|
| Picking | Désigne un mode de préparation de commande qui consiste à prélever de manière ordonnée, à leur emplacement dans le stock les différents articles de plusieurs commandes (palettes, colis ou unités de vente consommateur). |
| Kitting | Désigne l'activité de préparation de commande et/ou de conditionnement qui consiste à réaliser l'assemblage de composants pour réaliser un seul produit final. |
| Co-Manufacturing | Consiste à emballer des produits livrés "nus" dans des conditions alimentaires. Ils peuvent alors être mis en présentoirs ou dans des conditionnements tels que boîtes métalliques. |
| Co-branding | Consiste à associer plusieurs articles de marques commerciales différentes pour créer un produit unique provisoire ou pérenne. |
| Groupage | Désigne l'action de grouper les marchandises sur le moyen de transport principal. Le groupage des marchandises est effectué par des sociétés spécialisées, appelées "Groupeur". En groupant les marchandises, elles peuvent ainsi obtenir des tarifs dégressifs. |
| Dégroupage | Eclater des lots pour plusieurs destinataires différents. |
| Palettisation | Poser des cartons/caisses sur une palette. Organiser la marchandise par l'utilisation de palette. |
| Conditionnement | Conditionner des éléments, remplir des emballages, ici des produits de la filière agroalimentaire. |
| Manutention | Déplacer manuellement ou mécaniquement les marchandises, en vue de l'emmagasiner, de l'expédition ou de l'étiquetage. |

Le tableau 1.6 résume l'ensemble des opérations présentes dans la chaîne de distribution, permettent de garantir les enjeux résumés dans le tableau 1.6.

I.2.1.3. Enjeux de la logistique aval

Les enjeux de la logistique de distribution sont multiples. Ils sont liés à la gestion des intervenants dans la chaîne de distribution, au choix des bons modes et opérations de transports, au respect du cahier des charges clients, en terme de quantités, qualités et délais convenus. Néanmoins, l'enjeu global reste à optimiser les différents aspects des coûts logistiques et créer la valeur tout au long de la chaîne de distribution. Le tableau 1.7 résume les différents enjeux liés à la logistique de distribution.

Tableau 1.7. Enjeux de la logistique de distribution

| Enjeux | Particularités et définition |
|---|--|
| Multipllicité des intervenants | Organiser la circulation des informations et des produits à travers le réseau de distribution |
| Multi-modalité des opérations de transport | <ul style="list-style-type: none"> • Choisir le bon mode de transport selon la nature et taille des colis ; • Faire le bon choix des emballages, des UTI (Unités de Transport Intermodal) ; • Prévoir que les moyens de manutention adéquats sont disponibles à chaque point de transbordement. |
| Respect des cahiers des charges clients | <ul style="list-style-type: none"> • Livrer les produits en quantité et en qualité demandé, dans les délais impartis ; • Adopter les bonnes pratiques (moins de ruptures des charges, gestion anticipé de certaines formalités administratives, Inter modalité et accélération des temps de transbordement...) |
| Maîtrise des coûts logistiques | <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des parcours ; • Bon choix des prestataires (les prestations achetées doivent correspondre aux besoins) ; • Meilleure combinaison de moyens ; • Meilleur taux de remplissage des véhicules ; • Recours aux stratégies logistiques collaboratives (GPA, GMA, Cross-Docking...) ; • Optimisation des coûts des derniers Kilomètres. |
| Maitrise des risques liés à l'acheminement (risques de transport, manutention et entreposage) | <ul style="list-style-type: none"> • Réduire le nombre de rupture de charge lors de l'acheminement ; • Bien protéger les marchandises et respecter les conditions de transport pour les denrées périssables. |
| Logistique des retours | Organisation de la collecte et le retour des emballages vides |

Tenant compte des enjeux cités dans le tableau 1.7, la notion de la logistique de distribution s'est réinventée ces dernières années. Elle est devenue nettement plus moderne afin de gagner en performance. En effet, la digitalisation touche presque tous les secteurs d'activité de la logistique de distribution. Par conséquent, la plupart des activités sont automatisés, ce qui permet de réduire les durées d'exécution des activités liées à la distribution, surtout pour les tâches répétitives.

I.2.1.4. Contraintes liées à la logistique aval

Pour assurer une distribution optimale, le flux de matière ou d'information doit surmonter quelques défis. Le tableau 1.8 présente les différentes contraintes qu'un logisticien en distribution doit prendre en considération.

Tableau 1.8. Contraintes liées à la distribution

| Types de Contraintes | Nature de contraintes |
|-----------------------------|--|
| Liées aux marchandises | <ul style="list-style-type: none">• Prendre en compte la nature des produits, denrées alimentaires, marchandises périssables, marchandises dangereuses ;• Prendre des dispositions et mesures appropriées afin d'éviter toute forme d'avarie pouvant découler des propriétés même des marchandises. |
| Réglementaires | <ul style="list-style-type: none">• Obligations documentaires liées à la nature des produits à distribuer (licences, certificats d'origine, certificats de circulation...);• Obligations documentaires liés au type d'expédition (documents à produire suivant le mode de transport) ;• Réglementation applicable en cas de litiges. |
| Géographiques | <ul style="list-style-type: none">• Le climat ;• L'environnement interculturel. |
| Techniques | <ul style="list-style-type: none">• Nature d'infrastructures ;• Absence des moyens de manutention adéquats dans les points de transbordement et au lieu de déchargement final peuvent modifier les choix des itinéraires et des moyens logistiques. |

Le tableau 1.8 représente quatre aspects des contraintes logistiques, à la fois réglementaires, géographiques et techniques. Néanmoins, il existe une autre classification de ces contraintes qui se manifeste dans le processus d'élaboration et réalisation du plan de la SC ; qui sont les contraintes de flux et contraintes de stockage.

Ces types de contraintes doivent être déterminés à chaque étape de la SC étendue pour garantir un plan d'approvisionnement optimal et réalisable. Cela conduit à la nécessité de prendre en compte de nombreuses contraintes, notamment :

- Contraintes fournisseurs : liés à la quantité minimale / maximale à commander ;
- Contraintes de stockage :
 - Capacités de stockage ;

- Stocks de sécurité requis ;
- Contraintes de chargement / déchargement : dans toutes les installations, y compris les capacités de réception et d'expédition ;
- Contraintes de transport :
 - Limitations de véhicule par itinéraire ;
 - Limitations de véhicule par article ;
 - Calendriers de transport ;
 - Règles de consolidation de chargement par itinéraire ;
- Contraintes de satisfaction de la demande :
 - Autorisation de commande en souffrance ;
 - Autorisation de fractionnement de commande ;
- Contraintes chronologiques :
 - Contraintes de production ;
 - De flux et de stockage sur une certaine période.

Pour piloter l'ensemble des activités successives dans la logistique de distribution, il est primordial de bien gérer le flux de mouvement de la matière et d'informations dans le réseau de distribution. La partie qui suit aborde les différentes politiques de la gestion des flux en distribution.

I.2.2. Politiques de gestion de flux en distribution

Le stockage et l'approvisionnement sont deux clés essentielles dans la gestion des flux de distribution. En effet, pour les réseaux de distribution multi-échelons, les travaux dans la littérature proposent diverses solutions de gestion de stocks et d'approvisionnement. Ces solutions sont généralement issues de quelques politiques de bases présentées dans le paragraphe suivant.

I.2.2.1. Politiques de base pour la gestion d'approvisionnement et de stocks

Les politiques d'approvisionnement et de stockage désignent l'ensemble des régulations adoptées pour déterminer quand et en quelle quantité il faut commander. En principe de base, trois principaux types de régulation de la situation des stocks et des approvisionnements :

- Gestion par niveau de rechargement (ou gestion calendaire) : Le réapprovisionnement du stock se fait à intervalles réguliers de périodes T . En pratique, cette période est souvent un nombre fixé de jours, de semaines, voire de mois. La quantité commandée

est égale à la différence entre le niveau du stock S appelé le niveau de reapprovisionnement et la position du stock.

- Gestion à point de commande : Le réapprovisionnement du stock est déclenché lorsque la position du stock devient inférieure ou égale à un niveau s appelé le point de commande. Ce type de gestion se rencontre dans les systèmes à stock permanent.
- Gestion conditionnelle : Ce dernier cas de figure utilise les deux techniques précédentes. Le réapprovisionnement du stock est déclenché si au terme d'un temps T , la position du stock devient inférieure ou égale au point de commande s . Ce type de gestion se rencontre dans les systèmes à stock périodique où le coût de commande est relativement important par rapport aux autres coûts.

En se basant sur les cas de gestion cités en haut, quatre stratégies de base sont possibles pour la gestion des stocks. Ces politiques sont reprises dans le tableau 1.9.

Tableau 1.9. Politiques de base de gestion d'approvisionnement

| | | Quantité d'approvisionnement | |
|-------------------------------|------------|------------------------------|----------|
| | | Fixe | Variable |
| Fréquence d'approvisionnement | Périodique | (r, S) | (r, Q) |
| | Continue | (s, S) | (R, Q) |

Q : Quantité de commande, S : Niveau de reapprovisionnement, r : fréquence d'approvisionnement et s (ou R) : point de commande.

- La politique (r, S) déclenche la commande périodiquement même si la différence entre le niveau de reapprovisionnement et la position du stock est très faible.
- La politique de gestion conditionnelle au niveau de reapprovisionnement, notée (r, Q) permet de reapprovisionner périodiquement le niveau du stock pour qu'il atteigne le niveau S , à une quantité Q . Elle permet d'éviter le déclenchement d'une commande de trop petite taille si la demande pendant la période a été très faible.
- La politique à point de commande et quantité fixe de commande, notée (R, Q) , à période variable, la position du stock est égale au point de commande R à chaque déclenchement de commande. Si la position du stock est suffisamment faible au moment du déclenchement d'une commande, il peut être nécessaire de commander plus qu'un lot

afin de ramener la position du stock au-dessus du point de commande R de telle sorte que la position du stock résultant ne dépasse pas le niveau $R + Q$. Pour cette raison, cette politique est parfois notée comme (R, nQ) (avec $n = 1, 2, \dots$).

- En appliquant la politique (s, S) , la position du stock atteint le niveau S à chaque déclenchement de réapprovisionnement du stock. Pour la plupart des systèmes mono-échelon ayant des demandes aléatoires et stationnaires, la politique optimale par rapport à un critère de minimisation des coûts moyens est en effet du type (s, S) . L'inconvénient de la politique (s, S) est la complexité de la procédure de détermination des valeurs optimales de ces paramètres s et S .

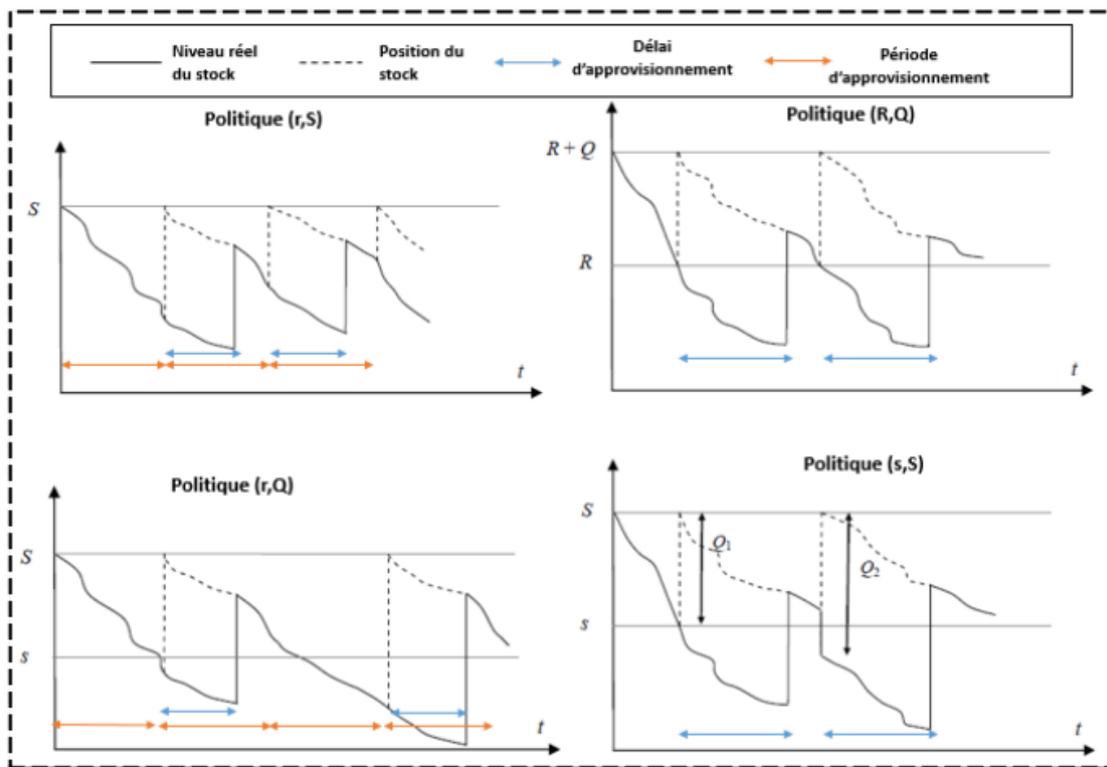


Figure 1.4. Illustration des quatre politiques de base de réapprovisionnement

La figure 1.4 illustre les quatre politiques de base pour la gestion des approvisionnements en introduisant les délais et les périodes d'approvisionnement ainsi que le niveau réel et la position du stock.

I.2.2.2. Politiques évoluées d'approvisionnement et de stocks dans les réseaux de distribution multi-échelons

Le tableau 1.9 présente la littérature, entre 2000 et 2020, qui aborde la gestion des stocks dans les réseaux de distribution multi-échelons. Ces travaux ont pour but d'étudier et optimiser les

modèles de gestion du stock.

N désigne un nombre supérieur à 2.

Tableau 1.10. Les politiques de stockage et d’approvisionnement dans les réseaux de distribution Multi-échelons

| Auteurs | Nombre d'échelons | Nature de l'échelon | | | | | | | | Politique du stockage |
|-------------------------------|-------------------|---------------------|----------|------------|-------|-------------------|--------------|-------------|-------|---|
| | | Usine | Entrepôt | Détaillant | Dépôt | Point de stockage | Distribution | Fournisseur | Autre | |
| Andersson et Marklund, (2000) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R,Q) |
| Wang et al., (2000) | 2 | - | - | - | 1 | N | - | - | - | Politique (one for one) |
| Cachon et Fisher, (2000) | 2 | - | - | N | - | - | - | 1 | - | Politique (Rr, nQr) |
| Axsater, (2000) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R,Q) |
| Axsater, (2001) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R,Q) |
| Andersson et Melchior, (2001) | 4 | 1 | N | N | - | - | N | - | - | Politique (S-1,S) |
| Chen et al., (2002) | 2 | - | - | N | - | - | - | 1 | - | Politique (R,nQ) |
| Moinzadeh, (2002) | 2 | - | - | N | - | - | - | 1 | - | Politique (R,nQ) |
| Tee et Rossetti, (2002) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R,nQ) |
| So et Zheng, (2003) | 2 | - | - | 1 | - | - | - | 1 | - | Politique (Order-up-to) |
| Kalchschmidt et al., (2003) | 1 et 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | (Order-up-to) |
| Axsater, (2003) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R,nQ) avec quantités d'approvisionnement données |
| Minner et al., (2003) | 2 | - | - | - | 1 | N | - | - | - | Politique (Order-up-to) |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|--|
| Mitra et Chatterjee, (2004) | 2 | - | 1 | 2 | - | - | - | - | - | Politique de niveau de rechargement |
| Chiang et Monahan, (2005) | 2 | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | Politique (One-for-one) |
| Routroy et Kodali, (2005) | 3 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | Politique (Q, r) |
| Abdul-Jalbar et al., (2006) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (Single cycle) |
| Caggiano et al., (2006) | 2 | - | 1 | - | - | N | - | - | - | Modèle en temps réel intégré pour les décisions d'allocation des stocks |
| Gallego et al., (2007) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | limites simples, heuristiques et approximation pour les réseaux de distribution sous contrôle local et central |
| Axsater, (2007) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique premier arrivé premier servi |
| Axsater, (2008) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R, Q) |
| Dogru et al., (2009) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Non spécifié |
| Berling et Marklund, (2009) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R,Q) |
| Chao et Zhou, (2009) | N | Etude générale | | | | | | | | Politique (base-stock) |
| Farasyn et al., (2011) | 1, 2 et N | - | N | N | - | - | - | N | - | Le modèle GS (Guaranteed service) |
| Eruguz et al., (2013) | N | Etude générale | | | | | | | | Politique(R, S) |
| Haji et al., (2013) | 2 | - | 2 | - | - | - | - | 1 | , | Politique One-for-one |
| Fattahi et al., (2014) | 2 | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | Politique (s, S) |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|--|---|---|---|---|---|---|---|--|
| Berling et Marklund, (2014) | 2 | - | 1 | N | - | - | - | - | - | Politique (R, nQ) |
| Abouee-Mehrzi et al., (2014) | 2 | 1 | - | - | - | - | N | - | - | Plusieurs politiques dont le premier arrivé, premier servi (FCFS), priorité stricte (SP), et rationnement multiniveau (MR) |
| Alvarez et Van deir Heijden, (2014) | 2 | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Politique (One-for-one) |
| Dogru et Ozen, (2015) | 3 | Un fournisseur central, d'autres entrepôts locaux et de réparation | | | | | | | | Outil de planification de stockage développé pour soutenir le processus d'appel d'offres |
| Chen et al., (2015) | N | Etude générale | | | | | | | | Politique (R,Q) |
| Bertazzi et al., (2016) | 2 | - | - | N | - | - | - | 1 | - | Politique Min–Max exact et heuristiques |
| Ekanayake et al., (2016) | 1 et N | Comparaison entre 1 échelons unique et multi-échelons | | | | | | | | Approche de modélisation stochastique pour les SCs à plusieurs niveaux avec plusieurs articles de stockage |
| Goh et L. Portus, (2016) | N | Etude générale | | | | | | | | Modèle de stockage multi-échelons en série Clark – Scarf dans le cadre de contrats d'achat à court terme |
| Huh et al., (2016) | N | Etude générale | | | | | | | | Politique (Base stock) |
| Johansson et al., (2017) | 2 | Un entrepôt central et N entrepôts locaux | | | | | | | | Politique age-based stock |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|----------------|---|---|---|---|---|---|--|---|
| Shaban et al., (2019) | 5 | 1 | - | 1 | - | - | 1 | 1 | 1 | La formulation d'une nouvelle politique (Is-out) basée sur La politique Order-Up- To |
| Elarbi al., (2020) | 3 | Etude générale | | | | | | | Comparaison de la politique (R,Q) et (s,S) dans une industrie pharmaceutique | |

D'après le tableau 1.10, plusieurs travaux abordent la politique (R, Q) pour gérer les systèmes multi-échelons. Dans ce cadre, les auteurs traitent un réseau à deux échelons comportant un entrepôt et un ensemble de détaillants non identiques où les demandes prennent un aspect déterministe ou stochastique. Ces travaux cherchent des configurations optimales pour la politique (R, Q) pour chaque installation afin d'avoir un bon taux de service. Chen et al., (2015) mènent une étude générale sur un réseau à N échelons pour optimiser les paramètres de la politique (R, Q). La généralisation est élaborée en utilisant l'approche de service garantie (GSA), qui suppose que chaque demande - au-delà d'une limite pré-spécifiée - est satisfaite par l'utilisation des mesures telles que l'augmentation de la cadence et les heures supplémentaires.

D'autre part, SO et Zheng (2003) utilisent une politique du stock nominal avec niveau de recombêtement. En fait, ils étudient une SC simple à deux niveaux pour analyser l'impact des performances du délai de livraison du fournisseur et de la mise à jour de la demande prévue sur les fluctuations des commandes du détaillant dans un réseau régi par la politique (S, s). Dans le même contexte, Kalchschmidt et al., (2003) traitent la conception d'une solution générale pour gérer une demande incertaine et extrêmement variable en proposant une politique intégrée de gestion de stock dans une SC à plusieurs échelons.

Un cas particulier de la politique (S, s) est défini également dans la littérature, il est appelé politique d'approvisionnement un-à-un (one-for-one Replenishment Policy) et désigné par (S-1, s). Elle est adoptée lorsque la demande est constante. Wang et al., (2000), Chiang et Monahan (2005), Haji et al., (2013), Alvarez et Van deir Heijden (2014), Fattahi et al., (2014) testent plusieurs approches visant à améliorer les performances liées au niveau de service dans les réseaux à deux échelons. Tandis que Andersson et Melchior (2001) présentent une heuristique qui aide à trouver des politiques du stock de base qui sont efficaces en termes de coûts, ceci

pour un réseau de distribution à quatre échelons.

En plus des politiques de gestion de flux de distribution citées auparavant, Distribution Resource Planning (DRP) est une méthode proposée dans la littérature pour résoudre les problèmes de distribution, de production et d'achat. La partie suivante développe la logique de la politique DRP, et son processus.

I.2.2.3. Politique DRP

La planification des ressources de distribution (DRP) est une approche de contrôle des stocks et d'approvisionnements dans l'environnement de distribution physique multi-produits et multi-échelons depuis 1970 (Watson et al., 2003). Le but est d'obtenir une visibilité complète des niveaux du stock dans chaque nœud de la SC, afin de répondre à la situation actuelle de la demande. Le DRP est proposé par Whybark (1975) comme une extension de la planification des besoins en matière (MRP), déplaçant la même logique de la production à la distribution.

Dans le livre « Planification des ressources de distribution », André J. Martin (1997) décrit le DRP comme un processus de gestion qui détermine les besoins des emplacements des stocks et garantit que les sources d'approvisionnement peuvent répondre à la demande.

Le DRP reçoit les données d'entrées suivantes :

- Les prévisions de vente par unité de stock et par dépôt ;
- Les commandes clients (portefeuille client) ;
- Les stocks disponibles à la vente par unité de stock et par dépôt ;
- Les ordres d'achat et/ou de fabrication lancés par produit acheté et/ou fabriqué ;
- Les délais d'achat, de production et de distribution ;
- Les modes de transport utilisés et la fréquence des livraisons ;
- Les politiques de stock de sécurité par unité de stock et par dépôt ;
- Les quantités minimales d'achat, de production et de distribution.

Une fois que toutes ces données sont intégrées, DRP génère une simulation des besoins en ressources dans le temps pour supporter la stratégie logistique. Ceci inclut :

- Le besoin en produits, combien, où et à quelle date ;
- Les besoins en capacité de transport par type de véhicule et par dépôt ;
- Les besoins en main d'œuvre, espace et en équipements par dépôt ;
- Les besoins en investissement de stock ;

- Les volumes de production et/ou d'achat nécessaires par produit et par source d'approvisionnement.

La figure 1.5 montre les particularités de DRP résumées dans un diagramme.

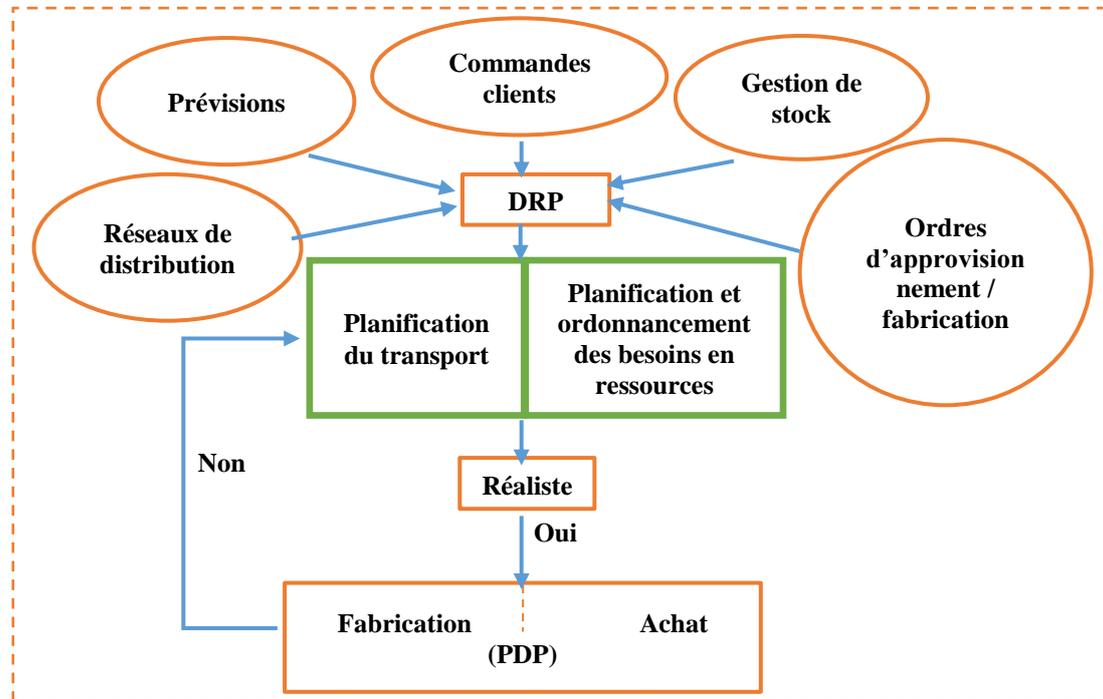


Figure 1.5. Diagramme du Processus du DRP

D'après la figure 1.5, la prévision de la demande est élaborée sur un horizon bien défini en tenant comptes des commandes fermes. Une gestion de stock est nécessaire pour mettre à jour les situations des stocks disponibles tout en prévoyant le stock de sécurité optimal permettant d'éviter les ruptures brusques. Cette mise à jour est la base de la détermination des ordres d'approvisionnement et de fabrication en termes de dates et de quantités. Ensuite, la planification du transport d'une part et des besoins en ressources d'autre part sont élaborés en tenant compte de la capacité propre à l'entreprise à l'aide du programme directeur de production (PDP).

Cependant, DRP fonctionne bien dans le cas d'un unique dépôt que dans le cas d'un réseau multi-niveaux (André J. Martin, 1997). En effet, la complexité de la SC entraîne un phénomène observé en distribution où la commande au fournisseur a tendance à avoir des écarts plus importants par rapport aux ventes à l'acheteur. Cet écart s'amplifie dans les réseaux multi-échelons en allant du détaillant vers le fabricant. Ce phénomène est décrit dans la partie suivante sous le nom de l'effet de coup de fouet.

I.3. Problématique de l'Effet Coup de fouet en distribution

I.3.1. Définition et historique

Dans le SCM, Forrester, (1961) illustre l'effet de l'amplification de petites variations dans la demande des consommateurs finaux lorsqu'on passe du client vers l'usine (Figure 1.6).

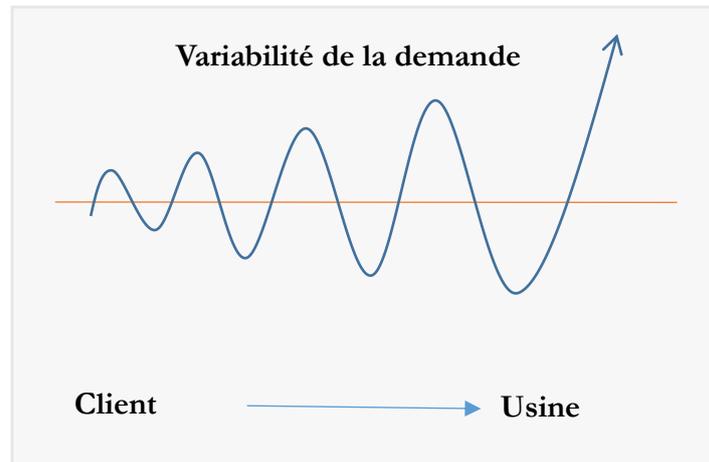


Figure 1.6. Effet Coup de Fouet

La distorsion est éclaircie dans la figure 1.7. Elle montre l'écart entre les ventes d'un produit dans un magasin de détail par rapport aux ordres du détaillant adressés au fabricant, d'après (Lee et al., 2017).

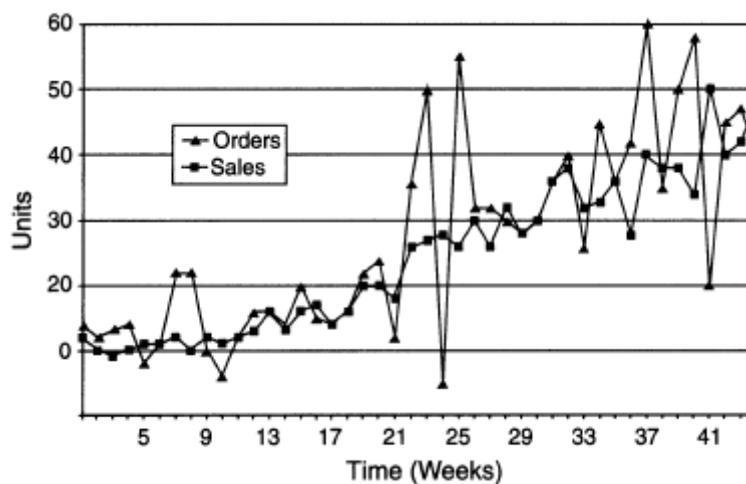


Figure 1.7. Ventes VS Ordres

La figure 1.8 montre quatre cas industriels réels où l'Effet Coup de Fouet - BullWhip Effect (BWE) - est observé dans des SCs. Elle montre l'augmentation de la variation entre la

demande et les quantités de production (ou d'expédition) d'après (Wang et al., 2016). Les différents cas concernent l'industrie des pièces d'automobiles, ventes d'ordinateurs, poudres de lavage et les jus d'oranges frais.

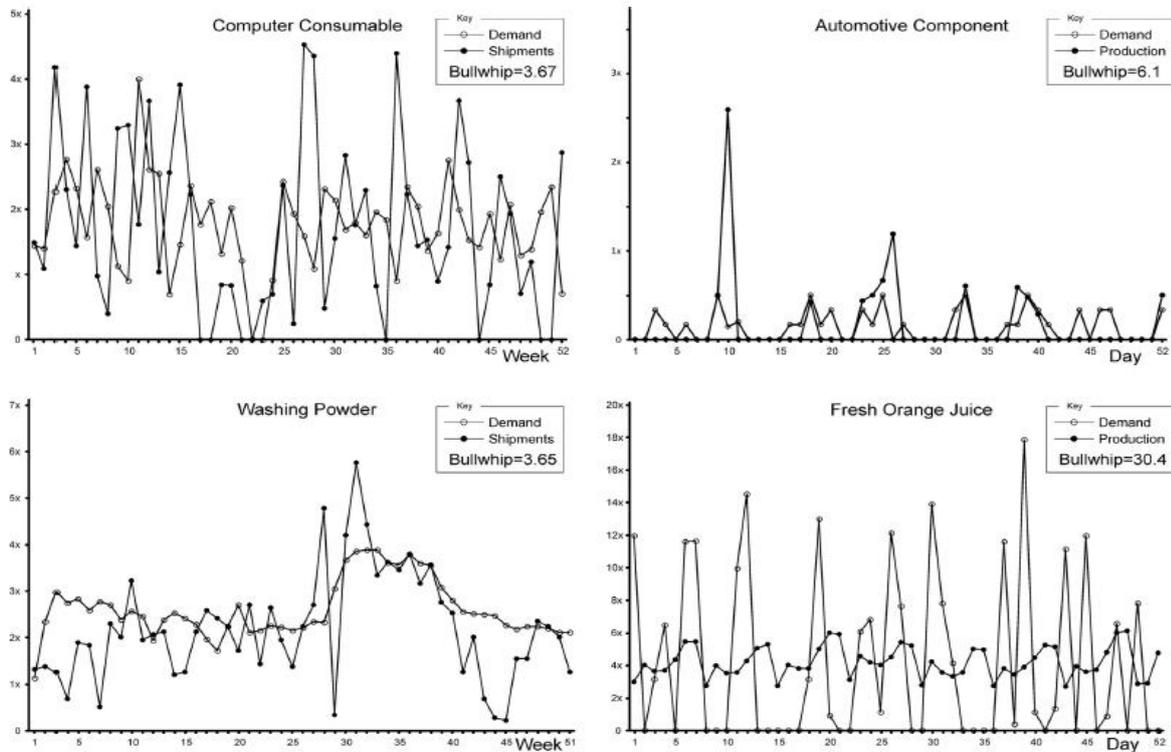


Figure 1.8. Cas réels du BWE

D'après les figures 1.7 et 1.8, l'écart apparaît lorsque les commandes effectuées par l'usine auprès du fournisseur ont tendance à avoir une variance plus grande que les ventes réalisées (C'est-à-dire Distorsion de la demande), et cette distorsion se propage en amont, suivant le flux d'information sous une forme amplifiée (c'est-à-dire Amplification de la variabilité). Cet effet est appelé « Coup de Fouet » (BWE).

Ce phénomène a été reconnu sur de nombreux marchés tels que Procter & Gamble et Wall-Mart (Lee et al., 1997), l'industrie des pâtes (Hammond, 1994), de l'automobile (Taylor, 1999) et de la vente au détail (Lai, 2005). La distorsion des informations sur la demande implique un certain nombre d'effets dans la SC, entraînant de graves conséquences sur les coûts logistiques.

La première étude de cas mettant en évidence le BWE dans la distribution est présentée par Systems Dynamics Group au Massachusetts Institute of Technology (MIT) dans les années 1960 à travers un jeu de simulation appelé « Beer Game » (Figure 1.9).

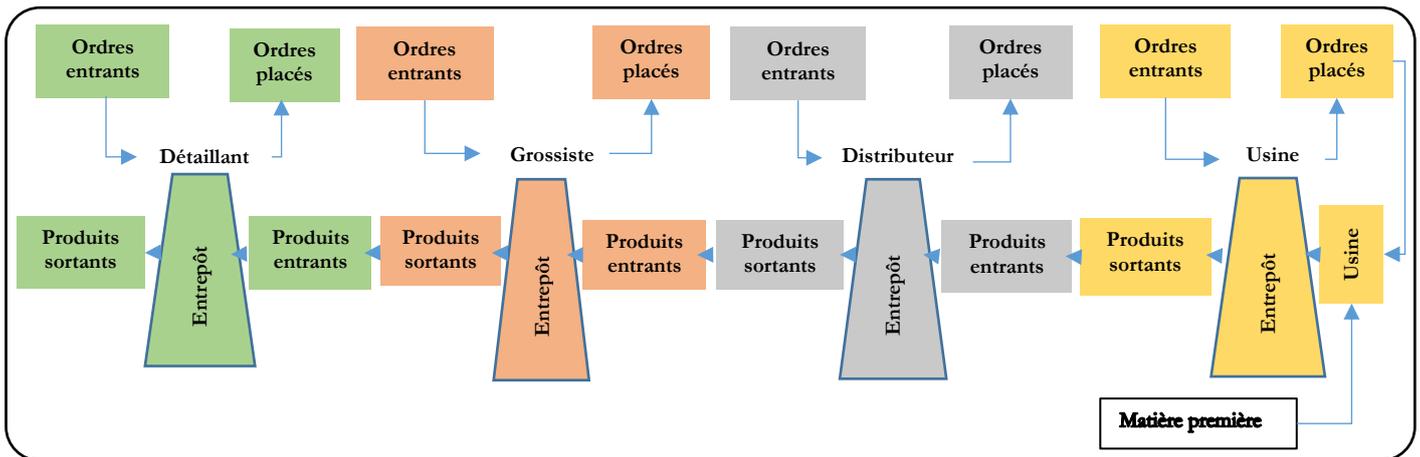


Figure 1.9. Jeu de Bière pour BWE

La figure 1.9 montre le « jeu de Bière ». Elle simule une SC et permet de ressentir l'impact de BWE. Il s'agit de coordonner une SC à quatre acteurs qui sont le fabricant, le distributeur, le grossiste et le détaillant. Chaque acteur est responsable d'un niveau.

Le client final passe une commande chez le détaillant, qui utilise un modèle inconnu pour les autres participants.

Les partenaires en amont de la SC reçoivent les commandes de leurs clients et décident – en se basant sur leur état de stock actuel, des produits en transport qui atteindront leur stock au cours des prochaines périodes et des commandes qu'ils ont reçues - la quantité à commander auprès de leur fournisseur pour réapprovisionnement. Afin d'optimiser le coût de la SC, chaque niveau doit trouver un compromis entre la minimisation des coûts et l'optimisation du stock. L'expérience montre que si on remonte dans la SC, les variations des commandes s'amplifient, ce qui augmente le BWE.

I.3.2. Causes du BWE

De nombreux travaux de la littérature traitent les causes directs et indirects du BWE et analysent ses impacts sur une SC. Le tableau 1.11 résume les différentes causes du BWE mentionnées dans la littérature.

Tableau 1.11. Causes du BWE

| Références | Causes |
|------------------------------|---|
| Lee HL et al., (1997) | Prévision de la demande Commande en lots Fluctuation des prix Manque de transparence L'interaction stratégique de deux membres rationnels du CS |
| Geary S et al., (2006) | Effet Multiplicateur Système de contrôle inadéquat |
| Erkan B et al., (2008) | Manque de Synchronisation |
| Heydari Jafar et al., (2009) | Délai de mise en œuvre |
| Chandra C et al., (2005) | Politique du stockage |
| Jakšič M et al., (2008) | Politique de réapprovisionnement |
| Moyaux T et al., (2007) | Mauvaise perception du feedback Processus de l'entreprise |
| Croson R et al., (2009) | Négliger les délais dans la prise de décisions de commande Peur du stock vide |
| Alony I et al., (2007) | Nombre d'échelons Limites de capacité |
| Skiadas CH (1986) | Manque d'apprentissage et / ou de formation |

Plusieurs causes sont abordées dans le tableau 1.11, ils sont soit opérationnels comme la prévision, la politique de stockage, ou comportementales comme le manque de transparence. La section suivante passe en revue les études de recherche sur quelques causes opérationnelles présentant le maximum d'effet sur l'apparition du BWE.

I.3.2.1. Effet de la prévision

Le choix d'une méthode de prévision a une influence significative sur le BWE. Cela crée une inadéquation des informations sur la demande qui se propage en amont dans la SC. Un grand nombre d'études de recherche sont observées dans ce domaine. Les différentes méthodes de prévision dans la littérature qui existe peuvent être classées selon les types suivants : Modèles de séries chronologiques, Modèles du Machine Learning, Modèles à base d'agents, Modèles d'ingénierie de contrôle.

a. Modèles de Séries Chronologiques

Les diverses approches de modélisation de séries chronologiques utilisées dans la littérature comprennent la moyenne mobile ou « Moving Average » (MA), le lissage exponentiel ou « Exponential smoothing » (ES), l'auto-régression (AR), la moyenne mobile autorégressive « Autoregressive Moving Average » (ARMA). Parmi ces méthodes, les méthodes MA et ES sont les plus utilisées en raison de de leurs robustesses dans le traitement des méthodes non linéaires, de leurs fonctionnalités facile à utiliser et de leurs flexibilités.

Selon Skiadas, (1986), Mahajan et al., (1990), et Islam et Meade (1997), les modèles de séries chronologiques ne fournissent pas de résultats efficaces et satisfaisants pour les prévisions des produits de haute technologie. Chaharsooghi et al., (2008) comparent l'effet de la méthode de prévision ARMA avec ceux des méthodes MA et ES et montrent que l'utilisation d'une méthode de prévision précise ne conduit pas nécessairement à la réduction de BWE.

Lee et al., (1997) utilisent le processus de demande autorégressif de premier ordre AR (1) pour une SC à deux échelons. Chen et al., (2000) utilisent également le processus de demande AR (1) pour une SC à deux échelons et dérivent une limite inférieure de BWE. Hosoda et Disney (2004) examinent le processus de demande AR (1) pour la demande du client final pour une SC à trois échelons et dérivent une expression pour le BWE et la variance nette du stock pour chacun des trois échelons. Chen et al., (2000) utilisent ES pour prévoir la demande de délai de livraison.

Muth (1960), Goodman (1974) et Graves (1999) utilisent le processus MA comme méthode de prévision. Zhang (2004) mesure les différences de BWE pour les méthodes MA et ES utilisées pour mesurer la demande de délai de livraison. Erkan et al., (2004) étudient l'impact de la méthode de prévision ES sur le BWE pour le SCM digitale (E-SCM). Alwan et al., (2003) utilisent la technique de l'erreur quadratique moyenne minimale (MMSE) pour étudier le BWE sous la politique Order-Up-To (OUT). Reiner et Fichtinger (2009) développent un modèle dynamique afin d'évaluer l'amélioration des processus dans une SC selon les différentes méthodes de prévision.

Sima et al., (2007) utilisent le filtre de Kalman pour la prévision et montrent que, dans le cas de $L \leq 2$ (L: délai d'exécution), l'utilisation du filtre de Kalman peut ne pas conduire à BWE. Chen et Disney (2007) examinent le modèle de demande « Auto-Regressive Integrated Moving Average » (ARIMA) et développent une théorie de contrôle discret pour une politique myope OUT. Gaalman et Disney (2006) étudient le BWE sous le processus de demande stochastique

ARIMA (1, 1). Sohn et Lim (2008) analysent l'impact de la méthode de prévision et du partage d'informations sur le BWE en utilisant la technique ANOVA.

b. Modèles du Machine Learning

Les techniques d'apprentissage automatique incluent des techniques telles que le réseau neuronal artificiel (ANN) et l'algorithme génétique. Carbonneau et al., (2008) utilisent différents types de modèles ANN et comparent leur performance à celle des méthodes traditionnelles en termes de leur effet sur le BWE. Ils prouvent que les techniques d'apprentissage automatique donnent de meilleurs résultats que les méthodes traditionnelles.

c. Modèles à base d'agents

Quelques études de recherche se sont basées sur la modélisation à base d'agents. Liang et Huang (2006) utilisent des prévisions à base d'agents avec un algorithme génétique codé réel (RGA) pour montrer la diminution du coût total et une variation de commande plus douce par rapport aux méthodes traditionnelles. Ils comparent les performances d'une SC en termes de variation de commande et de coût total entre les prévisions à base d'agents et celles des méthodes de prévision traditionnelles. Les travaux de Swaminathan et al., (1998), Fu et al., (2000), Kimbrough et al., (2002) et McBurney et al., (2002) appliquent également la prévision à base d'agents. Fu et al., (2000) utilisent la simulation à base d'agents d'un cas d'assemblage des ordinateurs pour gérer le stock dans la SC. Ils mettent un cadre de gestion collaborative des stocks et montrent l'impact de l'incertitude de la demande et des délais sur la variabilité des stocks. Kimbrough et al., (2002) utilisent une simulation de jeu de distribution de bière. Ses résultats montrent l'apparition du BWE lorsque les agents agissent de manière indépendante.

La modélisation à base d'agents montre clairement que le BWE est le résultat d'un manque de coordination entre les membres de la SC. Il peut être réduit ou même éliminé grâce à un contrôle adéquat des activités des agents.

d. Modèles d'ingénierie de contrôle

En plus de la modélisation par séries chronologiques, les techniques d'apprentissage automatique et la modélisation à base d'agents, un autre type d'approche de modélisation utilisé dans la littérature est l'approche d'ingénierie de contrôle.

Dejonckheere et al., (2002) analysent le BWE en utilisant la théorie de l'ingénierie de contrôle sous la prévision ES. Ils effectuent une analyse des fonctions de transfert pour le mode de

passation des commandes et au sein des systèmes de rétroaction de contrôle des stocks.

D'après la classification précédente des méthodes de prévisions, on constate l'influence significative du choix de la méthode de prévision sur BWE. Cela crée une distorsion de l'information sur la demande, qui se propage vers l'aval de la SC.

I.3.2.2. Effet de la politique de stockage et de réapprovisionnement

Un nombre significatif d'études de recherche sur les politiques de stockage et d'approvisionnement est observé dans la littérature. L'ensemble des travaux est mentionné dans la partie II.2. Cependant, ces politiques ont un impact considérable sur la formation du BWE dans les SCs.

a. Politiques d'approvisionnement

Parmi les différentes politiques d'approvisionnement, la politique (S, s) est définie dans plusieurs articles comme une politique optimale « pour une séquence donnée d'erreurs de prévision de la demande au fil du délai, la politique minimise la variance des niveaux de stocks » (Warburton et al., 2007). Cachon et Lariviere (1999) analysent la politique de commande équilibrée et suggèrent que la commande équilibrée, la petite taille des lots ainsi que l'intervalle de commande long peuvent réduire le BWE.

Higuchi et Troutt (2004) suggèrent que les acheteurs réguliers peuvent réduire l'impact du BWE aux échelons supérieurs de la SC. Holland et Sodhi (2004) constatent que le niveau du BWE sur un échelon est proportionnel au carré de la taille du lot. Disney et al., (2003) analysent l'impact des lots de transport au sein de la SC en utilisant le stock géré par le fournisseur « Vendor Managed Inventory » (VMI). Ils prouvent qu'il est possible d'obtenir simultanément une réduction du BWE et des lots de transport complets. Potter et Disney (2006) examinent également l'effet de la taille des lots de commande sur BWE.

En relation avec la taille du lot, Riddalls et Bennett (2001) prouvent que les niveaux du BWE sont liés au reste du rapport entre la taille du lot et la demande moyenne. Chen et Disney (2007) montrent que le BWE est essentiellement causé par la Covariance entre le niveau des stocks et la prévision de la demande. Le document révèle également que la politique (Order Up To) classique avec prévisions ES ou MA produira toujours un BWE pour tous les modèles de demande possibles. Rong et al., (2009) étudient BWE inversé (RBWE) causé par les perturbations d'approvisionnement. Ils utilisent le jeu de la bière comme étude de simulation

où il est constaté que les joueurs modifient leur comportement de commande, ce qui provoque le RBWE.

b. Politiques de stockage

Les diverses politiques de stockage considérées dans la littérature existante – mentionnées dans la partie II.2 – présentent des effets en relation avec BWE. Hoberg et al., (2007) discutent de l'effet de trois politiques de stockage sur la commande et la variabilité des stocks.

- (a) Politique du stock disponible : la politique de commande dépend simplement du stock disponible
- (b) Politique de stock de base :
 - (c) Politique du stock d'installation : stock d'installation est la somme du stock disponible et la quantité commandée par l'échelon précédent
 - (d) Politique du stock d'échelon : stock d'échelon est la somme du stock d'installation d'un échelon et le stock d'installation de l'échelon précédent.

Les auteurs montrent que dans la politique (a), une petite fluctuation de la demande peut entraîner une commande incontrôlable et une variabilité des stocks. Les deux politiques (c) et (d) sont stables en termes de variabilité et conviennent pour contrôler le stock, la politique (d) est meilleure que la politique (c).

Aharon et al., (2009) utilisent la méthode Affinely Adjust Robust Counterpart pour contrôler les stocks et montrent que la méthode aide à réduire le BWE. Chandra et Grabis (2005) examinent la politique de contrôle des stocks basée sur MRP et montrent que cette politique réduit le BWE.

D'autre part, Disney et Towill (2003) comparent la performance d'une SC VMI – où le stock est géré par le fournisseur - à celle d'une SC en série traditionnelle, en termes de BWE. Ils montrent que la SC VMI fonctionne mieux que la SC traditionnelle, en termes d'impact sur BWE. VMI est essentiellement une stratégie dans laquelle un fournisseur gère le stock du client. Wal-Mart avait appliqué le VMI dans le passé, et depuis lors, la politique est devenue populaire, en particulier dans le secteur de l'épicerie.

I.3.2.3. Effet du Lead Time

Il existe quelques études de recherche sur l'impact du Lead Time sur le BWE. Liao et Shyu (1993) sont les premiers chercheurs dans ce domaine à avoir construit un modèle de stockage probabiliste où le délai était l'une des variables de décision. Ben-Daya et Raouf (1994)

élargissent ce travail en ajoutant une autre variable de décision « la quantité de commande ». Ces deux études de recherche ne tiennent pas compte de la rupture des stocks. Ainsi, Ouyang et al., (1996) étendent ces études et tiennent en compte des ruptures. Ils considèrent également le « point de commande » comme une autre variable de décision. Ryu et Lee (2003) et Bookbinder et Çakanyildirim (1999) considèrent la réduction des délais comme un investissement, indiquant la nécessité de poursuivre les recherches dans ce sens. Heydari et al., (2009) enquêtent sur la variabilité des délais dans une SC en série et montrent que la variabilité des commandes augmentait avec l'augmentation de la variabilité des délais, mais si la variabilité des commandes augmente uniformément dans toute la SC, cela n'aura aucun impact sur BWE. Huang et Liu (2008) montrent que l'augmentation du délai de la reproduction augmente le BWE. Enfin, Wang et al., (2008) étudient l'impact du délai de livraison sur le BWE. Ils montrent que le BWE augmente avec l'augmentation du délai de livraison.

Néanmoins, la prise en compte du délai flou dans la recherche sur le BWE n'est pas abordée dans la littérature existante. La recherche sur le délai stochastique est également insuffisante. Le délai dépend également des politiques de stockage, de commande et de réapprovisionnement utilisées et de la coordination entre les membres de la SC.

I.3.2.4. Manque de transparence

L'une des principales causes du BWE est le manque de transparence du système et de certaines de ses données, ce qui indique la nécessité d'un partage d'informations. Un nombre considérable d'études de recherche sont menées dans la littérature existante dans le domaine de BWE.

Le partage d'informations pour réduire le BWE est le « résultat du risque de transfert et de la spéculation des entreprises en aval dans la SC, ce qui augmente l'instabilité, le désordre de la production, de la gestion des stocks et de la commercialisation » (Zhao et al., 2008).

Le partage d'informations peut être de plusieurs types (Viswanathan et al., 2007). Certains d'entre eux sont :

- Historique de la demande au niveau de chaque échelon ;
- Planning de commande en aval ;
- Historique de la demande de l'acteur final dans la SC ;
- Informations du stockage en aval.

Le partage d'informations comme moyen pour réduire le BWE, est recommandé par plusieurs auteurs dans la littérature existante. Certains d'entre eux considèrent l'effet bénéfique, tandis

que les autres ont considéré l'effet négatif. Les recherches importantes tenant compte des effets bénéfiques comprennent les études de Lee et al., (1997), Lee et al., (2000) et Agrawal et al., (2009).

Sohn et Lim (2008) classent le partage d'informations en deux types :

- Politique décentralisée : Les informations ne sont pas partagées entre le fournisseur et les détaillants. Le fournisseur ne reçoit que les commandes des détaillants.
- Politique centralisée : Les informations sont entièrement partagées. Les détaillants partagent leurs ventes nettes avec les fournisseurs. En se basant sur ces données, le fournisseur prévoit les ventes futures.
- Politique séparée : Les informations ne sont pas entièrement partagées mais les détaillants prévoient la demande future et les commandent aux fournisseurs.

Thonemann (2002) divise le partage d'informations en deux types également :

- Politique agrégée : Considère les informations agrégées ou les informations dans leur ensemble.
- Politique détaillée : Considère les détails de toutes les informations disponibles.

L'étude de Sohn et Lim (2008) montre que la politique complète de partage d'informations ne produit pas toujours les meilleures performances. Ainsi, la sélection d'une politique d'information appropriée est essentielle pour réduire le BWE.

Viswanathan et al., (2007) envisagent une SC à quatre échelons avec l'hypothèse que chaque échelon a accès à l'historique de la demande de l'utilisateur final pour prévoir et planifier le stock à tous les échelons, ce qui entraîne le coût le plus bas.

Néanmoins, la plupart des entreprises ne souhaitent pas partager leurs informations vitales avec leurs partenaires de la SC. Dans ce cas, le rôle des contrats de SC joue un rôle essentiel dans le partage d'informations entre les membres de la SC. Bien qu'il existe un nombre considérable de documents de recherche sur le partage de l'information, mais ce domaine manque encore d'idées nouvelles sur la manière appropriée de partager l'information.

I.3.2.5. Autres causes opérationnelles du BWE

La variabilité des prix est une autre cause principale du BWE. Des études pertinentes analysent l'effet de la variabilité des prix dans la SC en amont sur la SC en aval, ce qui cause le RBWE. Svensson (2003) montre que le RBWE se produit « lorsqu'il y a un degré élevé de report des flux logistiques entrants et un degré élevé de spéculation sur les flux logistiques sortants ».

Hamister et Suresh (2008) garantissent la réduction du BWE par la stabilité des prix. L'effet des prix a des implications économiques plus importantes que celles qui sont examinées dans la littérature existante. Ainsi, ce domaine a besoin de plus d'exploration par les chercheurs. Le tableau 1.12 résume les explications relatives à d'autres causes du BWE.

Tableau 1.12. Causes opérationnelles et significations

| Causes | Auteurs | Définitions et Contributions |
|---|--|---|
| Jeu de pénurie | Paik et al., (2007) | Il indique la stratégie de l'acheteur pour faire face à des pénuries d'approvisionnement. Le rationnement est la compensation du fournisseur en cas jeu de pénurie. Le jeu de pénurie entraîne une variabilité des commandes dans une SC et puis au BWE. |
| Système de contrôle | Bhattacharya et al., (2010) | la sélection d'un système de contrôle inapproprié pour un échelon de la SC pour atteindre l'objectif peut conduire à un BWE. |
| Nombre d'échelons | Bhattacharya et al., (2010) | Plus le nombre d'échelons est grand, plus la possibilité du BWE est plus grande. Un nombre minimum d'échelons permet d'avoir des niveaux de stocks optimaux. |
| Manque de synchronisation | Bhattacharya et al., (2010) | Le manque de synchronisation en termes de livraison, de réception des marchandises, de commande, d'expédition, etc., peut conduire à BWE. |
| Perception erronée du feedback | Moyaux et al., (2007) | les acteurs d'un échelon ne comprennent pas parfois la dynamique de leur SC. |
| Optimisation locale sans vision globale | Moyaux et al., (2007) | Ce problème concerne l'optimisation de son propre échelon sans tenir compte de son effet sur les autres échelons, ce qui entraîne une augmentation du coût de la SC et une augmentation du BWE. |
| Processus de l'entreprise | Moyaux et al., (2007) Taylor (1999) | La variabilité de la fiabilité et du rendement de la machine ainsi que la variabilité de la capacité du processus et de la qualité du produit qui en résulte peuvent entraîner des incertitudes entre les entreprises, ce qui à son tour peut conduire au BWE |
| Limite de la capacité | Alony I et al., (2007) | Les limites de capacité des échelons peuvent entrainer une variabilité des commandes clients et conduire à un BWE |

Les causes inscrites dans le tableau 1.11 doivent être prises en compte pour contrôler le BWE. Néanmoins, les causes opérationnelles et comportementales doivent être considérées de manière intégrée afin d'atténuer ou d'éliminer le BWE.

Conclusion

Ce chapitre présente le cadre général de la thèse ainsi que sa problématique. Elle définit les concepts de la logistique et de la SC, ses flux, ses maillons et les niveaux de décisions dans le SCM. Ensuite, ce chapitre a relevé l'importance du maillon de la distribution et a traité les politiques de gestion des flux dans les réseaux de distribution. Il est constaté que la littérature présente des travaux variés qui concernent la gestion des stocks et d'approvisionnements dans des réseaux multi-échelons. A partir de ces politiques, le modèle DRP est considéré comme un outil prépondérant aux industriels pour gérer les flux dans les environnements de distributions caractérisés par plusieurs produits et plusieurs échelons. En dernier lieu, vue son importance dans le contexte de notre étude, le phénomène du BWE est abordé. La littérature traite bien les causes variées qui sont à l'origine de l'apparition de ce phénomène. Cela constitue un défi majeur aux entreprises pour implémenter un modèle de distribution apte à remédier aux conséquences du BWE. Pour surmonter ces défis, le chapitre qui suit donne les premiers éclairages pour conceptualiser un nouveau modèle de distribution.

Chapitre II

Conceptualisation du modèle Demand-Driven DRP

Chapitre II : Conceptualisation du modèle Demand-Driven DRP

Introduction

La construction du nouveau modèle Demand-Driven DRP (DDDRP) consiste en premier lieu à définir les bases de son fondement, dans l'objectif de dénombrer ses axes primordiaux. Pour mener à bien la construction de ces axes, les modèles conventionnels de gestion de flux de distribution dans la littérature doivent être examinés.

Ce chapitre commence par la citation des limites et des problèmes du modèle DRP conventionnel dans une SC dynamique et complexe. Puis, une démarche est adoptée pour la proposition des axes du nouveau modèle. La description de cette démarche est faite à l'aide d'un diagramme de revue de littérature systématique, d'un graphe de mots clés, et des articles consultés et regroupés par an et par thème. La troisième partie de ce chapitre justifie, par la consultation d'une multitude de travaux de la littérature, le choix de l'axe du LEAN Distribution, Théorie des Contraintes et de le DRP pour la construction du modèle DDDRP. Finalement, les pilotes du modèle DDDRP sont données, ainsi que sa logique, ses étapes et ses équations.

II.1. Limites du modèle DRP

La construction du modèle DDDRP caractérise une nouvelle approche de gestion du flux dans les réseaux de distribution. Cette approche opte principalement à remédier aux limites du DRP conventionnel, notamment dans la nouvelle ère de la SC à la fois complexe et dynamique.

II.1.1. Limites de la prévision

Le modèle DRP est défini dans le dictionnaire APICS par : « La fonction de déterminer le besoin de réapprovisionner les stocks dans les entrepôts. Une approche de point de commande échelonnée est utilisée où les commandes planifiées au niveau de l'entrepôt sont « explosées » via la logique MRP pour devenir des besoins bruts sur la source d'approvisionnement ». Le DRP a besoin de la « demande » comme entrée ; qui est définie par « Un besoin pour un produit ou un composant particulier. La demande peut provenir de plusieurs sources comme une commande ou une prévision d'un client, un besoin inter-usines » (Dictionnaire APICS, 12^{ème} édition).

La demande peut être réelle ou prévue, le concept du DRP se focalise principalement sur la prévision de la demande sur un horizon bien défini. Une prévision est définie à son tour par : « Une estimation de la demande future. Une prévision peut être construite à l'aide de méthodes quantitatives, de méthodes qualitatives, et elle peut être basée sur des facteurs externes ou internes. Diverses techniques de prévision tentent de prévoir une ou plusieurs des aspects de la demande : cyclique, aléatoire, saisonnière et tendance ». A cet égard, si la prévision est précise, le calcul DRP sera parfaitement convenable.

Néanmoins, Ptak et Smith (2016) montrent que les prévisions sont toujours sujets de trois constats :

- Toutes les prévisions commencent avec un certain niveau d'inexactitude inhérent comportant une certaine marge d'erreur. Cela est particulièrement vrai dans la nouvelle ère du SC complexe et volatile.
- Plus la prévision est détaillée ou discrète, moins elle est précise. En effet, Il existe certainement une disparité dans la précision entre une prévision au niveau agrégé (tous les produits ou pièces), une prévision au niveau de la catégorie (un sous-groupe de produits ou de pièces) et une prévision au niveau SKU (produit ou pièce unique).
- Plus les prévisions sont lointaines, moins elles sont précises : certes, l'historique peut servir de base à une prévision, mais la marge d'erreur potentielle est beaucoup plus élevée pour les horizons plus longs. Il n'est pas rare que dans de nombreux secteurs, la précision d'une prévision puisse chuter en dessous de 10 % au-delà de 90 jours au niveau de la SKU.

Au niveau du calcul DRP, les demandes planifiées sont dérivées des prévisions. Par conséquent, des engagements importants de capital, de capacité et de matériels sont directement dérivés de ces prévisions qui sont sujettes à divers degrés d'imprécision, parfois avec des degrés d'imprécision extrêmement importants.

II.1.2. Limite de la dépendance

Le DRP, par définition, rend toutes les activités d'un réseau de distribution dépendantes les unes des autres. Ainsi, il doit y avoir suffisamment de temps pour tout acheter et tout faire à la demande indiquée. Ce temps est appelé « délai cumulé » (la plus longue chaîne de temps indiquée dans le réseau). Cela signifie que le délai de tolérance du client devrait être égal ou supérieur au délai cumulé. Les SCs d'aujourd'hui, cependant, se caractérisent par des délais de tolérance client de plus en plus courts et des SCs étendues, et de plus en plus complexes. Il n'y

a tout simplement pas suffisamment de visibilité sur les commandes clients assez tôt pour les planifier correctement à l'aide du DRP conventionnel.

De ce qui précède, il est nécessaire de procéder à des ajustements de la demande – dérivée de la prévision - au fur et à mesure que les commandes client deviennent visibles. Les ordres planifiés pour les produits finis sont lancés au début de l'horizon de planification. Plus le cycle d'approvisionnement et de fabrication est long, plus l'horizon de planification doit être long. Plus l'horizon de planification est long, moins les commandes planifiées seront précises. Moins les commandes planifiées sont précises, plus les corrections sont nécessaires.

II.1.3. Distorsion de l'information

Dans tout environnement de la SC, il existe un niveau fondamental et inévitable de variabilité. La variabilité opérationnelle normale ou aléatoire se traduit par un processus qui peut se situer statistiquement dans les limites de contrôle calculées mais qui varie encore entre ces limites. Réduire l'écart entre les limites est un objectif louable. L'élimination de l'écart est impossible - il faudrait que chaque processus soit parfait et l'effet de cette imperfection doit être examiné. Le DRP suppose une allocation complète ; la distribution d'une commande suppose l'implication de tous les points du réseau de distribution constituant le chemin de livraison de la commande de l'usine jusqu'au client final.

Le modèle proposé se base sur une version améliorée de la planification des ressources de distribution pour remédier aux problèmes causés par les prévisions de la demande, la dépendance entre les points de distribution et la distorsion de l'information. Dans le modèle DDDRP, la planification est basée principalement sur la demande réelle. La partie suivante représente le processus du fondement du modèle en allant de l'étude de littérature jusqu'à sa validation.

II.2. Méthodologie de recherche

La construction du modèle commence par poser les questions et l'objectif du nouveau modèle. Ainsi, le diagramme présenté dans la figure 2.1 contient les questions, les limites et la période de couverture des travaux consultés par rapport à chaque axe de recherche. Ce diagramme est inspiré du processus de Danese et al., (2018) dans la description des méthodologies de recherche.

Ainsi, afin d'aboutir à un résultat cohérent, la méthodologie est basée sur la séquence suivante :

- Poser les questions scientifiques et les objectifs de la recherche ;

- Définir les limites conceptuelles de la recherche ;
- Poser les mots clés de la recherche et la période de couverture des travaux consultés ;
- Valider les résultats de la recherche dans la littérature et enfin décrire et discuter le modèle DDDRP.

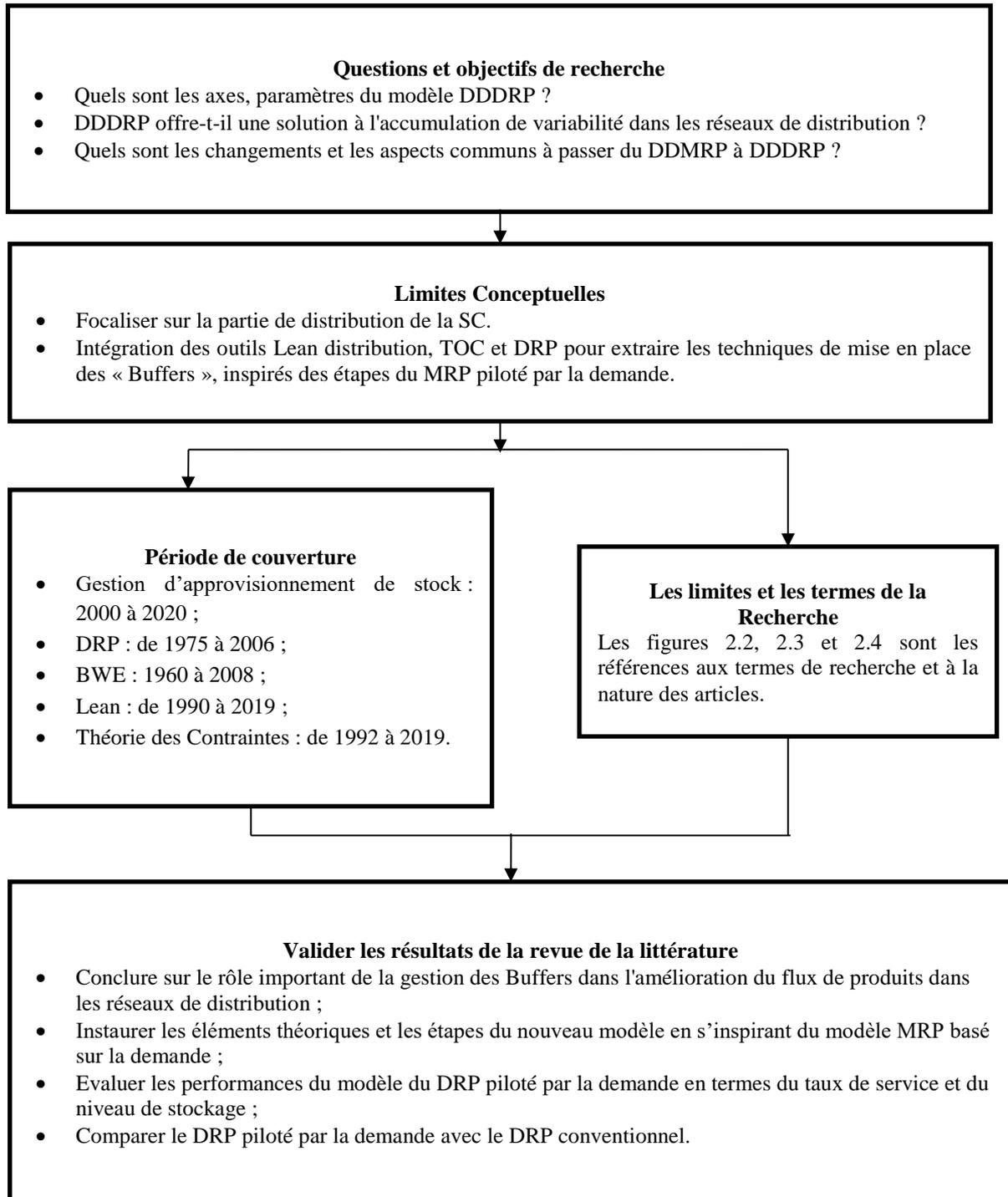


Figure 2.1. Diagramme de la revue de littérature systématique

La figure 2.2 explicite l'ensemble des mots clés qui aident à former une base de recherche systématique, et à instaurer le modèle DDDRP.

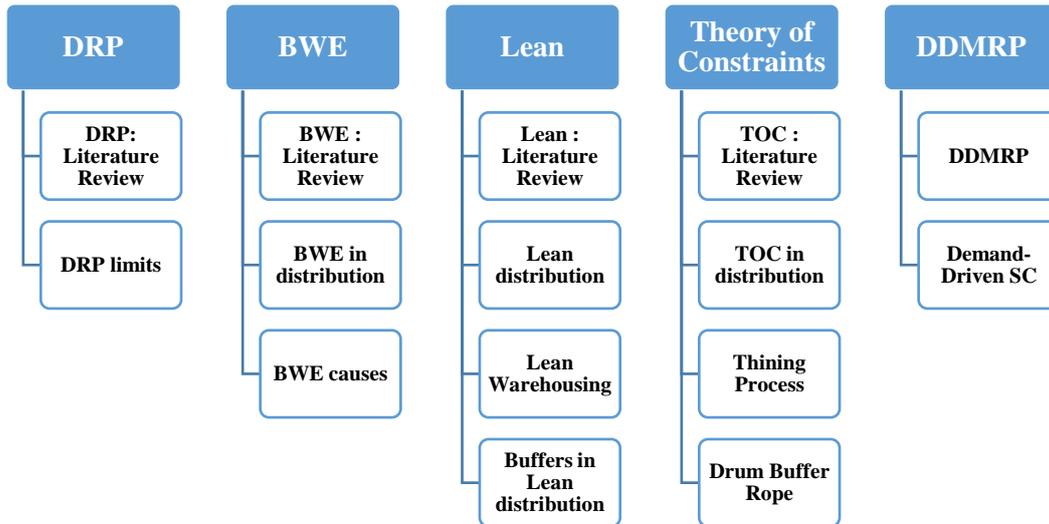


Figure 2.2. Les mots clés de la recherche systématique

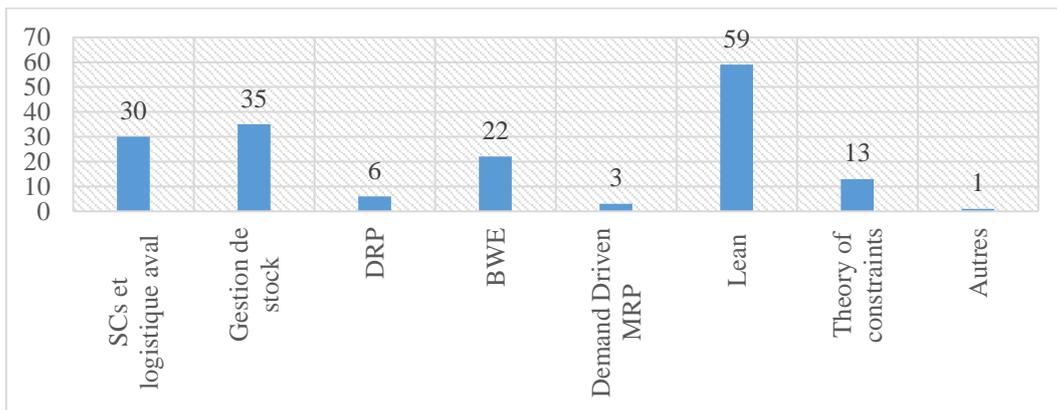


Figure 2.3. Distribution des articles par thème

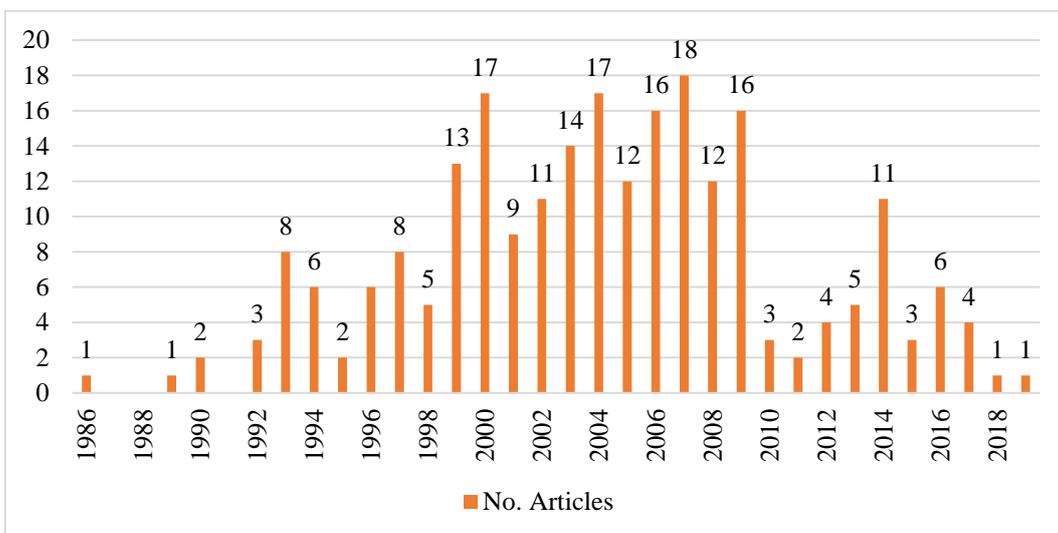


Figure 2.4. Distribution des articles par an durant la période étudiée

Les figures 2.3 et 2.4 présentent une description quantitative des articles examinés et analysés. Elles incluent les thèmes traités et le nombre d'articles consultés par année de publication. Une multitude de domaines examinés et de recherches élaborées pour trouver les grands axes qui caractérisent le nouveau modèle.

L'étude et l'analyse de la littérature sur les thèmes en relation avec la problématique et l'objectif soulignés auparavant a permis de conclure sur un ensemble d'axes. Ces axes sont la base d'une distribution basée sur la demande et sont traités dans la partie suivante.

II.3. Proposition des Axes du Modèle DDDRP

L'objectif principal du modèle DDDRP est de remédier à l'amplification de la variabilité dans les réseaux de distribution. Ainsi, il faudrait mettre des protections dans les points stratégiques du réseau, pour réduire la variabilité et protéger le flux de distribution. Les outils comme le Lean distribution et la théorie de contraintes présentent des solutions à ce problème. Ils proposent un flux tiré entre les points qui sont munis par des stocks de protection.

II.3.1. Lean distribution

II.3.1.1. Définitions et outils du Lean

Le concept du Lean est né au Japon après la Seconde Guerre mondiale. Durant cette période, la structure Toyota commence à viser une production des automobiles avec moins de stock, d'effort humain, d'investissement et de défauts et puis introduire une variété de produits de plus en plus grande. Le Lean donne aux fabricants un avantage concurrentiel en réduisant les coûts et en améliorant la productivité et la qualité. Divers auteurs documentent les avantages quantitatifs de la mise en œuvre du Lean, tels que l'amélioration du délai de production, du temps de traitement, du temps de cycle, des stocks, des défauts, des rebuts, et de l'efficacité globale de l'équipement. Les divers avantages qualitatifs comprennent une amélioration du moral des employés, une communication efficace, la satisfaction au travail, la prise de décision en équipe, etc.

En effet, Womack et al., (1990) à travers leur livre « The Machine that Changed the World » popularisent le concept Lean. Au début des années 1990, le concept de « Lean Manufacturing » (LM) est considéré comme une alternative contre-intuitive au modèle de fabrication traditionnel du fordisme (Womack et al., 1990). Le concept moderne de LM remonte au Toyota Production

System (TPS), mis au point par les ingénieurs japonais Taiichi Ohno et Shigeo Shingo. Sugimori et al., (1977) composent le TPS en deux éléments qui sont un système de production Just-In-Time (JIT) et un système de respect de l'humain. Ils mettent l'accent sur la participation active des employés et l'élimination des gaspillages. Monden (1983) présente les concepts JIT à un large public aux États-Unis, soulignant l'importance des petites tailles de lots, de la production de modèles mixtes, des travailleurs polyvalents, de la maintenance préventive et de la livraison JIT par les fournisseurs.

Une multitude de définitions sont données pour signaler ce qui peut être le Lean dans la SC (Tableau 2.1). Le tableau 2.2 répertorie tous les outils et techniques liés aux opérations Lean.

Tableau 2. 1. Liste des définitions du LEAN

| Auteur | Angle d'attaque |
|----------------------------|------------------------------------|
| Womack et al., (1990) | Processus |
| Womack et al., (1990) | Ensemble de principes |
| Storch et Lim (1999) | Méthode |
| Naylor et al., (1999) | Concept |
| NIST (2000) | Approche |
| Bicheno (2004) | Ensemble d'outils et de techniques |
| Simpson et Power (2005) | Pratique |
| Holweg (2007) | Philosophie |
| Shah et ward (2007) | Système |
| Hallgren et Olhager (2009) | Programme |
| Alves et al., (2012) | Modèle |

Tableau 2.2. Outils et techniques du Lean

| Auteur | Outil/technique | Objectif |
|-----------------------|------------------------|--|
| Vinodh et al., (2011) | Management visual | Partager l'information et résoudre les problèmes |
| Vinodh et al., (2011) | Poka-Yoké | éviter les erreurs involontaires dans les processus de production et de logistique et, corriger les dysfonctionnements |
| Vinodh et al. (2011) | KAIZEN | Perfectionner continuellement les processus |
| Aguado et al., (2013) | Layout configuration | Organiser l'implantation des unités de production pour structurer et raccourcir les flux de matières |

| | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--|
| GarzaeReyes et al., (2014) | Outil d'analyse | Permet d'identifier la partie du cycle de fabrication qui bloque l'ensemble du processus et d'améliorer les performances de cette partie |
| Chiarini (2014) | Travail standardisé | les équipements et les postes de travail sont conçus et organisés pour faciliter la production par petits lots et par flux continu |
| GarzaeReyes et al. (2014) | Contrôle des processus statistiques | L'amélioration de la qualité des produits avec l'utilisation systématique des cartes de contrôle |
| Chiarini (2014) | 5S | Instaurer le processus : débarrasser, ranger, nettoyer, ordonner et être rigoureux |
| Chiarini (2014) | Fabrication cellulaire | les équipements et les postes de travail sont conçus et organisés pour faciliter la production par petits lots et par flux continu |
| Chiarini (2014) | TPM | le passage progressif d'un système de maintenance curative à la maintenance préventive, voire prédictive |
| Chiarini (2014) | SMED | Réduire le temps de changement de série |
| Bhamu et al., (2014) | VSM | Analyser les processus et identifier les goulots. |
| Bhamu et al., (2014) | Six-Sigma | Améliorer la qualité et l'efficacité des processus |

Les tableaux 2.1 et 2.2 montrent que le Lean gagne une attention considérable dans la littérature, de multiples définitions sont données et diverses outils et techniques sont investiguées pour intégrer un processus Lean dans l'entreprise. Le paragraphe suivant discute l'implémentation des principes du Lean dans le maillon de distribution dans la SC.

II.3.1.2. La notion de la distribution Lean

Dans le maillon de la distribution, les principes du Lean sont intégrés afin de minimiser les gaspillages et augmenter la productivité (Mahfouz et al., 2013). En effet, la distribution Lean est sujet de beaucoup de recherches académiques et de cas d'études industrielles. Elle est définie par Zylstra (2005), comme étant une approche qui vient remplacer les méthodes traditionnelles basées sur les stocks et les réapprovisionnements pour faire face à la variation de la demande client, et elle a pour but principal de placer le bon produit dans le bon endroit tout en minimisant les gaspillages dans la SC aval (Reichhart et Holweg, 2007). Dans une autre déclaration, elle est définie par la capacité de réduire les mouvements des produits dans les centres de distributions pour atteindre de bons résultats par rapport aux services clients (Jaca et al., 2012).

La distribution Lean est utilisée par des entreprises de renommées telles que Wall Mart, Tesco et Ikea (Lukic, 2012), qui suivent une politique d'adaptation du mouvement de stock à la demande des clients afin d'améliorer les flux opérationnels des produits et répondre rapidement aux fluctuations de la demande dans les points de vente. Par conséquent, Ivars et al., (2019) soulignent un ensemble d'avantages gagnés par la mise en œuvre de la distribution Lean, à savoir la réduction des stocks, des délais de livraisons et des temps de changement de série. Mahfouz et al., (2013) comparent la gestion de distribution traditionnelle par rapport à la distribution Lean. La comparaison est résumée dans le tableau 2.3. D'autre part, Reichhart et al., (2007) présentent une liste des bénéfices de la distribution Lean et les méthodes de quantification de ces bénéfices (Tableau 2.4).

Tableau 2.3. Comparaison entre une gestion traditionnelle de la distribution et une distribution Lean

| Éléments liés à la distribution | Gestion traditionnelle de distribution | Distribution Lean |
|--|---|---|
| Les variabilités des systèmes | Les variabilités entraînent une réinitialisation continue des plans | Isolation des variabilités et les prendre en compte dans toutes les pratiques Lean |
| Prévisions | La contrainte d'être plus précis, dans les plannings à long et court terme | Utilisé uniquement pour la planification à long terme |
| Stock | Doit être proche du client afin de respecter le délai de livraison des commandes. | Doit être consolidé à la source et le flux est redirigé rapidement en fonction de l'évolution des besoins de réapprovisionnement. |
| Transport | Basé sur les prévisions | Axé sur la demande et tient compte des conditions de livraison |

Tableau 2.4. Les bénéfices de la distribution Lean et les méthodes de quantification

| Bénéfices | Méthode de quantification des bénéfices |
|---|--|
| Réduction des stocks de produits finis | Niveaux de stock produits finis |
| Temps de changement plus courts grâce à des périodes d'élimination progressive réduites | Délais de livraison de la commande |
| Augmentation des revenus par unité | Bénéfices par unité |

| | |
|--|------------------------------------|
| Délais de livraison plus courts pour les commandes spécifiques aux clients | Niveaux de stock de produits finis |
|--|------------------------------------|

En conclusion, une distribution Lean est une configuration d'un ensemble de pratiques, d'outils et de facteurs en interaction. Ceci implique la vérification de toutes les activités de distribution allant des commandes clients jusqu'au réapprovisionnement des produits auprès des fournisseurs.

II.3.1.3. Logique de la Lean Distribution

Un travail important de terrain est mené afin de définir la conception de la distribution Lean et de fournir une illustration sur l'interaction entre ses multiples aspects.

Un membre senior et expert des stratégies dans l'industrie de la distribution irlandaise est interrogé sur les caractéristiques des SCs au niveau des entreprises de distribution et sur les concepts et les pratiques de la distribution Lean. De même, un nombre d'entretiens sont ensuite menés avec des professionnels du secteur de la distribution en Irlande, Royaume-Uni et Portugal, suivies de deux visites d'observation dans les sociétés de distribution à Dublin et Birmingham. Ces interrogations et entretiens visent à identifier les facteurs et les concepts essentiels de la distribution Lean (Mahfouz et al., 2013).

Le résultat montre Sept concepts Lean qui sont définis sur la base de la revue de la littérature, sur des entretiens avec des experts et des visites de sites (Figure 2.5). Les sept facteurs sont combinés pour former un système de distribution Lean. Pour atteindre un niveau élevé de rationalisation de la distribution Lean, un ensemble de pratiques Lean doit être défini et mis en œuvre de manière intégrée plutôt que par une série de tentatives de réduction des coûts disjointes.

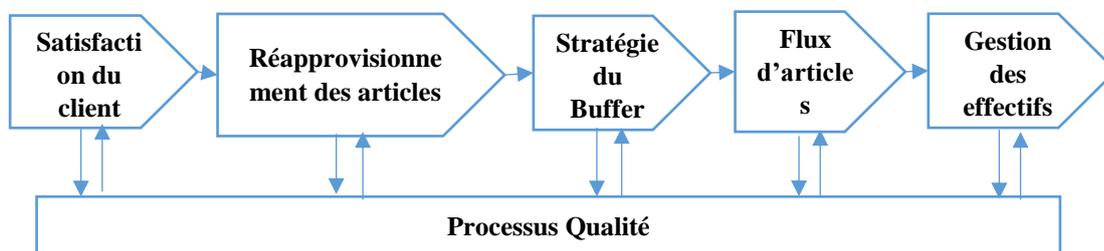


Figure 2.5. Les concepts du Lean Management

Satisfaction du Client

Comprendre et identifier précisément les besoins des clients sont importants pour le parcours de transformation Lean (Womack et al., 1990). L'identification complète de la demande des clients permet aux gestionnaires de tirer parti de la connaissance de leurs préférences clients et améliore ainsi la précision des plans de prévision et le niveau de qualité de service (Reichhart et Holweg, 2007). Il permet également aux décideurs et aux planificateurs de distribution de créer des stratégies de réapprovisionnement, un contrôle de la mise en place des Stocks de sécurité, des calendriers de livraison d'articles et une structure de réseau de distributions plus efficaces (Kiff 2000). La gestion de la demande client est également un facteur essentiel pour augmenter le niveau de service (Chua et Katayama, 2009). Le nivellement de la demande - en offrant des remises aux clients en fonction du délai auquel ils sont prêts à reporter leurs commandes - est utilisé pour minimiser la variabilité de la demande des clients et augmenter le potentiel de satisfaction des clients (Jones et al., 1997).

Réapprovisionnement des articles

Plus les produits peuvent circuler rapidement de la source à la destination avec moins d'incertitude, plus la possibilité de satisfaire les commandes des clients à temps est élevée (Jones et al., 1997). La mise en place d'une approche de livraison efficace nécessite un processus de réapprovisionnement rapide et cohérent. Le réapprovisionnement pull repose étroitement sur trois facteurs importants ; politique de service à la clientèle, stratégie de réapprovisionnement et placement des Buffers (Enns 2007). La bonne combinaison de ces facteurs se traduit par un processus de réapprovisionnement fluide et une réponse rapide aux changements de la demande. Il est également nécessaire que le réapprovisionnement Lean resserre le lien entre la demande des clients et le flux des articles en amont en éliminant les déchets et les activités sans valeur ajoutée (Holweg et Pil, 2004).

Stratégies du Buffer

Les Buffers sont nécessaires pour protéger la performance des opérations de distribution de la fluctuation de la demande des clients et de la livraison des fournisseurs. Les Buffers peuvent être sous forme de stock, de capacité de ressources ou de temps (Zylstra 2006). Dans un environnement Lean, les entreprises de distribution doivent maintenir un niveau de stock nul et réapprovisionner leurs marchandises directement en fonction des commandes des clients (c'est-à-dire des systèmes Pull). Néanmoins, la distribution Lean ne peut pas être simplement définie

comme une distribution sans stock ou une fabrication à la commande, mais comme un contrôle efficace des stocks, tout en répondant à la demande des clients (Baker et Halim, 2007). Les outils traditionnels qui se basent sur la possession des stocks et sur la rupture des volumes stockés en cas de commandes clients, doivent être remplacés par systèmes comme des Cross-dock pour éliminer l'excès de stocks et maintenir un niveau de service élevé (Baker, 2004). Également, la politique de stockage basée sur les classes (CBS) (Stockage des éléments en fonction de leurs types dans des classes de stockage spécifiques) est présentée comme une pratique de distribution Lean (Petersen et Aase, 2004). CBS permet un suivi facile des articles stockés et augmente l'efficacité des opérations de stockage et de prélèvement.

D'autre part, l'installation des équipements automatisés dans les entrepôts (par exemple, des convoyeurs automatisés et des systèmes de stockage) est également essentielle pour soutenir la mise en œuvre de la distribution Lean. Ces systèmes ont la capacité à diriger rapidement les produits finis vers les zones d'entrepôt sans avoir besoin de les stocker (Van Hoek et al., 2001). Selon Zylstra (2006), les stocks doivent être placés le plus possible en amont de la SC. Plus le Buffer est proche des sources (c'est-à-dire des fournisseurs ou des fabricants), meilleure est la réponse aux fluctuations de la demande (Apte et Viswanathan, 2000).

Relation fournisseurs

Les fournisseurs dotés d'un mécanisme de livraison efficace et d'une réponse rapide aux fluctuations de la demande peuvent effectivement ajouter de la valeur aux clients. Honda America a appliqué un projet réussi pour améliorer la qualité de la livraison pour ses fournisseurs (MacDuffie et Helper, 2002). Ford Motor Company a également mis en œuvre avec succès l'approche de distribution JIT en établissant une relation fournisseur rentable (Christensen, 1996). L'auteur mentionne que l'échange de données exactes entre les entreprises de distribution et leurs fournisseurs encourage les efforts mutuels de planification et de résolution de problèmes dans le pipeline de livraison. D'autres pratiques telles que le partenariat avec les fournisseurs, la collaboration et l'engagement à long terme sont suggérées dans différentes publications pour renforcer les relations acheteur-fournisseur (Jayaram et al., 2008).

Flux d'articles

Le flux d'article dans un système de distribution est influencé par plusieurs facteurs comme les opérations de stockages et de prélèvements, l'efficacité du transport et la conception de l'aménagement des entrepôts (Chua et Katayama, 2009). En effet, la création d'un

aménagement optimal dans les entrepôts est un processus complexe. Il vise à satisfaire plusieurs objectifs comme la minimisation de l'espace, la préparation facile des produits, flux d'article efficient, environnement de travail sécurisé, coût de manutention minimal et débit élevé. (Mulcahy, 1994). Egalement, l'utilisation optimale de l'espace d'entrepôt (c.-à-d. Espaces de réception, de stockage et d'expédition) est un facteur important pour parvenir à un flux d'articles fluide (Frazella, 2002).

Autrement, la sélection d'un mode de transport approprié (train, camion, avion ou bateau), les types de transport (commun, contractuel ou privé) et les capacités d'expédition (chargement complet par camion, chargement par demi-camion ou flexible) sont également des décisions clés qui influencent le flux d'articles (Narus et Anderson, 1996). Par exemple, l'utilisation d'un demi-camion peut entraîner des coûts de transport plus élevés par rapport à la capacité de chargement d'un camion complet. Cependant, c'est une meilleure option en ce qui concerne le délai de livraison du produit et le coût total de distribution.

Gestion des effectifs

La philosophie Lean n'est pas seulement un ensemble d'outils et de pratiques pour améliorer les performances des entreprises, mais est également un ensemble de nouveaux problèmes culturels que les gens doivent aborder afin d'atteindre une performance Lean durable. Il est important d'aborder trois questions fondamentales avant d'adopter une initiative majeure de changement de culture concernant le Lean ; ils sont le leadership, motivation des travailleurs et résolution de problèmes (Wilson 2010). En effet, de nombreuses tentatives de mise en œuvre Lean échouent parce que les dirigeants n'ont pas la capacité d'articuler des plans clairs à leurs fonctionnaires et n'ont pas le courage et le caractère nécessaires pour prendre des décisions difficiles au bon moment (Ignizio 2009). Le manque de soutien et d'implication des gestionnaires entraîne également un processus de mise en œuvre sans succès. Les dirigeants doivent motiver les travailleurs afin de renforcer le processus de mise en œuvre Lean et d'accepter les changements associés (Achanga et al., 2006). La communication claire entre les gestionnaires, les ingénieurs et les superviseurs avec le personnel par des réunions périodiques, des discussions et des échanges d'informations est importante (Armistead, 1999). Les partenaires de la SC - à partir des fournisseurs en amont jusqu'aux distributeurs en aval - doivent également collaborer en équipe pour fournir une valeur au client final (Manrodt et al., 2008). L'auteur déclare que le chef de l'exploitation de Turtle Wax souligne que les entreprises se trompent lorsqu'elles accordent trop d'attention aux outils et non aux personnes. La

formation, le partage de valeurs mutuelles entre les membres du groupe, l'amélioration des canaux de communication et le développement du capital humain assurent la croissance et le bien-être de l'employé (Chua et atayama, 2009).

Qualité du processus

L'acquisition d'une culture de la qualité et la mise en œuvre de ses pratiques sont essentielles pour obtenir des bons taux de service, des délais de livraisons courts, un fonctionnement faible coût et une flexibilité pour s'adapter aux variabilités du système.

Le concept de qualité dans la distribution comprend des aspects tels que la formation et l'autonomisation des employés, l'orientation client, l'engagement de la direction, l'amélioration continue, les méthodologies de résolution de problèmes, la vérification de la qualité, la fiabilité des opérations, les procédures d'inspection et le processus d'actions correctives (Nabhani et Shokri 2009).

La fourniture d'une transaction d'information efficace et sans erreurs a également une influence significative sur l'efficacité des opérations et le niveau de qualité du système (Chen et al., 2005). Le JIT dans la distribution est favorisé par le développement technologique, en particulier par l'amélioration des technologies d'information et de suivi (par exemple, les systèmes de commande par code à barres) (Christensen, 1996). Les technologies de l'information telles que la planification des ressources d'entreprise (ERP), les systèmes de gestion des entrepôts et des transports jouent un rôle essentiel dans la mise en œuvre simplifiée de haute qualité dans la distribution (Frazelle, 2002).

II.3.1.4. Les indicateurs de performance de la distribution Lean

Facilitateurs et indicateurs de performance

Zylstra, (2005) résume les éléments facilitateurs de la distribution Lean dans le tableau 2.5, Krauth et al., (2005) propose une liste d'indicateurs de performance pour la distribution logistique (Tableau 2.6) afin de mesurer la performance des entrepôts dans les entreprises de distribution.

Tableau 2.5. Facilitateurs de la distribution Lean

| Éléments | Facilitateurs |
|---|---|
| Stratégie du Buffer | Réduire la variabilité |
| Approche du flux tiré | Liens pour systèmes à flux tirés |
| Cycles de réapprovisionnement | Compromis de coûts |
| Capacités d'exploitation et d'approvisionnement | <ul style="list-style-type: none">• Réduire les délais• Réduire la variabilité |

Tableau 2.6. Indicateurs de performance de la distribution Lean

| Auteur | Indicateurs de performance |
|------------------------|--|
| Crow et al., (2010) | <ul style="list-style-type: none">• Délai de livraison des ordres• Coût total du stock |
| Jaca et al., (2012) | <ul style="list-style-type: none">• Délais des ordres• Taux des pièces endommagées• Satisfaction des ressources humaines |
| Myerson et al., (2012) | <ul style="list-style-type: none">• Utilisation de l'espace• Productivité de l'entrepôt• Temps de séjour du conducteur• Efficacité du travail |

Importance des entrepôts dans la distribution Lean

Les entrepôts et les opérations l'entreposage deviennent l'un des domaines les plus importants pour obtenir un avantage concurrentiel, non seulement pour les entreprises mais pour l'ensemble de la SC. Dans ce sens, dans l'économie mondiale, l'entrepôt devient un maillon très important pour faire face aux variations de la demande, à la fois en amont et en aval de la SC. Autrement, l'entrepôt devient un élément clé d'une SC, avec autant de potentiel pour améliorer le niveau de service et minimiser les coûts. Ceux qui reconnaissent le potentiel de l'entrepôt ont de nombreuses possibilités pour être l'exemple des meilleures pratiques. Le tableau 2.7 répertorie certains avantages quantifiés de la mise en œuvre des principes du Lean dans l'entrepôt.

Tableau 2.7. Résultats obtenus chiffres après implémentation de la Distribution Lean aux entrepôts

| Auteur | Secteur d'amélioration | Amélioration en chiffres | |
|----------------------------|---|--------------------------|------------|
| | | Avant | Après |
| Cook et al., (2005) | Les niveaux de stock | Diminution à 76 % | |
| | Espace de stockage requis | Diminution à 51 % | |
| Jaca et al., (2012) | Productivité de l'entrepôt | Amélioration à 9.43% | |
| Dehdari (2013) | Productivité de l'entrepôt | Amélioration à 5% | |
| Andelkovich et al., (2016) | Précision du stock | 9.29% | 5.97% |
| | Réduction des pertes dues aux accidents | 15-20 jours | 7-10 jours |
| | Réduire les erreurs de prélèvement | 0.17% | 0.01% |

Étant donné que les opérations dans l'entrepôt ne sont pas seulement une source de coûts, mais également une source d'avantage concurrentiel pour avoir un niveau de service plus élevé, l'acceptation de la culture Lean dans l'entrepôt contribuera à une plus grande valeur et à une réduction des coûts. C'est ainsi que le terme « Entreposage Lean » se focalise sur l'objectif d'augmenter la réactivité aux demandes du marché et de réduire les coûts totaux en simplifiant les opérations de distribution (Visser, 2014).

Il s'agit dans une autre déclaration de minimiser les activités sans valeur ajoutée dans toutes les opérations de l'entrepôt : réception, stockage, préparation de commandes, emballage et expédition (Myerson, 2012). Ainsi, si une entreprise souhaite réaliser un entreposage Lean, il est nécessaire de minimiser les activités sans valeur ajoutée et d'identifier en conséquence les sources de gaspillage. Similaire à la production, sept types de gaspillage peuvent être reconnus dans l'entrepôt (Haan et al., 2009) :

- Défauts : Implique des activités causées par des retouches, des retours d'ajustement selon la demande du client induisant la manutention et l'expédition de produits défectueux, endommagés, erronés ou mal étiquetés.
- Surproduction : Réapprovisionnement, emballage et prélèvement des produits avant qu'ils ne soient nécessaires,
- Attente : Comprend l'attente de l'inspection et du contrôle, la cueillette, l'expédition, l'attente des données,
- Mouvements inutiles : Impliquent des mouvements inutiles d'employés causés par un routage inefficace,

- Stock inutile : Toute situation entraînant un excès de stock ou une rupture de stock et une utilisation non optimale de l'espace,
- Transport : Impliquent un transport interne inutile des stocks (matériaux ou produits).

En observant les gaspillages qui peuvent se produire dans l'entrepôt, on peut conclure que ce dernier, en plus de la production, est une zone idéale pour la mise en œuvre de la stratégie Lean. L'application de la stratégie Lean dans l'entrepôt se concentrera sur l'élimination des pertes, et donc sur la minimisation des coûts d'entreposage. En conséquence, on peut s'attendre à un avantage concurrentiel croissant sur la base d'une réponse efficace et efficiente aux demandes des clients.

II.3.1.5. Le rôle des Buffers dans la distribution Lean contre les variabilités

La notion de Buffer dans le Lean Distribution est définie comme « la bonne quantité directe pratique qui est nécessaire et suffisante pour assurer le flux souhaité avec le moins de gaspillage de stocks possibles » (Shah et al., 2017). L'établissement des Buffers permet d'avoir un lissage de distribution pour réduire la variabilité de la demande et par la suite de minimiser les coûts de stockage (Hopp et al., 2004).

La fonction des « Buffers » est d'isoler les opérations de distribution des fluctuations de la demande des clients. Ils sont sous forme de stock, de capacité de ressources ou de délai (Zylstra, 2006).

- Buffer de stock : Utilisé généralement dans le cas de longs délais d'approvisionnement ou une grande variabilité de demande/délai. Il s'agit de disposer d'un stock optimal de sécurité. De cette façon, lorsque les commandes arrivent, l'expédition est faite dans les bons délais.
- Buffer de capacité : Il s'agit de considérer une capacité supplémentaire de fabrication/expédition par l'utilisation des heures ou des lignes supplémentaires pour répondre à une demande inattendue. Le Buffer de capacité peut être plus coûteux que la tenue de stock, mais dans un environnement de fabrication sur commande, cela peut constituer un bon choix.
- Buffer de délai : Il permet d'éviter les dépenses de stockage ou de capacité supplémentaire. Si la demande est plus élevée que prévue ou qu'une expédition du fournisseur est en retard, un temps supplémentaire est ajouté lors de la planification des durées de production/distribution pour compenser les incertitudes de la demande et des délais.

Le rôle de la mise en œuvre du Buffer s'avère bénéfique pour réduire toutes les formes de variabilité dans le processus de distribution. Il permet de remédier à une demande variable et dynamique des clients.

II.3.2. Théorie des Contraintes

II.3.2.1. Définitions et spécificités

Pour augmenter la performance et l'efficacité dans les entreprises, la Théorie des Contraintes (TOC) propose une approche et une philosophie de management formulée par Goldratt dans les années 70. Elle est connue pour la première fois sous le nom de technologie de production optimisée (OPT) (Watson et al., 2003). Ainsi, Goldratt développe un processus de réflexion « Thinking Process » pour les réseaux complexes, dans lequel les gestionnaires sont tenus de prendre des décisions basées sur les questions suivantes (Rahman, 2002) :

- Décider quoi changer ;
- Décider par quoi changer ;
- Décider comment changer.

Sur la base de ces contraintes, une liste d'outils de ce processus de réflexion est résumée dans le tableau 2.8 (Davies et al., 2005).

Tableau 2.8. Outils du Thinking Process

| Questions | Outils du Thinking Process | Objectif |
|--------------------|--|-------------------------------|
| Quoi changer ? | Arbre de réalité actuelle (CRT) | Identifier les problèmes |
| Par quoi changer ? | Diagramme de résolution des conflits (CRD) | Développer des solutions |
| Comment changer ? | Arbre de la réalité future (FRT) Arbre des prérequis (PRT) Arbre de transition (TRT) | Mettre en œuvre des solutions |

- Arbre de réalité actuelle (CRT) : il découvre les problèmes réels et les effets indésirables (appelés UDE). Alors que les UDE sont les effets, le but de cet arbre est de découvrir leurs « causes profondes ».
- Diagramme de résolution des conflits (CRD) : c'est un outil de résolution de conflits. Il souligne les problèmes non résolus dans l'arbre de la réalité actuelle (CRT) et tente d'exploiter un règlement de la situation.

- Arbre de la réalité future (FRT) : c'est un autre diagramme de cause à effet qui étudie les effets de la solution identifiée. Tout ou partie de l'UDE sera éliminé, mais il y a la possibilité de génération de nouveaux UDEs, le nouveau problème est appelé « Réservation de branche négative » et il doit être réduit en modifiant la solution d'origine ou en ajoutant une autre correction.
- Arbre des prérequis (PRT) : il est constitué d'objectifs intermédiaires nécessaires pour résoudre l'UDE. Il met en évidence les conflits et les obstacles qui peuvent survenir lors de la transition de l'arbre de la réalité actuelle à l'arbre de la réalité future. Le résultat de cet arbre est une séquence d'objectifs. Il divulgue ceux qui peuvent être réalisés indépendamment ou en parallèle et qui sont strictement postérieures aux autres.
- Arbre de transition (TRT) : il guide l'implémentation, contrairement à (PRT). Cet arbre analyse l'action à entreprendre. C'est comme une feuille de route, tandis que l'arbre des Prérequis se concentre uniquement sur les résultats des actions. Il aide à identifier quelles actions sont suffisantes pour atteindre les résultats et lesquelles ne sont que collatérales.

Goldratt et Cox (1992) affirment que le but du TOC est de réduire les stocks et de diminuer les dépenses d'exploitation. La TOC repose sur le modèle du flux tiré, contrairement au modèle traditionnel d'approvisionnement où réside l'accumulation de stocks et les pénuries, qui causent une incapacité de répondre à la demande du client ou du détaillant (Zheng et al., 2009). Cette philosophie est appliquée à un large éventail d'activités, comme la production, le financement, les projets, le marketing, les SCs, la gestion, la vente au détail, la distribution est l'un de ces domaines (Wu et al., 2014 ; Blackstone, 2001 ; Cyplik et al., 2009; Watson et al., 2003).

En effet, la TOC propose des changements dans le réseau de distribution, du principe push vers pull (Viera et al., 2015), et les marchandises sont distribuées suivant les besoins du marché. L'application de la TOC aux systèmes de distribution vise à obtenir des résultats en termes de réduction des investissements dans les stocks, des délais et des coûts de transport, tout en augmentant le niveau de service à la clientèle (Watson et al., 2003).

De multiples travaux dans la littérature démontrent les avantages de la mise en œuvre de la TOC dans la distribution, telles que dans le lancement de Custom Express par la division Cadillac de General Motors Delivery (CXD). De même, Proctel and Gamble (P&G) qui signale une réduction de 600 millions de dollars des stocks (Watson et al., 2003), et aussi, fabricants de crayons Crayola, signalent des avantages en termes de niveaux de service à la clientèle et de réduction des stocks.

L'idée principale de la TOC est basée sur le fait que chaque entreprise a une contrainte (Viera

et al., 2015), et par elle, les performances du système peuvent être améliorées (Luebbe et al., 1992). Ces contraintes sont définies par Goldratt et Cox (1992) comme tout élément qui limite la capacité du système à atteindre ses buts et objectifs conçus pour être accomplis ou comme le maillon le plus faible d'une entreprise semblant être la source de problèmes (Cyplik et al., 2009). Physiquement, c'est une ressource de goulot d'étranglement, dont la capacité est inférieure ou égale à la demande qui lui est imposée (Radovilsky, 1998).

II.3.2.2. Le rôle des Buffer dans la Théorie des Contraintes

Dans le maillon de distribution, la TOC propose d'agréger le stock le plus proche possible de la source/usine pour faire face aux fluctuations de l'offre et de la demande. Pour cela, il faut identifier les points de divergences dans la SC. Autrement dit, les points critiques où la variabilité explose ou le stock est excessif. L'agrégation des stocks à ces endroits et la mise en place d'entrepôts centraux permettent une réduction notable de la variabilité. Les entrepôts d'usine (PWH) et les entrepôts centraux (CWH) réapprovisionnent les détaillants en maintenant les stocks à des niveaux acceptables.

D'autre part, les entrepôts régionaux (RWH) sont nécessaires qu'ils soient près du point de consommation finale si le temps lié au transport est grand ou si les délais de livraison constituent un facteur fort pour le marché (Cox et Schleier, 2010). Ce sont des considérations stratégiques liées à la conception du réseau de distribution.

Les Buffers fournissent une protection au flux. Leur fonction la plus importante est de le protéger de toute perturbation. Le flux est influencé par la demande, l'offre et le délai de réapprovisionnement dans une SC. Les tailles du Buffer sont directement liées au niveau de sécurité souhaité et varient en fonction de l'article et de l'emplacement du Buffer. Les valeurs initiales de ces tailles ne sont pas des décisions critiques. Ce n'est pas nécessaire de prendre des valeurs précises des tailles des Buffers pour garantir le succès de l'implémentation, car le processus de la gestion dynamique des Buffers corrigera le niveau cible de chaque élément en fonction de la demande effective.

La TOC suggère deux méthodes pour déterminer la taille initiale des Buffers, également adoptées en production (Cox et Schleier, 2010) :

- Facteur de Paranoïa : il consiste à multiplier le taux de demande moyen pendant une certaine période et le temps de réapprovisionnement correspondant pour un « facteur de paranoïa », généralement 1,5 ou 2, afin d'éviter un pic de ventes ou un blocage. Ce facteur reflète l'angoisse d'une éventuelle rupture de stock et ajoute une certaine quantité de stock comme sécurité supplémentaire.

- Temps de réapprovisionnement fiable : il est appelé « fiable » car une commande a une probabilité très élevée (90% à 95%) d'arriver à destination dans ce délai. Il est différent du temps de réapprovisionnement standard, qui est calculé en moyenne. Le temps de réapprovisionnement fiable est supérieur à la moyenne et plus similaire à une valeur maximale.

Comme la gestion des réseaux de distribution nécessite de mettre le bon stock au bon moment (Yuan et al., 2003), TOC propose la méthode de "Drum Buffer Rope" (DBR). Son principe est de fixer le stock à un niveau cible, en le présentant sous forme d'un "Buffer" et d'identifier les priorités d'approvisionnement ainsi que de fournir des signaux afin d'ajuster les niveaux cibles. DBR permet de distribuer ou de fournir les produits en se basant sur les signaux du « goulot d'étranglement », dans un contexte manufacturier, pour se synchroniser avec la ressource la moins capable dans le processus (Zhao et al., 2014).

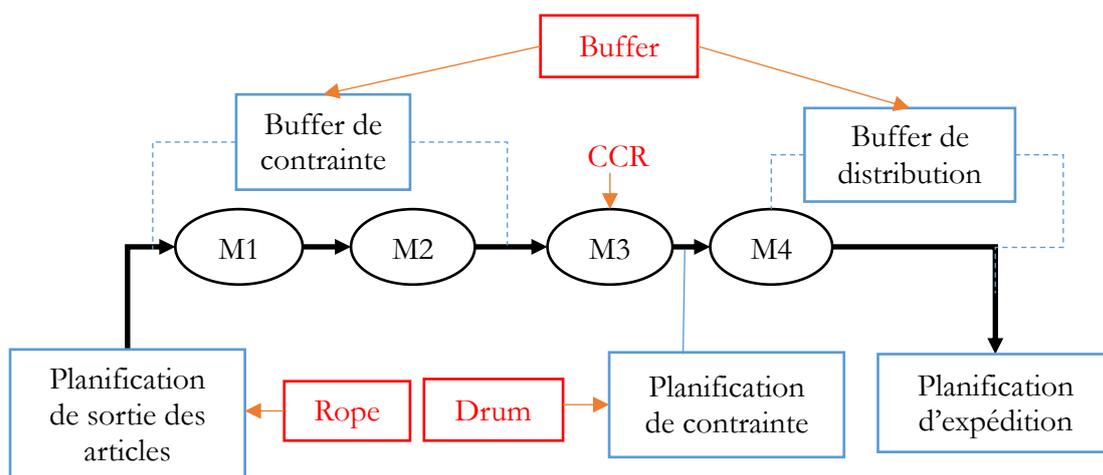


Figure 2.6. Illustration du concept « Drum Buffer Rope »

DBR est basé sur les trois concepts :

- "Drum", défini comme un point de contrôle dans le système lié à une ressource à contrainte de capacité CCR (Radiovilsky, 1998), considérée comme le système avec la moins de capacité. Le Drum est la base qui permet de gérer et créer la planification pour l'usine (Watson et al., 2003).
- "Buffer", est placé pour protéger le point de contrôle, et pour s'assurer que la contrainte ne soit jamais inactive et pour maintenir la capacité du système à produire dans les délais planifiés (Watson et al., 2003).

- "Rope", utilisée pour la communication en retour aux ressources pour produire la quantité nécessaire aux niveaux cibles (Radiovitsky, 1998).

Suite à ces définitions, dans la TOC, la contrainte agit comme un tambour qui bat à un rythme et le "Buffer" sépare la contrainte du reste du système (Blackstone, 2001), le "Rope" est un système de signalisation qui va de la contrainte à la libération de matière.

D'après l'analyse de la littérature précédente qui concerne le Lean Distribution et la Théorie des Contraintes. Il est constaté qu'ils reposent sur un modèle du flux tiré qui se base sur la demande réelle des clients. Egalement, ils partagent le concept de mise en place des Buffers pour la protection du flux contre les perturbations de la demande. La partie suivante décrit le modèle proposé qui saisit les avantages du Lean distribution et la théorie des contraintes.

II.4. Construction du modèle DDDRP

Bien que le DRP conventionnel présente des limites dans la gestion des ressources dans les réseaux de distribution comme décrit dans la section II.1 de ce chapitre. Le modèle proposé vise à remédier à ces limites. Par la consultation des approches du Lean Distribution et la Théorie de Contraintes, le modèle construit va présenter une amélioration du DRP conventionnel en passant d'une gestion basée sur la prévision vers la demande réelle, et en positionnant des Buffers dans des points stratégiques dans le réseau de distribution. Par conséquent, les approches du DRP, Lean Distribution et Théorie des Contraintes vont constituer les axes du modèle DRP piloté par la demande, dans l'objectif d'avoir un flux de distribution optimal et protégé contre le phénomène du BWE.

II.4.1. Pilotes du modèle DDDRP

Le DRP piloté par la demande se présente comme une solution de planification et d'exécution - multi-échelons - pour une gestion optimale du flux. Le modèle est basé sur les axes principaux présentés dans la littérature : DRP, Lean et Théorie des Contraintes. Le but de l'approche est d'arrêter et de réduire tout type de variabilité à travers les réseaux de distribution tout en planifiant et exécutant de manière optimale le réapprovisionnement des articles en priorité auprès des fournisseurs en amont. La figure 2.8 montre la variabilité qui propage le long d'un réseau de distribution à quatre échelons.

Le « Buffer » présenté dans la figure 2.7 est divisé en trois zones :

- Rouge qui concerne le niveau de sécurité incorporée dans le Buffer ;

- Jaune qui est responsable de la couverture de la demande ;
- Vert pour déterminer à quel niveau est la fréquence et la taille de la commande.

Les « Buffers », manifestés par ces zones, sont dimensionnés en utilisant un ensemble de paramètres et d'équations adaptés de l'approche DDMRP.

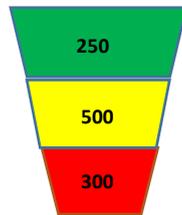


Figure 2.7. Buffer avec les trois niveaux

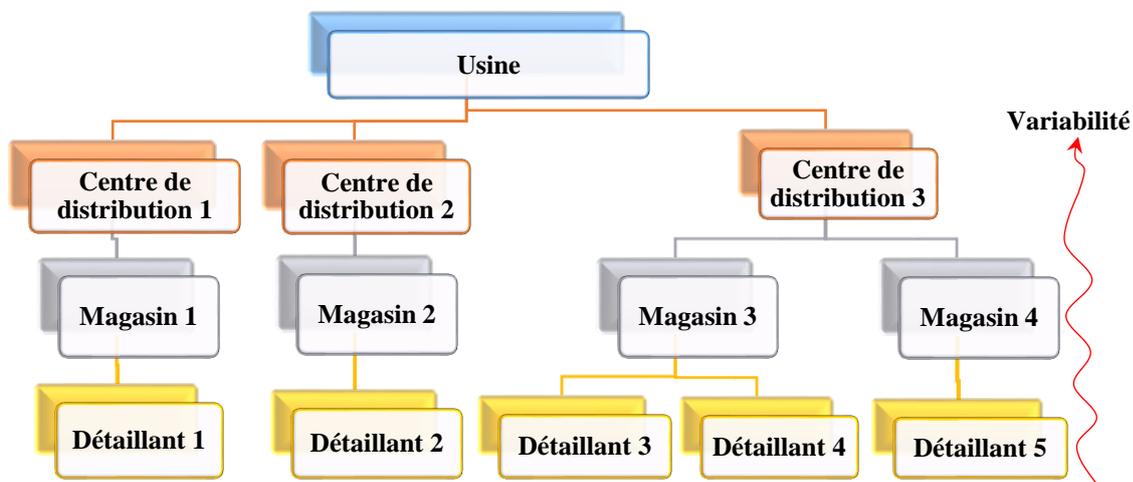


Figure 2.8. Réseaux de distribution et propagation de la variabilité

Le concept de mise en place des « Buffer », offre une solution à l'amplification de la variabilité dans les réseaux complexes, qui sont souvent susceptibles de provoquer des problèmes de stockage, soit sous forme de rupture de stock c'est-à-dire un niveau « trop faible » entraînant des ventes ratées et des manques d'articles, ou excès de stock c'est-à-dire « trop » d'articles, fournissant un excédent de dépenses et un besoin de plus d'espace nécessaire pour le stockage, appelé dans la littérature par « Effet bimodal » (Figure 2.9). Ainsi, l'action appropriée consiste à mettre le maximum d'articles dans la zone optimale de stockage, afin d'éviter le phénomène « Trop faible » ou « Trop ».

La politique de stockage optimale a un effet positif sur le flux de distribution des produits, et par conséquent sur les délais et sur le taux de service (Figure 2.10).

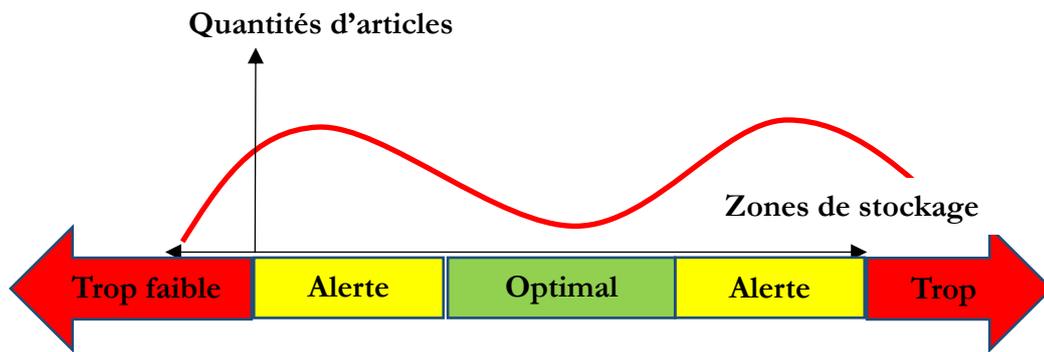


Figure 2.9. Effet Bimodal

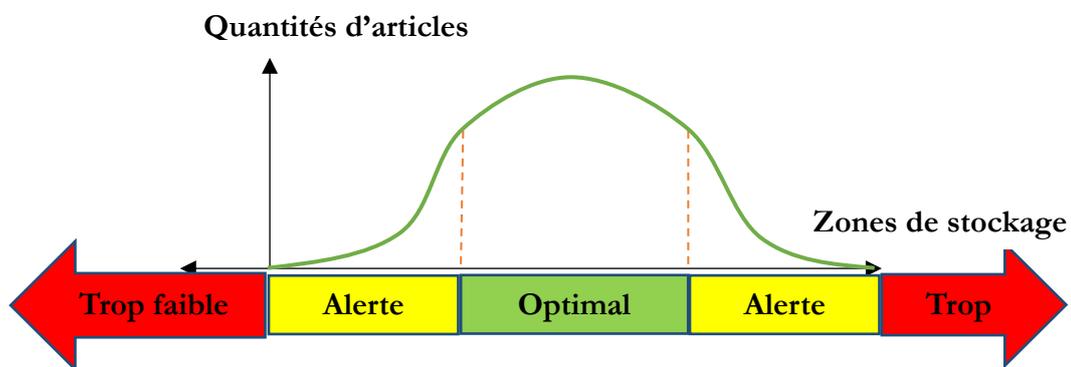


Figure 2.10. Stockage optimal

Le modèle DDDRP peut être structuré sur certaines étapes allant du positionnement des "Buffers" jusqu'à l'exécution du réapprovisionnement en matières. La figure 2.11 montre un réseau de distribution avec des "Buffers", physiquement sous la forme d'un « Hub » de découplage. (Ptak et Smith, 2016) déclarent que ce « Hub » devrait être le plus proche possible à l'unité d'approvisionnement pour alimenter chaque région en cas de besoin, illustré par l'exemple du Hub de découplage du centre de distribution 2 qui alimente le magasin 2. Le magasin 3 est associé à un autre Hub de découplage qui alimente de la même manière les détaillants 4 et 5.

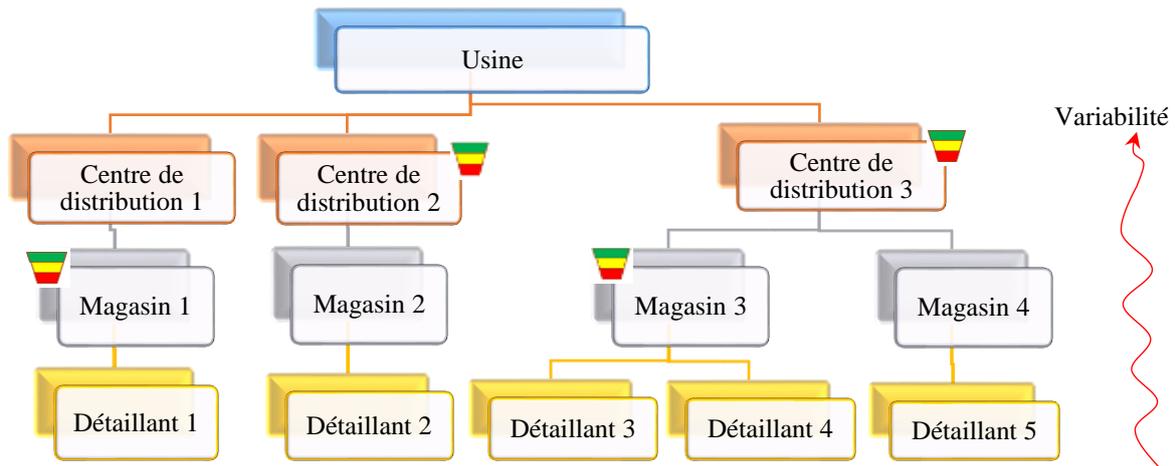


Figure 2.11. Réseaux de distribution muni des Buffers

II.4.2. Les éléments théoriques du modèle DDDRP

Comme la variabilité est sujet d'amplification depuis les détaillants jusqu'à l'usine, les "Buffers" sont la clé pour arrêter cette variabilité et réduire les délais. Les horizons de planification seront réduits en raison de la mise en place des « Hubs » de découplage.

Après avoir positionné les "Buffers", la caractérisation du profil et le dimensionnement des tailles se réfèrent à des méthodes spécifiques pour les calculs, chaque Buffer est divisé en trois couleurs, pas nécessairement égales (Figure 2.3). Les niveaux du "Buffers" sont calculés en fonction des paramètres de distribution, y compris le délai (LT) d'un centre fournisseur à un centre récepteur. Il concerne dans le contexte de la distribution, le temps de lancement, de préparation de la commande, de chargement, de transit, de déchargement et de stockage. Sinon, le délai de découplage (DLT) est déterminé pour chaque référence comme étant la plus longue séquence cumulative non associée au "Buffer" du réseau de distribution. Le calcul comprend également le profil du "Buffer" (liées à la variabilité et aux délais) ainsi que la consommation quotidienne moyenne (ADU), le prix de vente des produits et les facteurs d'ajustement de la demande (DAF). Le profil et les niveaux du "Buffer" exploitent les formules DDMRP suivantes (2.1 à 2.5).

$$\text{Red Base} = \text{ADU} * \text{DLT} * \text{lead time factor} \quad (2.1)$$

$$\text{Red Safety} = \text{Red base} * \text{variability factor} \quad (2.2)$$

$$\text{Total red zone} = \text{Red Base} + \text{Red Safety} \quad (2.3)$$

$$\text{Yellow Zone} = \text{ADU} * \text{DLT} \quad (2.4)$$

$$\text{Green Zone} = \text{ADU} * \text{DLT} * \text{Lead Time factor} \quad (2.5)$$

Le DRP traditionnel intègre le concept de stock de sécurité, à un niveau statique, une fois dépassé, il permet de générer l'ordre d'approvisionnement. D'autre part, le DRP dirigé par la demande prend en compte les changements du marché et les fluctuations des paramètres de fonctionnement tels que l'ADU. Ce caractère variable conduit à un ajustement dynamique du "Buffer", dans lequel le niveau de protection fléchit vers le haut et vers le bas en fonction de l'état de ces paramètres, ce qui signifie une mise à jour continue de la situation du "Buffer" (Figure 2.12).

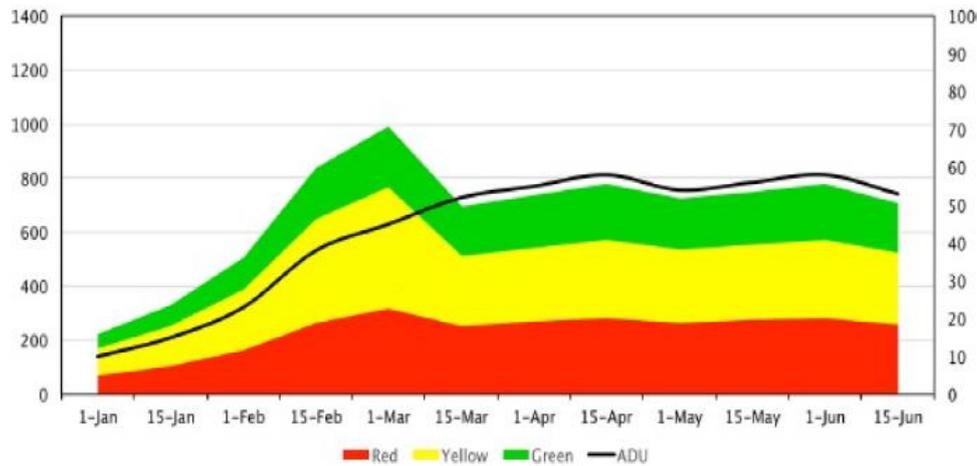


Figure 2.12. Mise à jour continu du Buffer

L'ajustement de niveau prépare pour la phase de génération des commandes d'approvisionnement. Relativement à chaque article, la position du flux net dans le "Buffer" est la clé de la génération de l'ordre d'approvisionnement. Cette position est calculée avec l'équation de flux net, elle est centrée sur les ventes qualifiées, pas sur la prévision, en utilisant la quantité en stock, la quantité d'approvisionnement ouverte et la commande client qualifiée.

$$OH+OS-QS=net\ flow\ position \quad (2.6)$$

OH (On Hand) = Quantité du stock physique disponible ;

OS (Open Supply) = Quantité du stock commandé mais non reçu.

QS (Qualified Sales) = les commandes client en retard, des commandes client dues aujourd'hui et des pics qualifiés.

Conclusion

Ce chapitre vise à la construction du modèle DDDRP. L'objectif du modèle consiste à remédier aux problèmes relatifs à la prévision de la demande, les dépendances entre les points de distribution et la distorsion de l'information. Après avoir posé le diagramme de la revue de

littérature systématique et avoir présenté les détails des travaux consultés, un ensemble d'axes primordiaux sont adoptés pour former les bases du DDDRP. En effet, à partir du Lean Distribution et de la Théorie de Contraintes, l'importance de la notion du Buffer est relevée d'une part, ainsi que les avantages de l'approche du flux tiré entre les points munis de Buffers dans les réseaux de distribution. Dans l'approche DDDRP, la planification est faite en se basant sur la demande réelle sans faire recours à la prévision. De plus, l'installation des Buffers dans des points stratégiques permet de tirer les flux entre ces points en ajustant continuellement les niveaux des Buffers. Ce chapitre a permis de poser les axes et donner les caractéristiques du nouveau modèle. Le chapitre suivant sera objet d'une comparaison empirique entre le modèle construit et le DRP conventionnel sur un cas d'étude réel.

Chapitre III

Implémentation et évaluation du modèle DDDRP

Chapitre III : Implémentation et Evaluation du modèle DDDRP

Introduction

La construction du modèle DDDRP - à partir des axes du DRP, Lean Distribution et la Théorie des Contraintes - a permis d'identifier plusieurs promesses à réaliser, qui sont :

- L'absorption de l'amplification de la variabilité dans les réseaux de distribution ;
- La gestion optimale du stock des en-cours ;
- La garantie d'un bon taux de service qui répond aux objectifs fixés par l'entreprise ;
- L'adaptation du flux de matière à la variabilité de la demande et du délai.

Pour assurer ces promesses, une comparaison empirique entre les modèles DDDRP et DRP conventionnel est menée par la définition d'un ensemble d'expériences sur un cas d'étude. C'est un réseau à trois échelons qui comporte 21 points de distributions. Une simulation à évènements discrets est retenue afin de modéliser chaque méthode de pilotage avec ses contraintes et analyser dynamiquement le flux dans le réseau de distribution. La comparaison est basée sur le calcul des indicateurs de performance qui correspondent aux taux de service (OTS), Besoins en fonds de roulements (WC) et à d'autres indicateurs propres à chaque modèle comme les niveaux de sécurité adoptés et les niveaux des Buffers implémentés. Le résultat va permettre de donner une synthèse sur les points forts de chaque modèle de pilotage du flux en distribution, face à plusieurs scénarios de la variabilité de la demande.

III.1. Données du cas d'étude

L'étude de cas traité dans ce chapitre porte sur l'étude d'un réseau de distribution d'une entreprise marocaine qui œuvre dans la production et la distribution des produits laitiers. Le 1^{er} échelon représente l'usine. Le 2^{ème} concerne les centres de distribution régionaux (CDR). Le 3^{ème} échelon concerne les centres de distribution urbains (CDU) (Figure 3.1). L'étude se focalise sur une seule famille de produit distribuée le long du réseau à trois échelons.

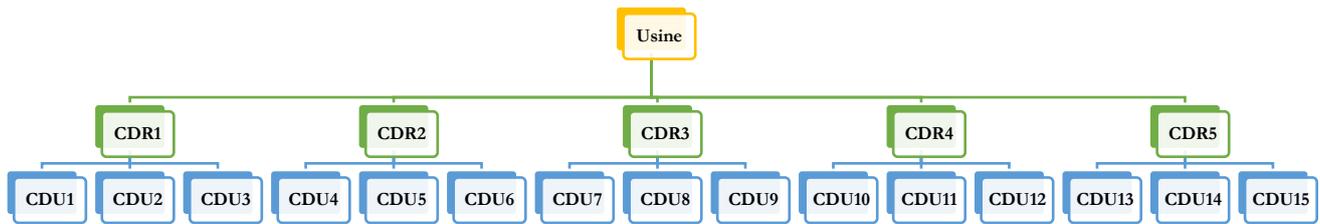


Figure 3.1. Réseau de distribution du cas d'étude.

L'étude de cas repose sur un ensemble de données issus du département logistique de l'entreprise. Les données disponibles sont :

- L'historique des ventes mensuelles de la famille du produit traitée sur un horizon de trois ans, pour les 15 CDUs étudiés dans le réseau de distribution ;
- Le stock initial adopté au début de chaque période annuelle pour les CDUs et les CDRs.
- Les coûts de stockage et les prix de ventes du produit étudié.
- Les délais de passage des produits d'un échelon à l'autre.

Le tableau 3.1 illustre une partie des données d'entrée pour les six premiers CDUs.

Tableau 3. 1. Extrait des données pour les six premiers CDUs

| | Historique des ventes | | Etat de stock Initial | Coût de stockage (unité) |
|------|-----------------------|---------|-----------------------|--------------------------|
| | Mois | Ventes | | |
| CDU1 | Mois1 | 28,764 | 2000 | 0.1 |
| | Mois2 | 44,334 | | |
| | Mois3 | 46,123 | | |
| CDU2 | Mois1 | 99,600 | 15000 | 0.1 |
| | Mois2 | 290,155 | | |
| | Mois3 | 366,939 | | |
| CDU3 | Mois1 | 293,267 | 15000 | 0.1 |
| | Mois2 | 335,231 | | |
| | Mois3 | 133,723 | | |
| CDU4 | Mois1 | 22,327 | 3000 | 0.1 |
| | Mois2 | 91,098 | | |
| | Mois3 | 33,571 | | |
| CDU5 | Mois1 | 107,599 | 5000 | 0.1 |
| | Mois2 | 122,057 | | |
| | Mois3 | 149,920 | | |
| CDU6 | Mois1 | 186,144 | 3000 | 0.1 |
| | Mois2 | 111,392 | | |
| | Mois3 | 1,333 | | |

La famille du produit laitier étudiée est fabriquée à l'usine. Elle prend trois jours avant qu'elle soit dans les CDRs. De même, le délai de distribution du CDR vers les CDUs est de trois jours. L'usine expédie vers les cinq CDRs où chaque CDR gère la distribution d'une manière décentralisée. Chaque CDR est responsable de la distribution vers trois CDUs. Les deux parties qui suivent se focalisent sur l'implémentation des modèles DRP et DDDRP sur ce cas d'étude.

III.2. Implémentation du modèle DRP

III.2.1. Principe d'implémentation du DRP

Comme convenu dans le chapitre 1, le modèle DRP prend en considération la demande prévisionnelle élaborée localement au niveau du 3^{ème} échelon (CDUs). Cette prévision est la base de construction d'une grille DRP qui s'appelle le Programme Directeur d'Approvisionnement (PDA) (Tableau 3.2). Le PDA est élaboré pour chaque unité de distribution du 3^{ème} échelon pour déterminer les ordres d'approvisionnement - en temps et en quantité - à communiquer au 2^{ème} échelon. De même, chaque unité du 2^{ème} échelon élabore son propre PDA pour communiquer les ordres de fabrication à l'usine. Chaque unité de distribution adopte ses propres niveaux de stock de sécurité.

Finalement, le flux est poussé de l'amont vers l'aval, en respectant les plannings et les quantités élaborés par le système DRP.

Le tableau 3.2 montre un extrait du raisonnement DRP élaboré pour le CDU1, sur fenêtre partielle de dix jours. Dans le cas d'étude, l'implémentation du modèle DRP est réalisée sur l'horizon d'une année.

Tableau 3.2. DRP réalisé pour le CDU1 pendant dix jours

| Paramètres du PDA | | Jours | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|------|----------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Stock de sécurité | 400 | Demande | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Stock initial | 2000 | Stock | 2000 | 1600 | 1200 | 800 | 400 | 1500 | 1100 | 700 | 1800 | 1400 |
| Quantité de commande | 1500 | Stock projeté | 1600 | 1200 | 800 | 400 | 1500 | 1100 | 700 | 1800 | 1400 | 1000 |
| Délai (jours) | 3 | Réception | 0 | 0 | 0 | 0 | 1500 | 0 | 0 | 1500 | 0 | 0 |
| Taille de lot d'approvisionnement | 500 | Début | 0 | 1500 | 0 | 0 | 1500 | 0 | 0 | 0 | 1500 | 0 |

Le stock initial au 1^{er} jour est de 2000 unités pour le CDU1. La demande du 1^{er} jour s'évalue à

400 unités. Le stock au 2^{ème} jour sera $2000 - 400 = 1600$. Le même principe se poursuit chaque jour jusqu'au 5^{ème} jour où le stock final devient inférieur au stock de sécurité (400 unités). En effet, il doit y avoir un stock nul après à la fin du 5^{ème} jour avoir rempli la demande de 400 unités. Par conséquent, une réception est planifiée au 5^{ème} jour pour combler ce franchissement du seuil du stock de sécurité. La quantité de commande est fixée à 1500 unités. Finalement, le lancement de la distribution doit se faire trois jours à l'avance pour prendre en considération le délai de distribution. Donc c'est au 2^{ème} jour que la commande serait lancée. La dernière ligne représente les ordres d'approvisionnement communiqués au fournisseur direct du CDU1 qui est le CDR1.

La partie suivante éclaircit les paramètres du PDA à savoir le stock de sécurité, la quantité économique de commande et la taille du lot d'approvisionnement.

III.2.2. Détermination du stock de sécurité

III.2.2.1. Stock de sécurité des CDUs

Le stock de sécurité sert généralement à couvrir le dépassement des prévisions par les ventes. L'idée de base disait que si le stock de sécurité est élevé, meilleur serait le taux de service. Mais en réalité, ce n'est pas la grande quantité de stock de sécurité qui fait le service client. L'excès de stock peut cacher les problèmes et brouille le système qui n'arrive pas à montrer la réalité des besoins.

Le stock de sécurité pour notre système DRP est introduit pour limiter les ruptures de stocks dues aux aléas qui sont généralement relatifs aux prévisions non conformes à la demande réelle (ou aux délais d'approvisionnement plus longs que prévu ...).

Pour une demande relativement stable, une politique de stock de sécurité basique est adoptée. Le stock de sécurité sera égal à la demande journalière prévue.

Par exemple, si la demande prévue est constante le long d'un mois et est évaluée à 400, le stock de sécurité correspondant sera 400 unités.

$$\text{Stock de sécurité} = \text{Couverture d'un jour de consommation} \quad (3.1)$$

Les ordres d'approvisionnement déduites dans le PDA des CDUs sont considérés des demandes pour les CDRs. Par conséquent, une approche variée est considérée pour élaborer le stock de sécurité dans le PDA des CDRs.

III.2.2.2. Stock de sécurité des CDRs

Les demandes arrivées aux CDRs sont déduites à partir des ordres communiqués par les CDUs. Par exemple, la demande du jour i au CDR1 est égale à la somme des ordres d’approvisionnement du CDU1, CDU2 et CDU3. Cette demande a un caractère variable comme décrit dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3. Ordres arrivés au CDR1

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|---|------|------|---|------|---|------|---|------|
| Demande | 0 | 0 | 2000 | 2000 | 0 | 3000 | 0 | 2000 | 0 | 5000 |

Le tableau 3.3 montre un extrait de la demande réelle arrivée au CDR1 sur une fenêtre de dix jours. Le stock de sécurité doit tenir compte de l’incertitude de la demande sachant que le délai est fixe.

La formule adoptée est la suivante :

$$\text{Stock de sécurité} = Z * \sigma_{\text{demande}} * \sqrt{\text{délai moyen}} \quad (3.2)$$

Z est un coefficient de service déterminé en fixant un taux de service souhaité. Ce taux représente un pourcentage égal à la probabilité de répondre à la demande, en supposant une distribution normale.

Dans notre cas, pour un taux de service de 95%, Z est égale à 1.64 (extrait à partir d’un tableau relatif à la loi normale). Ainsi, pour le CDR1, le stock de sécurité calculé pour le premier mois en se basant sur l’équation 3.2 est de 6006 unités.

III.2.3. Détermination de la quantité optimale de commande

Le calcul de la quantité économique vise à déterminer la quantité de commande qui offre le meilleur compromis entre les coûts de possession de stock et de passation de commande. La quantité de commande une fois déterminée entraîne le nombre optimal de commandes sur l’année pour le moindre coût global. Le calcul de la quantité économique est basé sur des approximations : Il suppose que la demande est stable, que les coûts de passation de commande et de possession des stocks soient connus. Ainsi, tout le calcul qui les utilise est considéré comme une estimation.

Dans le cas d’étude traité, la quantité économique de commande est calculée de façon à

minimiser une combinaison de coûts tels que le coût d'achat (pouvant inclure des réductions sur les commandes en gros), le coût de stockage, le coût de passation des commandes, etc.

La formule de Wilson développée en 1913 est utilisée pour déterminer la quantité économique de commande - Economic Order Quantity - (EOQ) (Nestorenko et al., 2020).

Les paramètres de la formule de Wilson sont :

- D : la quantité de la demande sur une période donnée
- S : le coût d'une commande, incluant le coût de passation de la commande, de transport et de réception
- H : le coût de stockage (ou de possession) unitaire sur la période étudiée.

En considérant la période d'un mois, l'EOQ de Wilson est :

$$Q = \sqrt{\frac{2 D * S}{H}} \quad (3.3)$$

Voici le résultat du calcul de l'EOQ pour cas suivant :

- Unité de distribution : CDU1
- Période de calcul : 1^{er} mois
- Coût de la commande : 100 DH/commande
- Coût de stockage mensuel : 1 DH/unité
- Quantité de la demande : 11200 unités

Par conséquent, l'EOQ s'évalue à 1500 unités par commande (estimée).

La détermination des paramètres du stock de sécurité et de l'EOQ a permis de dresser les tableaux du PDA pour chaque point de distribution en suivant le raisonnement du calcul DRP.

III.3. Implémentation du modèle DDDRP

Cette partie se focalise sur l'implémentation des cinq phases du modèle DDDRP qui sont présentés dans la section II.4 du 2^{ème} chapitre :

- Positionnement des Buffers ;
- Dimensionnement des Buffers ;
- Ajustement dynamique des Buffers ;
- Planification basée sur la demande ;
- Exécution visible et collaborative.

Ces phases sont résumées dans la figure 3.2.

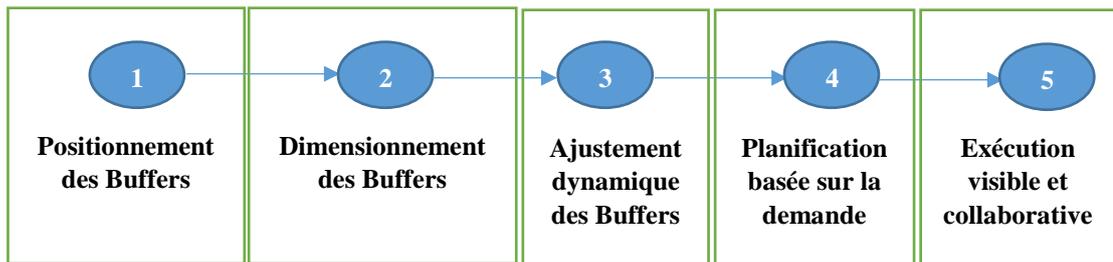


Figure 3.2. Les phases d'implémentation du modèle DDDRP

III.3.1. Positionnement des Buffers

Dans un réseau de distribution, plusieurs configurations sont possibles pour le positionnement des Buffers. Parmi ces configurations, il y a le réseau en étoile « Hub and Spoke ». Cette configuration possède un composant central connecté à plusieurs réseaux qui l'entourent. La topologie globale ressemble à une roue, avec un moyeu central connecté à des points le long du bord de la roue par l'intermédiaire de plusieurs rayons (Figure 3.3).

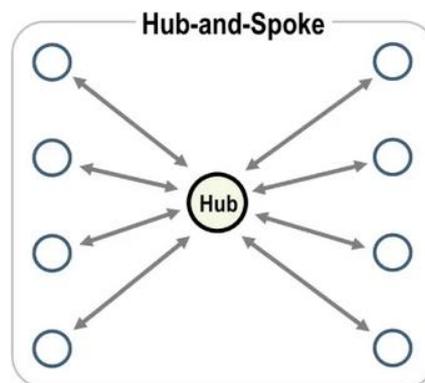


Figure 3.3. Réseau en étoile (Hub and Spoke)

Concrètement, Il s'agit de placer un Hub de stockage dans l'unité source et des points de stockage sur les entrepôts (Figure 3.4).

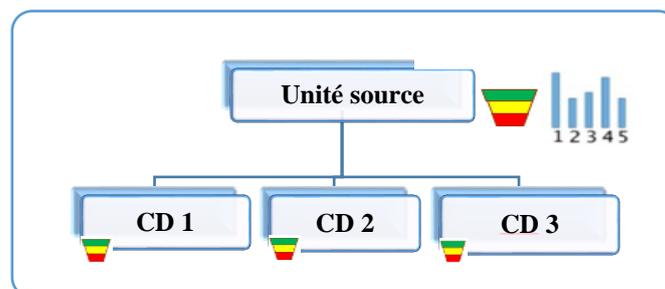


Figure 3.4. Réseau de distribution en étoile

Dans notre cas, chaque point de distribution sera muni des Buffers (l'usine fait exception). Donc chaque CDR va constituer un réseau en étoile avec les trois CDUs associés. Par conséquent, il y aura cinq réseaux en étoile (Hub & Spoke) (Figure 3.5).

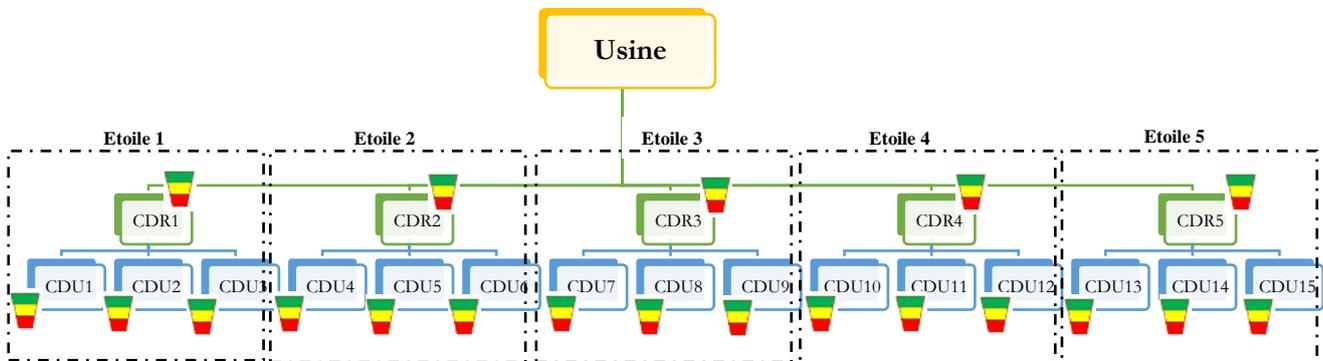


Figure 3.5. Positionnement du Buffer dans le réseau étudié avec la configuration en étoile

Le choix de cette configuration est basé sur la littérature (Ptak et Smith, 2016). En outre, la section IV.1 du quatrième chapitre se focalisera sur l'optimisation du positionnement des Buffers dans les réseaux généraux à N échelons.

III.3.2. Dimensionnement des Buffers

Le tableau 3.4 illustre un extrait des résultats du dimensionnement des Buffers pour le 1^{er} mois. Il montre les trois niveaux des Buffers qui vont constituer les données d'entrée pour la planification basée sur la demande.

Tableau 3.4. Dimensionnement des Buffers pour les CDUs pendant le 1^{er} mois

| | | CDUs | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Paramètres | ADU | 250 | 3100 | 3500 | 600 | 1200 | 1000 | 1000 | 2300 | 3500 | 800 | 3200 | 2400 | 2100 | 1200 | 2400 |
| | DLT | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Facteur Délai | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| | Facteur Variabilité | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Niveaux des | Base du Rouge | 375 | 1500 | 4500 | 330 | 2025 | 5134 | 375 | 1500 | 3000 | 300 | 900 | 900 | 750 | 750 | 3600 |
| | Sécurité du Rouge | 225 | 900 | 2700 | 198 | 1215 | 3080 | 225 | 900 | 1800 | 180 | 540 | 540 | 450 | 450 | 2160 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Zone Jaune | 750 | 3000 | 9000 | 660 | 4050 | 10269 | 750 | 3000 | 6000 | 600 | 1800 | 1800 | 1500 | 1500 | 7200 |
| Zone verte | 375 | 1500 | 4500 | 330 | 2025 | 5134 | 375 | 1500 | 3000 | 300 | 900 | 900 | 750 | 750 | 3600 |
| TOR | 600 | 2400 | 7200 | 528 | 3240 | 8214 | 600 | 2400 | 4800 | 480 | 1440 | 1440 | 1200 | 1200 | 5760 |
| TOY | 1350 | 5400 | 16200 | 1188 | 7290 | 18483 | 1350 | 5400 | 10800 | 1080 | 3240 | 3240 | 2700 | 2700 | 12960 |
| TOG | 1725 | 6900 | 20700 | 1518 | 9315 | 23617 | 1725 | 6900 | 13800 | 1380 | 4140 | 4140 | 3450 | 3450 | 16560 |

La 1^{ère} ligne correspond à la consommation journalière moyenne (ADU) pendant le 1^{er} mois. Cette information est prévue en se basant sur l'historique des ventes. Cette prévision est incorporée dans les Buffers DDDRP mais pas dans le mécanisme de planification contrairement au concept de DRP.

Le délai découplé (DLT) est une nouvelle forme de délai émergeant avec l'utilisation de points de découplage pour les produits distribués. Il est défini comme la plus longue série de délais cumulés dans la structure de produit d'un article distribué. Il s'agit d'une forme de délai cumulé mais limité et défini par le placement de points de découplage au sein d'un réseau de distribution.

Le DLT est calculé en additionnant tous les délais de distribution et d'approvisionnement dans la chaîne.

Après avoir prévu des Buffers dans tous les CDUs et les CDRs, le DLT sera toujours égale au délai de transfert ou Lead Time (LT) qui correspond à la fabrication, préparation de la commande, Chargement, Transport, Déchargement et le stockage. Dans notre cas :

$$DLT = 3 \text{ jours}$$

Le facteur de variabilité est proportionnel à la grandeur de la variabilité de la demande. Une variabilité est considérée grande lorsque les pics de demande sont fréquents dans un délai de distribution. Elle est considérée moyenne lorsque les pics sont occasionnels pendant le délai de distribution. Finalement, la variabilité est petite lorsque la demande est stable. D'autre part, le facteur de délai prend en considération la longueur de ce dernier par rapport au contexte de l'entreprise. Plus le délai d'approvisionnement est long, plus le facteur du Lead Time doit être petit.

Dans le scénario où la demande est relativement stable, les facteurs adoptés initialement sont :

$$\text{Facteur LT} = 50 \%$$

$$\text{Facteur variabilité} = 20 \%$$

Le calcul des niveaux se fait en se basant sur les équations (2.1) jusqu'à (2.5) données dans la

section IV.2 du 2^{ème} chapitre. Le haut du rouge - Top Of Red - (TOR), le haut du jaune (TOY) et le haut du vert (TOG) sont déterminés par les équations suivantes :

$$TOR = \text{Niveau du rouge} \quad (3.4)$$

$$TOY = TOR + \text{Niveau du jaune} \quad (3.5)$$

$$TOG = TOY + \text{Niveau du vert} \quad (3.6)$$

Pour le CDU1, la consommation journalière moyenne (ADU) prévue pour le mois est de 250 unités par jour. Le DLT est de trois jours. Les facteurs du délai et de variabilité sont fixés respectivement à 50% et 60% (La section IV.2 du 4^{ème} chapitre proposera une démarche d'optimisation du dimensionnement basée sur le choix des facteurs optimaux).

Ainsi, les résultats pour le CDU1 sont calculés de la manière suivante :

- Base du Rouge = $250 * 3 * 50\% = 375$ unités
- Sécurité du Rouge = $375 * 60\% = 225$ unités
- Niveau du Jaune = $250 * 3 = 750$ unités
- Niveau du Vert = $250 * 3 * 50\% = 375$ unités
- Haut du Rouge = $225 + 375 = 600$ unités
- Haut du Jaune = $600 + 750 = 1350$ unités
- Haut du Vert = $1350 + 375 = 1725$ unités

Les n

iveaux calculés des Buffers vont avoir un caractère variable au long de l'année. C'est un ajustement dynamique des Buffers dû au changement du paramètre ADU.

III.3.3. Ajustement dynamique des Buffers

L'ajustement dynamique décrit la mise à jour continue de l'état des Buffers dûs à l'apparition de nouveaux aspects comme l'introduction/suppression d'un produit, à la saisonnalité ou au changement de l'ADU.

Dans notre étude, le paramètre ADU est une valeur moyenne prévue pour chaque mois à partir de l'historique mensuelle. Néanmoins, l'ajustement se fera lors du changement de l'ADU d'un mois à l'autre (Tableau 3.5).

Tableau 3.5. Ajustement des Niveaux du Buffer du CDU1

| Mois | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin |
|-------------------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| ADU | 250 | 400 | 400 | 150 | 330 | 747 |
| Zone Rouge | 600 | 960 | 960 | 360 | 792 | 1792 |
| Zone Jaune | 750 | 1200 | 1200 | 450 | 990 | 2241 |
| Zone Verte | 375 | 600 | 600 | 225 | 495 | 1120 |
| Mois | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| ADU | 270 | 355 | 328 | 513 | 355 | 439 |
| Zone Rouge | 648 | 851 | 787 | 1230 | 851 | 1052 |
| Zone Jaune | 810 | 1065 | 984 | 1539 | 1065 | 1317 |
| Zone Verte | 405 | 532 | 492 | 769 | 532 | 658 |

Les graphes 3.6 et 3.7 montrent l'ajustement relatif au Buffer du CDU1 et CDR2, pour un scénario où la demande est variable tout au long de l'année.

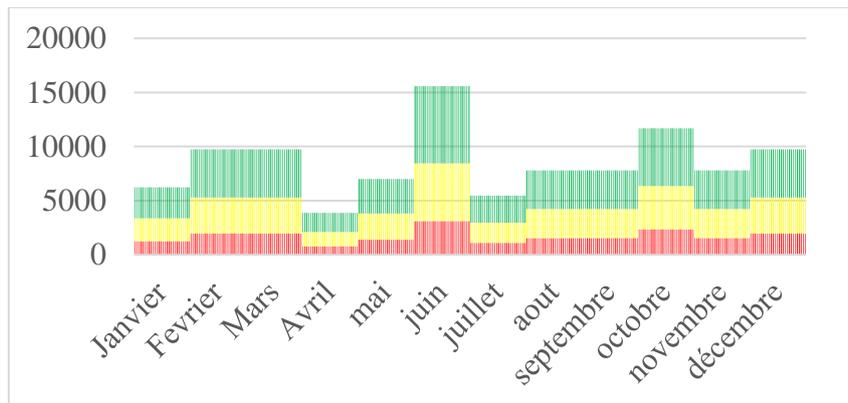


Figure 3.6. Ajustement du Buffer de CDU1

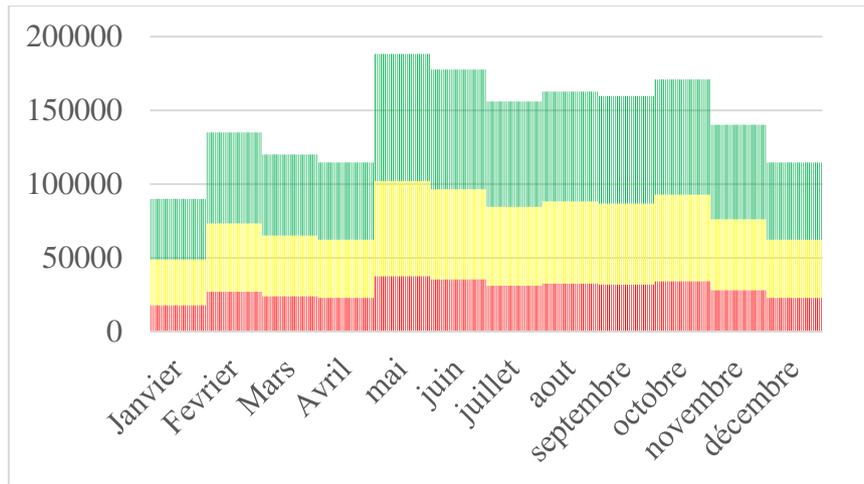


Figure 3.7. Ajustement du Buffer de CDR1

Les graphes précédents montrent le changement continu des niveaux des Buffers tout au long de l'année. C'est une adaptation dynamique du Buffer pour faire face aux fluctuations de la demande. Ce changement est dû à l'implémentation d'un ADU qui diffère d'un mois à l'autre. Par conséquent, l'ajustement de la zone rouge du Buffer montre que le niveau de sécurité incorporé dans le Buffer est variable d'un mois à l'autre. La zone jaune est ajustée également pour avoir une couverture suffisante de la demande. Enfin, la zone verte montre que la fréquence et la taille de la commande diffère d'un mois à l'autre.

III.3.4. Planification basée sur la demande

Le tableau 3.6 résume la méthode de planification basée sur la demande pour le CDU1.

Tableau 3.6. Extrait de la planification basée sur la demande au niveau de CDU1

| Paramètres de la planification | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------|----------------|----------------|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Jour | Commandes clients dues aujourd'hui | Pic futur total | Demande qualifiée | Stock actuel | Ordre en-cours | Ordres arrivés | NFP | Quantité d'approvisionnement | Date de d'arrivée de l'ordre | Priorité de la planification |
| 1 | 293 | 0 | 293 | 2000 | 0 | 0 | 1,707 | 0 | - | 79.03% |
| 2 | 293 | 0 | 293 | 1,707 | 0 | 0 | 1,414 | 746 | 5 | 65.46% |
| 3 | 293 | 0 | 293 | 1,414 | 746 | 0 | 1,867 | 0 | - | 86.44% |
| 4 | 293 | 0 | 293 | 1,121 | 746 | 0 | 1,574 | 0 | - | 72.87% |
| 5 | 293 | 0 | 293 | 828 | 746 | 746 | 1,281 | 879 | 8 | 59.31% |
| 6 | 293 | 0 | 293 | 1,281 | 879 | 0 | 1,867 | 0 | - | 86.44% |
| 7 | 293 | 0 | 293 | 988 | 879 | 0 | 1,574 | 0 | - | 72.87% |
| 8 | 293 | 0 | 293 | 695 | 879 | 879 | 1,281 | 879 | 11 | 59.31% |

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|---|-----|-------|-----|-----|-------|-----|----|--------|
| 9 | 293 | 0 | 293 | 1,281 | 879 | 0 | 1,867 | 0 | - | 86.44% |
| 10 | 293 | 0 | 293 | 988 | 879 | 0 | 1,574 | 0 | - | 72.87% |
| 11 | 293 | 0 | 293 | 695 | 879 | 879 | 1,281 | 879 | 14 | 59.31% |
| 12 | 293 | 0 | 293 | 1,281 | 879 | 0 | 1,867 | 0 | - | 86.44% |
| 13 | 293 | 0 | 293 | 988 | 879 | 0 | 1,574 | 0 | - | 72.87% |
| 14 | 293 | 0 | 293 | 695 | 879 | 879 | 1,281 | 879 | 17 | 59.31% |
| 15 | 293 | 0 | 293 | 1,281 | 879 | 0 | 1,867 | 0 | - | 86.44% |

Dans le tableau 3.6, le 1^{er} paramètre représente le numéro du jour allant de 1 jusqu'à 15. Le 2^{ème} paramètre représente la demande réelle du client. Ensuite, les pics futurs (paramètre 3) sont calculés. En effet, une demande est considérée comme un pic si elle est supérieure à un seuil des pics futures - Open Spike Threshold -(OST). La vérification des pics futurs se fait sur horizon des pics futures - Open Spike Horizon - (OSH). Les équations 3.7 et 3.8 montrent les valeurs des paramètres OST et OSH.

$$OSH = DLT + 1 \quad (3.7)$$

$$OST = \frac{Zone\ du\ Rouge}{2} \quad (3.8)$$

Si la demande sur l'horizon OSH dépasse le seuil OST, on considère que c'est un pic de futur. Puis, on l'ajoute à la commande réelle arrivée aujourd'hui pour former la demande qualifiée (paramètre 4).

Ensuite, la position du flux net (NFP) - décrit comme paramètre 9 - est calculée en se basant sur l'équation 2.6. Sa valeur est comparée à la position du Haut de Jaune (TOY).

A base de cette comparaison, un ordre d'approvisionnement est déclenché (paramètre 10) si NFP est inférieur à TOY. La date d'arrivée de l'ordre (paramètre 11) prend en considération le DLT qui est égal à trois jours.

L'état du stock (paramètre 5) est actualisé quotidiennement par la formule suivante :

$$Stock(j) = stock(j-1) - demand\ qualifiée(j-1) + ordre\ arrivé(j-1) \quad (3.9)$$

Les résultats de la partie précédente III.2 ont donné :

- Zone du Rouge = 600 unités
- Zone du Jaune = 750 unités
- Zone du Vert = 375 unités
- OST = 810/2 = 300 unités
- OSH = DLT+1 = 4 Jours

La planification basée sur la demande réelle relative au tableau 3.5 a donnée (1^{er} Jour) :

- La demande réelle = 293 ;
- Il n’y a pas de demande qui dépasse le seuil OST dans les quatre jours qui arrivent, donc il n’y a pas de pic futur. Ainsi, la demande qualifiée est $293+0= 293$;
- $NFP=stock\ actuel + approvisionnement\ ouvert - demande\ qualifiée = 2000+0-293= 1707$;
- NFP est supérieur à TOY (égal à 1350), donc aucun ordre d’approvisionnement ne serait lancé dans la 1^{er} jour.
- Priorité de planification = $(1350/1707) * 100 = 98.96\%$

Les ordres d’approvisionnements du CDU1, CDU2 et CDU3 sont communiqués au fournisseur parent qui est CDR1. La planification au niveau de ce dernier suit le même raisonnement élaboré auparavant, pour communiquer les ordres d’approvisionnement à l’usine (Tableau 3.7).

Tableau 3.7. Planification basée sur la demande au niveau de CDR1

| Paramètres | | | | | | | | | | |
|------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|-------------------|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Jour | Commandes clients dues aujourd’hui | Pic futur total | Stock actuel | Ordres en-Cours | Ordres arrivés | Demande qualifiée | NFP | Quantité d’approvisionnement | Date de l’arrivée de l’ordre | Priorité de la planification |
| 1 | 34604 | 16749 | 80000 | 0 | 0 | 51353 | 28647 | 23461 | 4 | 54.98% |
| 2 | 0 | 16749 | 45396 | 23461 | 0 | 16749 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 3 | 16749 | 0 | 45396 | 23461 | 0 | 16749 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 4 | 13029 | 0 | 28647 | 23461 | 23461 | 13029 | 39079 | 13029 | 7 | 75.00% |
| 5 | 0 | 0 | 39079 | 13029 | 0 | 0 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 6 | 0 | 0 | 39079 | 13029 | 0 | 0 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 7 | 913 | 21648 | 39079 | 13029 | 13029 | 22561 | 29547 | 22561 | 10 | 56.70% |
| 8 | 0 | 21648 | 51195 | 22561 | 0 | 21648 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 9 | 0 | 21648 | 51195 | 22561 | 0 | 21648 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 10 | 21648 | 0 | 51195 | 22561 | 22561 | 21648 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 11 | 9535 | 0 | 52108 | 0 | 0 | 9535 | 42573 | 0 | - | 81.70% |
| 12 | 764 | 0 | 42573 | 0 | 0 | 764 | 41809 | 0 | - | 80.24% |
| 13 | 0 | 0 | 41809 | 0 | 0 | 0 | 41809 | 0 | - | 80.24% |
| 14 | 5581 | 14838 | 41809 | 0 | 0 | 20419 | 21390 | 30718 | 17 | 41.05% |
| 15 | 0 | 14838 | 36228 | 30718 | 0 | 14838 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 16 | 0 | 14838 | 36228 | 30718 | 0 | 14838 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 17 | 14838 | 0 | 36228 | 30718 | 30718 | 14838 | 52108 | 0 | - | 100.00% |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|---------|
| 18 | 10815 | 0 | 52108 | 0 | 0 | 10815 | 41293 | 0 | - | 79.25% |
| 19 | 3666 | 0 | 41293 | 0 | 0 | 3666 | 37627 | 14481 | 22 | 72.21% |
| 20 | 776 | 0 | 37627 | 14481 | 0 | 776 | 51332 | 0 | - | 98.51% |
| 21 | 5566 | 0 | 36851 | 14481 | 0 | 5566 | 45766 | 0 | - | 87.83% |
| 22 | 0 | 23301 | 31285 | 14481 | 14481 | 23301 | 22465 | 29643 | 25 | 43.11% |
| 23 | 0 | 23301 | 45766 | 29643 | 0 | 23301 | 52108 | 0 | - | 100.00% |
| 24 | 1133 | 23301 | 45766 | 29643 | 0 | 24434 | 50975 | 0 | - | 97.83% |
| 25 | 23301 | 0 | 44633 | 29643 | 29643 | 23301 | 50975 | 0 | - | 97.83% |
| 26 | 0 | 18096 | 50975 | 0 | 0 | 18096 | 32879 | 19229 | 29 | 63.10% |
| 27 | 12189 | 18096 | 50975 | 19229 | 0 | 30285 | 39919 | 0 | - | 76.61% |
| 28 | 0 | 41036 | 38786 | 19229 | 0 | 41036 | 16979 | 35129 | 31 | 32.58% |

Pour le 1^{er} jour, il est remarqué que la valeur du NFP (28647) est inférieure à la valeur du TOY (32173). Donc un ordre d’approvisionnement sera lancé et est égale à $TOG - NFP = 52108 - 28647 = 14909$. La date d’arrivée de cet ordre sera le jour 4 ($1 + DLT = 4$).

Les graphes 3.8 et 3.9 illustrent la position du flux net dans les Buffers le long de la période de planification (un an) pour CDU1 et CDR1.

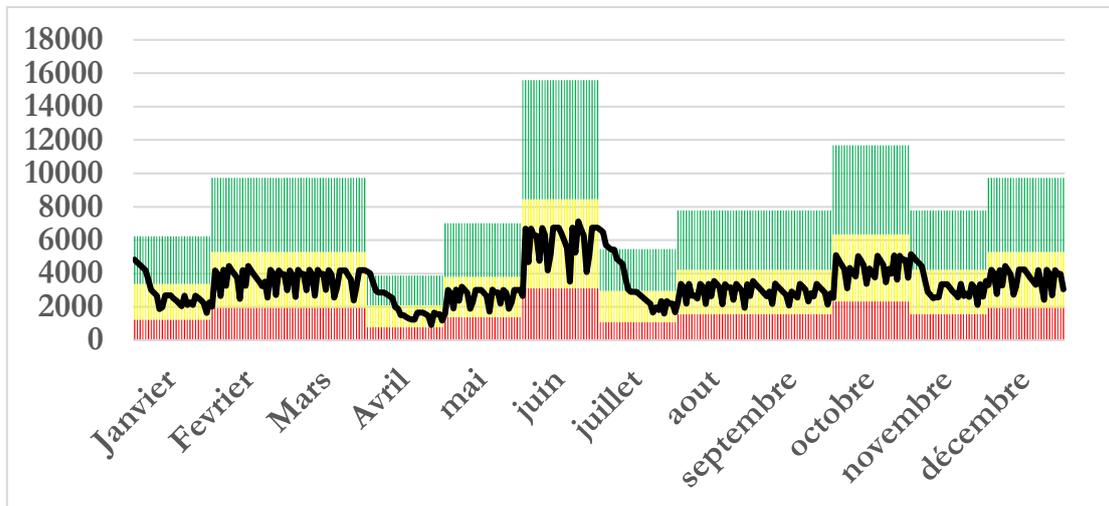


Figure 3.8. NFP dans le Buffer de CDU1

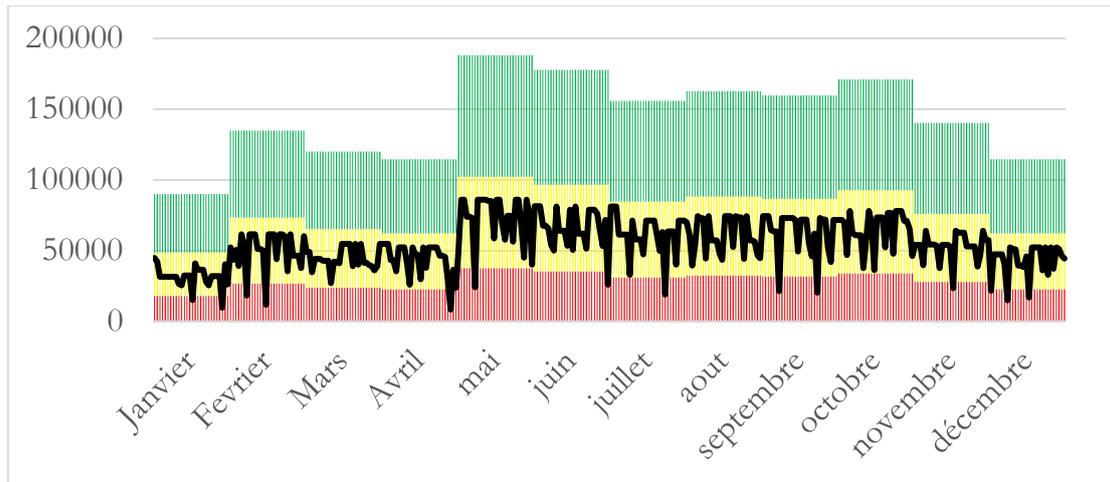


Figure 3.9. NFP dans le Buffer de CDR1

Dans la figure 3.8, le paramètre NFP est dans la plupart du temps dans la zone Jaune des Buffers. Néanmoins, NFP passe dans la zone verte lorsque les niveaux des Buffers diminuent d'un mois à l'autre. Le passage entre les mois de MARS et AVRIL montrent cet aspect. Mais la situation se stabilise après quelques jours et NFP retourne vers la zone Jaune.

Dans la figure 3.9, NFP passe parfois vers la zone rouge des Buffers. Ceci montre qu'il est nécessaire d'optimiser davantage l'ajustement des Buffers spécialement pour les CDRs. Cette optimisation consiste à trouver les meilleurs paramètres qui concernent les facteurs de délais et de variabilité. Ce problème va être traité dans le chapitre suivant.

III.3.5. Exécution visible et collaborative

Cette étape consiste à exécuter les ordres d'approvisionnement planifiés.

Dans le modèle DDDRP, l'exécution est basée sur le statut du Buffer, contrairement à d'autres modèles où l'exécution se fait par date d'échéance (modèle DRP). En effet, le statut du Buffer se détermine par :

$$STATUT\ DU\ BUFFER = \left(\frac{STOCK}{TOR} \right) * 100 \quad (3.10)$$

Ce statut permet de décider sur l'exécution des ordres planifiés pour un article distribué. L'article qui a le plus petit statut, forme une urgence d'exécution par rapport à d'autres articles.

Vu que l'étude porte sur un seul produit uniquement, on n'a pas donné beaucoup d'intérêt à la phase d'exécution.

III.4. Simulation des modèles par évènements discrets

Le processus de distribution dans les entreprises peut être décrit comme un ensemble d'évènements discrets. Le logiciel ARENA SOFTWARE – version 2019 - prend en charge et intègre les outils de modélisation à évènements discrets. Il permet également de générer les indicateurs de performance liés au flux de distribution modélisé.

Dans notre contexte, le flux de distribution est modélisé par deux méthodes différentes. La 1^{ère} méthode concerne le flux poussé présenté par le modèle DRP. La 2^{ème} méthode comporte la modélisation relative au modèle DDDRP. Après la modélisation, une simulation à évènements discrets des deux modèles de gestion est élaborée. Les indicateurs de performance sont ensuite calculés pour comparer les modèles sous les différents scénarios de la demande présentés dans la section suivante.

III.4.1. Scénarios de la demande et expériences de la simulation

Pour mener une comparaison entre les modèles DDDRP et DRP conventionnel, trois types de la demande sont testés ainsi que leurs influences sur les modèles.

L'approche consiste à commencer par une demande journalière stable le long d'une année. Ensuite, une demande saisonnière mensuellement est implémentée. Dans ce type d'implémentation, la demande reste fixe le long de chaque mois mais la quantité globale mensuelle est différente d'un mois à l'autre.

Finalement, la demande sera soumise à des pics hebdomadaires dans les deux derniers jours de chaque semaine.

Les scénarios étudiés sont résumés dans le tableau 3.8. D'autre part, les graphes 3.10 et 3.11 illustrent la demande saisonnière et la demande variable.

Tableau 3.8. Scénarios de la demande

| Scénario | Particularité |
|----------|---|
| 1 | Demande stable sur 12 mois |
| 2 | Demande saisonnière mensuellement, stable le long de chaque mois (Figure 3.10) |
| 3 | Demande variable caractérisée par deux pics dans chaque semaine. La demande de chaque pic est 5 fois plus grande que la demande antérieure (Figure 3.11) |

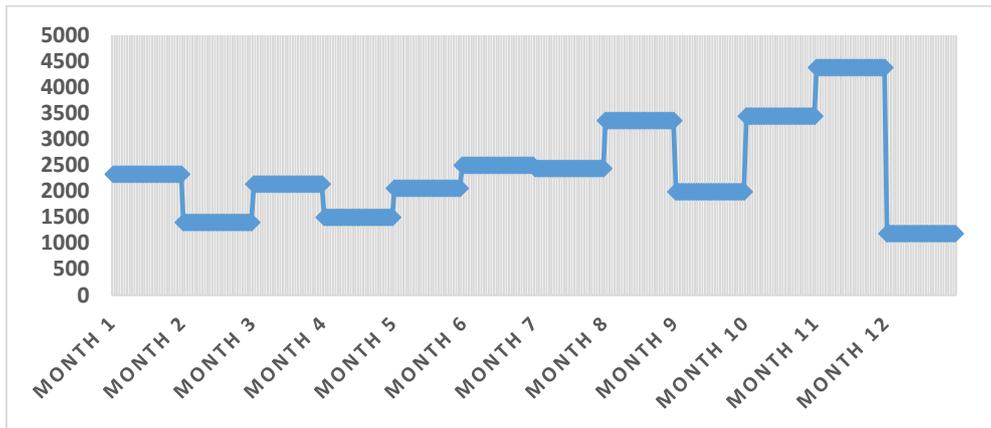


Figure 3.10. Demande saisonnière mensuelle au cours d'une année

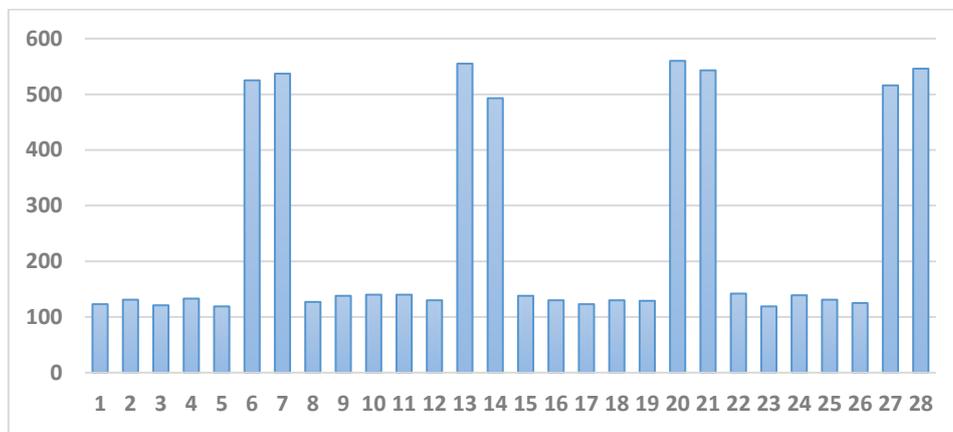


Figure 3.11. Demande journalière avec pics dans un mois

Après avoir établi les scénarios de la demande qui seront étudiés pour faire la comparaison entre les modèles DDDRP et DRP, une simulation à évènements discrets est adoptée. La partie suivante décrit les résultats de cette simulation.

III.4.2. Modélisation par ARENA SOFTWARE

III.4.2.1. Modélisation et Simulation du modèle DRP

Comme le réseau de distribution comporte trois échelons, le tableau 3.9 présente l'algorithme de la modélisation DRP. Il comporte les instructions relatives à chaque échelon.

Tableau 3.9. Algorithme de la modélisation DRP par ARENA

| Echelon (Sens du flux ↓) | N° | Instruction | Particularité |
|-----------------------------|----|-------------|---------------|
| | | | |

| | | | |
|----------------------|----|--|---|
| Echelon Usine | 1 | Créer une entité (produit) | Elle concerne le produit poussé vers CDR |
| | 2 | Lecture des ordres d'approvisionnement | Ces ordres sont calculés par DRP, et importés d'un fichier externe |
| | 3 | Commencer la production et la distribution | Les délais de distribution sont pris en considération |
| | 4 | Mise à jour du stock CDR | Stock du CDR devient stock + ordre d'approvisionnement arrivé de l'usine |
| | 5 | Enregistrer le nombre des ordres émises | |
| Echelon CDR | 6 | Créer une entité (produit) | Elle concerne le produit poussé vers les CDUs |
| | 7 | Lecture des ordres d'approvisionnement | Les ordres de CDR vers CDUs sont calculés par la méthode DRP et importés d'un fichier externe |
| | 8 | Mise à jour du stock CDR | Le stock du CDR est diminué en retranchant les ordres émis vers les CDUs du niveau de Stock |
| | 9 | Elaborer le processus de distribution | Processus prend un délai de 3 jours |
| | 10 | Enregistrer le nombre des ordres émise | |
| Echelon CDUs | 11 | Création des entités | Elles représentent les commandes clients arrivant aux CDUs |
| | 12 | Lecture de la demande réelle des clients arrivant à chaque CDU | Les ordres arrivés et les demandes sont importés d'un fichier externe |
| | 13 | Affectation d'un type pour chaque CDU | CDU1 => type 1 CDU2 => type 2 CDU3 => type 3 ... |
| | 14 | Mettre à jour les stocks CDUs | Ajouter les ordres arrivées des CDRs aux Stock des CDUs |
| | 15 | Vérifier le stock du CDU | On compare la quantité demandée avec le stock disponible |
| | 16 | Mise à jour du stock | Diminuer le stock si la demande est inférieure au stock |
| | 17 | Enregistrer les ventes achevées et les ventes perdues | |

Le modèle DRP élaboré par ARENA SOFTWARE est illustré dans la figure 3.12, tout en indiquant les numéros d'instruction dans chaque bloc.

La 1^{ère} partie de la modélisation commence par l'échelon de l'usine car le flux est poussé dans l'approche DRP. Les processus de production et de distribution sont inclus dans cette partie, et l'état de stock est mis à jour chez les CDRs après chaque distribution.

La 2^{ème} partie de la modélisation concerne l'échelon des CDRs. Le flux s'appuie sur les ordres d'approvisionnement calculés à l'aide du système DRP. Cet échelon comprend un processus de distribution vers les CDUs.

Dans la dernière partie de la modélisation qui concerne l'échelon des CDUs, l'entité d'entrée est la demande des clients. Le principe est de vérifier, quotidiennement si le stock - résultant des ordres arrivés à ce jour - est suffisant pour répondre à la demande du client.

Un système d'enregistrement est adopté pour calculer les indicateurs de performance.

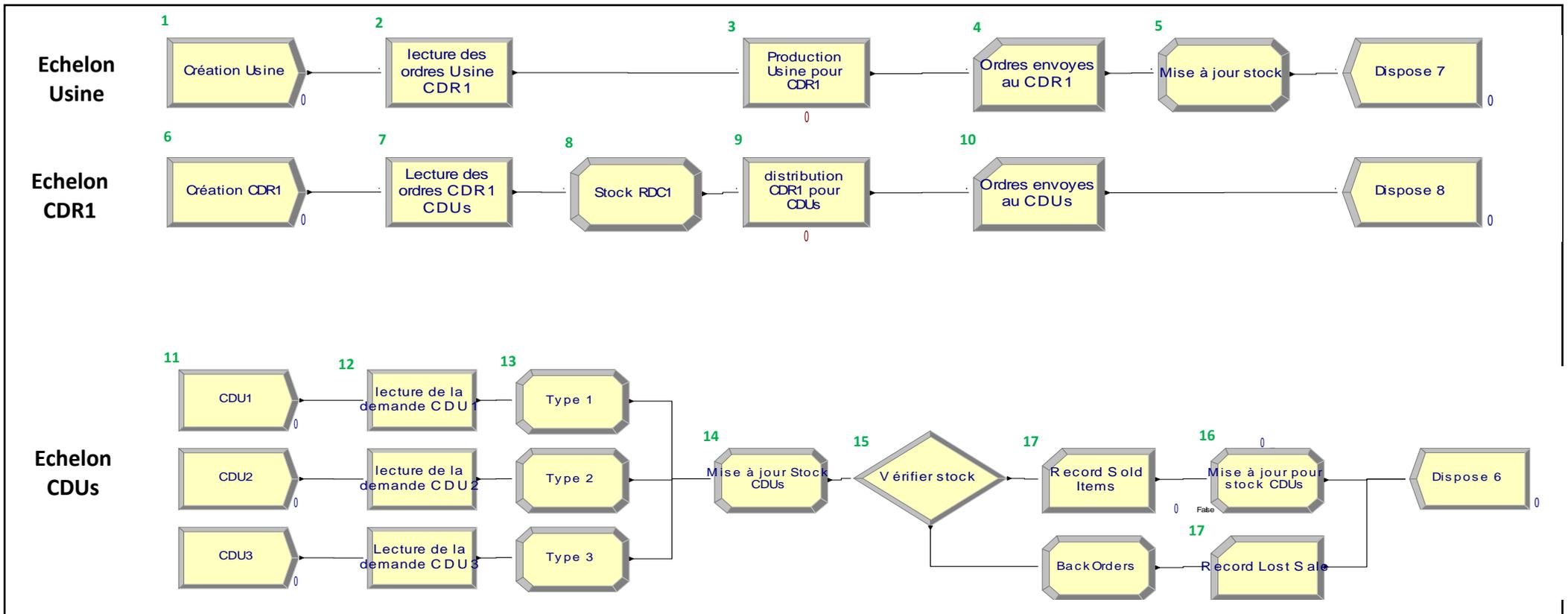


Figure 3.12. Modèle DRP sous ARENA SOFTWARE

III.4.2.2. Modélisation et Simulation du modèle DDDRP

Le tableau 3.10 illustre l'ensemble des instructions qui montrent l'enchaînement des opérations relatives à la modélisation DDDRP par ARENA SOFTWARE.

Tableau 3.10. Algorithme de la modélisation DDDRP par ARENA

| Echelon (Sens du flux ↓) | N° | Instructions | | Particularité |
|-------------------------------------|-----------|---|--|---|
| Echelon CDUs | 1 | Déclarer des entités | | Elles représentent les demandes clients arrivant aux CDUs |
| | 2 | Lecture de la demande et des pics futurs | | Importés d'un fichier externe |
| | 3 | Accorder un attribut à chaque CDU | | CDU1 => type 1 CDU2 => type 2 CDU3 => type 3 ... |
| | 4 | Lecture des ADUs | | La consommation journalière moyenne est le résultat de la prévision |
| | 5 | Dimensionnement des Buffers | | - Calculer les demandes qualifiées - Calculer les zones du Buffer - Calculer les hauts du Buffer |
| | 6 | Calcul du NFP | | - Vérifier les ordres en-cours - Calculer NFP des CDUs : NFP = stock + en ordre – demandes qualifiées |
| | 7 | Calculer les priorités actuelles de planification | | Priorité = NFP/TOG (en pourcentage) |
| | 8 | Vérifier le stock actuel par rapport à la demande | | |
| | 9 | Demande <= Stock | Mise à jour du stock et enregistrement des ventes achevées | Stock devient stock – demande |
| | 10 | Demande > stock | Enregistrements des ventes perdues | Pas de mise à jour, le client demande la quantité globale |
| | 11 | Vérifier les NFPs des CDUs | | |
| | 12 | Si NFP < TOY | Déclencher un ordre d'approvisionnement | Ordre d'approvisionnement = TOG – NFP |

| | | | | | |
|----------------------|----|--|---|--|------------------------|
| | | | | Affecter 1 à une variable représentant le statut du CDU en besoin | |
| | 13 | Si NFP > TOY | Ne pas déclencher | Pas d'ordre d'approvisionnement | |
| Echelon CDR | 14 | Créer une entité | | Elle représente les ordres arrivées des CDUs vers les CDRs | |
| | 15 | Affecter un attribut et mettre à jour les statuts de stock | | <ul style="list-style-type: none"> - Pour CDR1, attribut est type_CDR=1 - La demande arrivée au CDR est la somme des ordres déclenchés au niveau des trois CDUs associés | |
| | 16 | Lecture ADU et les pics futurs pour CDR1 | | Même principe du CDUs (instructions de 4 à 10) | |
| | 17 | Calculer le Buffer CDR1 | | | |
| | 18 | Vérifier NFP pour CDR1 | | | |
| | 19 | Si NFP < TOY | Déclencher un ordre d'approvisionnement | | |
| | 20 | Si NFP > TOY | Ne rien déclencher | | |
| | 21 | Vérifier si l'on doit livrer un CDU | | Selon l'instruction 12, Si la variable du statuts du CDU est égale à 1 livrer, sinon attendre. | |
| | 22 | Chercher le CDU concerné et confirmer | | Chercher lesquels des CDUs associés au CDR est en besoin | |
| | 23 | Vérifier le stock par rapport à la demande | | Même principe des CDUs | |
| | 24 | Stock > demande | Diminuer le stock et enregistrer | | Même principe des CDUs |
| | 25 | Stock < demande | Initialiser le stock et enregistrer | | |
| | 26 | Déclencher le processus de distribution | | Délai = 3 jours | |
| | 27 | Enregistrer le nombre d'ordres émises | | | |
| Echelon Usine | 28 | Créer une entité | | Elle représente les ordres arrivés des CDRs vers l'usine | |

| | | | |
|--|----|---|---------------------------------------|
| | 29 | Vérifier si on doit produire | Même principe du CDR (instruction 21) |
| | 30 | Attribuer le RDC à livrer | |
| | 31 | Commencer le processus de production et de distribution | Délai = 3 jours |
| | 32 | Enregistrer les ordres envoyés | |

Relativement à l’algorithme présenté dans le tableau 3.10, la figure 3.13 décrit le flux tiré lié au modèle DDDRP – muni des numéros d’instruction – et détaillant chaque échelon à part.

Dans l’échelon des CDUs, le flux est tiré par la demande réelle qui arrive aux CDUs, une vérification par calcul est élaborée pour répondre à la demande des clients et pour mettre à jour les niveaux des Buffers.

Ensuite, le CDR vérifie l’ensemble des ordres arrivés des CDUs et met à jour l’état de son Buffer également afin de lancer un processus de distribution.

Finalement, l’usine élabore de la même façon sa vérification pour les ordres arrivés des CDRs et procède à la fabrication et à la distribution.

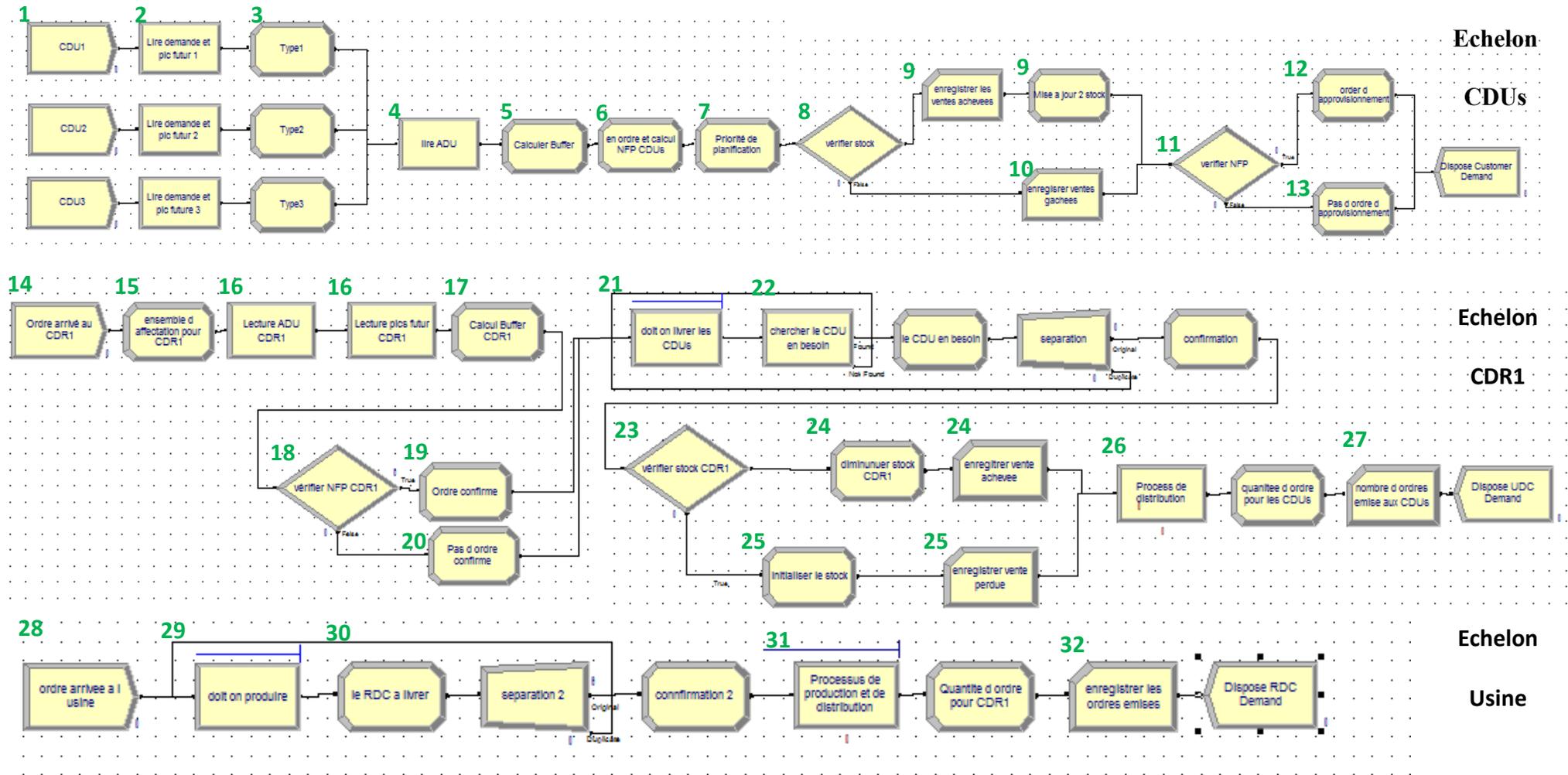


Figure 3.13. Modèle DDDRP sous ARENA SOFTWARE

Les présentations concernent une partie du modèle présenté sous ARENA SOFTWARE. En effet, les graphes 3.12 et 3.13 doivent être dupliqués cinq fois, pour modéliser les autres CDRs de 2 jusqu'à 5 ainsi que les autres CDUs de 4 jusqu'à 15 (Tableau 3.11).

Tableau 3.11. Les parties du modèle complet

| Modèle | Echelon 1 | Echelon 2 | Echelon 3 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| Partie I | Usine | CDR1 | CDU 1 |
| | | | CDU 2 |
| | | | CDU 3 |
| Partie II | Usine | CDR 2 | CDU 4 |
| | | | CDU 5 |
| | | | CDU 6 |
| Partie III | Usine | CDR 3 | CDU 7 |
| | | | CDU 8 |
| | | | CDU 9 |
| Partie IV | Usine | CDR 4 | CDU 10 |
| | | | CDU 11 |
| | | | CDU 12 |
| Partie V | Usine | CDR 5 | CDU 13 |
| | | | CDU 14 |
| | | | CDU 15 |

III.4.3. Résultats de la modélisation

Un flux optimal conduit certainement à un coût minimal de stockage et au meilleur taux de service. Par conséquent, deux indicateurs clés de performances (KPI) sont générés dans cette simulation qui sont relatifs aux taux de service et aux frais de stockage.

- Fonds de roulements (WC) : Représente le montant total du coût des stocks au cours de l'année simulée (Equation 3.11) ;
- Taux de livraison à temps (OTS) : représente le pourcentage des ventes achevées par rapports aux commandes clients (Equation 3.12).

Le choix des deux indicateurs est basé sur la nécessité d'assurer un bon OTS en pourcentage tout en minimisant le WC.

$$OTS = \frac{\textit{ventes achevées}}{\textit{ventes achevées} + \textit{ventes perdues}} \quad (3.11)$$

$$WC = \text{stocks RDCs} * \text{coût de stockage RDCs} + \text{stocks CDUs} * \text{coût de stockage CDUs} \quad (3.12)$$

Le tableau 3.12 reprend les résultats au regard des deux indicateurs, et ceci pour les trois scénarios en considérant un délai de distribution déterministe.

Tableau 3.12. Résultats de la simulation

| Demande | Stable | | | | Saisonnière | | | | Avec Pic | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Modèle | DRP | | DDDRP | | DRP | | DDDRP | | DRP | | DDDRP | |
| Ind. de per. | WC | OTS | WC | OTS | WC | OTS | WC | OTS | WC | OTS | WC | OTS |
| RDC1 | 5437.7 | 99.53% | 1173 | 100% | 8129 | 99.04% | 1702 | 89.77% | 5634 | 95.56% | 2550 | 99.67% |
| UDC1 | 1637.54 | | 1302 | | 1478 | | 1615 | | 1890 | | 4313 | |
| UDC2 | | | | | | | | | | | | |
| UDC3 | | | | | | | | | | | | |
| RDC2 | 3324 | 98.25% | 346 | 100% | 3748 | 91.49% | 1143 | 90.10% | 3114 | 100.00% | 1619 | 95.38% |
| UDC4 | 1389.72 | | 551 | | 1082 | | 1125 | | 959 | | 1581 | |
| UDC5 | | | | | | | | | | | | |
| UDC6 | | | | | | | | | | | | |
| RDC3 | 5375.2 | 100.00% | 1064 | 100% | 4272 | 92.20% | 1612 | 97.69% | 4227 | 99.29% | 2919 | 97.03% |
| UDC7 | 2258.05 | | 1319 | | 818 | | 1940 | | 1555 | | 2879 | |
| UDC8 | | | | | | | | | | | | |
| UDC9 | | | | | | | | | | | | |
| RDC4 | 5329.2 | 100.00% | 978 | 100% | 5091 | 85.61% | 2720 | 91.75% | 4877 | 94.33% | 3439 | 94.72% |
| UDC10 | 1963.59 | | 1234 | | 695 | | 2486 | | 1450 | | 3323 | |
| UDC11 | | | | | | | | | | | | |
| UDC12 | | | | | | | | | | | | |
| RDC5 | 4939.9 | 100.00% | 882 | 100% | 5416 | 99.30% | 2006 | 97.36% | 3424 | 100.00% | 2296 | 99.01% |
| UDC13 | 2180.49 | | 1153 | | 1584 | | 2015 | | 1425 | | 2681 | |
| UDC14 | | | | | | | | | | | | |
| UDC15 | | | | | | | | | | | | |
| Total Ind. Perf. | 33835.39 | 99.56% | 10002 | 100% | 32313 | 93.52% | 18364 | 93.31% | 28555 | 97.83% | 27600 | 97.16% |

Les résultats du tableau 3.12 sont représentés dans les figures 3.14 et 3.15.

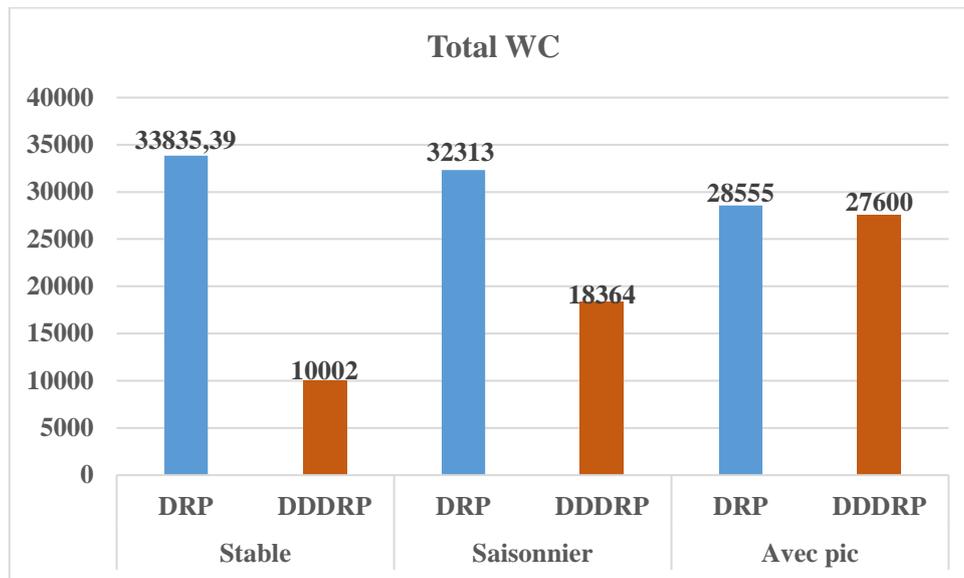


Figure 3.14. La comparaison du WC entre les modèles DRP et DDDRP

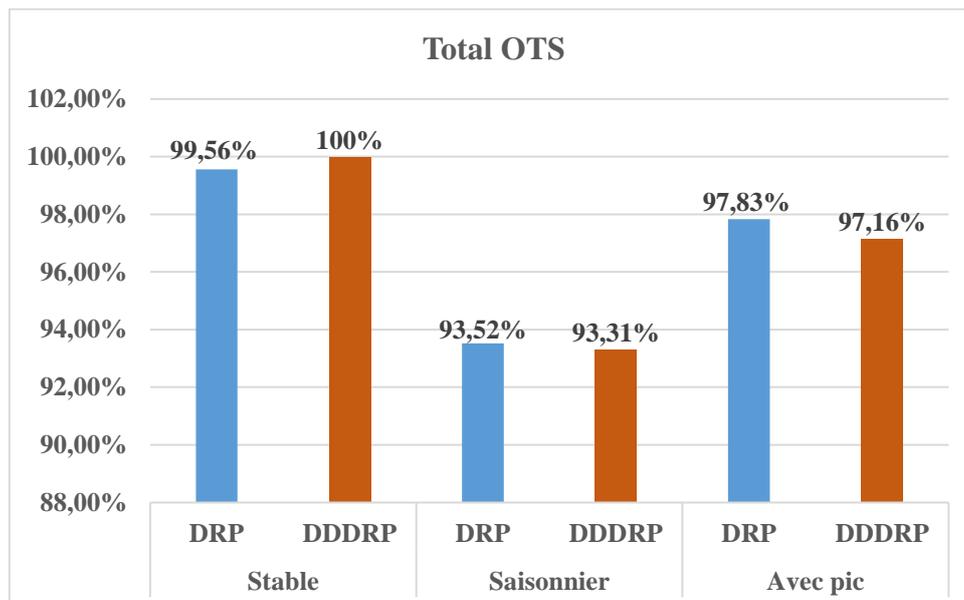


Figure 3.15. La comparaison du OTS entre les modèles DRP et DDDRP

III.4.4. Analyse des résultats

Le tableau 3.12 ainsi que les figures 3.14 et 3.15 illustrent le capital associé au stockage dans chaque unité de distribution, et l'OTS repris pour chaque trois CDUs séparément.

Pour une demande stable, les deux modèles présentent un OTS idéal. Néanmoins, le fond

nécessaire (WC) pour assurer un bon OTS est très inférieur dans le modèle DDDRP par rapport au modèle DRP. Le résultat final montre l'avantage de la distribution axée sur la demande en termes de fonds de roulements.

L'aspect saisonnier de la demande a affecté les résultats liés aux indicateurs de performance. En effet, une augmentation au niveau de l'indicateur WC est constatée pour les deux modèles, par rapport au scénario de la demande stable.

Finalement, le scénario de la demande avec pics montre que la valeur de WC a diminué pour le DRP et a augmenté pour le DDDRP. Ces fluctuations sont dues au choix des paramètres de délai et de variabilité.

Tableau 3.13. Synthèse de comparaison entre DRP et DDDRP

| Scénario de la demande | OTS | WC |
|------------------------|--|---------------------------------------|
| Stable | Idéal pour les deux modèles (supérieur à 99%) | WC(DDDRP) très inférieur à WC(DRP) |
| Saisonnier | OTS(DDDRP)≈OTS(DRP) | WC(DDDRP)<WC(DRP) |
| Pics | OTS(DDDRP)<OTS(DRP) | WC(DDDRP)<WC(DRP) |

Pour la demande stable, le stock de sécurité utilisé pour le modèle DRP est constant tout au long de l'année. Pour le modèle DDDRP, les facteurs utilisés - facteur $LT = 0,5$, facteur de variabilité = $0,2$ - reflètent le délai moyen de trois jours et niveau faible de variabilité.

Dans une demande saisonnière, le facteur LT reste le même qu'avant, mais le facteur de variabilité doit augmenter en tenant compte de la variation de la demande d'un mois à l'autre. La politique de stock de sécurité pour le modèle DRP reste la même que celle du scénario de la demande stable, tandis que les niveaux des Buffers sont ajustés mensuellement.

Finalement, dans la demande avec pics, la stabilité du WC pour DRP est due au bon niveau de précision adopté pour la demande prévisionnelle. Également, les facteurs de délai et de variabilité doivent avoir plus de précision pour un dimensionnement optimal des Buffers (Voir Chapitre 4 – Section II).

Tableau 3.14. Changement du paramétrage pour tous les scénarios

| Scénario de la demande | DRP | DDDRP | | |
|------------------------|--|---------------------|-------------------|-------------------------|
| | Stock de sécurité | Niveaux des Buffers | Facteurs de délai | Facteurs de variabilité |
| Stable | Même valeur du SS pour toute l'année | Niveaux stables | 0.5 | 0.2 |
| Saisonnier | La valeur du stock de sécurité change d'un mois à l'autre | Ajustement mensuel | 0.5 | 0.6 |
| Pics | Politique variée par rapport aux scénarios précédentes (voir section II.2) | Ajustement mensuel | 0.5 | 0.8 |

Pour résumer, le DDDRP reste meilleur que le DRP - pour tous les scénarios - en termes de WC nécessaire qui permet d'assurer un taux de service acceptable.

Conclusion

Ce chapitre se focalise sur l'implémentation et l'évaluation des modèles DRP et DDDRP par une simulation à événements discrets. En effet, le cas d'un réseau de distribution au MAROC est présenté, dans l'objectif d'y implémenter les deux modèles et pouvoir les comparer. L'implémentation du DRP, basée sur la prévision de la demande, a permis de pousser le flux à travers les trois échelons du réseau en s'appuyant sur les ordres d'approvisionnement calculés par les principes du DRP. D'autre part, l'implémentation du modèle DDDRP consiste à appliquer les cinq phases de la distribution basée sur la demande. En effet, le positionnement des Buffers est réalisé sur tous les points de distribution sauf sur l'usine, par l'adoption de la configuration en étoile (Hub & Spoke). L'implémentation a permis ensuite de dimensionner les Buffers, les ajuster et procéder à une planification basée sur la demande.

Une simulation à événements discrets (DES) à l'aide d'ARENA SOFTWARE a été effectuée. Trois scénarios ont été testés suivant la demande stable, saisonnière ou avec pics. La simulation a permis de relever des indicateurs de performance pour chaque scénario, qui correspondent au taux de service et fonds liés au stockage.

Le modèle DDDRP a présenté une bonne flexibilité quand la demande devient de plus en plus variable. Néanmoins, on constate qu'on a besoin d'une optimisation concernant les facteurs de variabilité et de délai pour aboutir à des résultats meilleurs dans le modèle DDDRP. Le chapitre

suivant traite cette optimisation et étudie la variabilité du processus. Cela va permettre de généraliser le modèle et finaliser la construction de cette nouvelle approche de distribution.

Chapitre IV

Généralisation du modèle DDDRP et application sur un cas industriel

Chapitre IV : Généralisation du modèle DDDRP et application sur un cas industriel

Introduction

Ce chapitre se focalise sur la généralisation du modèle DDDRP. Il offre un fondement mathématique pour les phases du positionnement, dimensionnement et ajustement des Buffers. En effet, un modèle mathématique sera proposé pour formuler le problème du positionnement des Buffers, en se basant sur la minimisation du coût total de stockage dans le réseau de distribution. Ensuite, le problème de dimensionnement et d'ajustement nécessite le choix optimal des paramètres incorporés dans le calcul des tailles des Buffers. Une démarche d'optimisation sera proposée, basée sur un calcul itératif d'une fonction objectif à minimiser. Enfin, un logigramme et un algorithme sont proposés pour généraliser la phase de planification basée sur la demande. Ils permettent de donner l'enchaînement des étapes et des instructions primordiales pour implémenter le modèle DDDRP dans un réseau à N échelons.

Dans la deuxième partie du chapitre, un nouveau cas industriel est proposé dans l'objectif d'y appliquer les modèles mathématiques proposés. Par conséquent, le positionnement, le dimensionnement et l'ajustement des Buffers sont optimisés. La dernière partie de ce chapitre se focalise sur l'étude d'un processus variable où le délai n'est plus déterministe.

IV.1. Formulation du problème de positionnement des Buffers

Le positionnement des Buffers peut être défini comme un problème d'emplacement de stock. Le traitement de ce problème vise à trouver les positions optimales des Buffers dans le réseau de distribution pour répondre efficacement à la demande des clients.

Le problème considère une fonction objectif qui minimise le coût total de stockage. Il prend les positions des Buffers comme variables de décision, avec la considération du délai de service comme contrainte du problème.

Tous les délais sont déterministes, les capacités des Buffers sont infinies, et chaque nœud dans le réseau dispose d'un seul fournisseur considéré comme nœud Parent.

IV.1.1. Notations du problème de positionnement des Buffers

Un réseau de distribution général à N échelons peut être présenté par une matrice à L lignes et

C colonnes. Les points du réseau sont localisés par : $\{ i \in L, j \in C \}$. En lisant l'arborescence du bas en haut et de gauche à droite, les coordonnées où il n'y a pas de nœuds possèdent des valeurs nulles. Les notations suivantes sont utilisées dans la formulation du problème de positionnement :

- $TP_{i,j}$: Temps du Processus du produit dans le nœud (i, j) ;
- $LT_{i,j}$: Délai total de distribution dans le nœud (i, j) ;
- $Supp_{i,j}$: On considère que chaque nœud du réseau de distribution possède un seul fournisseur (Supplier), la variable $supp_{i,j}$ indique la position de la colonne du fournisseur du nœud (i, j) sachant que la position de la ligne de ce fournisseur sera dans l'échelon au-dessus $i+1$;
- $Client_{i,j,k}$: Chaque nœud (i, j) possède un ensemble de clients, ce paramètre désigne la position de la colonne du $k^{ème}$ client ;
- ST : Temps de Service toléré par le consommateur final ;
- $ADU_{i,j}$: La consommation journalière du produit dans le nœud (i, j) ;
- $CS_{i,j}$: Coût de stockage du produit dans le nœud (i, j) ;
- CT : Coût total de stockage du produit dans tous les nœuds ;
- $SMB_{i,j}$: Stock Moyen du Buffer dans le nœud (i, j) ;
- $PU_{i,j}$: Prix unitaire du produit dans le nœud (i, j) ;
- $TSM_{i,j}$: Taux de possession du stock moyen dans le nœud (i, j) ;
- $FacLT_{i,j}$: Facteur du délai dans le nœud (i, j) ;
- $FacVar_{i,j}$: Facteur de variabilité dans le nœud (i, j) .

IV.1.2. Formulation de la fonction objectif et des contraintes associées

La formulation de la fonction objectif à minimiser commence par la considération des variables de décision. Elles sont liées à la décision de positionner ou non les Buffers dans les nœuds (i, j) . Par conséquent, la variable de décision considéré est :

$$\{x_{i,j} \mid i \in L, j \in C\} \quad (4.1)$$

Où :

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{Si le Buffer est installé dans le noeud } (i,j) \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (4.2)$$

Donc le coût total de stockage dans le réseau de distribution après définition des variables de décisions sera :

$$CT = \sum_{i \in L} \sum_{j \in C} CS_{i,j} * x_{i,j} \quad (4.3)$$

Dans le réseau de distribution, le délai $LT_{i,j}$ dans un nœud est lié à ses fournisseurs ainsi qu'à leurs états des Buffers.

Pour la cas où le nœud (i,j) ne dispose pas de fournisseur dans le réseau - c'est l'usine dans notre cas -, le délai $LT_{i,j}$ sera égal à son temps de Process $TP_{i,j}$, nécessaire pour livrer le produit à son client direct.

Autrement, si le fournisseur du nœud (i,j) , situé à la position $(i+1, Supp(i,j))$ ne dispose pas de Buffer, le délai $LT_{i,j}$ sera égal à $TP_{i,j} + LT_{i+1, Supp(i,j)}$. Sinon il sera égal au temps de Process $TP_{i,j}$.

Finalement, l'écriture du délai est résumée comme suit :

$$LT_{i,j} = \begin{cases} TP_{i,j} & \text{Si le noeud } (i,j) \text{ n'a pas de fournisseur} \\ TP_{i,j} + [(1 - x_{i+1, Supp(i,j)})LT_{i+1, Supp(i,j)}] & \text{Sinon} \end{cases} \quad (4.4)$$

Pour chaque point de découplage, si un Buffer est associé, la variable de décision sera égale à 1. Dans ce cas, le calcul des Profils du Buffer désigne le dimensionnement des trois couleurs (rouge, jaune et vert) par les équations suivantes :

- La zone Rouge du Buffer

$$ZR_{i,j} = (1 + FacVar_{i,j}) * FacLT_{i,j} * ADU_{i,j} * LT_{i,j} \quad (4.5)$$

- La zone Jaune du Buffer

$$ZJ_{i,j} = ADU_{i,j} * LT_{i,j} \quad (4.6)$$

- La zone Verte du Buffer

$$ZV_{i,j} = FacLT_{i,j} * ADU_{i,j} * LT_{i,j} \quad (4.7)$$

Après avoir donné les zones des Buffers, le stock Buffer Moyen est défini dans le modèle DDDRP dans un point découplé par la formule suivante :

$$SMB_{i,j} = ZR_{i,j} + \frac{1}{2}ZV_{i,j} \quad (4.8)$$

Comme le taux de possession est le rapport entre le coût de possession et la valeur du stock moyen, le coût de stockage dans un nœud (i,j) muni d'un Buffer est :

$$CS_{i,j} = PU_{i,j} * TSM_{i,j} * SMB_{i,j} \quad (4.9)$$

Avec les notations et les équations précédentes, la formulation mathématique de la fonction objectif du problème de positionnement des Buffers s'écrit comme suit :

$$CT = \sum_{i \in L} \sum_{j \in C} Pu_{i,j} * TSM_{i,j} * (1.5 + FacVar_{i,j}) * FacLT_{i,j} * ADU_{i,j} * LT_{i,j} * x_{i,j} \quad (4.10)$$

Avec

$$\forall j \in C \quad LT_{1,j} \leq ST \quad (4.11)$$

Cette contrainte montre que les délais des nœuds de la première ligne doivent être inférieurs au service toléré par les clients. Ces nœuds appartiennent au 1^{er} échelon qui constitue les points de distribution finaux qui livrent le produit aux clients.

IV.1.3. Analyse de la complexité du problème

La formulation élaborée dans la partie précédente a montré qu'il s'agit d'un problème de minimisation non linéaire soumis à des contraintes non linéaires. En effet, l'introduction du paramètre $LT_{i,j}$ a causé la non-linéarité du problème.

La contrainte (4.11) montre la nécessité de respecter le délai ST toléré par les clients. Cette contrainte est valable pour toutes les unités du 1^{er} échelon – qui comporte un nombre de nœuds égal à c -, la dissociation de cette contrainte implique la formulation suivante :

$$LT_{1,1} \leq ST \text{ et } LT_{1,2} \leq ST \text{ et } \dots \text{ et } LT_{1,c} \leq ST \quad (4.12)$$

C'est un regroupement de plusieurs sous-contraintes – à nombre égal à C – où chacune de ces sous-contraintes peut s'écrire sous une forme algébrique, plus précisément une formule logique propositionnelle. Cette formule est déduite la définition du délai donnée dans la formule (4.4). Ainsi, l'écriture (4.12) est équivalente à :

$$(TP_{1,1} + LT_{1,supp(1,1)} \leq ST \text{ ou } x_{1,1}) \text{ Et } (TP_{1,2} + LT_{1,supp(1,2)} \leq \dots \text{ et } (TP_{1,c} + LT_{1,supp(1,c)} \leq ST) \quad (4.13)$$

$$ST \text{ ou } x_{1,2}) \text{ Et } \dots \text{ Et } (TP_{1,C} + LT_{1,supp(1,C)} \leq ST \text{ ou } x_{1,C}$$

Pour généraliser l'écriture algébrique sur tout le réseau de distribution, c'est-à-dire tenir compte de tous les échelons (à nombre égal à L). La contrainte 4.11 s'écrivait :

$$\forall j \in C \quad LT_{1,j} \leq ST \quad (4.11)$$

Equivalente à :

$$TP_{1,j} + LT_{2,supp(1,j)} \leq ST \text{ ou } x_{2,j} \quad (4.12)$$

Cela veut dire que l'expression 4.11 est vraie si et seulement si on affecte un Buffer à son fournisseur, sinon le délai relatif au nœud (i, j) est remplacé par la somme de son temps de processus avec le délai de son fournisseur qui existe sur le nœud $(2, supp(1, j))$.

Suivant le même principe, l'expression 4.12 équivalente à :

$$(TP_{1,j} + TP_{2,j} + LT_{3,supp(2,j)} \leq ST \text{ ou } x_{3,j}) \text{ ou } x_{2,j} \quad (4.13)$$

En tenant compte de tous les échelons, on trouve finalement l'expression (pour tout j allant de 1 à C) :

$$((TP_{1,j} + TP_{2,j} + \dots + TP_{L,j} + LT_{L,supp(L,j)} \leq ST \text{ ou } x_{L,j}) \text{ ou } \dots \text{ ou } x_{3,j}) \text{ ou } x_{2,j} \quad (4.14)$$

L'expression logique trouvée ci-dessus est une clause composée de **L** littéraux (Disjonction de littéraux). Or, comme cette formule est valable pour tous les **j** entre **1** et **C**, la contrainte du problème 4.11 sera une conjonction de **C** clauses. Une écriture de cette forme s'appelle une **Forme Normale Conjonctive**. Par conséquent, il est indispensable de traiter la satisfaisabilité de l'expression 4.14, afin d'étudier la complexité du problème.

IV.1.3.1. Problème de Satisfaisabilité Booléenne

Le problème de satisfaisabilité booléenne ou (Problème SAT) est un problème qui détermine – étant donné une formule logique propositionnelle - s'il existe une assignation des variables propositionnelles qui rend la formule logiquement vraie.

Dans notre cas, le problème SAT est restreint au problème CNF-SAT, c'est-à-dire une restriction du problème pour les formes normales conjonctives. Ce problème est considéré NP-difficile par le théorème de Cook-Levin.

IV.1.3.2. Enoncé du Théorème de Cook-Levin

En informatique théorique, plus précisément en théorie de la complexité, le théorème de Cook aussi appelé théorème de Cook-Levin est le théorème qui affirme que le problème SAT,

c'est-à-dire le problème de satisfaisabilité d'une formule de la logique propositionnelle, est NP-complet. Il a été démontré en 1971 par Stephen Cook et, sensiblement au même moment, par Leonid Levin (R. Gamboa & al., 2004).

D'après le théorème de Cook, le problème SAT est un problème NP-complet. En particulier, on ne connaît aucun algorithme déterministe polynomial pour le résoudre. Par conséquent, le problème CNF-SAT est aussi NP-complet. Finalement, on peut conclure que le problème de positionnement des Buffers dans le modèle DDDRP est NP-complet.

Après avoir étudié la complexité du problème, la partie suivante se focalise sur sa linéarisation.

IV.1.4. Etude de la non-linéarité de la fonction objectif et des contraintes

La formulation de la fonction objectif et des contraintes du problème de positionnement des Buffers a montré la non-linéarité du problème. Elle est due à la formule 4.4 où le délai dans un nœud dépend des délais des nœuds Parents. Ceci rend les contraintes ainsi que la fonction objectif de forme non-linéaire.

Pour cela, une nouvelle variable peut être introduite pour remplacer l'expression quadratique dans la fonction objectif. La nouvelle variable de décision $Y_{i,j}$ est considérée telle que :

$$Y_{i,j} = LT_{i,j} * X_{i,j} \quad (4.15)$$

La nouvelle fonction objectif devient :

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in C} Pu_{i,j} * TSM_{i,j} * (1.5 + FacVar_{i,j}) * FacLT_{i,j} * ADU_{i,j} * Y_{i,j} \quad (4.16)$$

Autrement, pour préciser la nouvelle variable de décision, d'autres contraintes peuvent être ajoutées :

$$LT_{i,j} \geq TP_{i,j} + (LT_{i+1,Supp_{i,j}} - Y_{i+1,Supp_{i,j}}) * SiF_{i,j} \quad (4.17)$$

Avec $SiF_{i,j}$ un paramètre qui indique si le nœud (i, j) a un fournisseur ou non.

$$\forall i \in L, \forall j \in C \ Y_{i,j} \leq LT_{i,j} \quad (4.18)$$

$$\forall i \in L, \forall j \in C \ Y_{i,j} \geq 0 \quad (4.19)$$

La contrainte 4.17 met en évidence trois critères :

- Le délai $LT_{i,j}$ relatif à l'usine (dernier échelon) est toujours supérieur à son temps de

process $TP_{i,j}$, car il est considéré que l'usine est le dernier nœud du réseau. Comme l'usine n'a pas de fournisseur, la variable $SiF_{i,j}$ relatif à l'usine aura une valeur de 0.

- Pour les nœuds qui disposent d'un Buffer, le délai $LT_{i,j}$ est supérieur ou égal à $TP_{i,j}$
- Pour les nœuds qui ne disposent pas de Buffer, le délai $LT_{i,j}$ est supérieur ou égal à $TP_{i,j}$ ajouté au délai de son fournisseur.

Les contraintes 4.18 et 4.19 illustrent les valeurs Max et Min de la variable de décision $Y_{i,j}$.

En dépendance de l'algorithme de résolution adopté, d'autres contraintes pour la variable $Y_{i,j}$ peuvent être ajoutées.

La formulation a permis de donner un modèle mathématique général qui aide à mettre le choix optimal de la configuration de positionnement. La partie suivante s'intéresse à la formulation du problème de dimensionnement. Elle donne une démarche pour que les tailles des Buffers soient optimales dans le processus du modèle DDDRP.

IV.2. Formulation du problème de dimensionnement et d'ajustement des Buffers

Dès que les Buffers sont positionnés dans le réseau de distribution, il est indispensable de bien choisir les paramètres optimaux pour le dimensionnement et l'ajustement des Buffers.

Dans l'objectif de dimensionner ces Buffers, le calcul de leurs tailles impose la fixation d'un ensemble de paramètres comme les facteurs de délais et de variabilité. Cette fixation est basée souvent sur l'expérience ou sur des estimations issues après consultation des références sur la Demand-Driven SC. Cependant, cette approche ne permet pas d'atteindre le dimensionnement et l'ajustement optimaux des Buffers, alors le défi réside dans la considération des bons paramètres avant de commencer le dimensionnement.

IV.2.1. Fonction objectif du problème de dimensionnement des Buffers

IV.2.1.1. Fonction objectif

Le dimensionnement et l'ajustement des Buffers a une relation directe avec la quantité de stockage dans l'unité qui est munie d'un Buffer. Cette quantité doit être dans la zone optimale de stockage, pour éviter les situations de rupture qui impactent négativement le taux de service, ou les situations d'excès qui gonflent les dépenses liées aux stockages. Par conséquent, les

meilleures dimensionnements et ajustements doivent minimiser le stockage tout en maximisant le taux de service. C'est un jeu d'optimisation entre une quantité stockée optimale et un taux de service satisfaisant, afin de répondre aux attentes de l'entreprise en termes de respect du délai de livraison. Ainsi, la fonction objectif doit comporter deux indicateurs de performances : **TS** et **FS** qui décrivent respectivement les taux de service en pourcentage et les frais du stockage.

Les attentes de l'entreprise sont traduites par un paramètre **TSS** qui décrit le taux de service souhaité par l'entreprise - à ne pas franchir -. On suppose que chaque diminution au-dessous de ce taux va engendrer une pénalité.

Supposons que cette pénalité est évaluée à la valeur **PEN** pour chaque diminution du taux **TS** de 1% au-dessous du **TSS**, donc il est impératif de considérer l'expression :

$$\text{Pénalité totale} = \text{PEN} * (\text{TSS} - \text{TS}) * 100 \quad (4.20)$$

Cette expression indique la pénalité totale induite pour chaque **TS** inférieur à **TSS**. En revanche, si **TS** est supérieur à **TSS**, la pénalité sera nulle. Finalement, la fonction objectif s'écrit comme suit :

$$\text{Min} \{ \text{FS} + \text{MAX}(0, \text{PEN} * (\text{TSS} - \text{TS}) * 100) \} \quad (4.21)$$

Le taux de service **TS** se détermine en comparant le nombre des ventes achevées par rapports aux nombre total des ventes (qui comprend les ventes perdues). Finalement, la fonction 4.21 montre l'intérêt à minimiser les frais de stockage ajoutés aux pénalités qui sont dues aux mauvais taux de service.

IV.2.1.2. Données de contrôle

Les données de contrôles sont les paramètres à optimiser pour minimiser la fonction objectif. Ces paramètres sont des variables qui ont un effet direct sur le calcul des frais de stockage **FS**. Ces paramètres sont **DLT**, les facteurs de délai (Rouge et Vert) pour tous les nœuds munis de **Buffers**, ainsi que les facteurs de variabilité. En total, il y a $4N+1$ paramètres à optimiser, où **N** est le nombre de nœuds qui contiennent des **Buffers**.

IV.2.2. Démarche de traitement du problème de dimensionnement

Dans la vision d'optimiser le dimensionnement et l'ajustement des **Buffers**, une approche métaheuristique est suivie pour identifier les paramètres mal choisis et par conséquent minimiser le temps de prise de décision. Ce dernier est un facteur clé pour un management optimal du flux de distribution.

Les métaheuristiques sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs. Le but est d'atteindre un optimum global, c'est-à-dire l'extremum global d'une fonction objectif. Les métaheuristiques les plus « classiques » sont basées sur le concept de chemins (Pathway). Avec ce concept, pour chaque itération une seule solution est modifiée par l'algorithme. La notion de voisinage est l'une des plus utilisées. Les méthodes les plus connues sont le recuit simulé (Hwang, 1988), la recherche taboue (Glover et Laguna, 2013) et la méthode GRASP (Feo et Resende, 1989). L'autre approche utilise le concept de population. En d'autres termes, plusieurs solutions sont manipulées en parallèle à chaque itération par l'algorithme. Les algorithmes bien connus sont les algorithmes génétiques (Holland, 1975), les algorithmes de colonies d'abeilles (Basturk et Karaboga, 2006) ou les algorithmes de colonies de fourmis (Dorigo et al., 1996).

Dans le problème de dimensionnement, l'optimisation se fait par itérations avec un outil de simulation, à partir des choix initiaux des paramètres du buffer DDDRP, afin d'obtenir des résultats atteignant les objectifs visés.

La figure 4.1 montre le principe d'optimisation. En effet, après avoir positionné les Buffers, les paramètres initiaux sont choisis. A chaque simulation de la SC du réseau de distribution, la valeur de la fonction objectif est calculée et les paramètres associés à cette valeur sont repérés. L'opération est réitérée, et après N itérations fixée, la meilleure solution est retenue avec les paramètres associés.

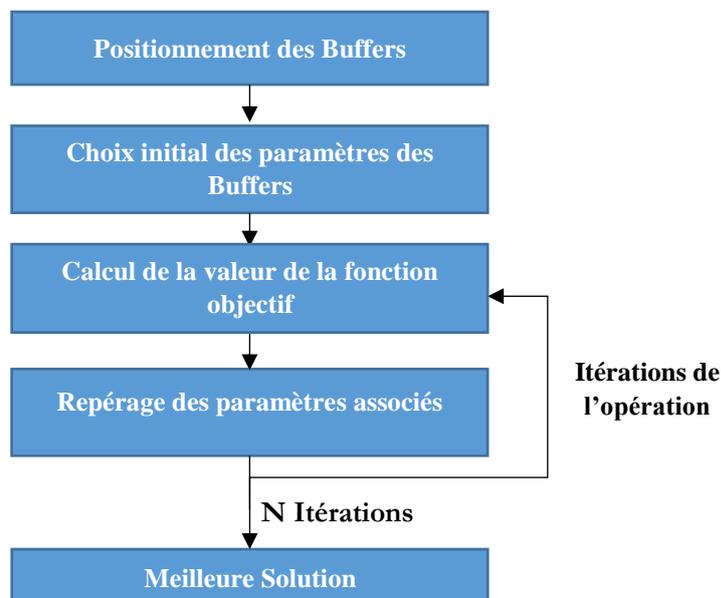


Figure 4.1. Démarche d'optimisation du dimensionnement des Buffers

D'après la figure 4.1, l'optimisation suit une approche générique. En effet, après avoir choisi

les paramètres initiaux, l'optimisation se fait par la répétition des itérations. Dans chaque itération, la fonction objectif est calculée et l'opération est réitérée jusqu'à obtention de la solution optimale. Finalement, les valeurs des paramètres entrant dans la solution optimale sont retenues.

D'autre part, il est nécessaire de spécifier les valeurs Min et Max de ces paramètres, ainsi que leur pas de changements lors du passage d'une itération à l'autre. Le tableau 4.1 résume les informations nécessaires avant de commencer l'optimisation :

Tableau 4.1. Informations nécessaires d'optimisation pour chaque nœud

| Facteur LT | | | | | | | | Facteur Variabilité | | | | DLT | | | |
|------------|-----|------|-----|---------|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| Rouge | | Vert | | | | | | | | | | | | | |
| Initial | Min | Max | Pas | Initial | Min | Max | Pas | Initial | Min | Max | Pas | Initial | Min | Max | Pas |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

Pour chaque paramètre à optimiser, l'optimisation nécessite une valeur initiale du paramètre, sa valeur minimale, sa valeur maximale et le pas de changement de ce paramètre. Ensuite, l'optimisation est élaborée avec un outil de simulation, développée plus tard dans ce chapitre.

Après avoir donné les méthodes d'optimisation du positionnement et de calcul des Buffers, la partie suivante donne la formulation générale de la phase de planification basée sur la demande dans le modèle DDDRP dans l'objectif de décrire mathématiquement le processus général de cette planification.

IV.3. Formulation générale de la planification basée sur la demande

La formulation des problèmes de positionnement, de dimensionnement et d'ajustement a permis d'optimiser les trois premières phases du modèle DDDRP (Figure 4.2). Néanmoins, dans la vision d'implémenter le modèle DDDRP au niveau du maillon de distribution, il est nécessaire de présenter le processus général de gestion de flux en se basant sur la demande. Ce processus donne un cadre de référence général pour guider les preneurs de décision à implémenter et utiliser le modèle DDDRP afin d'optimiser le flux et répondre efficacement aux demandes des clients.

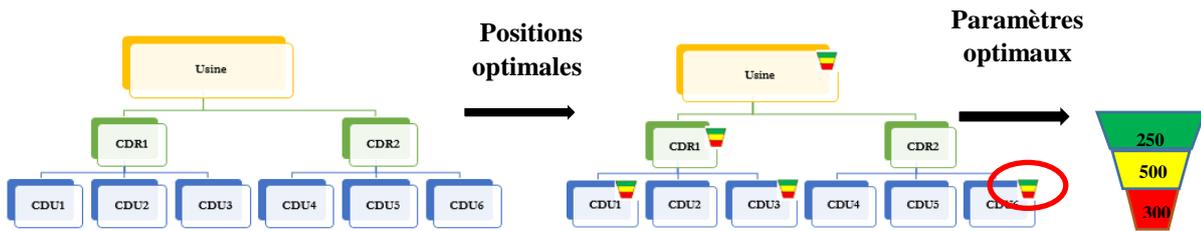


Figure 4.2. Optimisation des trois premières phases du modèle DDDRP

La partie suivante décrit le processus général de gestion de flux dans un point de distribution.

IV.3.1. Logigramme du modèle DDDRP

Dans la figure 4.3, le logigramme commence par l'arrivée des ordres des clients et décrit l'enchaînement des activités nécessaires pour implémenter une planification basée sur la demande. Il termine par le lancement des ordres d'approvisionnement auprès du fournisseur direct.

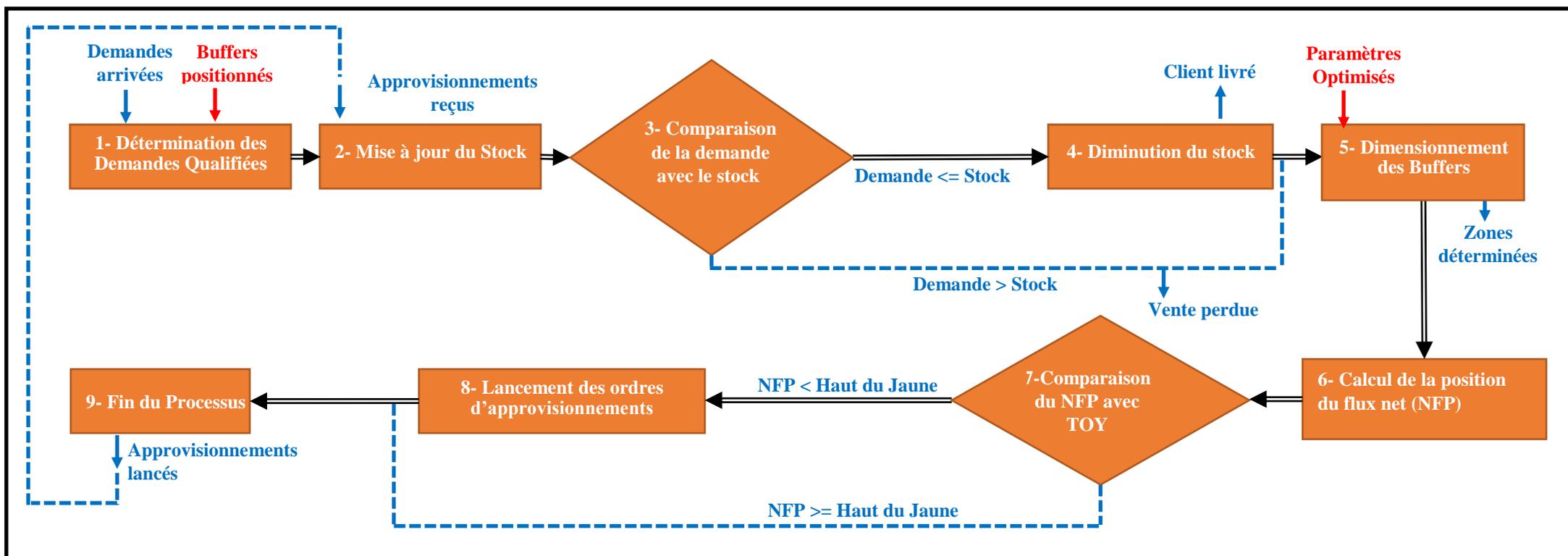


Figure 4.3. Processus d'implémentation d'une planification basée sur la demande

Pour mettre en évidence les phases principales indiquées dans le logigramme au-dessus. L'ensemble des paramètres relatifs au modèle sont proposés, ainsi qu'un algorithme composé de plusieurs instructions. Ils aident à la compréhension et à l'implémentation complète de la planification basée sur la demande dans un réseau de distribution munis de Buffers de protection du flux.

IV.3.2. Paramètres et Algorithme de la planification basée sur la demande

Le tableau 4.2 présente les paramètres essentiels pour chaque implémentation du modèle.

Tableau 4.2. Paramètres nécessaires de la planification basée sur la demande

| Paramètre | Désignation |
|---|--|
| i | Jour de l'année |
| ADU(i) | Consommation journalière moyenne relative au jour i |
| Début_Stock | Stock initial dans le point de distribution (jour 0) |
| Stock(i) | Stock dans le point de distribution au jour i |
| PF(i) | Les pics futurs relativement au jour i |
| Demande_Qualifiée(i) | La demande qualifiée calculée au jour i |
| Appro_Ouverts(i) | Les approvisionnements ouverts au jour i |
| Appro_Arrivés(i) | Les approvisionnements arrivés au jour i |
| Demande(i) | Demandes des clients arrivées au jour i |
| Seuil(i) | Seuil du calcul des Pics Futurs au jour i |
| ZR(i), ZJ(i), ZV(i), Haut_ZR(i), Haut_ZJ(i), Haut_ZV(i) | Les dimensions du Buffer respectivement des zones du rouge, zones du jaune, zone du vert, haut du rouge, haut du jaune et haut du vert |
| FacLT_R(i), FacLT_V(i), FacVar(i) | Les facteurs du délai respectivement de la zone du rouge, de la zone du vert et le facteur de la variabilité de la demande |
| DLT | Délai de découplage correspondant au plus long délai entre deux points Bufferés |
| Q(i) | Quantité de commande fixée au jour i |
| PFN(i) | Position du Flux Net dans le buffer au jour i |
| Priorité(i) | Priorité de la planification du jour i |
| SMB(i) | Stock Moyen du Buffer |

L'algorithme suivant détaille – en se basant sur la figure 4.3 – les blocs du logigramme qui sont numérotés de 1 à 8. Ils permettent de décrire les étapes d'exécution d'une distribution basée sur la demande, étalée dans un horizon de 365 jours. L'algorithme est structuré de la manière

suivante :

Début du programme ;

Les paramètres sont initialisés.

Pour (i=1; i<=365; i++)

```
{  
    Stock (i) = 0;  
    PF (i) = 0;  
    Appro_Ouverts (i) = 0;  
    Appro_Arrivés (i) = 0;  
    Q (i) =0;  
}
```

Après avoir initialisé les paramètres, on commence les instructions de l'algorithme.

Pour (i=DLT; i<=365; i++)

```
{  
    // Bloc 1 du logigramme :  
  
    Pour chaque jour i, on vérifie s'il y a des pics futurs sur un horizon égal à la valeur du  
    DLT. Cet horizon correspond à la visibilité qu'on a envers les ordres des clients. Le  
    principe de la vérification consiste à comparer les demandes sur cet horizon par rapport  
    à un seuil prédéterminé. Si une demande prochaine est supérieure ou égale à ce seuil,  
    elle est considérée comme un pic futur, et elle sera ajoutée à la demande réelle au jour  
    i. La somme de la demande au jour i et les pics futurs donne ce qu'on appelle une  
    demande qualifiée.  
  
    Seuil(i) = ZR(i)/2 ;  
    Pour (k=i+1 ; k<=i + DLT ; k++)  
    {  
        Si Demande(k) >= Seuil(i)  
        PF(i)=PF(i)+Demande(k) ;  
    }  
    Demande_Qualifiée (i)=Demande(i)+PF(i) ;  
  
    // Bloc 2 :  
  
    On met à jour le stock si un approvisionnement ouvert apparaît au jour i.
```

Stock(i)=Stock(i)+Appro_Arrivés(i) ;

// Bloc 3 et 4 :

La situation de stock est vérifiée pour répondre à la demande des clients. Si la demande est inférieure au stock, le client est livré et le stock diminue.

Si (Demande (i) <= Stock(i))

{

// le client est livré

Stock(i) = Stock(i) - Demande(i) ;

}

// Bloc 5 :

On dispose alors de toutes les entrées pour dimensionner le Buffer.

ZJ(i)=ADU(i)*DLT(i) ;

ZV(i)=ZJ(i)* FacLT_V(i) ;

ZR(i)= ZJ(i)* FacLT_R(i)+ZJ(i)* FacLT_R(i)* FacVar(i) ;

Haut_ZR (i)=ZR(i) ;

Haut_ZJ (i)= Haut_ZR (i)+ZJ(i) ;

Haut_ZV (i)= Haut_ZJ (i)+ZV(i) ;

SMB(i) = ZR(i) + $\frac{1}{2}$ ZV(i) ;

// Bloc 6 :

Le calcul de la position du flux net nécessite la détermination des approvisionnements ouverts. Pour les déterminer, on vérifie les commandes lancées au passé par le centre de distribution auprès de ses fournisseurs. Puis, elles sont ajoutées cumulativement pour avoir la quantité totale des approvisionnements ouverts.

Pour (k=i-1 ; k>=i-DLT ; k--)

{

Appro_Ouverts(i)=Appro_Ouverts(i)+Q(k) ;

}

On calcule la Position du Flux Net.

PFN(i)=Stock(i)+Appro_Ouverts(i)-Demande_Qualifiée(i) ;

On peut donc calculer un pourcentage qui représente la priorité de la planification du produit.

Si Haut_ZV(i) ≠ 0

{

Priorité(i) = PFN(i)/Haut_ZV(i) ;

}

Bloc 7 et 8 :

Après avoir dimensionné le Buffer et positionné le flux net, il faut reconstruire le Buffer en comparant la PFN au Haut du Jaune.

Si (PFN(i)≤Haut_ZJ(i))

{

// Un approvisionnement est ouvert

Q(i)=Haut_ZV(i)-PFN(i) ;

}

La quantité commandée va apparaître après un délai correspondant au DLT.

Appro_Arrivés (i + DLT) = Q (i);

}

Fin du programme ;

Les parties précédentes ont permis de généraliser les problèmes de positionnement, de dimensionnement et d'ajustement des Buffers. Tandis que la dernière partie s'est focalisé sur la planification basée sur la demande. Elle comporte la génération des ordres d'approvisionnement en se basant sur l'état des Buffers. La dernière phase du modèle DDDRP consiste en l'exécution de ces ordres planifiés. La partie suivante s'intéresse à une nouvelle étude de cas industriel dans l'objectif de résoudre et de mettre en application les modèles proposés auparavant.

IV.4. Application industrielle : Etude de cas

IV.4.1. Données de l'étude de cas

Le cas d'étude concerne un réseau de distribution d'une entreprise marocaine opérante dans le secteur d'agroalimentaire. L'étude sera focalisée sur le flux d'un produit à travers trois échelons qui commencent par l'usine, sept entrepôts et arrivent à des dizaines de clients sous formes de grandes ou moyennes surfaces (figure 4.4). La base de notre étude commence par l'analyse de l'historique des ventes extraits d'un ERP, ceci permet d'estimer la consommation journalière moyenne de chaque unité du réseau.

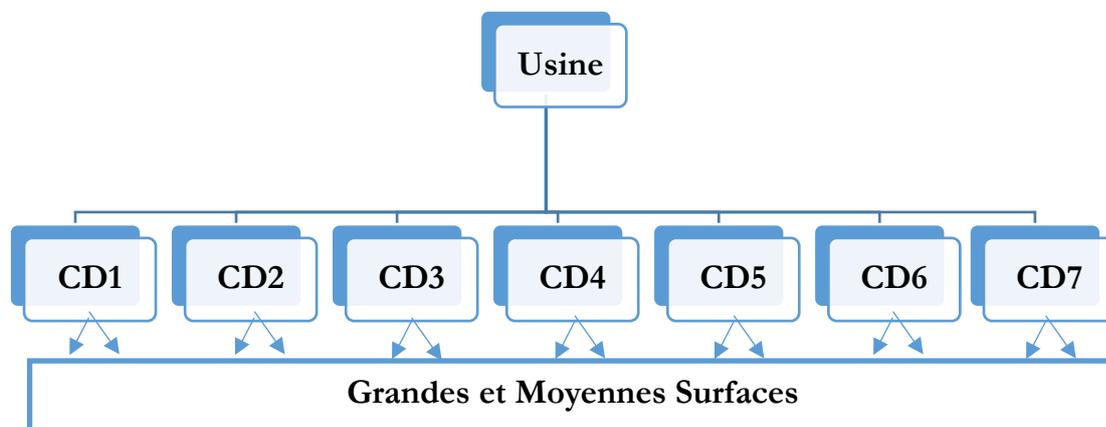


Figure 4.4. Réseau de distribution du cas d'étude

Pour ce réseau de distribution, il est demandé de mettre un positionnement optimal des Buffers, pour chaque période d'étude (hebdomadaire). Ensuite, les paramètres optimaux qui s'introduisent dans le dimensionnement et l'ajustement sont déterminés à l'aide d'une simulation qui prend en compte la fonction objectif de dimensionnement traitée auparavant.

IV.4.2. Positionnement des Buffers

Dans l'objectif de protéger le flux de distribution contre les fluctuations de la demande qui sont susceptibles à surgir, on doit choisir la bonne configuration de positionnement des Buffers. Le modèle proposé dans la section IV.1 de ce chapitre est utilisé dans la détermination de la configuration optimale. Comme le réseau comporte huit nœuds (sans compter le dernier échelon), le modèle non-linéaire proposé est appliqué par une méthode exhaustive, c'est-à-dire

les valeurs des fonctions objectifs sont calculées pour toutes les combinaisons possibles. Ensuite, la meilleure solution minimale qui respecte les contraintes est retenue pour retenir la configuration optimale de positionnement des Buffers. Ils vont permettre à stopper l'amplification de la variabilité et séparer l'usine contre les fluctuations de la demande qui arrive à l'échelon (GMS).

Le tableau 4.3 montre les données nécessaires relatives à la semaine 22 pour déterminer la valeur de la fonction objectif illustrée par l'équation 4.10.

Tableau 4.3. Valeurs des paramètres pour optimiser le positionnement

| CD | Pu | CS | FacLT | FacVar | ADU | TP |
|-------|-----|-----|-------|--------|-----|----|
| Usine | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 706 | 1 |
| CD1 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 58 | 2 |
| CD2 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 29 | 2 |
| CD3 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 72 | 2 |
| CD4 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 100 | 2 |
| CD5 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 10 | 2 |
| CD6 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 58 | 2 |
| CD7 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 379 | 2 |

Le réseau comporte sept Centres de distribution en plus de l'usine, le nombre de combinaisons possibles est égal à 2^8 . Ainsi, 256 résultats sont obtenus et la meilleure solution sera retenue.

Les 256 valeurs sont calculées, le tableau 4.4 donne un extrait des résultats des différentes valeurs de la fonction objectif.

Tableau 4.4. Extrait des configurations possibles de positionnement

| Numéro de la Configuration | Valeur de la fonction objectif |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1 | 75.8 |
| 2 | 11.6 |
| 3 | 87.4 |
| 4 | 4.4 |
| 5 | 80.2 |
| 10 | 95.8 |
| 11 | 31.6 |
| 12 | 107 |
| 13 | 24.4 |

| | |
|-----|------|
| 30 | 115 |
| 36 | 93.2 |
| 52 | 108 |
| 53 | 24.6 |
| 100 | 105 |
| 101 | 21.8 |
| 102 | 97.6 |
| 103 | 33.4 |
| 200 | 175 |
| 201 | 103 |
| 202 | 179 |
| 255 | 140 |
| 256 | 215 |

La valeur minimale correspond à la 4^{ème} configuration, où il faut mettre un Buffer au niveau du centre de distribution 5 (figure 4.5). Pour cette configuration, les valeurs des délais respectent les contraintes données dans le modèle mathématique présenté auparavant (tableau 4.5).

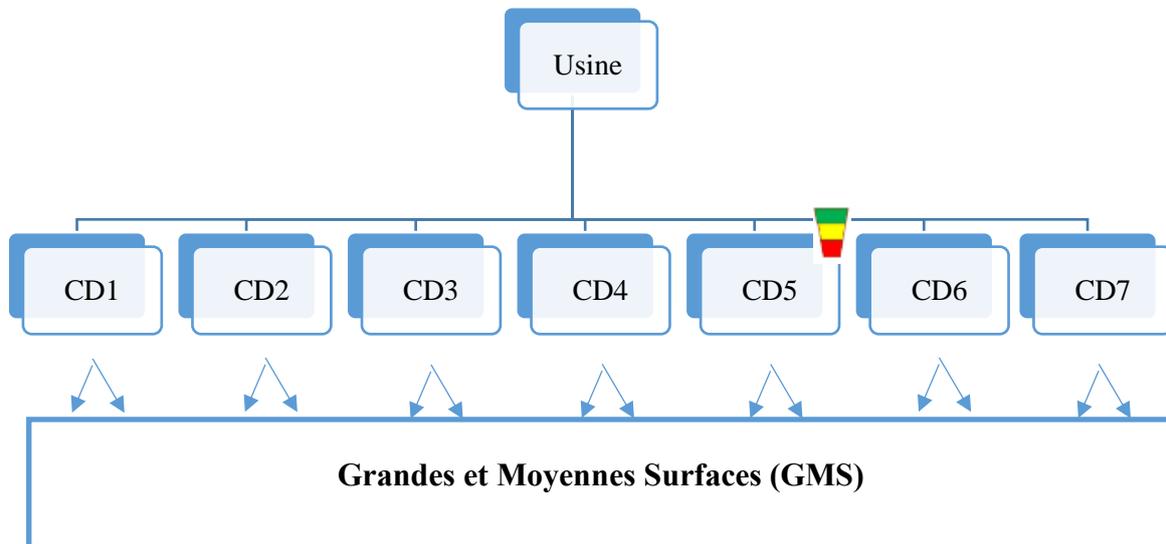


Figure 4.5. La configuration optimale pour la semaine 22

Tableau 4.5. Tableau de la configuration optimale

| Configuration | Centre de distribution | Variable de décision X_{ij} | Pu | TSM | FacLT | FacVar | ADU | LT | Coût de possession | Coût total |
|---------------|------------------------|-------------------------------|-----|-----|-------|--------|-----|----|--------------------|------------|
| 4 | Usine | 0 | - | - | - | - | - | 1 | 0 | 4.4 |
| | CD1 | 0 | - | - | - | - | - | 3 | 0 | |
| | CD2 | 0 | - | - | - | - | - | 3 | 0 | |
| | CD3 | 0 | - | - | - | - | - | 3 | 0 | |
| | CD4 | 0 | - | - | - | - | - | 3 | 0 | |
| | CD5 | 1 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 22 | 2 | 4.4 | |
| | CD6 | 0 | - | - | - | - | - | 3 | 0 | |
| | CD7 | 0 | - | - | - | - | - | 3 | 0 | |

Le tableau 4.5 montre que tous les délais sont inférieurs à la valeur du service toléré fixée à six jours. Pour la semaine 22 étudiée, la configuration optimale consiste à mettre le Buffer sur le CD5. En revanche, les autres semaines d'études vont induire d'autres configurations. Par conséquent, il est possible de trouver un changement de positionnement des Buffers d'une semaine à l'autre.

Pour synthétiser, les valeurs estimées des coûts jouent un rôle important dans la détermination de la configuration du positionnement optimal. Dans notre cas, les prix unitaires PU et les coûts CS sont considérés égaux pour toutes les unités de distribution. Dans ce cas, le point de distribution qui a le plus petit ADU (CD5) a besoin d'un Buffer.

D'autre part, les facteurs de délai et de variabilité sont fixés à une valeur estimée à 0.5. La partie suivante se focalise sur l'optimisation de ces paramètres dans l'objectif d'aboutir à un dimensionnement et ajustement optimaux des Buffers.

IV.4.3. Optimisation des paramètres des Buffers

Pour le cas d'étude traité, le positionnement des Buffers est déjà réalisé dans la section précédente de ce chapitre en exploitant le modèle du positionnement présenté auparavant.

IV.4.3.1. Configuration de l'optimisation

Les tableaux 4.6 et 4.7 illustrent les paramètres initiaux, les marges, ainsi que les pas d'optimisation des quatre paramètres à optimiser.

Tableau 4.6. Paramétrage des facteurs LT

| CD | Facteur LT | | | | | | | |
|-----|------------|-----|-----|------|---------|-----|-----|------|
| | Rouge | | | | Vert | | | |
| | Initial | Min | Max | Pas | Initial | Min | Max | Pas |
| CD1 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |
| CD2 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |
| CD3 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |
| CD4 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |
| CD5 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |
| CD6 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |
| CD7 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 |

Tableau 4.7. Paramétrage des facteurs de variabilité et de DLT

| CD | Facteur Variabilité | | | | DLT | | | |
|-----|---------------------|-----|-----|------|---------|-----|-----|-----|
| | Initial | Min | Max | Pas | Initial | Min | Max | Pas |
| CD1 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| CD2 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| CD3 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| CD4 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| CD5 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| CD6 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| CD7 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.01 | 3 | 1 | 4 | 1 |

Pour mener à bien l'optimisation des paramètres cités dans les tableaux ci-dessus, l'outil OptQuest du logiciel ARENA SOFTWARE est utilisé. Il permet de simuler la SC du cas d'étude, et exploiter les données de contrôle c'est-à-dire les paramètres à optimiser ainsi que la fonction objectif décrit auparavant (4.20). La figure 4.6 présente l'ensemble des données de contrôle.

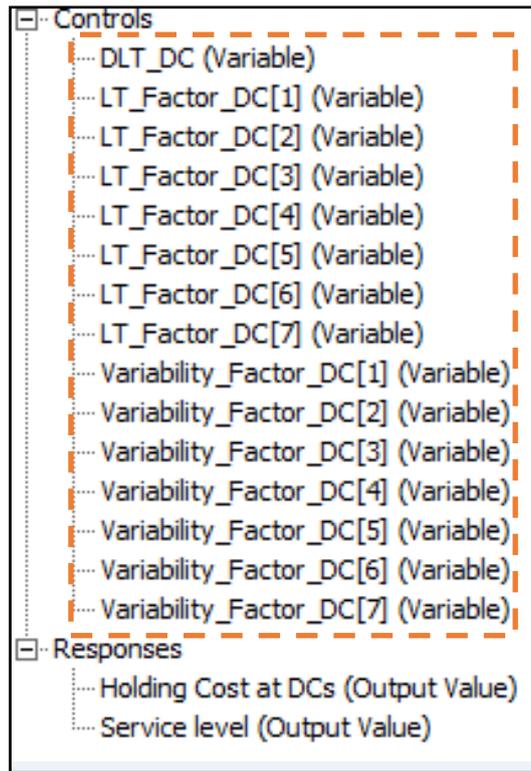


Figure 4.6. Données de contrôle de l'optimisation

D'autre part, les éléments de la fonction objectif sont nommés REPONSES. Ils sont présentés dans la figure 4.7.

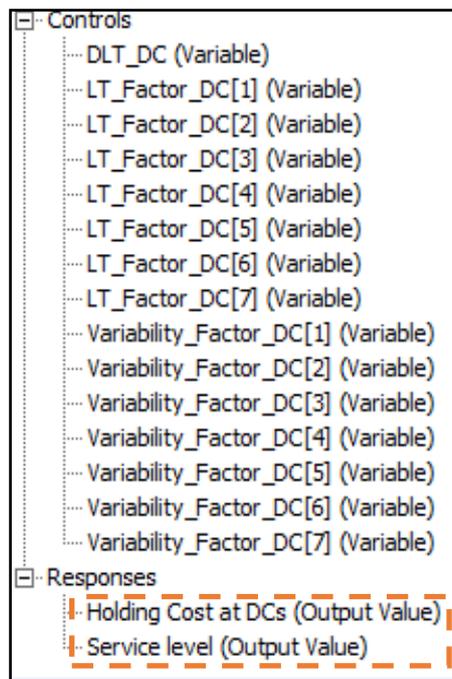


Figure 4.7. Eléments de la fonction objectif

La fonction objectif est ensuite inscrite (figure 4.8).

Figure 4.8. Inscription de la fonction objectif dans OptQuest

IV.4.3.2. Résultats de l'optimisation

Dans cette optimisation, OptQuest calcule la fonction objectif f pour les valeurs initiales des paramètres à optimiser, et commence à réitérer en enregistrant les nouvelles valeurs de f et les paramètres associées (figure 4.9).

| Minimize | | |
|---------------|-----------------|----------|
| | Objective Value | Status |
| Best Value | 9022.491982 | Feasible |
| Current Value | 30795.361976 | Feasible |

| Controls | | |
|--------------------------|------------|---------------|
| Control Name | Best Value | Current Value |
| DLT_DC | 1 | 2 |
| LT_Factor_Green_DC[1] | 0.100000 | 0.310000 |
| LT_Factor_Green_DC[2] | 0.100000 | 0.700000 |
| LT_Factor_Green_DC[3] | 0.100000 | 0.620000 |
| LT_Factor_Green_DC[4] | 0.100000 | 0.890000 |
| LT_Factor_Green_DC[5] | 0.100000 | 0.110000 |
| LT_Factor_Green_DC[6] | 0.100000 | 0.340000 |
| LT_Factor_Green_DC[7] | 0.100000 | 0.180000 |
| LT_Factor_Red_DC[1] | 0.100000 | 0.840000 |
| LT_Factor_Red_DC[2] | 0.100000 | 0.840000 |
| LT_Factor_Red_DC[3] | 0.100000 | 0.400000 |
| LT_Factor_Red_DC[4] | 0.100000 | 0.210000 |
| LT_Factor_Red_DC[5] | 0.100000 | 0.540000 |
| LT_Factor_Red_DC[6] | 0.100000 | 0.250000 |
| LT_Factor_Red_DC[7] | 0.100000 | 0.350000 |
| Variability_Factor_DC[1] | 0.100000 | 0.140000 |
| Variability_Factor_DC[2] | 0.100000 | 0.850000 |
| Variability_Factor_DC[3] | 0.100000 | 0.160000 |
| Variability_Factor_DC[4] | 0.100000 | 0.860000 |
| Variability_Factor_DC[5] | 0.100000 | 0.430000 |
| Variability_Factor_DC[6] | 0.100000 | 0.810000 |
| Variability_Factor_DC[7] | 0.100000 | 0.490000 |

Figure 4.9. Résultats de neuf itérations

Le nombre des itérations paramétrées est 500. Les figures 4.10 et 4.11 montrent les résultats de f, et les paramètres optimisés associés à cette valeur.

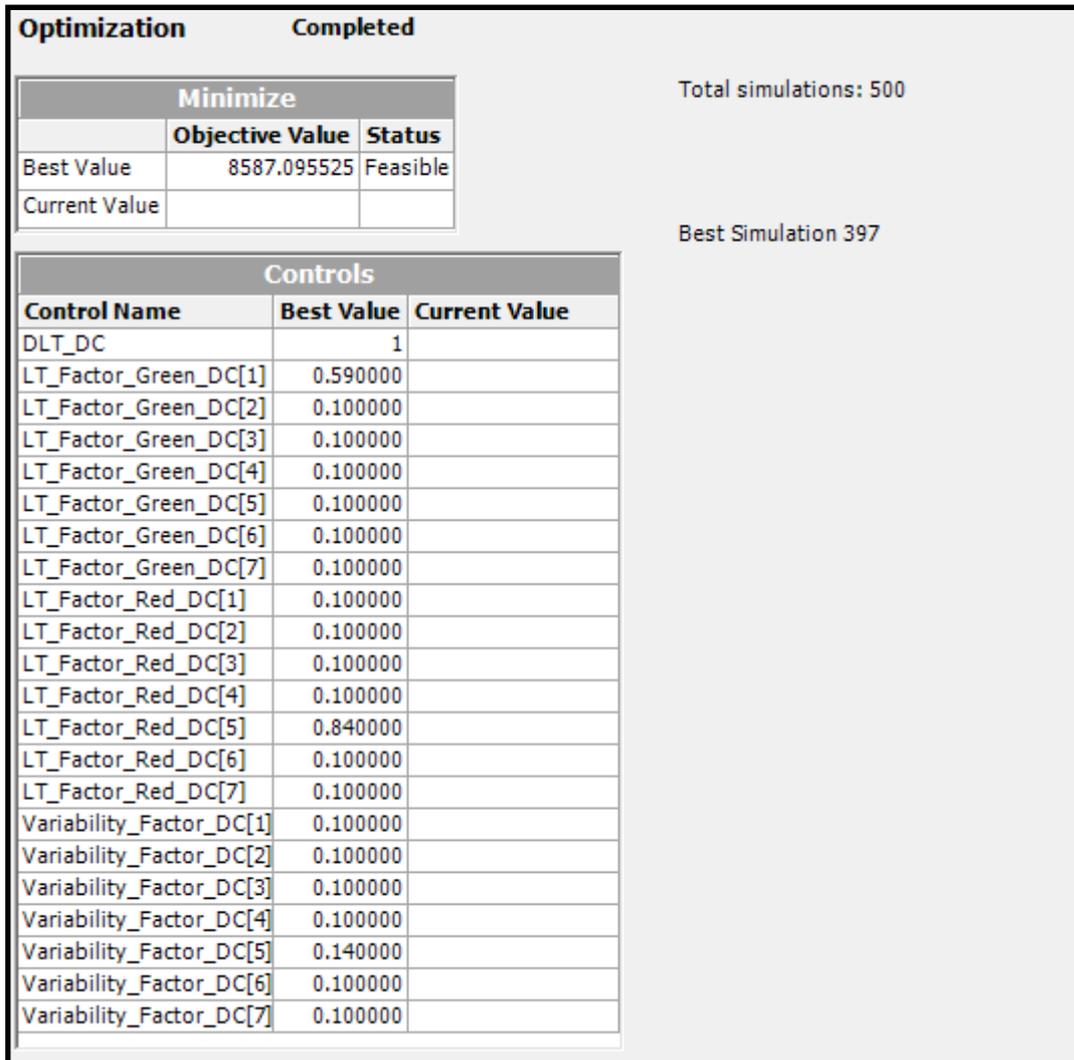


Figure 4.10. Résultats finaux après 500 itérations

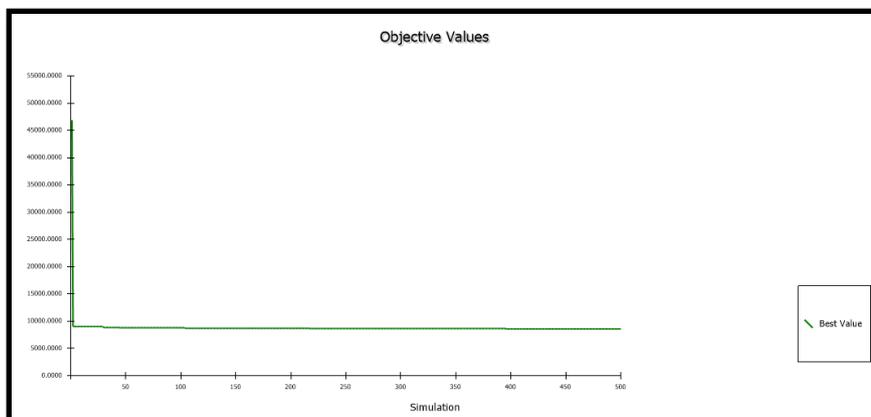


Figure 4.11. Graphe de l'optimisation

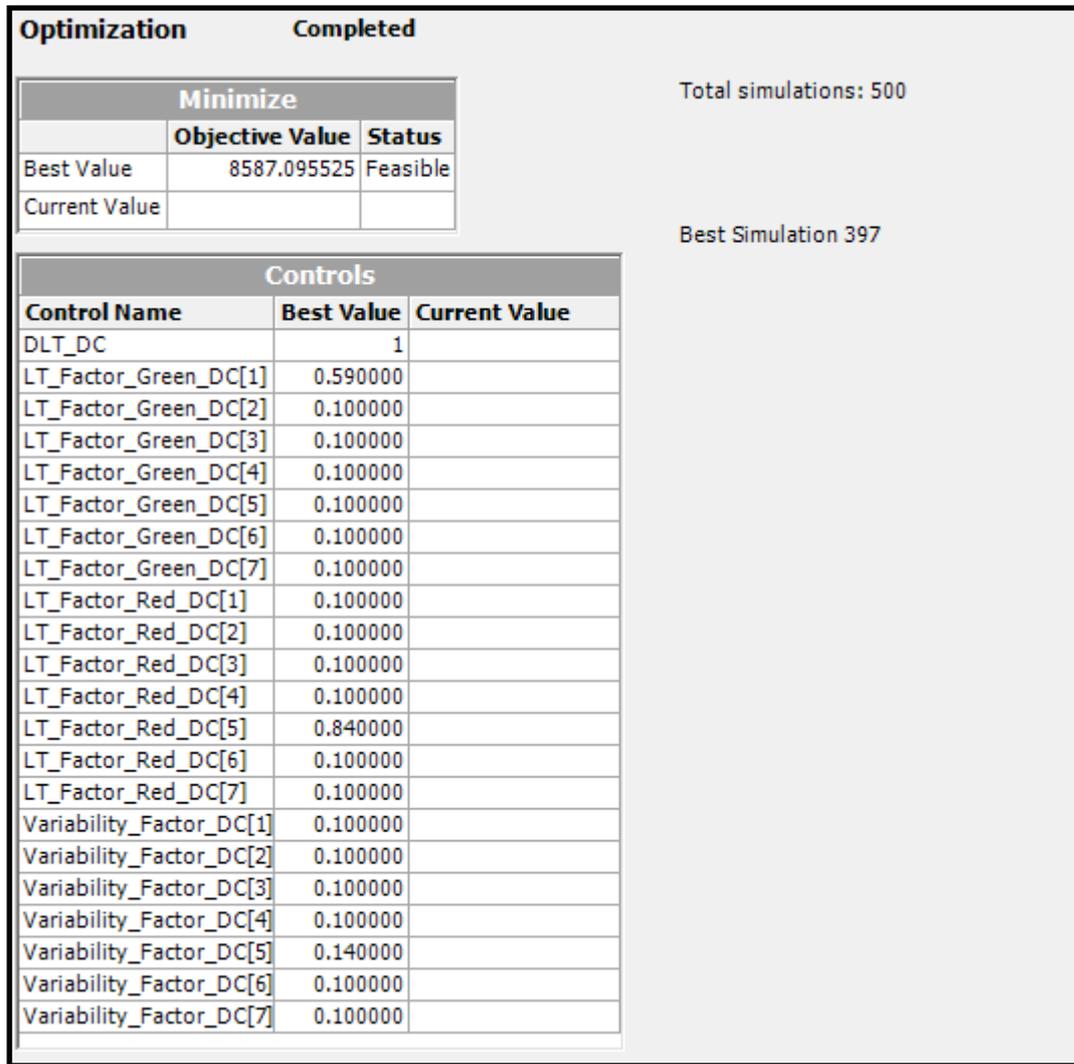


Figure 4.12. Les meilleurs paramètres du dimensionnement

L'optimisation a permis de trouver la meilleure combinaison des quatre paramètres pour toutes les unités de distribution munis d'un Buffer, ce qui constitue en total 22 paramètres. Certes, cette optimisation reproduit une année de distribution et prend un temps de 30 min pour faire 500 itérations. Néanmoins, l'appel à un nombre plus grand d'itérations peut amener à une solution plus optimale, ce qui nécessite plus de temps pour la simulation.

Pour les facteurs LT, on remarque que le CD1 et CD5 diffèrent par rapport aux autres. Cela indique que le délai est relativement long et des changements sont nécessaires pour remédier aux contraintes existantes au niveau du transport ou de la distribution en général.

Pour les facteurs de variabilité, la seule différence qui existe réside dans le CD5. Cela montre que la demande arrivant à ce CD est un peu plus variable par rapport aux autres CDs. On peut,

dans ce cas, ajouter des facteurs d'ajustements de la demande pour adapter le Buffer à la variabilité existante.

IV.4.4. Etude du modèle DDDRP sous un processus stochastique

Dans le modèle DDDRP, le délai LT comporte les temps de lancement, de préparation de la commande, de chargement, de transit, de déchargement et de stockage. Les formulations traitées dans les parties précédentes supposent que la valeur LT a une valeur fixe. Or un scénario réaliste envisage une variabilité non négligeable de ce paramètre. En réalité, la valeur donnée au paramètre LT n'est pas respectée avec précision, et cette valeur reflète en général la valeur moyenne du LT.

IV.4.4.1. Modélisation du délai LT

Le scénario d'un délai déterministe reflète une valeur constante. La figure 4.13 montre l'inscription de cette valeur dans le bloc relatif au processus de distribution sur le logiciel ARENA SOFTWARE.

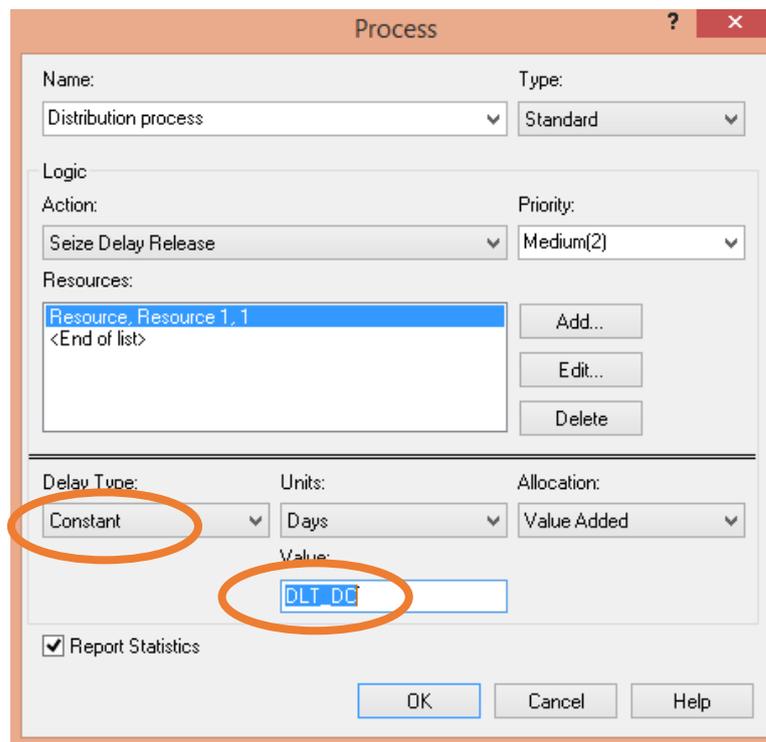


Figure 4.13. InSCRIPTION d'un délai déterministe

D'autre part, on a suivi l'hypothèse que le délai stochastique peut être modélisé par une loi triangulaire (R. Miclo et al., 2018). En effet, la variabilité du paramètre LT se traduit

généralement par un retard du délai probable à se manifester. En théorie des probabilités, une loi triangulaire $TRIA(c, a, b)$ est une loi de probabilité dont la fonction de densité est affine de sa borne inférieure a à son mode c et de son mode c à sa borne supérieure b . c caractérise la valeur la plus probable (figure 4.14).

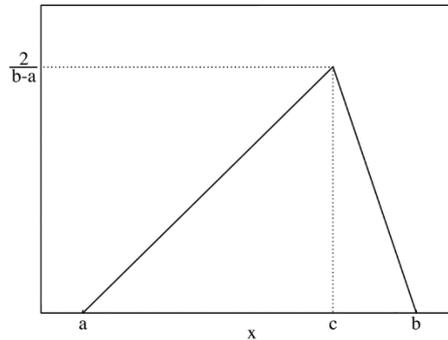


Figure 4.14. Fonction de densité de la loi triangulaire

Par conséquent, d'après la définition d'une loi triangulaire, une distribution avec un retard probable d'une journée, est modélisée par la loi $TRIA(DLT, DLT, DLT + 1)$. Donc la valeur minimale est égale à DLT , qui est également la valeur la plus réaliste du délai, tandis que la valeur maximale est égale à $DLT+1$. L'introduction de cette loi dans le Bloc PROCESS de ARENA est illustrée dans la figure 4.15.

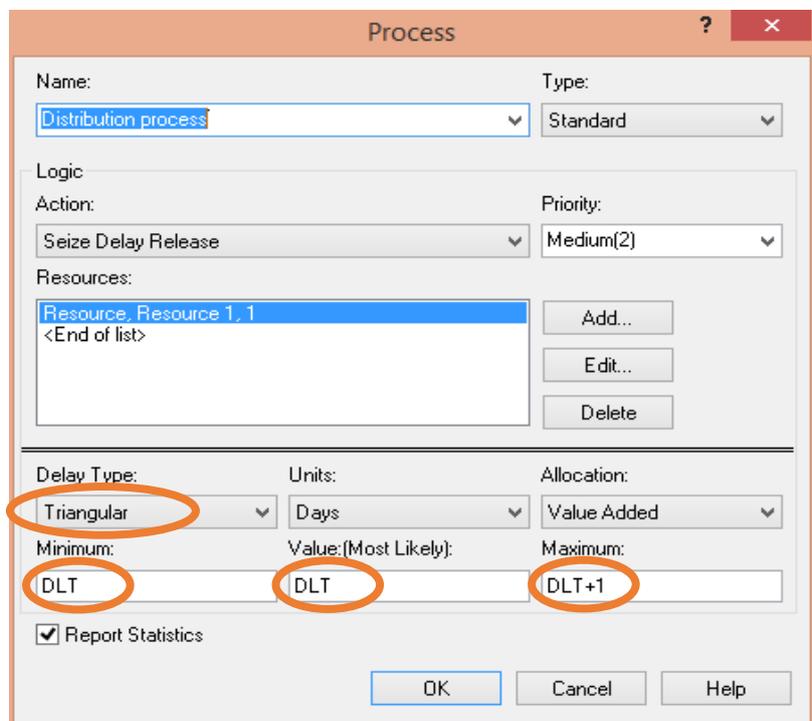


Figure 4.15. Processus avec délai stochastique

IV.4.4.2. Comparaison des scénarios

Dans le cas d'étude traité, huit scénarios sont étudiés. Le premier scénario présente un délai déterministe. Les sept autres scénarios présentent des scénarios stochastiques où les processus de distribution se caractérisent par des retards qui peuvent aller d'une journée à une semaine.

Pour chaque scénario, le taux de service est retiré pour mener une comparaison entre ces scénarios. Le tableau 4.8 résume les résultats des simulations.

Tableau 4.8. Résultats de l'étude sur la variabilité du Processus

| Nature du délai | Déterministe | Stochastique | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Délai | Tria (1,1,2) | Tria (1,1,3) | Tria (1,1,4) | Tria (1,1,5) | Tria (1,1,6) | Tria (1,1,7) |
| Taux de service | 0,9909 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9897 | 0,9893 | 0,9880 | 0,9880 | 0,9876 |

Le tableau 4.8 est résumé dans un graphe (figure 4.16) pour étudier l'influence des retards probables sur le taux de service dans une gestion de la distribution basée sur la demande réelle.

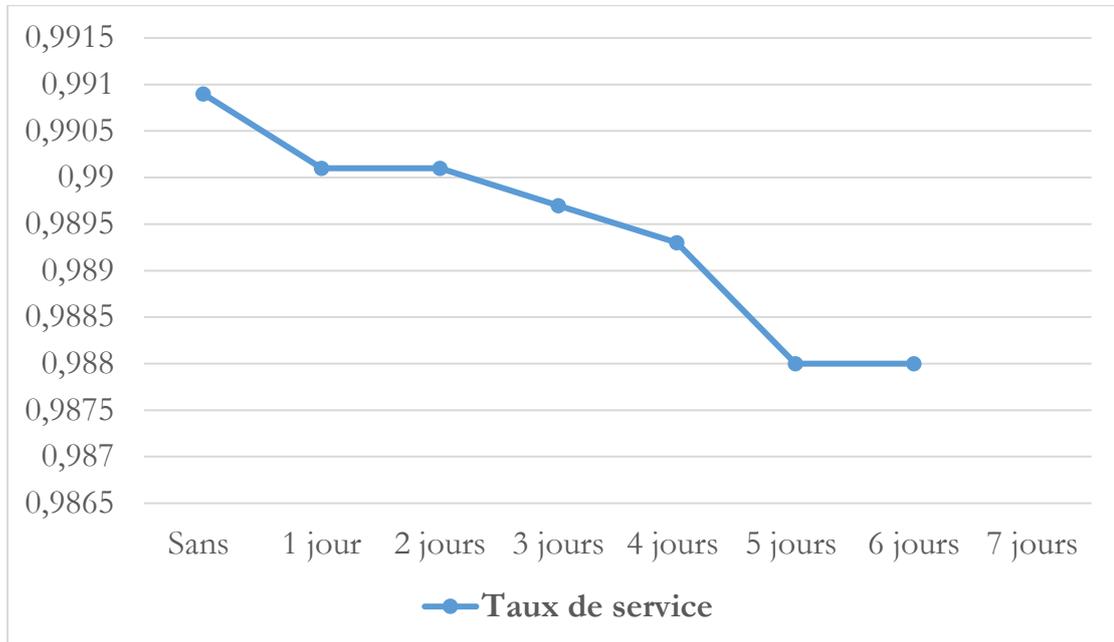


Figure 4.16. Impact des retards sur le taux de service

Le graphe 4.16 illustre une petite diminution du taux de service si le délai est stochastique. Bien que le retard a impacté le taux de service, le modèle DDDRP présente une flexibilité au regard du processus stochastique.

Conclusion

Ce chapitre s'est focalisé sur la généralisation des phases du modèle DDDRP. En effet, elle a commencé par un modèle mathématique qui décrit le problème de positionnement des Buffers dans le but de trouver la configuration optimale. Elle s'est basée sur la minimisation du coût de stockage dans le réseau de distribution. Ce coût intègre un ensemble de paramètres et de facteurs y compris le délai de distribution LT relatif à chaque unité. L'analyse de ce délai a abouti vers le résultat de la NP-complétude du problème ainsi qu'à sa non-linéarité. Ces caractéristiques du problème mènent à des perspectives de résolution et de linéarisation pour les réseaux à plusieurs échelons. De plus, ce chapitre a proposé une démarche d'optimisation des paramètres des Buffers dans le but de mener un dimensionnement et ajustement adéquats de ces Buffers. Le principe était de trouver un compromis entre la quantité stockée optimale et le taux de service souhaité – par le moyen de simulation OptQuest -. En effet, une approche itérative consiste à améliorer la solution qui respecte une fonction objectif. Cette dernière est modélisée de façon à minimiser la quantité stockée, ajoutée à des pénalités due aux mauvais taux de service. Les résultats sont liés aux paramètres du délai, des facteurs de variabilité et de délai.

Après avoir donnée la démarche d'optimisation des paramètres du modèle DDDRP, le chapitre a proposé une modélisation du processus général de la planification basée sur la demande. Cette modélisation s'est élaborée à l'aide d'un logigramme, puis d'un algorithme détaillant les instructions essentielles pour l'implémentation de la phase de planification basée sur la demande.

Dans la vision de mettre en application les formulations et les optimisations proposées, un cas d'étude industriel est soumis à toutes les phases relatives à l'implémentation du modèle DDDRP. Enfin, la dernière partie s'est focalisée sur la considération d'un processus variable, la loi triangulaire était proposée pour modéliser un délai stochastique, et une comparaison était menée pour étudier l'impact du retard probable de distribution sur le taux de service. Dans ce contexte, les résultats ont montré une diminution de ce taux lors de l'augmentation de la probabilité du retard de distribution. Mais cette diminution reste petite, ce qui montre la force du modèle DDDRP envers les processus variables.

Conclusion générale et Perspectives

La gestion des flux des produits et d'information dans les réseaux de distribution représente un défi important pour faire face aux différents types de variabilité. Dans ce rapport, les variabilités des processus et des demandes sont abordées, car elles sont la cause directe d'une distorsion de l'information à travers les réseaux de distribution. Passant de l'aval à l'amont dans le SC, ces variabilités subissent une amplification, connue dans la littérature sous le nom de « Coup de Fouet ». Les travaux abordés dans cette thèse visent à construire, évaluer et généraliser un modèle qui remédie à ce phénomène. Ils proposent une gestion de flux basée sur la demande en utilisant des Buffers de protection.

En premier lieu, les concepts du SC, SCM et de la logistique de distribution sont présentés pour spécifier le contexte global de la thèse. Dans la logistique de distribution, il est constaté que la littérature présente divers travaux qui traitent la gestion des stocks et des approvisionnements dans les réseaux multi-échelons, ainsi que plusieurs contributions sur le phénomène du Coup de Fouet en distribution en traitant ses causes et ses effets.

Pour remédier aux effets de ce phénomène, le modèle DDDRP est présenté comme une solution de planification et d'exécution multi-échelons pour une gestion optimale du flux de distribution. Ainsi, un ensemble d'axes se sont présentés comme des bases du modèle DDDRP. En effet, après avoir étudié les axes du DRP, Lean Distribution et la Théorie des Contraintes, l'importance de l'utilisation des Buffers est relevée, ainsi que les avantages du flux tiré entre les points stratégiques du réseau. Ensuite, les pilotes et les éléments théoriques du modèle sont construits pour permettre son évaluation par une simulation à événements discrets. Dans cette simulation, trois scénarios de variabilités de la demande sont évalués en intégrant les indicateurs clés de performance. Ces indicateurs sont relatifs aux taux de service OTS et le capital de stockage WC. En termes de résultats, le modèle DDDRP a présenté une flexibilité envers la variabilité de la demande, tandis que le DRP conventionnel nécessite une prévision accrue de la demande.

La dernière partie a porté sur une généralisation mathématique des phases du modèle DDDRP. Premièrement, le problème du positionnement des Buffers est reformulé en utilisant une fonction objective qui vise à minimiser le coût total du stockage dans le réseau de distribution. Le problème est prouvé pour être NP difficile et non linéaire. En deuxième lieu, une démarche

de modélisation et d'optimisation du dimensionnement des Buffers est proposée. C'est une approche itérative de calcul d'une fonction objective qui permet de tirer les paramètres optimaux minimisant les quantités de stockage et les pénalités dues aux mauvais taux de service, tout en respectant le délai imposé par le client final. Ensuite, la modélisation de la phase de planification basée sur la demande est élaborée à l'aide d'un logigramme et d'un algorithme qui détaille les instructions essentielles pour son implémentation. Finalement, une étude de cas est proposée pour mettre en application les modélisations proposées auparavant. L'étude a permis d'étudier l'aspect stochastique du processus ainsi que l'influence des retards probables sur le taux de service. Ce retard est modélisé par une loi triangulaire et puis introduit dans l'outil ARENA SOFTWARE afin de mesurer l'indicateur lié au taux OTS.

Enfin, le modèle proposé apporte une nouvelle forme de gestion stratégique, tactique et opérationnelle, qui permet aux entreprises d'adapter leurs ressources à la complexité et à la volatilité de la SC actuelle. En effet, les anciennes politiques de planification et d'exécution comme le DRP sont inappropriés aux circonstances auxquelles les entreprises sont confrontées aujourd'hui. Cette inadéquation se traduit par un faible rendement qui impacte négativement la performance des entreprises. La nouvelle voie proposée dans cette thèse offre une visibilité qui améliore l'avantage concurrentiel des entreprises, caractérisé par l'amélioration du taux de service, l'optimisation des stocks et la réduction voire l'élimination des dépenses.

Cependant, comme il s'agit des premiers travaux sur ce sujet, plusieurs perspectives nécessitent des développements supplémentaires :

Considération de la capacité :

Le travail a considéré une capacité suffisamment importante dans la modélisation et l'implémentation du modèle DDDRP. Néanmoins, une considération réaliste consiste à considérer une capacité limitée. Ceci ajoute la contrainte de la capacité dans la généralisation de toutes les phases, ainsi que dans la comparaison avec les autres modèles de distribution comme DRP.

Considération des familles de produits :

Le réseau de distribution est conçu pour être le chemin d'un ensemble de familles de produits, ce qui augmente la complexité de la gestion du flux. La recherche abordée a traité le modèle en supposant le flux d'un seul produit dans le réseau, ce qui aide à tracer les premières lignes du

modèle. En guise de perspective, il est indispensable de généraliser le modèle pour N familles de produits.

Considération de la variabilité liée aux fournisseurs

Les entreprises doivent toujours faire face à une source de variabilité liée à l'approvisionnement. Cette variabilité empêche l'arrivée des ordres dans le temps souhaité. C'est pourquoi les impacts de la variabilité de l'offre doivent être évalués dans les travaux futurs. Sa combinaison avec la variabilité interne et celle de la demande serait également scientifiquement intéressante.

Considération de la variabilité opérationnelle (de gestion)

Dans ce travail, la variabilité de gestion n'a pas été traitée. Pourtant, elle peut avoir des impacts importants en industrie. Certes, la modélisation de cette variabilité est difficile, mais l'abordage de ce point serait lié à la phase d'exécution. Elle doit intégrer les outils de gestion du flux des ressources humaines, avec l'intégration de tous les acteurs impliqués dans la SC du réseau industriel.

Références

Références

- Achanga, P., Shehab, E., Roy, R. and Nelder, G. (2006), “Critical success factors for lean implementation within SMEs”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 No. 4, pp. 460-471.
- Ageron, B., & Spalanzani, A. (2010). Perceptions et réalités du développement durable dans les entreprises françaises, *Revue française de gestion*, vol. 6, no 205, pp. 157-171
- Aguado, S., Alvarez, R., Domingo, R., 2013. Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. *J. Clean. Prod.* 47, 141-148.
- Aharon B-T, Boaz G, Shimrit, S., (2009), Robust multi-echelon multi-period inventory control. *Eur J Oper Res* 199(3):922–935.
- Ahmed Shaban, Francesco Costantino, Giulio Di Gravio et Massimo Tronci (2019), A new efficient collaboration model for multi-echelon supply chains, *Expert Systems With Applications* 128, 54–66.
- Aleksandra Anđelković, Marija Radosavljević, Danijela Stošić Panić (2016), effects of lean tools in achieving lean warehousing, *economic themes* 54(4): 517-534.
- Alony I, Munoz A (2007), The bullwhip effect in complex supply chains. 2007 International Symposium on Communications and Information Technologies Proceedings ,Darling Harbour, Sydney, Australia, 17–19 October, pp. 1355–1360.
- Alves, A.C., Dinis-Carvalho, J. and Sousa, R.M. (2012), “Lean production as promoter of thinkers to achieve companies’ agility”, *The Learning Organization*, Vol. 19 No. 3, pp. 219-237.
- Alwan LC, Liu, JJ, Yao, D-Q,. (2003). Stochastic characterization of upstream demand processes in a supply chain. *IIE Trans* 35 (3): 207–219.
- Amanda, Ivars, et Mathias, Lundberg,. Critical factors when implementing Lean practices and Lean distribution for a micro company in the start-up phase, Bachelor thesis 15 credits, C-level, School of Innovation, Design and Engineering.
- Anđelković, A., Radosavljević, M., & Stošić, D., (2016). Effects of lean tools in achieving lean warehousing. *Economic Themes*, 54(4), 517-534.
- Andersson, J., Marklund, J. (2000). Decentralized inventory control in a two-level distribution system /*European Journal of Operational Research* 127. 483-506.
- Apte, U. M. and Viswanathan, S,. (2000) “Effective cross docking for improving distribution efficiencies”, *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. 3, No. 3, pp. 291-302.
- Armistead, C. (1999) “Knowledge management and process performance”, *Journal of Knowledge Management*, Vol. 3, No. 2, pp. 143-157.
- Axsäter S, Rosling K (1993) Notes: installation vs. echelon stock policies for multilevel inventory control. *Manage Sci* 39 (10):1274–1280.

- Ayşe Sena Eruguz, Zied Jemai, Evren Sahin & Yves Dallery,. (2014). Optimising reorder intervals and order-up-to levels in guaranteed service supply chains, *International Journal of Production Research*, 52:1, 149-164.
- Baker, P. (2004) “Aligning distribution centre operations to supply chain strategy”, *International Journal of Logistics Management*, Vol. 15, No. 1, pp. 111-123.
- Baker, P., & Halim, Z. (2007) “An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues”, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 12, No. 2, pp.129-138.
- Ballot, E., & Fontane, F. (2006). Pilotage de la chaîne logistique : rendement et efficience du transport. Conférence Internationale Francophone d’Automatique, Bordeaux, France.
- Barrington, MA.Kai-Wen Zheng Chih-Hung Tsai Rong-Kwei Li Ching-Piao Chen Shih-Chieh Tsai, (2009), "The Development of the Distribution/VMI Game Based on Theory of Constraints", *Asian Journal on Quality*, Vol. 10, Iss 1, pp. 53 – 76.
- Basturk, B., Karaboga, D., (2006). An artificial bee colony (ABC) algorithm for numeric function optimization, in: *IEEE Swarm Intelligence Symposium*. pp. 687–697.
- Basu, R. (2001), “Six sigma to fit sigma: the third wave of operational excellence”, *IIE Solutions*, Atlanta, GA, June, 2001, pp. 28-33.
- Beatriz Abdul-Jalbar, Jose M. Gutiérrez et Joaquín Sicilia. (2006). Single cycle policies for the one-warehouseN-retailer inventory/distribution system, *Omega* 34. 196 – 208.
- Ben-Daya M, Raouf A (1994) Inventory models involving lead time as a decision variable. *J Oper Res Soc* 45(5):579–582.
- Bhasin, S. (2008), “Lean and performance measurement”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 19 No. 5, pp. 670-684.
- Bhasin, S. and Burcher, P. (2006), “Lean viewed as a philosophy”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 No. 1, pp. 56-72.
- Bhavin Shah, Vivek Khanzode, (2017), "Storage allocation framework for designing lean buffers in forward-reserve model: a test case", *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 45 Issue: 1, pp.90-118.
- Bicheno, J. (2004), *The Lean Toolbox*, PICSIE Books, Buckingham.
- Blackstone Jr., J. H. (2001), “Theory of Constraints – A Status Report.” *International Journal of Production Research* 39 (6): 1053–1080. doi:10.1080/00207540010028119.
- Bookbinder JH, Çakanyildirim M,. (1999), Random lead times and expedited orders in (Q, r) inventory systems. *Eur J Oper Res* 115 (2):300–313.
- Cachon G, Fisher M (1997) Campbell soup’s continuous replenishment program: evaluation and enhanced inventory decision rules. *Prod Oper Manag* 6(3):266–276.
- Cachon GP, Fisher M (2000) Supply chain inventory management and the value of shared information. *Manage Sci* 46 (8):1032–1048.
- Cachon GP, Lariviere MA. (1999). Capacity allocation using past sales: when to turn-and-earn. *Manage Sci* 45(5):685–703.
- Cachon GP, Lariviere MA. (1999). Capacity choice and allocation: strategic behavior and

supply chain performance. *Manage Sci* 45(8):1091–1108.

Carbonneau R, Laframboise K, Vahidov, R., (2008), Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting. *Eur J Oper Res* 184(3):1140–1154.

Carmen Jaca , Javier Santos , Ander Errasti & Elisabeth Viles, (2012), Lean thinking with improvement teams in retail distribution: a case study, *Total Quality Management & Business Excellence*, 23:3-4, 449-465.

Chaharsooghi SK, Faramarzi H, Heydari J (2008) A simulation study on the impact of forecasting methods on the bullwhip effect in the supply chain. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore, 8–11 Dec. 2008, pp. 1875–1879.

Chandra C, Grabis J (2005), Application of multi-steps forecasting for restraining the bullwhip effect and improving inventory performance under autoregressive demand. *Eur J Oper Res*, Vol. 166 (2), pp. 337–350.

Chen F, Ryan JK, Simchi-Levi D (2000) The impact of exponential smoothing forecasts on the bullwhip effect. *Nav Res Logist* 47(4):269–286.

Chen YF, Disney SM (2007) The myopic order-up-to policy with a proportional feedback controller. *Int J Prod Res* 45(2):351–368.

Chen, H., Frank, M.Z. and Wu, O.Q. (2005), “What actually happened to the inventories of American companies between 1981 and 2000?”, *Management Science*, Vol. 51 No. 7, pp. 1015-1031.

Chiarini, A., 2014. Sustainable manufacturing processes using specific lean production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *J. Clean. Prod.* 85, 226-233.

Childerhouse P, Disney SM, Towill DR (2008) On the impact of order volatility in the European automotive sector. *Int J Prod Econ* 114(1):2–13.

Christensen, L. (1996), “JIT sensitive distribution-cutting waste and serving the customer”, *Logistics Information Management*, Vol. 9, No. 2, pp. 7-9.

Christopher, M. (1994). *New direction in logistics*, in Cooper, J. (Ed.), *Logistics and distribution planning*, Kogan Page, London, 2nd ed., pp. 15-24.

Christopher, M. (1997). *Marketing logistics*, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Christopher, M.L. (1992). *Logistics and Supply Chain Management*, Pitman Publishing, London.

Chua, C. W., & Katayama, H. (2009), “Lean approaches in warehousing design and management for automotive parts supply operation”, In proceeding of APIEMS conference, ed. V. Kitakyushu, 2009.

Clark AJ, Scarf H, (2004), Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Manage Sci* 50(12):1782–1790.

Cook, R. L., Gibson, B. J., & MacCurdy, D. (2005). *A lean approach to cross docking*.

Corbett Charles J, Karmarkar Uday S (2001) Competition and structure in serial supply chains with deterministic demand. *Manage Sci* 47(7):966–978.

- Cox III, J. F., and L. H. Boyd. 2018. "Using the Theory of Constraints" Processes of Ongoing Improvement to Address the Provider Appointment Scheduling System Design Problem." *Health Systems*. doi:10.1080/20476965.2018.1471439.
- Croson R, Donohue K (2009), Impact of POS data sharing on supply chain management: an experimental study. *Prod Oper Manag*, Vol. 12(1), pp. 1–11.
- Dahlgaard, J. and Park, S. (2006), "Lean production, Six Sigma, TQM and company culture", *The TQM Magazine*, Vol. 18 No. 3, pp. 263-281.
- Dehdari, P. (2013). *Measuring the Impact of Lean Techniques on Performance Indicators in Logistics Operations*. Doctoral dissertation. Faculty of Mechanical Engineering. Institute of Technology. Karlsruhe. Germany.
- Dejonckheere J, Disney SM, Lambrecht MR, Towill DR (2002) Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains. *Int J Prod Econ* 78(2):133–144.
- Delbridge, R. (1998), *Life on the Line in Contemporary Manufacturing: The Workplace experience of Lean production and the "Japanese" Model*, Oxford University Press, Oxford.
- Delbridge, R., Lowe, J. and Oliver, N. (2000), "Shop floor responsibilities under lean team working", *Human Relations*, Vol. 53 No. 11, pp. 1459-1479.
- Disney SM, Potter AT, Gardner BM (2003) The impact of vendor managed inventory on transport operations. *Transp Res E Logist Transp Rev* 39(5):363–380.
- Disney SM, Towill DR (2002) A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain. *Int J Prod Res* 40(1):179–204.
- Disney SM, Towill DR (2003) The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains. *Int J Prod Econ* 85(2):199–215.
- Disney SM, Towill DR (2005) Eliminating drift in inventory and order based production control systems. *Proceedings of the Twelfth International Symposium on Inventories*, Cardiff, 8 January 2005, *International Journal of Production Economics* 93–94 (SPEC. ISS.): 331–344.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A., (1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern.* 26, 29–41. doi:10.1109/3477.484436.
- Elisa Alvarez et Matthieu van der Heijden, (2014). On two-echelon inventory systems with Poisson demand and lost sales, *European Journal of Operational Research* 235. 334–338.
- Enns, S. T. (2007), "Pull replenishment performance as a function of demand rates and setup times under optimal settings", in the proceeding of simulation conference, Washington, DC., IEEE Press, pp.1624-1632.
- Erkan B, Lenny Koh SC, Gunasekaran A, Kazim S, Ekrem T (2008), The role of forecasting on bullwhip effect for E-SCM applications. *Int J Prod Econ* 113(1):193–204.
- Fabbe-Costes, N., & Lancini, A. (2009). Gestion inter-organisationnelle des connaissances et gestion des chaînes logistiques: enjeux, limites et défis, *Management & Avenir*, vol. 4, no 24, pp. 123-145.
- Farasyn Salal Humair Joel I. Kahn John J. Neale Oscar Rosen John Ruark William Tarlton Wim Van de Velde Glenn Wegryn Sean P. Willems , (2011) *Inventory Optimization at Procter & Gamble: Achieving Real Benefits Through User Adoption of Inventory Tools* Ingrid,

Interfaces, Vol. 41, No. 1, January–February, pp. 66–78.

Fattahi, M, Mahootchi, M, Moattar Husseini, S.M, Keyvanshokoh, E, & Alborzi F,. (2014): Investigating replenishment policies for centralised and decentralised supply chains using stochastic programming approach, *International Journal of Production Research*.

Feo, T.A., Resende, M.G.C., 1989. A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. *Oper. Res. Lett.* 8, 67–71. doi:10.1016/0167-6377(89)90002-3.

Frank Y. Chen, Youyi Feng, David Simchi-Levi. (2002). Uniform distribution of inventory positions in two-echelon periodic review systems with batch-ordering policies and interdependent demands *European Journal of Operational Research* 140. 648–654.

Frasier-Sleyman, K., (1994), Forecasting and the continuous replenishment craze of the 1990s. *Journal of Business Forecasting*, Vol. 13, pp. 3–8.

Frazelle, E. (2002), *Supply chain strategy: the logistics of supply chain management*: McGraw-Hill Companies.

Fu Y, Piplani R, de Souza R, Wu J (2000) Multi-agent enabled modeling and simulation towards collaborative inventory management in supply chains. *Winter Simulation Conference Proceedings 2*, Orlando, FL, USA, 10–13 December 2000, pp. 1763–1771.

Fulconis, F., Monnet, M., & Paché, G. (2009). Le prestataire de services logistiques, acteur clé du système de logistique inversée, *Management & Avenir*, vol. 4, no 24, p. 83-102.

Fuller, Joseph B, J Conor et R Rawlinson, Tailored logistic, the next advantage, *Harvard Business Rev*, May-June (1993), 87-98.

Gaalman G, Disney SM (2006) State space investigation of the bullwhip problem with ARMA (1,1) demand processes. *Int J Prod Econ* 104(2) : 327–339.

Gamboa, R., & Cowles, J. (2004). A mechanical proof of the Cook-Levin theorem. In *International Conference on Theorem Proving in Higher Order Logics* (pp. 99-116). Springer, Berlin, Heidelberg.

Ganeshan, R., Jack, E., Magazine, M.J., & Stephens, P. (1998). A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research, in *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp 841-880.

Garza-Reyes, J.A., Jacques, G.W., Lim, M.K., Kumar, V., RochaeLona, L., 2014. Lean and green e synergies, differences, limitations, and the need for Six Sigma. In: *IFIP WG 5.7 International Conference, APMS (2014)*, Ajaccio, France, September 20-24.

Gaumand, C., Chapdaniel, A., & Dudezert, A. (2010). Systèmes de Gestion des Connaissances pour la chaîne logistique intra-organisationnelle, Cas de la société BONFIGIOLI, *Systèmes d'information & management*, vol. 15, no 2, pp. 99-124.

Geary S, Disney SM, Towill DR (2006) On bullwhip in supply chains—historical review, present practice and expected future impact. *Int J Prod Econ* 101(1 SPEC. ISS), pp. 2–18.

Génin, P. (2003). Planification tactique robuste avec usage d'un A.P.S – Proposition d'un mode de gestion par plan de référence. Thèse de doctorat de l'École des Mines de Paris.

Gentry, J. J. (1996), “The role of carriers in buyer-supplier strategic partnerships: a supply chain management approach”, *Journal of Business Logistics*, Vol.17, pp. 35-56.

- Gérard P. Cachon, Marshall Fisher.** (2000). Supply Chain Inventory Management and the Value of Shared Information. *Management Science* 46(8):1032-1048.
- Gerstner E, Hess JD** (1995) Pull promotions and channel coordination. *Mark Sci* 14(1):43–60
- Glover, F., Laguna, M.,** 2013. Tabu Search*, in: Pardalos, P.M., Du, D.-Z., Graham, R.L. (Eds.), *Handbook of Combinatorial Optimization*. Springer New York, pp. 3261–3362.
- Goldratt, E.M.** (1993), “What is the theory of constraints?”, *APICS – The Performance Advantage*, June, pp. 18-20.
- Goldratt, E.M., Cox, J.** (1992). *The Goal - A Process of Ongoing Improvement*. Second Rev. Ed., North River Press Publishing Corporation, Great.
- Goodman ML** (1974) A new look at higher-order exponential smoothing for forecasting. *Oper Res* 22(4):880–888.
- Graves SC** (1999) A single-item inventory model for a nonstationary demand process. *Manuf Serv Oper Manag* 1 (1):50–61.
- Guillermo Gallego, Özalp Özer, Paul Zipkin.** (2007). Bounds, Heuristics, and Approximations for Distribution Systems. *Operations Research* 55(3):503-517.
- Hallgren, M. and Olhager, J.** (2009), “Lean and agile manufacturing; external and internal drivers and performance outcomes”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29 No. 10, pp. 976-999.
- Hamister JW, Suresh NC,.** (2008). The impact of pricing policy on sales variability in a supermarket retail context. *Int J Prod Econ* 111(2):441–455.
- Hammel, T. R. and Rock, K. L.,** 1993, Tightening the supply chain. *Production and Inventory Management Journal*, 34, 63–70.
- Haoxun Chen et Peng Li.** (2015). Optimization of (R, Q) policies for serial inventory systems using the guaranteed service approach *Computers & Industrial Engineering* 80. 261–273.
- Helmick, J.S., Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E.** (2000). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies*, Penn State University Press, USA.
- Heydari Jafar, Kazemzadeh RB, SK Chaharsooghi** (2009), A study of lead time variation impact on supply chain performance. *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 40(11–12), pp. 1206–1215.
- Higuchi T, Troutt MD** (2004) Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product—lessons from the Tamagotchi case. *Comput Oper Res* 31(7):1097–1114.
- Hines, P., Holweg, M. and Rich, N.** (2004), “Learning to evolve – a review of contemporary lean thinking”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24 No. 10, pp. 994-1011.
- Hoberg K, Bradley JR, Thonemann UW,.** (2007), Analyzing the effect of the inventory policy on order and inventory variability with linear control theory. *Eur J Oper Res* 176(3) : 1620–1642.
- Holland W, Sodhi MS** (2004) Quantifying the effect of batch size and order errors on the bullwhip effect using simulation. *Int J Logistics Res Appl* 7(3):251–261.

- Holland, J.H.**, (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U Michigan Press, Oxford, England.
- Holweg, M.** (2007), “The genealogy of lean production”, *Journal of Operations Management*, Vol. 25 No. 1, pp. 420-437.
- Holweg, M. and Pil, F.K.**, *The Second Century: Reconnecting Customer and Value Chain Through Build-to-Order*, 2004 (MIT Press: Cambridge, Mass.; London).
- Horne, R.**, (1989), Charting a course for integrated logistics, *Transportation and Distribution*, Vol. 30, pp. 45–51.
- Hosoda T, Disney SM** (2004) An analysis of a three echelon supply chain model with minimum mean squared error forecasting. *Second World Production and Operations Management Conference*, Mexico, April 30–May 3, 2004, pp. 1–24.
- Hossein Abouee-Mehrzi, Opher Baron, Oded Berman** (2014) Exact Analysis of Capacitated Two-Echelon Inventory Systems with Priorities. *Manufacturing & Service Operations Management* 16(4) : 561-577.
- Hudock, B.** (1998), Warehouse space and layout planning. *Warehouse Management Handbook*: 229.
- Hult GTM, Ketchen DJ Jr, Nichols EL Jr** (2003) Organizational learning as a strategic resource in supply management. *J Oper Manage* 21(5) : 541–556.
- Hwang, C.-R.**, 1988. Simulated annealing: Theory and applications. *Acta Appl. Math.* 12, 108–111. doi:10.1007/BF00047572.
- Ignizio, J. P.** (2009), *Optimizing factory performance*, New York, McGraw-Hill.
- Islam T, Meade N** (1997) The diffusion of successive generations of a technology: a more general model. *Technol Forecast Soc Change* 56(1):49–60.
- Jaca, Carmen, Santos, Javier, Errasti, Ander, & Viles, Elisabeth.** (2012). Lean thinking with improvement teams in retail distribution: a case study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 23(3-4), 449-465.
- Jakšič M, Rusjan B** (2008) The effect of replenishment policies on the bullwhip effect: a transfer function approach. *Eur J Oper Res* 184(3) : 946–961.
- Jayaram, J., Vickery, S. and Droge, C.** (2008), “Relationship building, lean strategy and firm performance: an exploratory study in the automotive supplier industry”, *International Journal of Production Research*, Vol. 46 No. 20, pp. 5633-5649.
- Jokar, M.A., Dupont, L., & Frein, Y.** (2002). Évolution du concept de logistique, *Revue Française de Gestion Industrielle*, vol. 21, no 3, pp. 5-22.
- Jonas Andersson, Philip Melchior.** (2001) . A two-echelon inventory model with lost sales, *Int. J. Production Economics* 69. 307-315.
- Jones, D. T., Hines, P., & Rich, N.** (1997), “Lean logistics”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 27, No. 3, pp. 153-173.
- Kathryn E. Caggiano, John A. Muckstadt, James A. Rappold.** (2006). *Integrated Real-Time Capacity and Inventory Allocation for Repairable Service Parts in a Two-Echelon Supply*

System. Manufacturing & Service Operations Management 8(3):292-319.

Keutgen, P. (2005). Les parcs logistiques en Europe du Nord-Ouest (Mémoire de fin d'études en Sciences géographiques), Université de Liège.

Kevin Watson & Tony Polito (2003) Comparison of DRP and TOC financial performance within a multi-product, multi-echelon physical distribution environment, International Journal of Production Research, 41:4, 741-765.

Kiff, J.S., The lean dealership - a vision for the future: "from hunting to farming". Market. Intell. Plann., 2000, 18, 112-126.

Kimbrough SO, Wu DJ, Zhong F. (2002) Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains? Decis Support Syst 33(3):323-333.

Krauth, E., Moonen, H., Popova, V., & Schut, M. C. (2005, May). Performance Measurement and Control in Logistics Service Providing. In ICEIS (2), pp. 239-247.

Kurt salmon Associates. (1993). Efficient Customer Response Enhancing customer value in the grocery industry, The joint industry project on efficient consumer response, Washinton DC.

Kut C. So, Xiaona Zheng, (2003), Impact of supplier's lead time and forecast demand updating on retailer's order quantity variability in a two-level supply chain, Int. J. Production Economics 86, 169-179.

La Londe, B.J., & Masters, J.M. (1994). Emerging Logistics Strategies: Blue-print for the next century. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, Vol 24, No 7, pp 35-47.

Lalwani CS, Disney SM, Towill DR,. (2006). Controllable, observable and stable state space representations of a generalized order-up-to policy. International journal of production economics 101(1 SPEC. ISS):172-184.

Lambert, D.M., & Cooper, M.C. (2000). Issues in Supply Chain Management. Industrial Marketing Management, 29, pp 65-83.

Lee HL, Padmanabhan, V, Seungjin, W,. (1997), The bullwhip effect in supply chains. Sloan Manage Rev, Vol. 38(3), pp. 93-102.

Lee, H.L., & Billington, C. (1993). Material management in decentralized supply chain. OperationResearch, Vol 41, No 5.

Liang W-Y, Huang C-C (2006) Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain. Decis Support Syst 42(1) : 390-407.

Liang W-Y, Huang C-C, (2006), Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain. Decis Support Syst 42(1):390-407.

Liao C-J, Shyu C-H, (1993), An analytical determination of lead time with normal demand. Int J Oper Prod Manage 11(9):72-78.

Lièvre, P. (2006). Un enjeu interne du développement de la logistique: lier les préoccupations de la conception d'un cadre commun entre la gestion et l'ingénierie, Gestion, vol. 31, no 3, pp 97-103.

Liker, J.K. (2004), The ToyotaWay-14Management Principles from the World Greatest Manufacturer, McGraw-Hill, New York, NY.

- Lina Johansson, Fredrik Olsson, (2017). Age-based inventory control in a multi-echelon system with emergency replenishments, *European Journal of Operational Research*.
- Luca Bertazzi, Adamo Bosco, et Demetrio Laganà, (2016), Min–Max exact and heuristic policies for a two-echelon supply chain with inventory and transportation procurement decisions, *Transportation Research Part E* 93. 57–70.
- Luebbe, R., and B. Finch. (1992), “Theory of Constraints and Linear Programming: A Comparison.” *International Journal of Production Research* 30 (6): 1471–1478. doi:10.1080/00207549208942967.
- Lummus, R.R., & Vokurka, R.J. (2004). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, pp 11–17.
- Luong HT, Phien NH (2007) Measure of bullwhip effect in supply chains: the case of high order autoregressive demand process. *Eur J Oper Res* 183(1):197–209.
- Lynn GS, Schnaars SP, Skov RB (1999) A survey of new product forecasting practices in industrial high technology and low technology businesses. *Ind Mark Manag* 28(6):565–571.
- MacDuffie, J.P. and Helper, S., Creating lean suppliers: diffusing lean production through the supply chain. *California Manage. Rev.*, 1997, 39, 118–151.
- Magee, J.F. (1968). *Industrial logistics; analysis and management of physical supply and distribution systems*. McGraw-Hill.
- Mahajan V, Muller E, Bass FM (1990) New product diffusion models in marketing: a review and directions for research. *J Mark* 54(1):1–26.
- Mahfouz, A., Smith, L. and Arisha, A. (2013). An Integrative Lean Assessment Model for Distribution Centres. 11th. International Conference on Manufacturing Research (ICMR2013), Cranfield University, UK, 19th–20th September 2013.
- Mann, D. (2005), *Creating a Lean Culture: Tools to Sustain Lean Conversions*, Productivity Press, New York, NY.
- Manrodt, K. B., Thompson, R. H., and Vitasek, K. (2008), “lean practices in supply chain”.
- Matteo Kalchschmidt, Giulio Zotteri, Roberto Verganti. (2003). Inventory management in a multi-echelon spare parts supply chain, *Int. J. Production Economics* 81–82. 397–413.
- MARTIN J., (1985), *DRP (Distribution Resource Planning)- can you afford not to have it?*, *Material Handling Engineering*, Vol. 40, pp. 131–139.
- McBurney P, Parsons S, Green J. (2002) Forecasting market demand for new telecommunications services: an introduction. *Telematics Inform* 19(3):225–249.
- Mentzer, J.T., Dewitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D., & Zacharia, Z.G. (2001). Defining the supply chain Management. *Journal of Business logistics*, Vol 22, No 2.
- MINNER, S., DIKS E. B., & DE KOK, A. G., (2003). A two-echelon inventory system with supply lead time flexibility, *IIE Transactions*, 35:2, 117-129.
- Monden, Y. (1983), *The Toyota Production System*, Productivity Press, Portland, OR.
- Mouna Elarbi , Omar Ayadi , Malek Masmoudi et Faouzi Masmoudi (2020), Drug-inventory-management-model for a multi-echelon pharmaceutical supply-chain: case study of the Tunisian pharmaceutical supply-chain, *Supply Chain Forum: An International Journal*.

- Moyaux T, Chaib-draa B, D'Amours S, (2007), Information sharing as a coordination mechanism for reducing the bullwhip effect in a supply chain. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews* 37(3): 396–409.
- Mujaj Y, Leukel J, Kim St (2007) A reverse pricing model for multi-tier supply chains. *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on E-Commerce Technology; The 4th IEEE*.
- Mulcahy, D. E. (1994), *Warehouse distribution and operations handbook*: McGraw-Hill.
- Mustafa K. Dogru , A. G. de Kok et G. J. van Houtum. (2009). A numerical study on the effect of the balance assumption in one-warehouse multi-retailer inventory systems, *Flex Serv Manuf J.* 21:114–147.
- Mustafa K. Dođru, Ulař Özen. (2015). Tactical Inventory Planning at Alcatel-Lucent's Repair and Exchange Services. *Interfaces* . 45(3):228-242.
- Muth JF (1960) Optimal properties of exponentially weighted forecasts. *J Am Stat Assoc* 55(290):299–306.
- Nabhani, F., and Shokri, A. (2009), “Reducing the delivery lead time in a food distribution SME through the implementation of six sigma methodology”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 20, No. 7, pp. 957-974.
- Nadeera Ekanayake, Nilesh Joshi et Shital A. Thekdi, (2016) Comparison of single-echelon vs. multi-echelon inventory systems using multi-objective stochastic Modelling, *Int. J. Logistics Systems and Management*, Vol. 23, No. 2.
- Narus, J. A., and Anderson, J. C. (1996), “Rethinking distribution: adaptive channels”, *Harvard Business Review*, Vol. 74, pp. 112-122.
- Naylor, J.B., Naim, M.M. and Berry, D. (1999), “Leagility: integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 62 No. 1, pp. 107-118.
- Nienhaus J, Ziegenbein A, Schoensleben P (2006) How human behaviour amplifies the bullwhip effect—a study based on the beer distribution game online. *Prod Plan Control* 17(6):547–557.
- NIST (2000), *Principles of Lean Manufacturing With Live Simulation*, Manufacturing Extension Partnership, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Ohno, T. (1979), *The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Diamond Inc, Tokyo.
- Oliver, N., Delbridge, R. and Lowe, J. (1996), “Lean production practices: international comparisons in the auto components industry”, *British Journal of Management*, Vol. 7 No. 1, pp. 29-44.
- Oliver, N., Jones, D. and Delbridge, R. (1994), *Worldwide Manufacturing Competitiveness Study: 2nd Lean Enterprise Report*, Andersen Consulting, London.
- Ouyang L-Y, Yeh N-C, Wu K-S (1996) Mixture inventory model with backorders and lost sales for variable lead time. *J Oper Res Soc* 47(6):829–832.
- Paik S-K, Bagchi PK (2007) Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain. *Int J Retail Distrib Manag* 35 (4):308–324.

- Pamela Danese, Valeria Manfe et Pietro Romano (2017)**, A Systematic Literature Review on Recent Lean Research: State-of-the-art and Future Directions, *International Journal of Management Reviews*, Vol. 00, 1–27.
- Pascal, D. (2002)**, *Lean Production Simplified: A Plain Language Guide to the World's most Powerful Production System*, Productivity Press, New York, NY.
- Peter Berling & Johan Marklund (2014)**, Multi-echelon inventory control: an adjusted normal demand model for implementation in practice, *International Journal of Production Research*, 52:11, 3331-3347.
- Peter Berling, Johan Marklund. (2006)**. Heuristic Coordination of Decentralized Inventory Systems Using Induced Backorder Costs, *PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT POMS*, Vol. 15, No. 2, pp. 294–310.
- Petersen, C. G., and Aase, G. (2004)**, “A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 92, No. 1, pp. 11-19
- Van-Hoek, R.I. (2000)**, “The thesis of leagility revisited”, *International Journal of Agile Management Systems*, Vol. 2 No. 3, pp. 196-201.
- Piotr Cyplik, Łukasz Hadaś, Roman Domański**, implementation of the theory of constraints in the area of stock management within the supply chain – a case study, *Electronic Scientific Journal of Logistics*, Vol. 5 Issue 3 No 6.
- Pons, J., & Chevalier, P. (1993)**. *La logistique intégrée*, Hermes. ed, Hermes. Paris.
- Potter A, Disney SM (2006)** Bullwhip and batching: an exploration. *Int J Prod Econ* 104(2):408–418.
- Ptak, C., Smith, C., (2016)**. *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*, Industrial Press, Inc.
- Pujawan IN (2004)** The effect of lot sizing rules on order variability. *Eur J Oper Res* 159(3):617–635.
- Radojko LUKIC (2012)**, The Effects of Application of Lean Concept in Retail, *Economia. Seria Management* Volume 15, Issue 1.
- Radovilsky, Z. D. (1998)**. A quantitative approach to estimate the size of the time buffers in the theory of constraints. *International Journal of Production Economics*, 55, 113 119.
- Rasoul Haji & Hamed Tayebi & Babak Ghalebsaz Jeddi**, One-for-one-period ordering policy for inventory systems with unidirectional lateral transshipments, *Int J Adv Manuf Technol*.
- Ratliff, H.D., & Nulty, W.G. (1997)**. Logistics composite modeling, in: Artiba, A., Elmaghraby, S.E. (Eds.), *The Planning and Scheduling of Production Systems*, Springer US, pp. 10-53.
- Reichhart, A. and Holweg, M. (2007)**, “Lean distribution: concepts, contributions, conflicts”, *International Journal of Production Research*, Vol. 45 No. 16, pp. 3699-3722.
- Reiner G, Fichtinger J (2009)** Demand forecasting for supply processes in consideration of pricing and market information. *Int J Prod Econ* 118(1):55–62.
- Rémy Le Moigne. (2017)**. *Supply chain management - Achat, production, logistique, transport, vente*, 2e édition, Dunod.

- Riddalls CE, Bennett S (2001) The optimal control of batched production and its effect on demand amplification. *Int J Prod Econ* 72(2):159–168.
- Rong Y, Shen Z-JM, Snyder LV (2009) The impact of ordering behavior on order-quantity variability: a study of forward and reverse bullwhip effects. *Flex Serv Manuf J* 20(1–2):95–124.
- Rota-Franz, K., Thierry, K., C., & Bel, G. (2001). *Gestion des Flux dans les chaînes logistiques*. In *Performances industrielles et gestion des flux* (P. Burlat, J.P. Campagne) Hermès Traité IC2, pp 153-186.
- Ryu SW, Lee KK (2003) A stochastic inventory model of dual sourced supply chain with lead-time reduction. *Int J Prod Econ* 81–82:513–524.
- Schonberger, R.J. (1982), *Japanese Manufacturing Techniques*, The Free Press, New York, NY.
- Shah, R. and Ward, P.T. (2003), “Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance”, *Journal of Operations Management*, Vol. 21 No. 2, pp. 129-149.
- Sima K, Zhang Y, Ying M, Chen J (2007) The impact of forecasting with Kalman filter on the bullwhip effect. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Honolulu, Hawaii, USA, August 12–16, 2007, pp. 4698–4701.
- Simon J, Naim M, Towill DR (1995) Dynamic analysis of a WIP compensated decision support system. *Int J Manuf Syst Des* 1 (4):283–297.
- Simpson, D.F. and Power, D.J. (2005), “Use the supply relationship to develop lean and green suppliers”, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 10 No. 1, pp. 60-68.
- Skiadas CH (1986) Innovation diffusion models expressing asymmetry and/or positively or negatively influencing forces. *Technol Forecast Soc Change* 30(4) : 313–330.
- Sohn SY, Lim M (2008) The effect of forecasting and information sharing in SCM for multi-generation products. *Eur J Oper Res* 186(1):276–287.
- Spalanzani, A. (2003). *Evolution et perspectives de l’organisation et de la gestion industrielle: l’impact des systèmes d’information*, Presses Universitaires de Grenoble. ed.
- Spear, S. and Bowen, H.K. (1999), “Decoding the DNA of the Toyota production system”, *Harvard Business Review*, Vol. 77 No. 5, pp. 96-106.
- Srikanta Routroy and Rambabu Kodali, (2005). Differential evolution algorithm for supply chain inventory Planning, *Journal of Manufacturing Technology Management* Vol. 16 No. 1, pp. 7-17.
- Stadtler, H., & Kilger, C. (2000). *Supply Chain Management and Advanced Planning: concepts, models, software and case studies*, Editions Springer Verlag.
- Storch, R.L. and Lim, S. (1999), “Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding”, *Production Planning & Control*, Vol. 10 No. 2, pp. 127-137.
- Subrata Mitra, A.K. Chatterjee. (2004). Echelon stock based continuous review (R;Q) policy for fast moving items, *Omega* 32. 161 – 166.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. and Uchikawa, S. (1977), “Toyota production system and Kanban system: materialization of just-in time and respect-for-human system”, *International Journal of Production Research*, Vol. 15 No. 6, pp. 553-564.

- Sun HX and Ren YT (2005) The Impact of forecasting methods on bullwhip effect in supply chain management. IEEE International Engineering Management Conference I, 11–13 September, pp. 215–219.
- Sven Axsäter, Johan Marklund. (2008). Optimal Position-Based Warehouse Ordering in Divergent Two-Echelon Inventory Systems. *Operations Research* 56(4):976-991.
- Sven axsater. (2000). Exact Analysis of Continuous Review (R, Q) Policies in Two-Echelon Inventory, Systems with Compound Poisson Demand *Operations Research*, Vol. 48, No. 5, pp. 686-696.
- Sven Axsater. (2007). On the First Come–First Served Rule in Multi-Echelon Inventory Control, *Naval Research Logistics*, Vol. 54.
- Svensson G (2003) The bullwhip effect in intra-organisational echelons. *Int J Phys Distrib Logist Manag* 33(2):103–131.
- Swaminathan JM, Smith SF, Sadeh NM (1998) Modeling supply chain dynamics: a multiagent approach. *Decis Sci* 29(3):607–632.
- Tan, K.C. (2001). A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing and Supply Management* 7, pp 39-48.
- Tang O, Grubbström RW (2002) Rescheduling considerations for production planning using control theory. *Int J Ind Eng Theory Appl Pract* 9(3):258–264.
- Taylor DH (1999) Measurement and analysis of demand amplification across the supply chain. *Int J Logistics Manag* 10 (2):55–70.
- Tayur, S., Ganeshan, R., & Magazine, M. (1999). *Quantitative models for supply chain management*. Kluwer Academic Publishers.
- Thierry, C., & Bel, G. (2002). Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : outils d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat. *Revue Française de Gestion Industrielle*.
- Towill DR, Evans GN, Cheema P (1997) Analysis and design of an adaptive minimum reasonable inventory control system. *Prod Plann Control* 8(6):545–557.
- Towill DR. (1982). Dynamic analysis of an inventory and order based production control system. *Int J Prod Res* 20(6):671–687.
- Tsay, A.A., Nahmias, S., & Agrawal, N. (1999). Modeling supply chain contracts: A review, in: *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Springer, pp. 299–336.
- Tyagi RK (1999) On the effects of downstream entry. *Manage Sci* 45(1):59–73.
- Veinott AF Jr (1965) Optimal policy for a multi-product, dynamic, nonstationary inventory problem. *Manage Sci* 12 (3):206–222.
- Viera Šukalová, Pavel Cenigaa (2015), Application of The Theory of Constraints Instrument in The Enterprise Distribution System, *Procedia Economics and Finance* 23, 134 – 139.
- Vinodh, S. and Joy, D. (2011), “Structural equation modelling of lean manufacturing practices”, *International Journal of Production Research*, Vol. 50 No. 6, pp. 1598-1607.
- Vinodh, S., Arvind, K.R., Somanaathan, M., (2011), Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives. *Clean. Tech. Environ. Policy* 13 (3), 469-479.

- Viswanathan S, Widiarta H, Piplani R (2007) Value of information exchange and synchronization in a multi-tier supply chain. *Int J Prod Res* 45(21):5057–5074.
- Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman, (2004) To Pull or Not to Pull: What Is the Question?. *Manufacturing & Service Operations Management* 6(2):133-148.
- Warburton RDH, Disney SM. (2007). Order and inventory variance amplification: the equivalence of discrete and continuous time analyses. *Int J Prod Econ* 110(1–2) : 128–137.
- Whybark, D. C., 1975, MRP: A Profitable Concept for Distribution. Fifth Annual Transportation and Logistics Educators Conference, Columbus, OH, Ohio State University, Transportation and Logistics Fund.
- Wilson, L. (2010), *How to implement lean manufacturing*: McGraw-Hill.
- Womack, J., Jones, D. and Roos, D. (1990), *The Machine that Changed the World*, Rawson Associates, New York, NY.
- Womack, J.P. and Jones, D.T. (1996), *Lean Thinking*, Simon & Schuster, New York, NY.
- Woonghee Tim Huh, Ganesh Janakiraman, Mahesh Nagarajan (2016), Capacitated Multiechelon Inventory Systems: Policies and Bounds, *Manufacturing & Service Operations Management*.
- Wu, H. H., A. H. Lee, and T. P. Tsai. (2014), “A Two-Level Replenishment Frequency Model for TOC Supply Chain Replenishment Systems Under Capacity Constraint.” *Computers & Industrial Engineering* 72: 152–159.
- Xiaofeng Zhao & Jianrong Hou (2014): Analyzing the time buffer in the Theory of Constraints based lean operations, *Journal of Management Analytics*, DOI: 10.1080/23270012.2014.971890.
- Xiuli Chao et Sean X. Zhou Source. (2009) Optimal Policy for a Multiechelon Inventory System with Batch Ordering and Fixed Replenishment Intervals, *Operations Research*, Vol. 57, No. 2. (Mar. - Apr., 2009), pp. 377-390.
- Yan XS, Robb DJ, Silver EA (2009) Inventory performance under pack size constraints and spatially-correlated demand. *Int J Prod Econ* 117(2):330–337.
- Yeu-San Tee, Manuel D. Rossetti. (2002). A robustness study of a multi-echelon inventory model via simulation, *Int. J. Production Economics* 80. 265–277.
- Yuan, K. J., S. H. Chang, and R. K. Li. (2003), “Enhancement of Theory of Constraints Replenishment Using a Novel Generic Buffer Management Procedure.” *International Journal of Production Research* 41 (4): 725–740.
- Yunzeng Wang, Morris A. Cohen, Yu-Sheng Zheng. (2000). A Two-Echelon Repairable Inventory System with Stocking-Center-Dependent Depot Replenishment Lead Times. *Management Science* 46(11):1441-1453.
- Zhang X (2004) The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. *Int J Prod Econ* 88(1):15–27.
- Zylstra, K. D. (2006), *Lean distribution : applying lean manufacturing to distribution, logistics, and supply chain* : Wiley.

Annexes

Modélisation de l'échelon des centres de distribution Sous ARENA

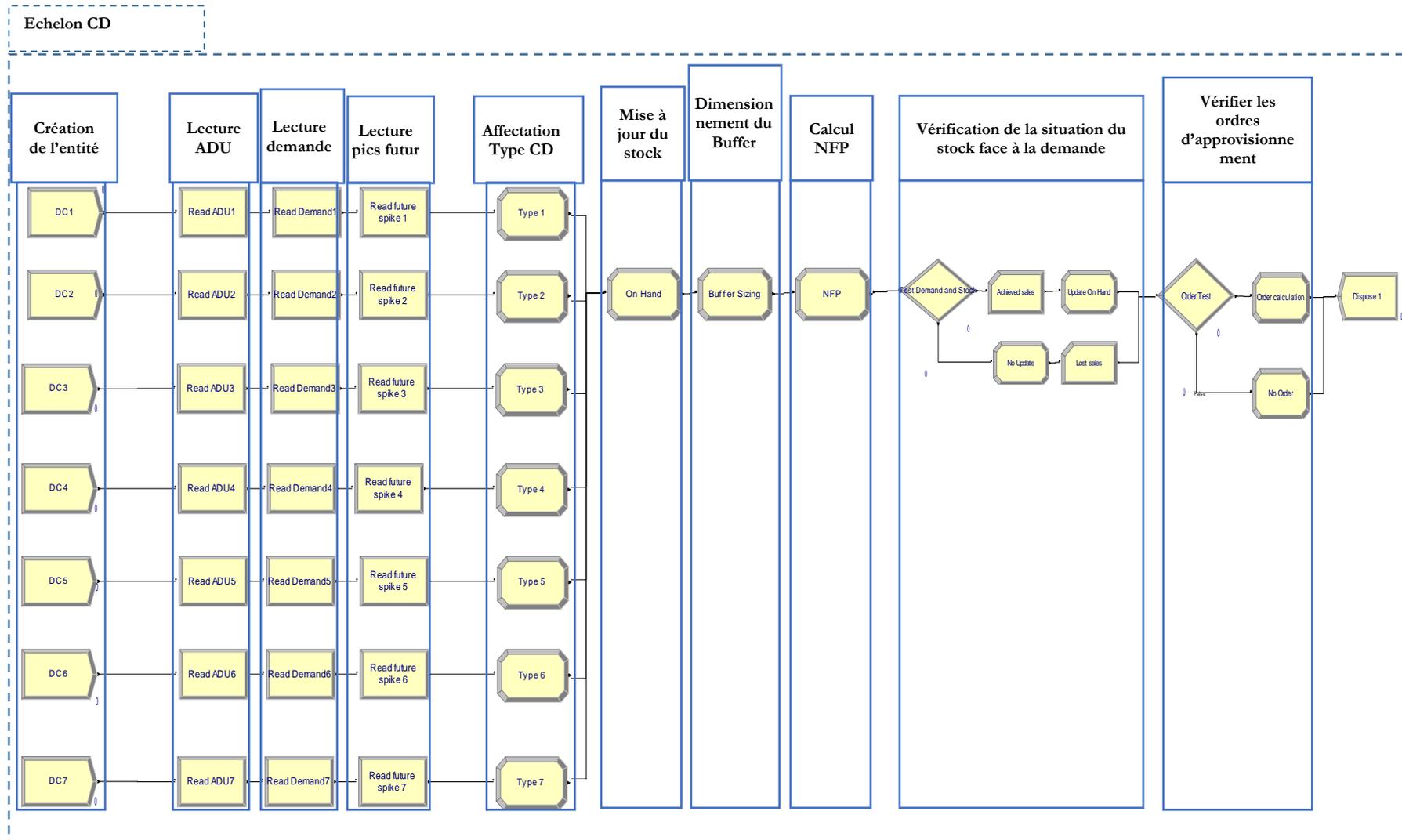


Figure 1. Modélisation du 2^{ème} échelon (Centres de distribution)

Modélisation de l'échelon de l'usine sous ARENA

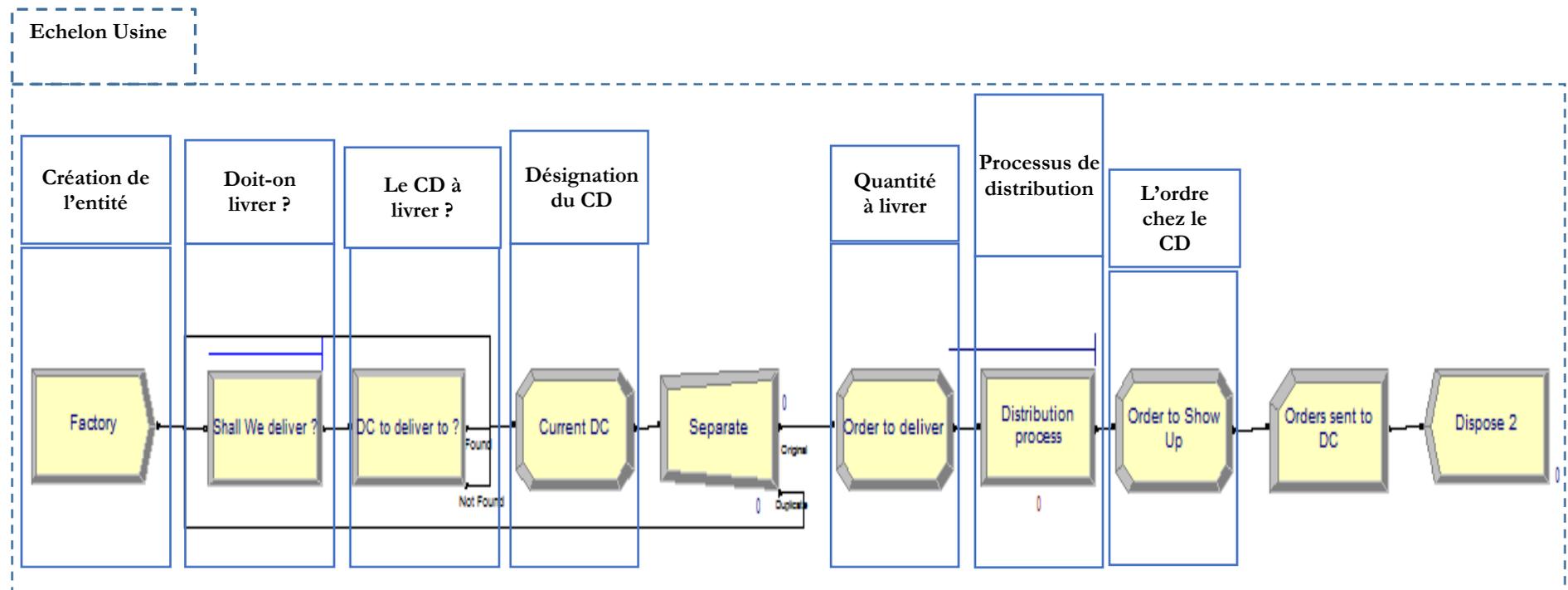


Figure 2. Modélisation du 1^{er} échelon (Usine)

Détails des blocs du modèle ARENA

Echelon du Centre de distribution :

Les blocs du modèle ARENA représentant l'échelon du centre de distribution sont structurés comme suit :

a. Création de l'entité : Ce bloc est conçu comme point de départ pour les entités dans un modèle de simulation. Les entités sont créées quotidiennement représentant le temps d'arrivée de l'entité au centre de distribution. A chaque jour, il y a une entité qui entre dans le processus.

b. Lecture ADU : la consommation journalière moyenne est un facteur important dans le dimensionnement du Buffer, ce paramètre est sujet d'une prévision en se basant sur l'historique de la consommation dans les trois dernières années. Dans ce bloc, on exporte les informations à partir d'un fichier Excel.

c. Lecture de la demande : le bloc concerne la lecture de la demande réelle de l'ensemble des clients directs du centre de distribution, qui sont les GMS. Une variable « *GMS_Demand (Type)* » est affecté à la demande arrivant au CD, l'attribut « *Type* » allant de 1 à 7.

d. Lecture des pics future : les pics futurs sont une notion importante dans le modèle DDDRP pour déterminer les demandes qualifiées. Ces pics sont déterminés sur un horizon égale au DLT. Une variable « *Future_Spike_DC(i)* » est affectée à ce paramètre.

$$Qualified_Demand_DC (Type) = GMS_Demand (Type) + Future_Spike_DC (Type) \quad (1)$$

e. Affectation du type CD : Comme on modélise pour 7 Centres dans l'échelon 2, l'entité arrivant à ce bloc reçoit un type caractérisant le numéro du CD.

f. Mise à jour du stock : le niveau de stock au CD augmente par la quantité arrivant de l'usine au jour correspondant à l'entité.

$$On_Hand_DC (Type) = On_Hand_DC (Type) + Showing_Up_Order_DC (Type) \quad (2)$$

g. Dimensionnement du Buffer : Dans ce bloc, le Buffer associé au CD est dimensionné en exploitant les équations 3.1 à 3.5.

h. Calcul NFP : Ce bloc concerne le calcul du NFP. On commence par préciser les approvisionnements ouverts dans les trois jours avant, on les somme, et on retranche s'il y un ordre arrivé au jour associé à l'entité. Enfin on calcule le NFP.

$$Open_supply_DC (Type) = Order_Amount_DC (Type) \quad (3)$$

$$On_Order_DC (Type) = On_Order_DC (Type) + Open_supply_DC (Type) - Showing_Up_Order_DC (Type) \quad (4)$$

$$NFP(Type) = On_Hand_DC (Type) + On_Order_DC (Type) - Qualified_Demand_DC (Type) \quad (5)$$

i. Vérification stock/demande : la vérification de la situation de stock dans le CD pour répondre à la demande client (figure 3). Si la demande est inférieure au stock, c'est une vente gagnée et le stock diminue (équation 6). Sinon, c'est une vente perdue et la situation de stock reste la même.

$$On_Hand_DC (Type) = On_Hand_DC (Type) - GMS_Demand (Type) \quad (6)$$

j. Vérifier les ordres d'approvisionnement : le Buffer est un élément implémenté pour protéger le flux. La décision de redimensionner le Buffer par un ordre de réapprovisionnement est décidé après le positionnement du NFP dans le Buffer actuel. Si NFP est inférieur au haut du jaune (TOY) (figure 4), un ordre est planifié. La quantité de l'ordre est égale au haut du vert (TOG) moins NFP (7), un booléen sera affecté à 1 représentant le statut de l'ordre (8).

$$Order_Amount_DC (Type) = TOG_DC (Type) - NFP_DC (Type) \quad (7)$$

$$Order_status_DC (Type) = 1 \quad (8)$$

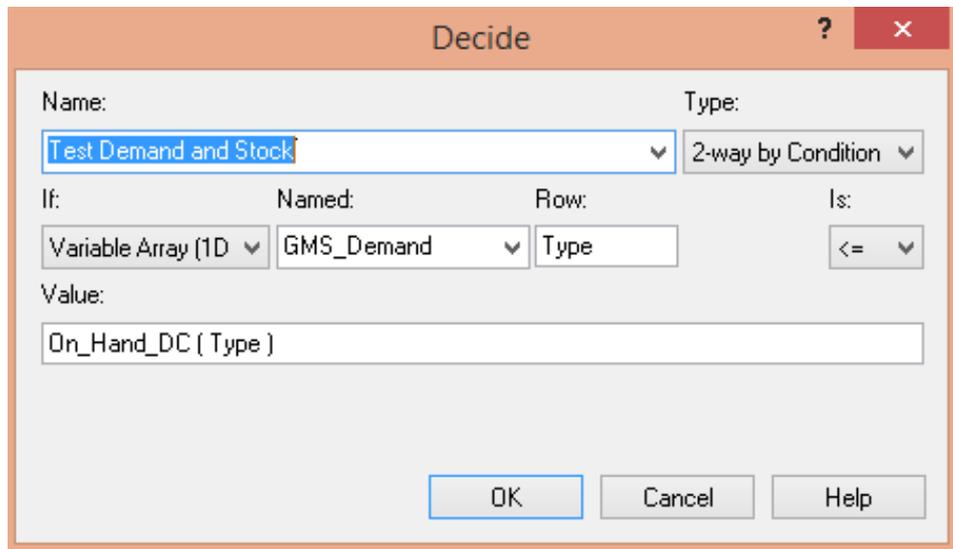


Figure 3. Comparaison de la demande avec la situation du stock

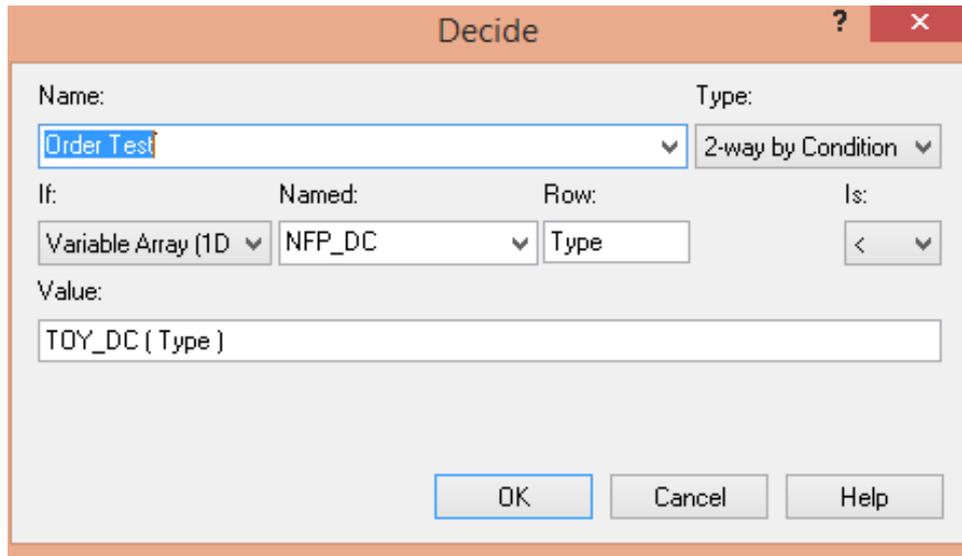


Figure 4. Décision sur le Redimensionnement du Buffer

Echelon de l'usine

Les blocs suivants représentent l'échelons de l'usine. L'alimentation des CD en produits livrés par l'usine est montrée par les blocs de ce dernier.

k. Création de l'entité : Point de départ pour les entités dans l'échelon de l'usine.

l. Doit-on livrer ? : Par la fonction HOLD, On doit vérifier si un des statuts de l'ordre pour les sept CDs est égale à 1 (figure 5).

m. Le CD à livrer : Dans ce bloc, on cherche le CD qui remplit la condition de l'équation 8 en lui affectant une variable J.

n. Désignation du CD : Après avoir déterminer le CD à alimenter, on initialise le statut de l'ordre.

$$Current_DC = J \quad (9)$$

$$Order_status_DC (Current_DC) = 0 \quad (10)$$

o. Quantité à livrer : elle représente la quantité à livrer, qui sera affectée à un attribut « Batch_Size_DC ».

$$Batch_Size_DC = Order_Amount_DC (Current_DC) \quad (11)$$

p. Processus de distribution : A l'aide du bloc PROCESS, on doit spécifier la durée nécessaire de distribution (figure 7)

q. Ordre chez le CD : lié à l'étape o.

$$Showing_Up_Order_DC (Current_DC) = Batch_Size_DC \quad (12)$$

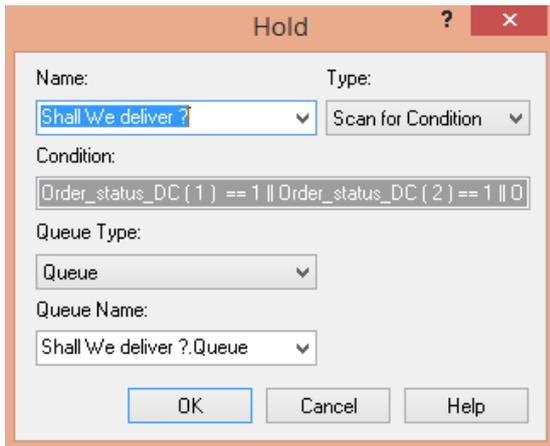


Figure 5. Vérification des statuts des ordres

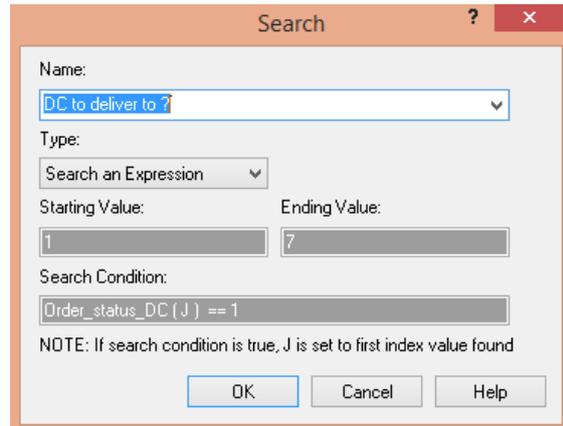


Figure 6. Le CD à livrer

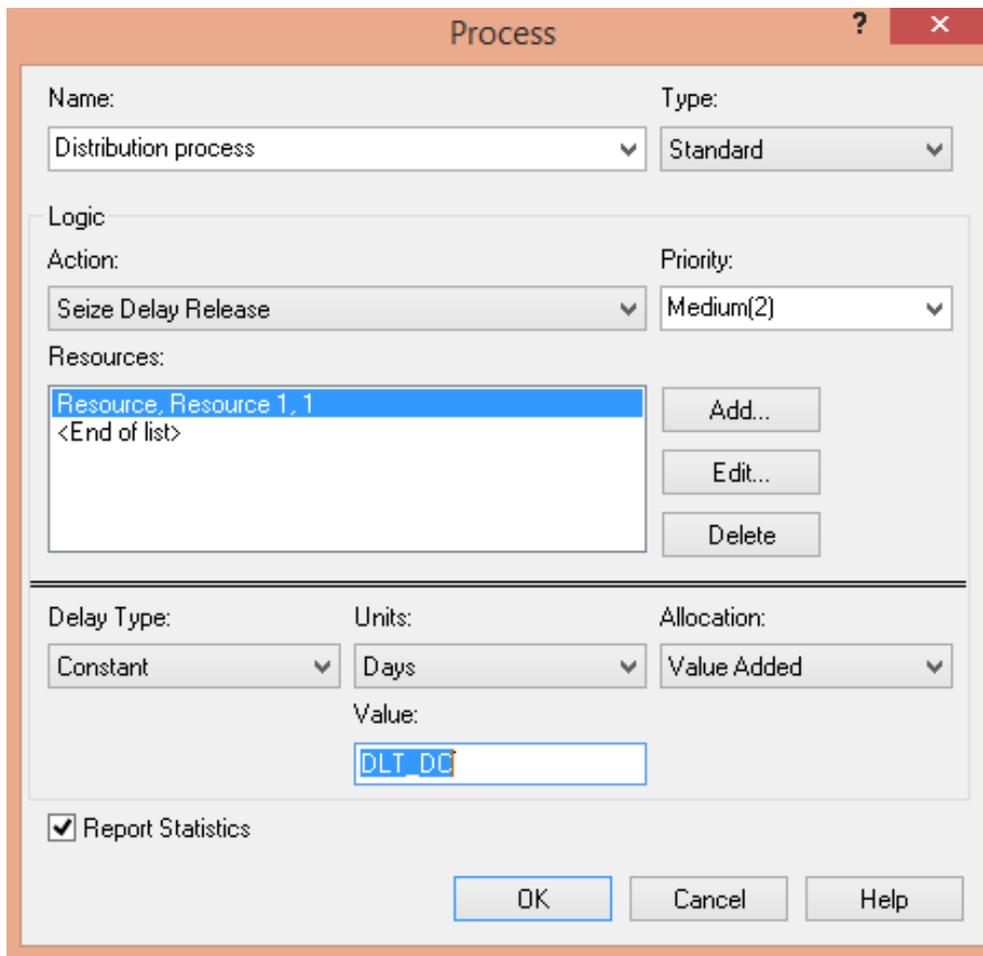


Figure 7. Bloc PROCESS

Dans l'objectif de mener une simulation complète du cas d'étude sous ARENA, on a adopté un ensemble de configurations pour régler les OUTPUT attendues en terme d'indicateurs

de performances.

Paramètres de la simulation

Configuration des répliques

On a effectué une seule réplique ayant pour longueur 365 jours. L'unité de base de la réplique est le jour (figure 8).

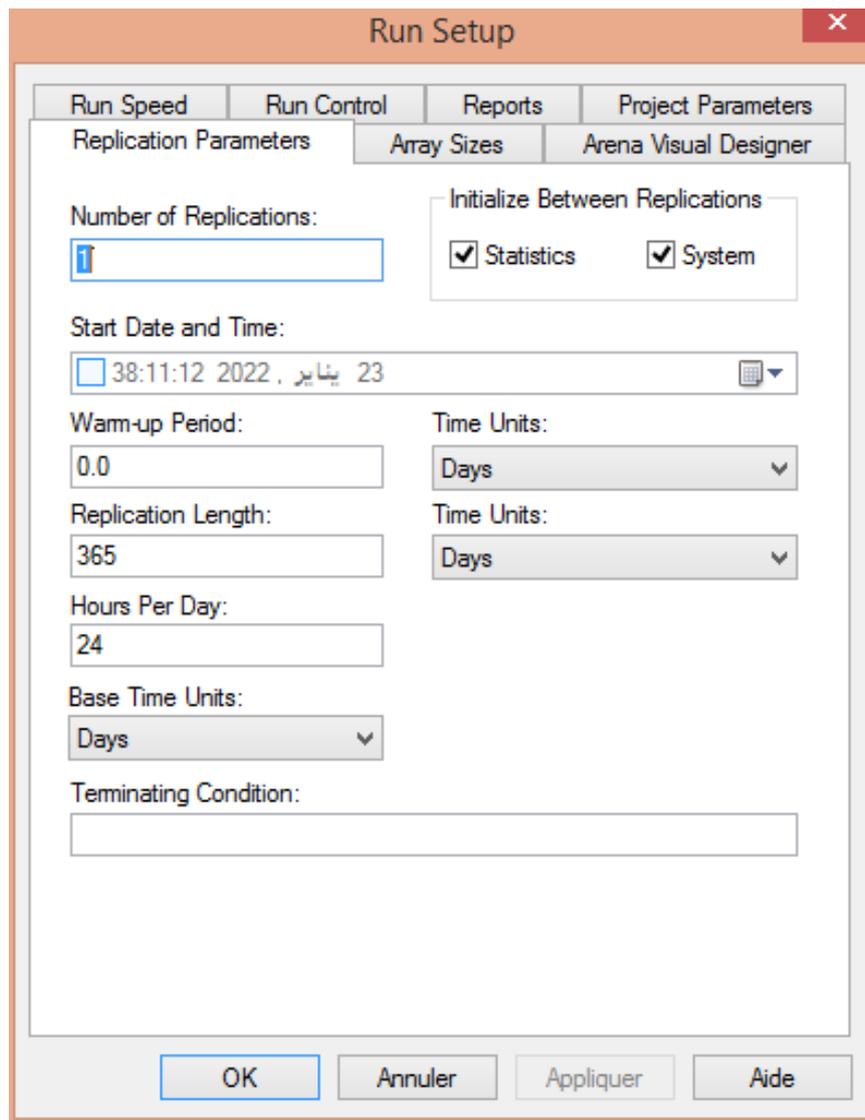


Figure 8. Paramètres de la simulation

Sorties de la simulation

En général, ARENA Software propose plusieurs OUTPUTS reflétant :

- Nombre d'entité entrantes dans chaque bloc CREATION, généralement liés à la longueur de réplique configurés.

- Les ressources allouées dans les processus de fabrication et de distribution.
- Les sorties spécifiées par l'utilisateur ; ils sont formulés par l'utilisateur dans le bloc STATISTICS.

Dans notre cas d'étude, on a spécifié un ensemble de sorties, parmi eux :

- Coût de stockage dans les centres de distribution :

$$\text{Holding Cost CD1} = (\text{DAVG}(\text{On Hand CD 1}) * \text{Holding_Cost_per_Unit}) \quad (13)$$

- Taux de service : on exploite les états enregistrés concernant les ventes gagnées et les ventes perdues.

$$\text{OTS} = \text{NC}(\text{Achieved sales}) / (\text{NC}(\text{Lost sales}) + \text{NC}(\text{Achieved sales})) \quad (14)$$

Liste des publications

Articles scientifiques

Erraoui, Y., & Charkaoui, A., (2022). AN EMPIRICAL COMPARISON OF DRP AND DEMAND-DRIVEN DRP. *Acta Logistica*, 9(2), 195-205. doi : 10.22306/al.v9i2.294

Erraoui, Y., Charkaoui, A., & Echchatbi, A., (2019). DEMAND DRIVEN DRP: ASSESSMENT OF A NEW APPROACH TO DISTRIBUTION. *International Journal of Supply and Operations Management*, 6(1), 1-10. doi :10.22034/2019.1.1

Communications scientifiques

Erraoui, Y., & Charkaoui, A., (2022). DEMAND DRIVEN DRP VS DRP: AN EMPIRICAL STUDY. In *International Conference on Digital Technologies and Applications*, Fes, Morocco, January 28-29, pp 114-123. Springer, Cham.

Erraoui, Y., Charkaoui, A., & Echchatbi, A. (2020). BUFFER MANAGEMENT TECHNIQUE IN LEAN DISTRIBUTION AND THEORY OF CONSTRAINTS: A LITERATURE REVIEW. *Conférence Internationale en Management Opérationnel et de la Chaîne Logistique (CIMOCL)*, Settat, Morocco, February 19-20.

Erraoui, Y., Charkaoui, A., & Echchatbi, A. (2019). DEMAND DRIVEN DRP: A NEW APPROACH TO DISTRIBUTION. In *International Conference on Advanced Logistics and Transport*, Marrakech, Morocco, June 14-16, pp 27-32. IEEE.

Erraoui, Y., Charkaoui, A., & Echchatbi, A. (2019). ASSESSMENT OF A NEW MODEL TO OPTIMIZE FLOW IN DISTRIBUTION NETWORKS. In *International Conference on Integrated Design and Production*, Fes, Morocco, October 19, pp. 399-410. Springer, Cham.

Erraoui, Y., Charkaoui, A., & Echchatbi, A. (2018). DRP AND THE USING DEMAND DRP SYSTEM. La 2ème journée du management industriel et de la chaîne logistique (JMOCL), Settat, Morocco, November 14.

Chapitres

Aman, Z., Ezzine, L., **Erraoui, Y.**, El Bahi, Y. F., & El Moussami, H., (2021). SEEKING ACCURACY IN FORECASTING DEMAND AND SELLING PRICES: COMPARISON OF VARIOUS METHODS. In Forecasting in Mathematics-Recent Advances, New Perspectives and Applications. IntechOpen.