

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



Département : Génie Industriel
Entreprise : ALDAPH SPA- Novo Nordisk Algérie

Mémoire de Projet de Fin d'Études
En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Industriel
Option : Management Industriel

Optimisation du Lead Time de la Supply Chain par l'application du
Dynamic Value Stream Mapping
Application : ALDAPH Novo Nordisk, Local Manufacturing Blida

METTAI Fatma Zohra

BEN SIDI AHMED Houda

Sous la direction de :

Mr. Hichem BACHIR BOUIADJRA
Business Support Senior Manager, LMB

Dr. Iskander ZOUAGHI
Promoteur ENP

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2023)

Composition du jury :

Président	M. Ayoub ABBACI	MCA	ENP
Examinatrice	Mme. Sofia AIT BOUAZZA	MAA	ENP
Promoteur	M. Iskander ZOUAGHI	MCA	ENP
Encadrant	M. Hichem BACHIR BOUIADJRA	Business Support Senior Manager	Novo Nordisk
Invité	M. Rabeh BEGGAR	Supply Chain Flow Partner	Novo Nordisk

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



Département : Génie Industriel
Entreprise : ALDAPH SPA- Novo Nordisk Algérie

Mémoire de Projet de Fin d'Études
En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Industriel
Option : Management Industriel

Optimisation du Lead Time de la Supply Chain par l'application du
Dynamic Value Stream Mapping
Application : ALDAPH Novo Nordisk, Local Manufacturing Blida

METTAI Fatma Zohra

BEN SIDI AHMED Houda

Sous la direction de :

Mr. Hichem BACHIR BOUIADJRA
Business Support Senior Manager, LMB

Dr. Iskander ZOUAGHI
Promoteur ENP

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2023)

Composition du jury :

Président	M. Ayoub ABBACI	MCA	ENP
Examinatrice	Mme. Sofia AIT BOUAZZA	MAA	ENP
Promoteur	M. Iskander ZOUAGHI	MCA	ENP
Encadrant	M. Hichem BACHIR BOUIADJRA	Business Support Senior Manager	Novo Nordisk
Invité	M. Rabeh BEGGAR	Supply Chain Flow Partner	Novo Nordisk

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقليل مهلة إنتاج أقلام Flex Pen® التي تنتجها شركة Novo Nordisk في الجزائر. للقيام بذلك، قمنا بتطبيق أداة Dynamic Value Stream Mapping على سلسلة توريد مصنع الإنتاج. لتجسيد ذلك، بدأنا بتحليل الحالة الحالية للعمليات وجمع البيانات حول الأطر الزمنية. بعد هذا التحليل، حددنا مجالات التحسين التي قادتنا إلى رسم خريطة VSM مستقبلية. وعلى هذا الأساس، وضعنا خطة عمل مفصلة لتنفيذ هذه التحسينات. أخيراً، قمنا بمحاكاة الحالة الحالية والمستقبلية لسلسلة التوريد على برنامج ARENA ، وختماً مشروعنا بتحليل مقارنة لنتائج عمليات المحاكاة.

الكلمات المفتاحية : سلسلة التوريد، Value Stream Mapping, Dynamic Value Stream Mapping، المهل الزمنية، المحاكاة.

Abstract

The aim of this work is to reduce the lead time of FlexPen® products produced by Novo Nordisk in Algeria. To do so, we applied the Dynamic Value Stream Mapping tool to the production plant's Supply Chain.

To begin with, we analyzed the current state of the processes and collected data on their respective lead times. Following this analysis, we identified areas for improvement that led us to develop a future vision of VSM mapping and calculating its overall lead time. On this basis we then established a detailed action plan to implement these improvements.

Subsequently, we simulated both the current and future states of the Supply Chain using ARENA software, thus concluding our project with a comparative analysis of the results from the two simulations.

Key words : Supply Chain, Value Stream Mapping, Dynamic Value Stream Mapping, Lead Time, Simulation.

Résumé

Le présent travail vise à réduire le lead time des FlexPen® produits par Novo Nordisk en Algérie. Pour ce faire nous avons appliqué l'outil Dynamic Value Stream Mapping à la Supply Chain de l'usine de production.

Afin d'accomplir cela, nous avons initié une démarche qui consistait à analyser l'état actuel des processus et collecter les données sur leurs délais. Suite à cette analyse nous avons détecté des pistes d'amélioration qui nous ont ensuite conduits à élaborer une vision future de la cartographie de la VSM. Sur cette base nous avons ensuite établi un plan d'action détaillé pour mettre en œuvre ces améliorations.

Nous avons ensuite simulé Les états actuel et futur de la Supply Chain sur le logiciel ARENA, pour clôturer notre projet par une analyse comparative des résultats des deux simulations.

Mots clés : Supply Chain, Value Stream Mapping, Dynamic Value Stream Mapping, Lead Time, Simulation.

Remerciements

Que toutes les louanges soient adressées à Dieu, autant qu'il nous bénisse.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre promoteur, le Dr. Iskander ZO'UAGHI, pour ses conseils précieux et ses recommandations qui ont considérablement enrichi nos réflexions. Nous apprécions particulièrement sa disponibilité et son ouverture à nos propositions tout au long de ce projet. Nous le remercions aussi d'avoir marqué notre parcours durant ces deux dernières années.

Nous tenons à remercier chaleureusement le directeur du site Mr. Mohamed OUAGUENOUNI qui nous a donné cette opportunité. Sa générosité et sa confiance en nous sont hautement appréciées.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance envers notre encadrant en entreprise, Mr. Hichem BACHIR BOUADJRA. Sans lui, ce travail n'aurait pas pu être réalisé. Nous tenons à le remercier sincèrement pour son implication constante tout au long du projet. Son soutien infaillible, sa patience, sa générosité et la clarté de ses explications ont été d'une valeur inestimable pour notre projet.

Nous adressons également nos remerciements à Mr. Rabeh BEGGAR de nous avoir accueilli et introduit. Nous sommes reconnaissantes de pouvoir compter sur son expertise. Ses réponses et ses explications ont grandement contribué à notre compréhension et à notre progression tout au long de notre projet.

Nous tenons aussi à remercier profondément Mme. Kaouther AZIZ. Sa contribution experte et son assistance ont été essentielles pour la concrétisation de notre projet. Nous lui sommes extrêmement reconnaissantes pour sa présence bienveillante et ses conseils inestimables.

Un remerciement particulier à Mme. Malha MEDAH et à tout le personnel de LMB pour leur chaleureux accueil, aux équipes Business Support et cLean ; Mounia, Mohamed, Abd El Karim, Anis, Salah, Guessoum et Nassim, pour leur accueil et bienveillance, ainsi que leur volonté de nous assister et de nous soutenir durant nos moments difficiles.

Nous remercions également toute personne ayant contribué à notre formation et développement, notamment tous les professeurs du département Génie Industriel. Ce travail est aussi le fruit de leurs efforts.

Nous tenons également à remercier l'ensemble du Jury pour le temps et l'attention qu'ils nous ont accordés pour l'évaluation de notre projet.

Une pensée particulière à nos familles, et à tous nos camarades INDUS avec qui nous avons vécu des années remplies de souvenirs et d'entraide.

Dédicaces

Louanges à Dieu, qui a comblé mon existence de ses innombrables bénédictions.

Je dédie ce travail,

À mes très chers parents. Vous étiez mes piliers et ma plus grande source de soutien tout au long de mon parcours. Aujourd'hui, je réalise que tout ce que j'ai accompli est le fruit de vos sacrifices. Que dieu vous protège pour moi Inchaa Allah.

À mon frère jumeau adoré. Je te dédie cette dédicace pour te remercier d'être toujours à mes côtés, pour nos moments complices, pour tes encouragements et ta présence réconfortante. Je te souhaite la réussite dans tous les aspects de ta vie.

À mon cher petit frère et à ma petite sœur sucrée Imene. Je nourris le vœu de vous voir épanouis et accomplir de grandes choses. Sachez que je serai toujours présente pour vous soutenir et vous encourager.

À mon très cher oncle Abdelkader. Je te souhaite le meilleur pour toi et ta famille.

À tous les membres de ma famille.

À mes deux précieuses Samira et Noura. Pour le soutien immense que vous m'avez apporté, Je vous suis infiniment reconnaissante d'avoir toujours été là pour moi.

À ma très chère binôme et amie Houda avec qui j'ai partagé des souvenirs d'entraide et de compagne. Notre amitié et notre collaboration resteront toujours précieuses pour moi. Que chaque chemin que tu empruntes te mène vers la réussite.

À la promo NAZI3AT, pour nos moments de complicité, de rires partagés et d'entraide.

Une dédicace très spéciale à l'équipe de l'Open Space BS de LMB ; Mounia, Mohamed, Abdelkrim, Anis, Rabeh et Saleh, avec qui j'ai partagé de précieux moments de rires et de souvenirs. Votre compagnie m'a aidé à rester toujours de bonne humeur et à oublier la fatigue du travail. Je vous apprécie énormément !

Fatima

Dédicaces

À mes chers parents, à qui je dois cette réussite, merci d'avoir fait de moi la personne que je suis aujourd'hui, et mille mercis de m'inspirer en continu et de m'encourager à aller de l'avant. Je ne dirai et je ne ferai jamais assez pour exprimer ma gratitude et ma reconnaissance envers tous les sacrifices que vous avez fait pour nous,

À mes sœurs, qui ont toujours été à mes côtés et soutenu du mieux qu'elles ont pu, et à mon petit frère, pour la merveilleuse créature qu'il est,

À mes grands-parents pour leur amour et bienveillance infaillibles,

À mes oncles et mes tantes, à Hachimi qui a cru en moi quand moi-même j'ai cessé de croire,

À toutes les merveilleuses personnes que j'ai connues à Polytech, à la plus cinglée des promotions aka Nazizat, quelle chance de vous avoir connu,

Aux beaux cadeaux que mes années d'études m'ont offerts, Doudou et Sihem,

À mon binôme depuis ma première année génie indus, pour les beaux moments et pour les mauvais,

À moi, à mes hauts et surtout à mes bas,

Je dédie ce travail.

Houda

Table de matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction Générale	13
Chapitre 01 : État des lieux	16
1.1. Le marché pharmaceutique en Algérie	16
1.2. La présentation de l'entreprise Novo Nordisk	17
1.2.1. La division commerciale : International Operations (IO)	18
1.2.2. La division de production : Product Supply (PS)	19
1.3. Novo Nordisk Algérie : Local Manufacturing Blida	22
1.3.1. La Supply Chain chez LMB	24
1.3.2. Le processus de planification (cPlanning process)	27
1.3.3. L'énoncé de la problématique	29
Chapitre 02 : La Supply Chain dans l'industrie pharmaceutique	27
2.1. La Supply Chain : évolution et définition	27
2.2. Le Supply Chain Management : évolution et définition	32
2.2.1. Les activités de la SCM	34
2.2.2. La Supply Chain agile vs la Supply Chain Lean	35
2.3. La complexité de la Supply Chain d'une industrie d'insuline	36
Chapitre 03 : Les outils du Lean au service de l'optimisation de la Supply Chain	40
3.1. Le Lean Management	40
3.1.1. La définition du Lean	40
3.1.2. Les Principes du Lean management	41
3.1.3. Les outils du Lean Management	42
3.2. La Value Stream mapping	43
3.2.1. La définition de la Cartographie de la chaîne de valeur (Value Stream Mapping)	44
3.2.2. Les mesures et symboles de la VSM	44
3.2.3. La Supply Chain Value Stream Mapping	48
Chapitre 04 : Exploration approfondie de la Simulation : État de l'art	51
4.1. La simulation en Supply Chain	51
4.2. La classification des modèles et les techniques de la simulation	53
4.3. La conduite d'une simulation : Méthodologie à suivre pour mener à bien une étude de simulation	57
4.4. La différence entre la Value Stream Mapping et Dynamic Value Stream Mapping	60
4.5. La définition du logiciel utilisé pour la simulation	61
4.5.1. Les éléments de base du simulateur ARENA	62
Chapitre 05 : Diagnostic de l'état actuel de la VSM	64
5.1. Objectif de l'étude et méthodologie	64
5.2. Etape de préparation	66
5.2.1. La famille de produit	66
5.2.2. L'Élaboration d'un SIPOC de la Supply Chain de LMB	66
5.3. Cartographie de l'état actuel de la VSM	67
5.4. Analyse de l'état actuel de la VSM	78
5.4.1. Analyse des mesures de la VSM	78
5.4.2. Analyse des gaspillages	79

Chapitre 06 : Optimisation du Lead Time de la Supply Chain par l'application du Dynamic Value Stream Mapping	84
6.1. Cartographie de l'état futur de la VSM	84
6.2. Elaboration d'un plan d'action	86
6.2.1. La matrice Impact/Effort des actions	90
6.3. Simulation de la VSM	92
6.3.1. Logiciel de simulation	93
6.3.2. Étapes de simulation	93
Conclusion Générale	104
Bibliographie	107
Annexes	112

Liste des tableaux

Table 1.1 : Fiche des informations clés de l'entreprise Novo Nordisk	18
Table 1.2 : Les produits assemblés au niveau du site LMB Novo Nordisk	23
Table 3.1 : Tableau comparatif des mesures de la VSM.....	46
Table 3.2 : Symboles de la cartographie de la chaîne de valeur.....	48
Table 4.1 : Classification des modèles de simulation.....	53
Table 5.1 : Les données relatives au processus de réception des matières premières sur le site de LMB	68
Table 5.2 : Les données relatives au processus d'assemblage au niveau de LMB.....	71
Table 5.3 : Code couleur des marquages au sol de la ligne d'assemblage (Document interne à l'entreprise)	72
Table 5.4 : Les données relatives au processus QC au niveau de LMB.....	73
Table 5.5 : Les données relatives au processus de conditionnement au niveau de LMB.....	73
Table 5.6 : Les données relatives au processus AQ au niveau de LMB.....	75
Table 5.7 : Les données relatives au processus de libération des lots par la DT au niveau de LMB	75
Table 5.8 : Les mesures des temps de cycle des opérations à valeur ajoutée.....	79
Table 5.9 : Identification des gaspillages dans l'état actuel de la VSM.....	80
Table 6.1 : Plan d'action pour l'amélioration de l'état actuel de la VSM.....	87
Table 6.2 : Configuration actuelle et future de l'effectif du magasin.....	88
Table 6.3 : Configuration actuelle et future de l'effectif pour le poste de Coordinateur SAP	89
Table 6.4 : Les propriétaires des actions et leurs estimations d'impact et d'effort	91
Table 6.5 : Lois de probabilité des arrivées de commandes des matières premières du site LMB	95
Table 6.6 : Configuration de l'effectif des processus à durées constantes	96
Table 6.7 : Lois de probabilité des durées des processus à délais variables.....	97
Table 6.8 : Les lois de probabilité des durées de transfert	98
Table C.1 : Principaux éléments du BPMN 2.0 (Offensive, 2011)	117

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de la progression des différents chapitres du rapport, Visualisation de la structure générale	14
Figure 1.1 : Evolution des importations des produits pharmaceutiques en Algérie (2001-2020) (Azib, et al., 2022).....	17
Figure 1.2 : Responsabilités de Product Supply (Document interne à Novo Nordisk)	19
Figure 1.3 : Le réseau mondial de la division Product Supply (Document interne à Novo Nordisk) ...	20
Figure 1.4 : Les sites de fabrication locales de NN à travers le monde ; Local manufacturing footprint (Document interne à Novo Nordisk)	22
Figure 1.5 : Nomenclature des matières premières de LMB et leurs fabricants.....	24
Figure 1.6 : Supply Chain Network de LMB (Document interne à l'entreprise).....	24
Figure 1.7 : Macro-processus de la Supply Chain de LMB (BPMN 2.0)	26
Figure 2.1 : Modèle de chaîne logistique selon le modèle SCOR (SCC, 2007) (Mohand, 2008, p.13)	32
Figure 2.2 : La coopération dans la chaîne logistique (Guillaume, 2010, p.8).....	33
Figure 2.3 : Supply Strategy (Mohand, 2008, p.18).....	34
Figure 3.1 : Schéma d'un SIPOC (Mareuse, 2023).....	42
Figure 3.2 : Value Stream Mapping (Kostango, 2023)	43
Figure 3.3 : Différence entre le Lead Time et le Cycle Time (SoftwareConnect, 2023)	46
Figure 4.1 : Principe de fonctionnement d'un modèle à événements discrets (Guillume, 2010, p.92)..	57
Figure 4.2 : SMDP développé basé sur Law, Banks et Bienstock (Manuj, 2009, p.5)	58
Figure 4.3 : Processus de base d'ARENA (BACHIRI, et al., 2016, p.29)	62
Figure 5.1 : Méthodologie de développement de la solution	65
Figure 5.2 : SIPOC du processus de la Supply Chain de LMB.....	66
Figure 5.3 : Schéma du magasin de LMB (Document interne à l'entreprise).....	69
Figure 5.4 : Les étapes du processus d'assemblage au niveau de LMB.....	70
Figure 5.5 : Disposition des zones cLean et GMP au niveau de la ligne d'assemblage des FlexPen® et Pen Injector (Document interne à l'entreprise)	71
Figure 5.6 : Schéma des deux lignes de conditionnement au niveau de LMB ; ligne P et ligne S (Document interne à l'entreprise).....	74
Figure 5.7 : La cartographie de l'état actuel de la VSM	77
Figure 5.8 : Comparaison entre les temps de cycle des processus à valeur ajoutée avec le Takt time .	79
Figure 6.1 : Cartographie de l'état futur de la VSM	86
Figure 6.2 : Schéma actuel de l'unité d'assemblage (Document interne à l'entreprise)	88
Figure 6.3 : Schéma futur de l'unité d'assemblage après l'application du Kanban (Document interne à l'entreprise)	89
Figure 6.4 : Matrice Impact/Effort des actions d'amélioration	92
Figure 6.5 : Tableau de bord des résultats de simulation de la Supply Chain à l'état actuel et futur (Power BI Desktop).....	100
Figure 6.6 : Récapitulatif des déviations par réplification (Power BI Desktop).....	101

Figure D. 1 : Process Order Placement modélisé avec BPMN 2.0	118
Figure D. 2 : Processus GR du site LMB modélisé avec BPMN 2.0	119
Figure D.3 : Processus de transfert des matières depuis le stockage des matières premières jusqu'au produit fini sur le site LMB modélisé avec BPMN 2.0	120
Figure E.1 : La localisation des sites de production IFP de NN (Document interne à Novo Nordisk)	121
Figure E.2 : La localisation des sites de production PS BRD de NN (Document interne à Novo Nordisk).....	122
Figure E.3 : Un aperçu des zones de production de PS NN (Document interne à Novo Nordisk)	122
Figure F.1 : Modèle de simulation de l'état actuel de la Supply Chain sur ARENA	123
Figure F.2 : Modèle de simulation de l'état futur de la Supply Chain sur ARENA	123
Figure G.1 : Les résultats de simulation du modèle de validation fournis par ARENA	123
Figure H. 1 : Organigramme de l'entreprise Novo Nordisk	123

Liste des abréviations

AQ : Assurance qualité
Assy : Assembly
BPF : Bonnes Pratiques de Fabrication
BPMN : Business Process Model and Notation
BPR : Batch Production Record
DES : Discret Event Simulation
DMS : Device Manufacturing & Sourcing
DT : Direction Technique
DV : Deviation
DVSM : Dynamic Value Stream Mapping
FP : Finished Product
GBS : Global Business Services
GMP : Good Manufacturing Practice
GR : Good Receipt
GSF : Global Sales Forecasts
IFP : Injectable Finished Products
IO : International Operations
LM : Local Manufacturing
LMB : Local Manufacturing Blida
NN : Novo Nordisk
NVA : Non-Valeur Ajoutée
OP : Operational Planning
Pack : Packaging
PC : Plastic Components
PDA : Personal Digital Assistant
PPM : Printed Packaging Material
PS : Product Supply
QA : Quality Assurance
QC : Quality Control
S&OP : Sales & Operations planning
SAP APO : SAP Advanced Planner & optimizer
SAP ECC : SAP ERP Central Component
SCM : Supply Chain Management
SH : Shipping Hub
SIPOC : Supplier, Input, Process, Output, Customer
SLA : Service Level Agreement
SMF : Semi Finished Product
SNP : Supply Network Planning
SoOp : Sourcing Operations
SS : Safety Stock
VA : Valeur Ajoutée
VSM : Value Stream Mapping

Introduction Générale

Introduction Générale

Le diabète est défini par une hyperglycémie chronique, qui est causée par une insuffisance ou inefficacité des quantités d'insuline produites par le pancréas. La criticité de cette hormone fait de la Supply Chain des stylos d'insuline industrielle l'une des plus complexes. D'une part, assurer la qualité des produits requiert un haut niveau de maîtrise des processus, qui n'est pas facilement acquise au niveau local, ce qui pousse l'entreprise à internationaliser sa Supply Chain amont, en dépit de son lead time. D'autre part, la volatilité de la demande et la nécessité de la satisfaire à tout prix requiert une forte agilité et de courts lead time.

Cette volatilité est causée à la fois par le détournement d'utilisation du GLP-1, par le changement des lois réglementaires qui régissent le secteur ayant créé une tension dans le marché, mais aussi par l'expansion de l'aire thérapeutique de l'obésité.

Pour assumer son engagement envers ses patients et l'État algérien, le site Local Manufacturing Blida de Novo Nordisk à quelques mois du lancement de la production, est face au défi de répondre à la demande du marché avec la production locale, aussi volatile soit elle, tout en gardant la même qualité que les produits importés et conformément aux exigences réglementaires.

Local Manufacturing Blida, comme toute autre branche de production de Novo Nordisk, a hérité la culture du Lean Management à travers la cLean Academy. Le "c" en suffixe de Lean pour désigner "current", car la division de production a personnalisé les modèles et les outils LEAN afin qu'ils soient adaptés au mieux à leur contexte, et que la façon de travailler avec la méthodologie cLean est affinée en permanence.

Ayant incarné cette culture Lean dans sa division de production, faire recours à la Value Stream Mapping (dite en français la cartographie de la chaîne de valeur) est une évidence pour optimiser sa chaîne de valeur et réduire son lead time. Puisqu'elle offre des étapes à suivre pour visualiser l'ensemble des processus, détecter les gaspillages et prendre des actions pour les éliminer.

Dans le présent projet, nous avons déployé cet outil pour réduire le lead time de sa Supply Chain et satisfaire au mieux la demande de la filiale de distribution et donc celle des patients algériens.

L'application de l'outil à une Supply Chain internationale, qui inclut des parties prenantes tel que les transports maritimes et la douane qui, ont des lead time stochastiques et non contrôlables, a montré les limites de la VSM et nous a poussé à faire recours à la simulation des événements discrets. Ceci est dans le but de visualiser l'impact des actions proposées sur le lead time futur, et anticiper sur la résolution des problèmes et goulots d'étranglement auxquels l'entreprise ferait éventuellement face.

Nous nous sommes donc posé la question : Comment améliorer l'efficacité de la Supply Chain en réduisant le lead time grâce à l'application du Dynamic Value Stream Mapping ?

Pour répondre à cette problématique, notre travail peut être structuré en six chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons présenté Novo Nordisk et décrit les départements et divisions qui constituent des parties prenantes de la Supply Chain de LMB, ainsi que son processus de planification appelé cPlanning. Nous allons finir par énoncer la problématique plus en détail.

Le deuxième chapitre a abordé la Supply Chain en général, tout en définissant ses deux types : agile et Lean, et en mettant en évidence la différence entre elles. Nous l'avons clôturé par un zoom sur la Supply Chain du secteur pharmaceutique, où nous avons mis le point sur la complexité de la Supply Chain de l'insuline.

Dans le troisième chapitre, nous avons défini les concepts du Lean management, et mis en évidence les outils qu'on a déployés dans notre solution, en s'étalant un peu plus sur la VSM, et en abordant brièvement les outils proposés dans le plan d'action.

Le quatrième chapitre définit les concepts et les bases de la simulation, ses modèles et les techniques utilisées, ainsi que l'intérêt de son intégration à la VSM. Nous l'avons clôturé par la définition du logiciel utilisé.

Dans le cinquième chapitre nous avons entrepris un diagnostic de l'état actuel de la VSM en procédant à une analyse détaillée des processus en plusieurs phases, ensuite nous avons examiné attentivement les gaspillages identifiés dans le système.

Dans le dernier chapitre, nous avons proposé des solutions pour l'amélioration de l'état actuel en réduisant les gaspillages et en faisant recours à la simulation pour avoir une meilleure visibilité sur l'état futur de la Supply Chain.

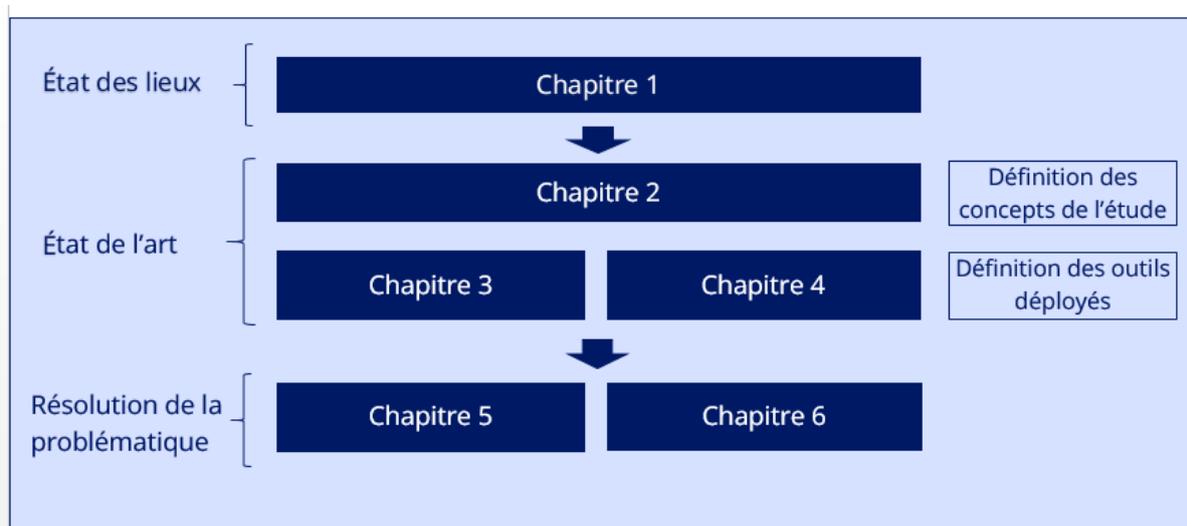


Figure 1 : Schéma de la progression des différents chapitres du rapport, Visualisation de la structure générale

Chapitre 01

État des lieux

Chapitre 01 : État des lieux

À travers ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise Novo Nordisk et son activité dans le monde. Ensuite nous définissons ces différentes divisions, ainsi que les départements de ces dernières, en détaillant leurs rôles dans l'organisation, et leur contribution au produit.

Nous allons aborder le processus de planification implémenté et suivi par Novo Nordisk, appelé cPlanning, qui englobe tous les échanges et interactions entre les parties prenantes de sa Supply Chain.

Nous clôturons ce chapitre par la mise en avant de notre problématique, et de l'objectif ciblé par le présent projet.

1.1. Le marché pharmaceutique en Algérie

La facture d'importation des produits pharmaceutiques a atteint 1.85 milliards USD en 2008 (Samira Azib & Karima Touati, 2022) Un chiffre jugé inquiétant par le gouvernement, qui souhaite réduire la dépendance des importations d'un secteur aussi sensible, tout en garantissant l'accès de tous les citoyens à des médicaments de qualité et en encourageant la production nationale. A cet effet, des restrictions à l'importation des produits pharmaceutiques remplaçable par des produits locaux ont été appliquées par la promulgation de deux arrêtés (l'arrêté du 30/11/2008) modifié et complété par l'arrêté du 30/12/2008 (Ministère de la Santé, de la Population et de la Réforme Hospitalière, 2009).

Les laboratoires algériens n'ayant pas le savoir-faire ni les capacités leur permettant d'atteindre l'objectif fixé par l'État de couvrir 70% de la demande par des produits locaux, ce dernier a ouvert le marché aux leaders du secteur pharmaceutique pour investir en Algérie. La stratégie évoquée, soutenue par la croissance continue du marché algérien (évalué à 2 milliards de dollars en 2022), a encouragé les "big pharma" à investir d'importants montant en Algérie, nous citons du plus importants au moindres ; Sanofi-Aventis, Hikma Pharma, GSK, Novartis, Pfizer, Novo Nordisk, MSD, Roche Diagnostics et AstraZeneca.

Cependant, certaines aires thérapeutiques n'ont pas pu être couvertes par la production locale, tel le diabète, pour qui, la facture d'importation a connu une hausse exorbitante en 2012, après des changements dans les contrats d'assurance santé de l'insuline. En 2022, Cette facture est estimée à 400 millions de dollars/an (Algérie Press, Mai 2022)

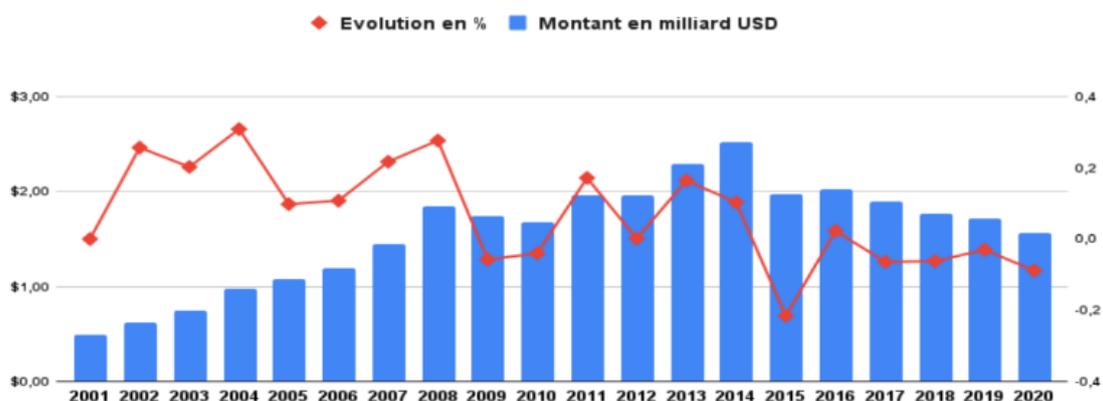


Figure 1.1 : Evolution des importations des produits pharmaceutiques en Algérie (2001-2020) (Azib, et al., 2022)

1.2. La présentation de l'entreprise Novo Nordisk

Novo Nordisk A/S est une entreprise pharmaceutique danoise spécialisée dans le traitement du diabète et d'autres maladies chroniques telles que l'obésité, l'hémophilie et les troubles de la croissance. Elle est créée en 1989 à l'issue de la fusion des deux sociétés Nordisk Gentofte et Novo Industri. Son siège social est situé à Bagsværd, au Danemark.

Novo Nordisk est le leader mondial du traitement du diabète avec une part de marché de 31.9%. Elle est également le principal producteur de l'insuline au monde avec une part de marché de 44.6%.

Elle opère dans 170 pays à travers le monde, à savoir 16 sites de production répartis dans neuf pays (Algérie, Brésil, Chine, Danemark, France, Japon, Russie, Royaume-Uni et États-Unis) et plusieurs sites de distribution dans 80 pays et emploie environ 55 200 personnes. Ils desservent un nombre record de près de 40 millions de patients à l'échelle mondiale. (Novo, 2022)

Ci-dessous se trouve une fiche résumant les informations clés de l'entreprise :

 novo nordisk®	
Nom	Novo Nordisk
Date de création	1923
Fondateurs	Hans Christian Hagedorn (en), August Krogh, Marie Krogh et August Kongsted
Forme juridique	SPA
Siège sociale	Bagsværd, Danemark
Secteur d'activité	Pharmaceutique

Effectif	55 200 employés
Capital Social	1370 milliards de DKK (2022)
Chiffre d'affaires	176,95 milliards de DKK (2022)

Table 1.1 : Fiche des informations clés de l'entreprise Novo Nordisk

Novo Nordisk a développé une stratégie axée sur 3 leviers de création de valeur nommée ESG (Environnemental, Social and Governance). Ils visent à être respectés pour ajouter de la valeur à la société, progresser vers zéro impact environnemental, être reconnu comme un employeur durable et construire la confiance dans les dimensions E, S et G.

Novo Nordisk repose sur un objectif favorisant le changement pour vaincre plusieurs maladies chroniques notamment le diabète. Voici un aperçu de leurs aires thérapeutiques principales :

- Diabète de type 1
- Diabète de type 2
- Obésité
- Troubles de la croissance
- Hémophilie
- Ménopause

Par ailleurs, ils visent à établir une forte présence dans d'autres maladies chroniques graves, des maladies cardiovasculaires (MCV), sans alcool stéatohépatite (NASH), la néphropathie chronique (MRC) et la maladie d'Alzheimer (MA).

L'activité de Novo Nordisk est répartie sur deux divisions principales : **International Operations (IO)** et **Product Supply (PS)**, permettant de gérer ses opérations commerciales dans le monde entier tout en garantissant un approvisionnement en produits de qualité à tous ses clients et partenaires commerciaux. Nous allons décrire dans ce qui suit les responsabilités de chacune des deux entités.

L'organigramme de l'entreprise NN est représenté dans la figure H.1 (Voir Annexe H)

1.2.1. La division commerciale : International Operations (IO)

Cette division est au cœur des opérations commerciales de Novo Nordisk. Elle est chargée de la gestion des opérations de ventes et de marketing des produits, mais aussi de stockage, de logistique et de la distribution aux clients. En effet, elle est responsable de la stratégie commerciale globale de l'entreprise, de la gestion des filiales, ainsi que de l'expansion de la présence de Novo Nordisk dans de nouveaux marchés.

La présence d'IO en Algérie remonte à 1936, une date à laquelle la première insuline a été expédiée au pays. Après l'ouverture économique du pays, la société a établi un bureau de représentation en 1992 suivi d'une entité légale nommée ALDAPH (Algérie Danemark Pharmaceutiques) en 1994, impliquée dans l'importation et la commercialisation des médicaments. Le siège social de la filiale IO de NN se situe à Hydra, elle possède un entrepôt central dans la région d'Alger à SAHEL, ainsi que deux entrepôts régionaux à Oran

et Constantine. La filiale distribue les produits NN à partir de ses 3 entrepôts à 5 catégories de clients :

- Les pharmacies « privées »
- Les pharmacies « étatiques » ENDIMED
- La pharmacie centrale des hôpitaux ou PCH (un seul client et point de livraison)
- Les grossistes
- Les hôpitaux (Recherches cliniques)

1.2.2. La division de production : Product Supply (PS)

Product Supply est la division de Novo Nordisk qui prend en charge l'ensemble du cycle de vie d'un produit entre son développement et sa commercialisation, cela inclut l'approvisionnement en matières premières, la production, ainsi que la gestion de la qualité et de la conformité aux normes réglementaires des produits commercialisés et des produits en phase III de développement.



Figure 1.2 : Responsabilités de Product Supply (Document interne à Novo Nordisk)

Le réseau mondial de la division Product Supply de Novo Nordisk est divisé en différentes zones spécialisées :

Denmark

Worldwide



Figure 1.3 : Le réseau mondial de la division Product Supply (Document interne à Novo Nordisk)

➤ **Product Supply Active Pharmaceutical Ingredients (PS API)**

Elle est chargée de produire et de fournir les principes actifs, ces principaux processus sont la fermentation, la récupération et la purification des ingrédients.

➤ **Product Supply Injectable Finished Products (PS IFP)**

Comporte l'ensemble des sites stratégiques de NN, situés au Danemark, France, Chine, États-Unis et au Brésil. Les principaux processus sont formulation d'insuline, remplissage de cartouches, assemblage et conditionnement de stylos d'insuline.

Le département IFP est à la fois fournisseur de matière première (cartouches) pour les sites dédiés à la production locale (Local Manufacturing Sites - LM sites), et producteur de produits finis (FlexPen) destinés à l'exportation. (Voir annexe E)

➤ **Product Supply Biotech & Rare Disease (PS BRD)**

Cette entité se concentre sur la production de traitements pour les maladies rares, en gérant toute la chaîne de valeur de la production. Elle est présente au Danemark et aux États-Unis, (Voir Annexe E).

➤ **Product Supply Emerging Technologies (PS ET)**

Elle consiste à assurer la production de comprimés et de leur conditionnement, ainsi que la distribution. Ces différentes zones collaborent étroitement pour garantir que les produits pharmaceutiques soient produits, distribués et livrés aux patients dans le monde entier.

➤ **Product Supply Contract Manufacturing & Sourcing, Devices & Sustainability (PS CSDS)**

Cette entité est impliquée dans la fabrication locale de produits finis de diabète et de l'obésité, en se procurant des matières premières et des composants auprès des sites de production stratégiques appartenant aux départements préalablement définis, il comporte à son tour les sous-départements suivants :

- **PS CSDS Business Support & CSDS HR Business Partnering** : sont responsables de fournir un soutien au CSDS en ce qui concerne le développement des affaires, EHS, Finance, IT & OT, normalisation et optimisation, P&O et Communication.
- **Device Manufacturing Development (DMD)** : DMD est la fonction support de product supply responsable du développement des dispositifs médicaux et leurs processus connexes à l'échelle mondiale. La responsabilité de DMD couvre divers processus, y compris le moulage, l'assemblage, le conditionnement, l'essai des dispositifs et le transport.
- **Device Manufacturing & Sourcing (DMS)** : gère la chaîne d'approvisionnement mondiale de composants de haute qualité pour la production d'appareils de Novo Nordisk.
- **Global Contract Manufacturing (GCM)** : GCM est responsable de la fabrication sous contrat, y compris la surveillance, le contrôle et le développement de la production gérée par les OCM à l'échelle mondiale
- **Local Manufacturing (LM)** : Elle est responsable de produire les produits de Novo Nordisk pour les marchés locaux. Elle possède deux sites de production en Algérie ; Local Manufacturing Tizi Ouzou qui produit un générique du Glucofage, et Local Manufacturing Blida dont la Supply Chain fait l'objet du présent projet. Elle possède également d'autres sites à travers le monde.

La figure suivante illustre la présence des sites de fabrication locale de NN à l'échelle mondiale :



Figure 1.4 : Les sites de fabrication locales de NN à travers le monde ; Local manufacturing footprint (Document interne à Novo Nordisk)

- **Needle Manufacturing & Sourcing (NMS)** : assume la responsabilité globale de la chaîne d’approvisionnement mondiale pour les aiguilles de stylo Novo Nordisk, y compris la production interne et externe, l’assurance de la qualité et le développement de la fabrication.
- **Environmental and Social Sustainability (ESS)** : est responsable de stimuler les efforts en matière de durabilité sociale et environnementale à l’échelle de Product Supply Quality & IT.
- **Sourcing Operations (SoOp)** : gère la chaîne d’approvisionnement mondiale de PPM pour la production et essais cliniques.
- **Strategic Sourcing (StSo)** : est responsable des stratégies de sous-traitance à long terme à de toutes matières premières, articles, produits et services utilisés par production de Novo Nordisk.
- **CSDS Quality Assurance (PS CSDS QA)** : est responsable de l’assurance qualité de tous les processus et de la production dans CSDS, en conformité avec les exigences des appareils médicaux et de l’industrie pharmaceutique.

1.3. Novo Nordisk Algérie : Local Manufacturing Blida

Le site de production LMB (Local Manufacturing Blida) dont la construction a commencé en Novembre 2017 et finalisée en Mai 2019, a été qualifié pour la production d’insuline en Octobre 2020. Il n’a été inauguré officiellement par le Ministre de l’Industrie Pharmaceutique que le 15 Janvier 2023.

NN a construit une unité d’assemblage et de packaging sur le site LMB, destinée à assembler 3 types de stylos FlexPen®, et un Pen Injector illustrés dans la table 1.2.

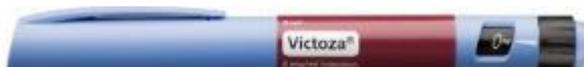
Description du produit	Photo du produit
Le NovoRapid Flexpen® (Insuline Asparte), insuline à action rapide.	
Le Novomix 30 Flexpen® (Insuline asparte/ Insuline asparte protamine 30/70%) : insuline mixte 30% à action rapide et 70% à action intermédiaire.	
Le Levemir Flexpen® (Insuline Detemir), insuline à action prolongée.	
Pen Injector (Liraglutide), analogue de la GLP-1, Glycagon Like Peptide, un équivalent à l'insuline.	

Table 1.2 : Les produits assemblés au niveau du site LMB Novo Nordisk

Le site de production est composé principalement d'une unité d'assemblage, de conditionnement, de contrôle qualité, d'assurance qualité, de stockage et de la direction technique.

Nous illustrons dans la figure suivante la nomenclature des produits, et les fournisseurs des différents composants.

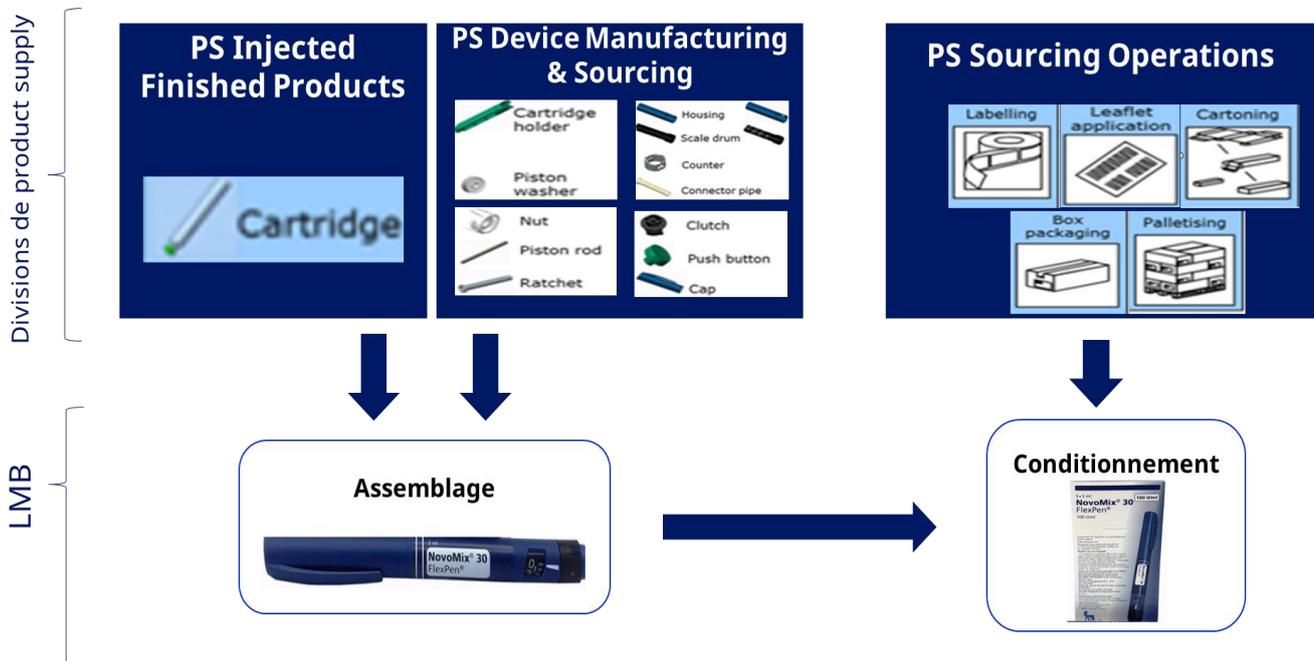


Figure 1.5 : Nomenclature des matières premières de LMB et leurs fabricants

1.3.1. La Supply Chain chez LMB

Ayant centralisé quasiment toutes ses activités, la Supply Chain au niveau des sites de production locale de Novo Nordisk, et au site de Blida en particulier, consiste à gérer les relations avec les différentes parties prenantes de sa chaîne de valeur. Ces parties prenantes sont principalement des entités de Novo Nordisk, avec qui les relations sont régies par des SLA (Service Level Agreements).

La figure 1.6 illustre le réseau Supply Chain de LMB.

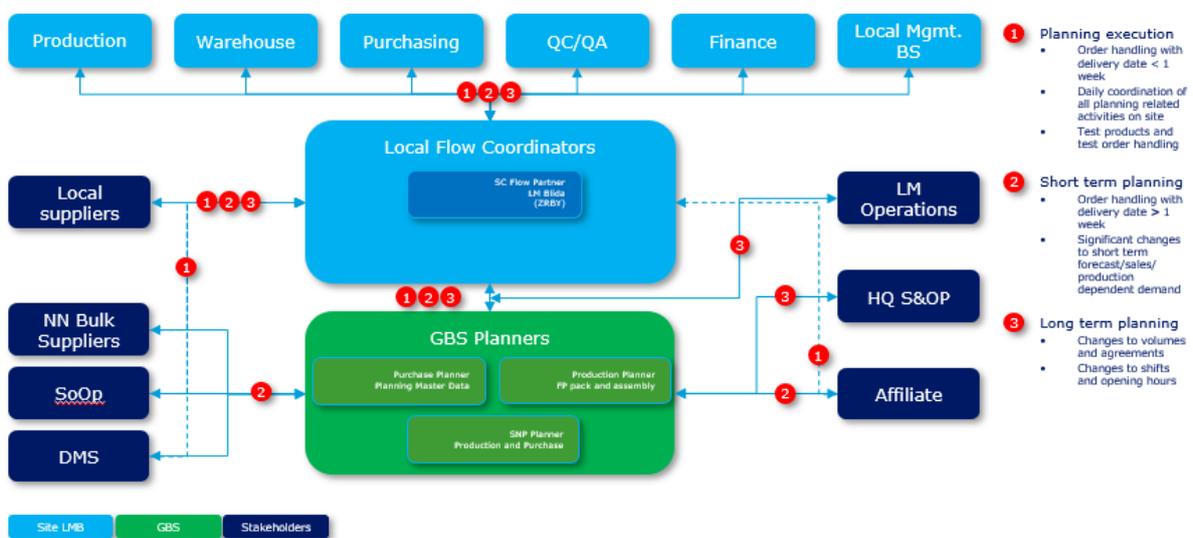


Figure 1.6 : Supply Chain Network de LMB (Document interne à l'entreprise)

D'une part, la filiale de distribution IO envoie les prévisions (Global Sales Forecast) des ventes du marché à GBS et LMB. Global Business Service est chargé de répartir les quantités à produire sur les différents sites stratégiques pour la production de l'API et des cartouches.

En parallèle, les entités DMS et Sourcing Operations assurent respectivement la disponibilité des composants en plastique et des articles de conditionnement (Printed Packaging Materials). Ils assurent aussi la conformité de ces produits aux standards de qualité, en revoyant les dossiers de lots envoyés et en leur attribuant le statut « approuvé ».

Les trois fournisseurs de LMB préalablement cités envoient leurs produits à Shipping Hub, qui assure le stockage et la livraison des matières au site de production locale. Ce site assure aussi la conformité des lots de cartouches, et les libère après leur réception.

La figure suivante illustre le Macro-processus de la Supply Chain de LMB NN modélisé avec BPMN 2.0.

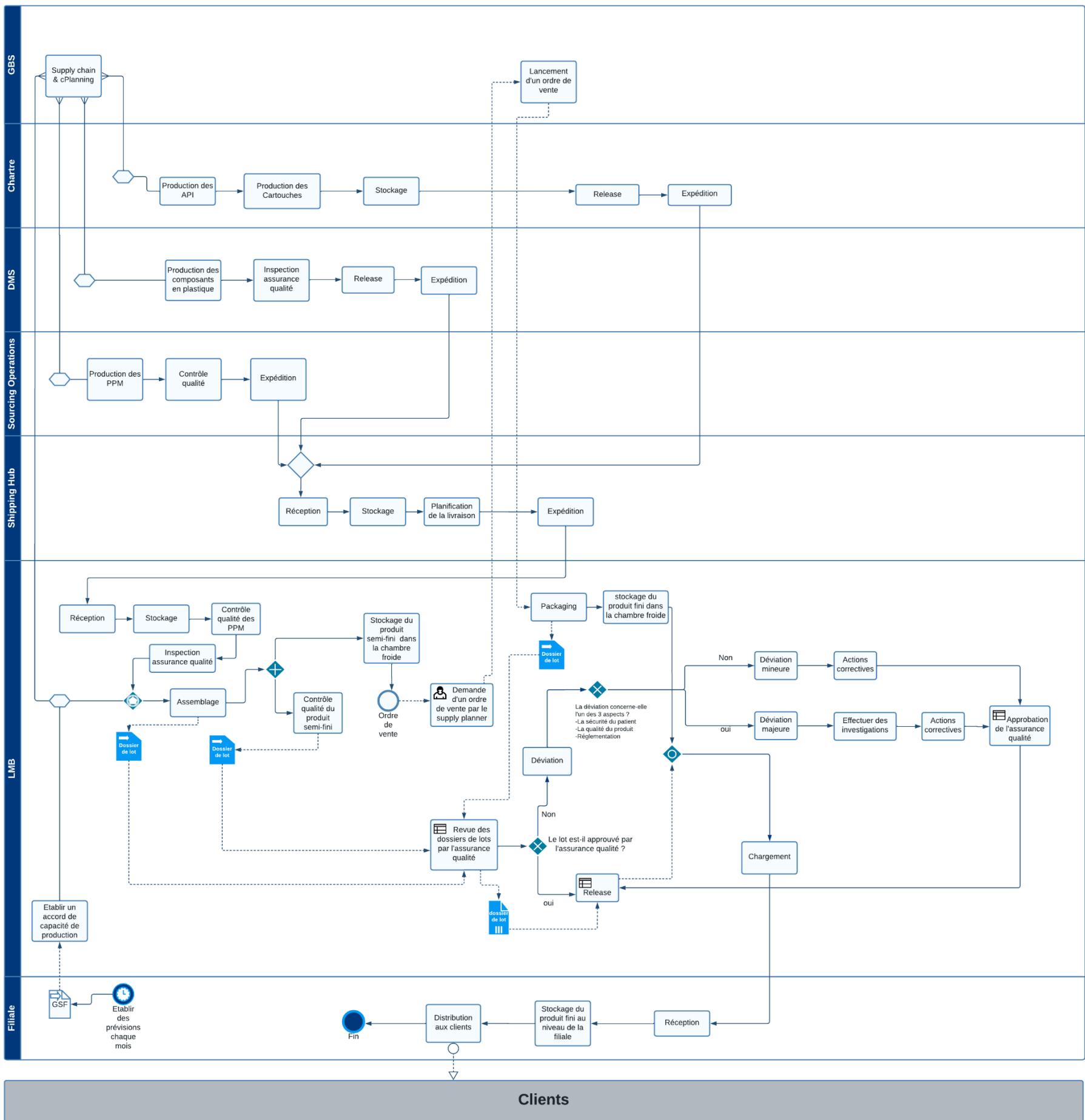


Figure 1.7 : Macro-processus de la Supply Chain de LMB (BPMN 2.0)

Nous décrivons en ce qui suit le processus de planification, appelé cPlanning qui gère la Supply Chain de Novo Nordisk globalement.

1.3.2. Le processus de planification (cPlanning process)

Le processus de planification de la Supply Chain chez Novo Nordisk, appelé central Planning Process, passe par les 4 étapes principales, que nous décrivons dans ce titre.

1- Sales and Operations Planning S&OP

Le Sales & Operations Planning est une étape critique du processus qui se déroule mensuellement, durant laquelle les partenaires S&OP travaillent pour équilibrer l'offre et la demande à long terme, en suivant 3 étapes :

A. Analyse de la demande : Chaque mois, le Global Sales Forecasts est transmis depuis des différents marchés et filiales, qui les établissent à partir des séries chronologiques collectées auprès des grossistes par IQVIA ; anciennement Quintiles et IMS Health, Inc, qui est une multinationale américaine experte des données de santé. Le GBS contient les prévisions de vente pour les trois (3) prochaines années.

Les partenaires S&OP analysent et défient les prévisions durant des réunions d'évaluation de la demande avec les différentes régions pour minimiser les erreurs dans la demande.

B. Comparer l'offre et la demande :

- Les nouvelles prévisions sont ensuite transmises aux partenaires Operational & Supply Network Planning via SAP ECC et SAP APO. (Voir Annexe A)
- Les partenaires de S&OP évaluent la nouvelle demande en fonction de la capacité disponible sur tous les sites de production et au niveau des stocks. Ils analysent les situations qui peuvent avoir une incidence sur la production ou la livraison lors de l'équilibrage de la capacité sur le réseau et prennent des initiatives comme :
 - Ajustements à l'effectif.
 - Modification des heures d'ouverture.
 - Déplacement de la demande entre les sites de production.

C. Prise de décision : Après avoir identifié et analysé les risques et les possibilités, les partenaires S&OP prennent des décisions concernant l'orientation, notamment :

- Ajustement des accords de production.
- Transfert de production entre sites.
- Production de cartouches.

Les opérations du S&OP créent la base des processus qui le suivent.

2- Supply Network Planning SNP

Le processus SNP vise à synchroniser les activités de la Supply Chain au niveau local, en prenant en compte les décisions prises lors du processus S&OP global en termes de demande et d'approvisionnement. En effet, le but est de planifier et gérer le flux des matières en créant des plans réalisables pour l'achat, l'assemblage, le conditionnement, le stockage et le transport des produits. Cela, afin de répondre d'une manière adéquate et efficace à la demande du marché, tout en veillant à ce que la capacité de production soit alignée avec cette demande. Il est

également important dans ce processus d'évaluer différents paramètres de planification à savoir : le stock de sécurité, la taille du lot et la catégorie de planification.

Ce processus est mensuel, et comprend également des tâches qui doivent être faites de manière hebdomadaire, trimestrielle et semestrielle. Il se compose de :

- A. **L'ajustement de la demande** : Cela peut s'effectuer chaque semaine par "the launch officer" ou par le planificateur S&OP en cas d'erreurs dans les prévisions qui nécessitent une correction immédiate et ne peuvent pas attendre jusqu'au mois suivant.
- B. **La mise à niveau de la capacité** : les planificateurs de SNP examinent et ajustent mensuellement l'équilibre entre la capacité et la demande à chaque étape de la supply chain au niveau local.
- C. **Réviser et mettre à jour les paramètres de planification** : Le planificateur SNP doit procéder à une révision et une mise à jour trimestrielle des paramètres de planification à tous les niveaux de la supply chain (achat, assemblage, conditionnement et transport).
- D. **Réviser la stratégie du stock de sécurité** : En prenant en compte le budget, les planificateurs S&OP et les planificateurs d'achat effectuent chaque semestre la révision du stock de sécurité pour la production et l'achat.

3- Plan opérationnel d'achat et de production (Operational Planning)

Le but du processus *Operational Planning* est de s'assurer que les ordres d'achat et de production soient faits en considérant en amont la capacité de production, les exigences des clients et la disponibilité des matières premières.

Ces processus de planification sont effectués de manière hebdomadaire, ils se répètent donc 4 fois pendant un processus SNP ou S&OP. Le processus OP se concentre sur un horizon court (approximativement 3 mois) pour la production, et un horizon plus long pour l'achat à cause des longs lead times.

Les OP planners planifient et alignent les ordres chaque jour afin d'avoir un plan d'achat et de production faisables. Ils considèrent aussi les alertes, les niveaux de stock récents et les changements des statuts qualité.

Operational Planning pour la production et pour les achats ont un impact l'un sur l'autre car les modifications du plan de production peuvent nécessiter des modifications du plan d'achat et vice versa, afin de garantir la disponibilité des produits pour le processus d'exécution.

La planification opérationnelle est effectuée pour les produits finis, les produits semi-finis et les matériaux achetés, en utilisant à la fois SAP APO et ECC.

4- Processus d'exécution

Dans ce processus, la production exécute les commandes et les fournisseurs livrent les produits entrants requis.

Lorsque l'exécution est effectuée, elle n'est pas toujours conforme au plan en raison de retards sur la machine, de la part du fournisseur ou des imprévus dans les statuts qualité (complications imprévues). Cela aura une incidence sur les stocks, ce qui modifiera la demande.

Il est très important que les planificateurs maintiennent constamment les données dans les systèmes planning et que les parties prenantes concernées prennent des décisions fondées sur les données actuelles.

1.3.3. L'énoncé de la problématique

Dans le but de réduire son lead time pour répondre à la demande du marché dans les délais exigés, LMB souhaite revoir les processus de sa Supply Chain de bout en bout, en incluant toutes les étapes, les flux, les ressources et les parties prenantes. Ceci est dans le but de les optimiser en identifiant les activités à valeur ajoutée et à non-valeur ajoutée, pour ensuite éliminer les gaspillages afin de réduire son lead time global, tout en gardant une visibilité sur la performance et l'impact de chacune de ses actions amélioratives.

Pour ce faire, l'utilisation de l'outil Dynamic Value Stream Mapping pour la Supply Chain s'avère adéquat ; il répond à notre besoin en termes de structure et d'objectif que nous visons.

La Dynamic Value Stream Mapping va au-delà d'une simple représentation statique des processus. Elle intègre également des éléments temporels et de la manipulation des ressources, ce qui nous permet de prendre en compte les variations et les fluctuations qui caractérisent la Supply Chain. Ainsi, nous obtenons une vision plus réaliste et précise de la manière dont les processus fonctionnent réellement.

Chapitre 02
La Supply Chain dans l'industrie
pharmaceutique

Chapitre 02 : La Supply Chain dans l'industrie pharmaceutique

La Supply Chain est de nature un réseau complexe régi par des contraintes de coûts, délais et de qualité. À cette complexité s'ajoute la complication et la criticité du secteur pharmaceutique, où les ruptures de stock sont bien plus que des ventes perdues, mais ont un impact direct sur la vie des patients.

Nous verrons dans ce chapitre les types des chaînes logistiques, et exposeront les contraintes et défis de la Supply Chain de l'insuline.

2.1. La Supply Chain : évolution et définition

La Supply Chain a longtemps été perçue comme une fonction opérationnelle peu valorisée, car elle avait une portée technique. Ainsi, elle a toujours été considérée comme un centre de coûts pour les entreprises. Cependant, aujourd'hui la Supply Chain est considérée comme une fonction business essentielle au bon fonctionnement et à la compétitivité des entreprises, notamment les leaders de leur marché.

Le terme Supply Chain a été introduit pour la première fois en 1982, par les auteurs Oliver et Webber dans leur article : «Supply-chain Management : Logistics Catches Up With Strategy». Bien que son origine remonte réellement à Jay Wright Forrester en 1958, qui a évoqué ce concept sans l'avoir nommé de façon explicite. (Obilog, 2021)

La **Supply Chain** ou chaîne d'approvisionnement, peut être définie comme l'ensemble des processus interconnectés ayant pour but la fabrication et la distribution d'un bien de consommation en reliant toutes les parties prenantes impliquées dans la chaîne allant de la fourniture de matières premières initiales jusqu'à la livraison des produits aux clients finaux. Ce processus regroupe toutes les activités tant internes qu'externes à l'organisation.

Par ailleurs, il existe différentes définitions de la Supply Chain proposées par plusieurs auteurs dans la littérature au fil des années :

Selon Christopher en 1998 « *La Supply Chain désigne le réseau d'organisations qui participent aux divers processus et activités qui génèrent de la valeur sous forme de biens et de services entre les mains du client final* » (Janvier James, 2012, p.196). Cette définition met en évidence l'importance des relations et des liens dans l'implication des différentes entités de la chaîne.

Selon Chow et Heaver en 1999, la Supply Chain est « *le groupe de fabricants, de fournisseurs, de distributeurs, de détaillants et de prestataires de services de transport, d'information et de logistique qui fournissent des biens aux consommateurs. Une chaîne d'approvisionnement comprend les associés externes et internes de l'entreprise* » (Janvier James, 2012, p.195). Cette description souligne particulièrement la complexité de la chaîne, le fait qu'elle représente un ensemble d'acteurs, de processus et de ressources. L'importance de l'implication des différentes entités de la chaîne est bien évidemment liée à la nature complexe du réseau qui compose cette chaîne.

« *Un ensemble de trois entités ou plus (organisations ou individus) directement impliquées dans le flux en amont et en aval de produits, de services, de finances et d'information d'une source à une destination (client)* » (Mentzer, et al., 2001).

Selon cette définition, il est clair que la Supply Chain est engagée dans les flux en amont et en aval, couvrant ainsi l'ensemble du parcours des produits, services, finances et informations.

« *Un réseau dynamique et séquentiel d'entreprises autonomes allant du premier fournisseur jusqu'au client final. Celles-ci sont reliées par des flux en amont et en aval (physiques, informationnels, financiers, de connaissances et relationnel) dans le but de satisfaire les parties prenantes par une meilleure coordination et intégration, mais aussi par une plus grande flexibilité et réactivité* » (ZOUAGHI, et al., 2021, p.9)

Cette définition ajoute une caractéristique importante de la Supply Chain qui est sa nature dynamique, puisqu'elle comprend des fournisseurs et des clients qui peuvent apparaître et disparaître au fil du temps.

Le modèle de référence des opérations de la chaîne logistique (SCOR : Supply Chain Operations Reference Model) fournit une représentation générique d'une chaîne logistique, comme illustré dans la figure ci-dessous.

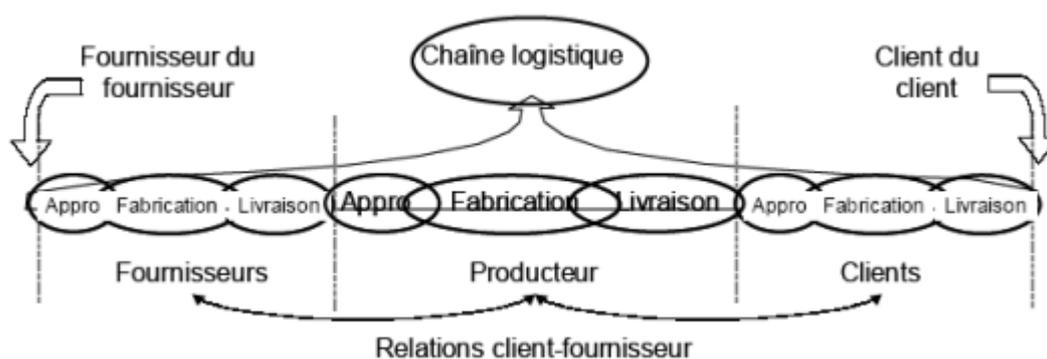


Figure 2.1 : Modèle de chaîne logistique selon le modèle SCOR (SCC, 2007) (Mohand, 2008, p.13)

2.2. Le Supply Chain Management : évolution et définition

Historiquement, les entreprises cherchaient à tout faire en interne pour maximiser les économies d'échelle, l'accès au capital et les investissements massifs dans les infrastructures physiques, ce qui se traduisait souvent par une intégration verticale. Cependant, les développements récents de l'économie ont dévalorisé les avantages de cette dernière. À la place, ils ont souligné les avantages de la spécialisation et la focalisation, notamment la rapidité, l'agilité, la croissance

rapide, les compétences approfondies, etc. Par conséquent, même les grandes entreprises dépendent désormais de centaines voire de milliers de fournisseurs, de sous-traitants et de partenaires externes pour offrir de la valeur au marché. Dans ce contexte, la gestion et la coordination des activités entre ces entités disparates sont devenues cruciales, formant ainsi le Supply Chain Management ou SCM (Archibald, et al., 1999).

Le SCM a été défini par les auteurs de la littérature comme suit :

Selon Cooper en 1993 « *Le management de la chaîne logistique est une philosophie qui tend vers une gestion intégrée de l'ensemble des flux d'un canal de distribution, du fournisseur à l'utilisateur final* » (Mohand, 2008, p.13).

« *La coordination systémique, sur les plans stratégiques, tactiques et opérationnels des fonctions à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la chaîne logistique, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne* » (Mentzer, et al., 2001).

Par ailleurs, pour gérer la chaîne d'approvisionnement et les coopérations qui la composent, Stadtler définit deux activités fondamentales pour assurer la satisfaction du client et donc la compétitivité de la chaîne : (Guillaume, 2010)

- L'intégration des entités dans la chaîne
- La coordination des flux matériels, financiers et informationnels au travers de celle-ci.

La première activité citée concerne le choix des différentes entités et l'intégration des processus associés à la relation. La coordination des flux, quant à elle, se concentre sur la gestion des flux de la chaîne, et cela à travers les processus de pilotage de cette dernière.

La figure suivante illustre une vision des éléments à prendre en compte dans la gestion de la coopération entre les partenaires d'une chaîne d'approvisionnement, en prenant en compte qu'une seule chaîne linéaire.

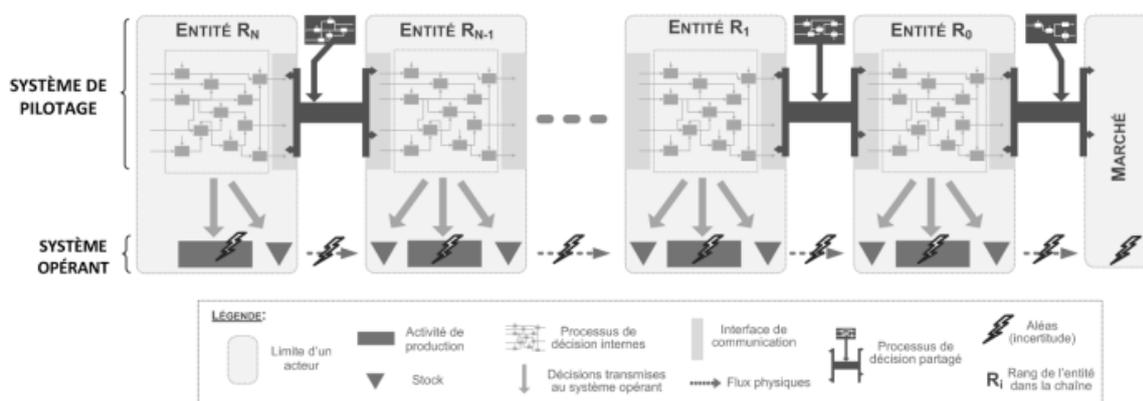


Figure 2.2 : La coopération dans la chaîne logistique (Guillaume, 2010, p.8)

Le schéma présenté dans la figure montre que la coopération est considérée comme un ensemble de processus partagés entre les différents acteurs de la chaîne, mais sa gestion ne se limite pas

seulement à la prise de décisions sur les processus, mais implique également la coordination des processus internes à chaque acteur.

De plus, la chaîne d'approvisionnement est marquée par des aléas imprévisibles notamment sur les flux physiques de la chaîne et le comportement du marché. C'est là que s'inscrit également le rôle de la SCM.

De plus, d'après Schary et Skjott-Larsen, une stratégie de gestion de la chaîne logistique se compose de trois éléments essentiels (Figure 2.3) : (Mohand, 2008).

- La structure : Elle implique la localisation géographique des sites de production et du réseau de distribution (entrepôts, plateformes logistiques, etc.).
- L'organisation qui définit les rôles de chaque entité, son champ de décision et ses relations avec les autres partenaires (entreprise principale, sous-traitants, fournisseurs, etc.).
- Les processus : Ils englobent les activités de planification, de contrôle des opérations et de coordination des décisions (gestion des stocks, des opérations de production et de transport, de la demande, du service client, etc.).

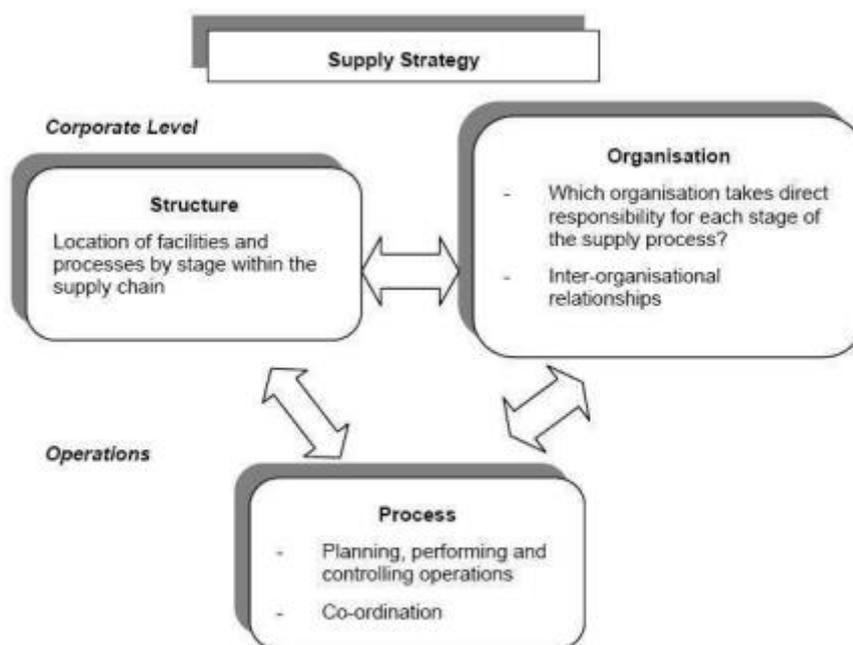


Figure 2.3 : Supply Strategy (Mohand, 2008, p.18)

2.2.1. Les activités de la SCM

Le processus d'optimisation de la relation entre les processus de la chaîne d'approvisionnement, l'information et les biens physiques entre les partenaires commerciaux internes et externes d'une organisation comprend un large éventail d'activités à savoir : (Archibald, et al., 1999)

- La planification de la demande client
- Traitement des commandes client et service à la clientèle
- L'approvisionnement stratégique et la gestion des achats
- La gestion de la logistique de production

- La gestion des entrepôts et les réseaux de distribution
- La gestion du transport et des expéditions
- La planification intégrée de l'offre et de la demande

Pour que la SMC réussisse, il est essentiel d'adopter un processus transparent qui intègre toutes les activités impliquées. Il doit englober les services organisationnels chargés de chaque activité, ainsi que les partenaires externes à savoir les fournisseurs et les clients. L'objectif est de maximiser l'efficacité de la mise en marché en se concentrant sur la rapidité, l'agilité et la flexibilité, tout en minimisant les coûts.

De plus, pour assurer une surveillance continue de ces activités, il est indispensable d'utiliser des systèmes d'information, car l'information est essentielle pour une meilleure gestion, et il est indispensable que les systèmes d'information soient bidirectionnels entre les services de l'organisation et les partenaires pour maximiser les avantages de la chaîne d'approvisionnement. En ayant les informations nécessaires dans les deux sens, tous les acteurs de la chaîne peuvent prendre de meilleures décisions au bon moment et ainsi réagir rapidement aux changements du marché. (Archibald, et al., 1999)

2.2.2. La Supply Chain agile vs la Supply Chain Lean

Selon Lee et Lau, L'agilité dans la SCM se concentre sur la "réactivité" envers les clients, les personnes et l'information. Elle implique une adaptation rapide de l'ensemble du réseau et de ses opérations aux demandes dynamiques des clients. Pour y parvenir, il est essentiel de favoriser la coopération au sein et entre les entreprises et de gérer proactivement les changements (Marcus, 2010).

Une Supply Chain agile doit également présenter certaines caractéristiques distinctives telles que la sensibilité au marché, la virtualité, l'intégration des processus et la mise en réseau (Marcus, 2010).

Comme stipulé par Ren en 2001 et Giachetti 2003 ont également souligné la caractéristique de souplesse qui se manifeste par la capacité à gérer différents processus et à atteindre des objectifs variés en utilisant les mêmes ressources (Gholamhossein, 2013).

De plus, selon McKinsey & Co en 2015, ces chaînes se distinguent par leur flexibilité de main-d'œuvre et d'actifs, leur gestion des risques, leur placement de stocks et leur planification intégrée. Elles se traduisent également par des taux de livraison ponctuels et complets plus élevés et une durée d'inventaire plus courte.

Cependant, il est important de noter que les chaînes d'approvisionnement agiles peuvent entraîner des niveaux élevés de gaspillage et une augmentation des prix pour certains types de produits. (REDWOOD, 2021)

Contrairement à la Supply Chain Lean qui vise à minimiser les coûts d'exploitation à tous les niveaux en utilisant le moins de ressources possible pour réaliser efficacement les tâches. Les inventaires sont maintenus au minimum, les espaces d'entreposage sont optimisés et les

expéditions sont planifiées de manière efficace pour réduire les coûts de déplacement des stocks.

De plus, des contrats d'approvisionnement à long terme et stables sont établis, ce qui limite leur capacité à modifier les quantités commandées, les destinations de livraison et les dates requises. Ajoutons à cela, les chaînes d'approvisionnement Lean évitent souvent d'engager des fournisseurs secondaires en raison des coûts élevés associés. Bien que cela permette de réduire les coûts opérationnels de la chaîne d'approvisionnement, cela peut également limiter sa capacité à s'adapter aux changements (Milan, 2013).

C'est pourquoi, de nombreuses entreprises constatent qu'elles ont besoin d'un hybride Lean-agile afin d'atteindre le niveau de fonctionnement le plus fluide. Cette stratégie permet de produire de petites quantités adaptées aux besoins spécifiques des clients en fabriquant certains composants à l'avance. Ainsi, les prévisions et les données en temps réel sont équilibrées, ce qui réduit le niveau de risque global (Milan, 2013).

2.3. La complexité de la Supply Chain d'une industrie d'insuline

L'industrie pharmaceutique présente des exigences spécifiques et des défis qui rendent la gestion de sa Supply Chain complexe. En effet, la conformité aux normes, aux réglementations strictes, aux bonnes pratiques de fabrication et de distribution, mais aussi aux contrôles spécifiques tout au long du processus de fabrication et d'approvisionnement, combinée à l'augmentation des coûts de production et à la pression sur la baisse des prix des médicaments par le gouvernement, contribue à la complexité de la chaîne logistique de l'industrie pharmaceutique. (SedApta, 2021)

Il convient également de mentionner que le processus de production d'une industrie pharmaceutique est rendu particulièrement complexe en raison des dates de péremption courtes des excipients et des principes actifs des médicaments. Cela implique que chaque lot doit être soigneusement traçable pour contrôler les délais et prévenir les risques de contamination. Par conséquent, toutes ces contraintes réglementaires rendent aussi la gestion des stocks plus complexe que dans tout autre secteur. C'est pour cela que la Supply Chain pharmaceutique doit être caractérisée par sa flexibilité et son agilité en vue de garantir une réactivité optimale (SedApta, 2021).

De plus, la crise sanitaire du Covid-19 a exacerbé ces défis en entraînant une demande soudaine et massive de médicaments, de vaccins et d'autres produits pharmaceutiques dans le monde entier, conduisant à des pénuries de stocks dans les entrepôts et des défis logistiques, notamment en termes d'approvisionnement et d'exportation.

Cette crise a révélé les failles existantes dans la Supply Chain pharmaceutique globalisée et a souligné la nécessité d'optimiser le système actuel pour le rendre plus résilient. En effet, il est essentiel d'accélérer la mise sur le marché des produits, d'améliorer la gestion des stocks et d'optimiser l'ensemble de la chaîne de valeur (SedApta, 2021).

La Supply Chain d'une industrie d'insuline implique un processus complexe et diversifié englobant différents acteurs allant des fabricants aux prestataires logistiques, pour arriver vers les patients.

L'approvisionnement adéquat en insuline présente de nombreux défis en raison de divers facteurs qui affectent sa production et sa distribution. En effet, la fluctuation de la demande d'insuline complique la prévision précise des quantités nécessaires à tout moment. De plus, les normes réglementaires et les contrôles de qualité auxquels est soumise la production d'insuline peuvent influencer sa capacité et son efficacité (Logmore, 2023).

Par ailleurs, la logistique de distribution joue un rôle très important dans la chaîne d'approvisionnement de l'insuline. Assurer un transport sûr et efficace du médicament du fabricant au point de distribution peut être complexe, notamment lorsqu'il faut l'expédier sur de longues distances ou vers des zones éloignées. Surtout que l'insuline requiert une attention particulière en termes de manipulation et transport afin de maintenir sa qualité et la conformité de la température de son environnement (Logmore, 2023).

- **Chaîne de froid (Cold Chain)**

Les produits d'insuline doivent être conservés dans une enceinte réfrigérée entre +2 et +8°C respectant ainsi sa chaîne de froid. Une rupture de sa chaîne de froid, entraîne une augmentation rapide de la température du produit (Dinclaux, 2018), ce qui lui provoque une agrégation.

Elle nécessite donc un entreposage et un transport frigorifiques minutieux pour conserver son activité pendant sa durée de vie. Le maintien de l'intégrité de l'insuline représente un défi majeur pour l'industrie pharmaceutique, les fournisseurs de soins de santé et les personnes atteintes de diabète dans le monde. En effet, les coûts annuels mondiaux du transport réfrigéré de tous les produits biopharmaceutiques dépassent les 15 milliards de dollars, et les pertes causées par les interruptions de la chaîne du froid atteignent 35 milliards de dollars américains par année (Caitlin, et al., 2021).

Il est également à noter que pour assurer une gestion efficace des stocks de produits d'insuline, il est essentiel de disposer d'installations de stockage adaptées et de mettre en place des pratiques de gestion appropriées pour garantir la rotation et l'utilisation opportune de l'insuline (Logmore, 2023).

De ce fait, il est essentiel de trouver un équilibre délicat entre la production, la demande et la logistique avec une gestion attentive et proactive de l'ensemble du processus en vue de garantir l'accès des patients à l'insuline dont ils ont besoin, au moment opportun, tout en respectant les exigences de conservation des produits.

Les exigences en matière de conditionnement et d'étiquetage représentent un autre volet de la complexité et varient d'un pays à un autre. Les matériaux de conditionnement, les informations obligatoires et les conditions de stockage doivent se faire conformément aux exigences réglementaires.

En plus de se conformer aux réglementations, l'emballage et l'étiquetage de l'insuline affectent la préservation de sa qualité et donc de la santé des patients. Car un emballage endommagé ou mal scellé peut compromettre l'intégrité de l'insuline (Logmore, 2023).

Il est à souligner que tous ces enjeux sont encore aggravés par le contexte international, où les différences culturelles, linguistiques et réglementaires peuvent rendre la distribution de l'insuline plus complexe (Logmore, 2023).

Conclusion

En se basant sur le niveau de complexité de la Supply Chain d'insuline, on en conclut que sa réussite repose sur les efforts et l'engagement de tous les acteurs impliqués, et cela par une collaboration et une gestion efficace et un pilotage régulier.

Chapitre 03
Les outils du Lean au service de
l'optimisation de la Supply Chain

Chapitre 03 : Les outils du Lean au service de l'optimisation de la Supply Chain

On ne peut appliquer la Value Stream Mapping sans parler de son berceau qui est le Lean management. À travers ce chapitre nous allons définir les concepts et les principes de ce dernier, ainsi que les étapes suivies dans la littérature pour l'application de la VSM classique. Nous avons défini également des outils qu'on a proposé dans le plan d'action.

3.1. Le Lean Management

Les fondements du lean ont été établis chez Toyota dans les années 70, par ses ingénieurs Shigeo Shingo (1909–1990) et Ohno Taiichi (1912-1990), à travers la publication du livre sur le système de production Toyota (TPS) en 1978 par Ohno Taiichi. Le système a parcouru les 4 coins du monde, commençant par les Etats Unis, qui lui ont donné sa nomination actuelle. Aujourd'hui le Lean est implémenté dans quasiment tous les secteurs industriels, mais aussi dans le secteur des services depuis 1990 (Shradha, et al., 2015).

3.1.1. La définition du Lean

Le Lean, comme défini par ses synthétiseurs James P. Womack and Daniel T. Jones dans leur ouvrage considéré comme référence de la méthode, « *c'est faire plus avec moins. Utiliser le moins d'efforts, d'énergie, d'équipement, de temps, d'espace, de matériaux et de capitaux, tout en donnant aux clients exactement ce qu'ils veulent* ». (James, 2008, p.1)

En bref, le Lean est une forme d'amélioration continue axée sur l'équipe qui met l'accent sur l'identification et l'élimination des gaspillages, appelés Muda en japonais, qui sont toutes les activités à non-valeur ajoutée du point de vue du client. (Myerson, 2012, p.2)

Le Lean est aussi défini comme « *un ensemble de pratiques socio-techniques visant à éliminer les gaspillages tout au long de la chaîne de valeur à l'intérieur des entreprises. D'autre part, il peut également être vu d'un point de vue pratique comme un ensemble de gestion pratiques, outils ou techniques pour un Lean Management efficace* ». (Natasa, 2014, p.798)

Le Lean identifie et vise à éliminer les 3 familles de gaspillages ; Les Muda, Muri et Mura (Hohmann, 2012).

- **Les Muda** : qui sont au nombre de 7
 - **Stocks** : Piles de pièces en attente d'achèvement ou de produits finis en attente d'expédition.
 - **Transport** : Ceci concerne tout déplacement de matériaux, de pièces, de produits, de documents, ou d'informations qui n'apportent pas de la valeur pour le client.

- **Mouvement inutile** : il concerne les déplacements inutiles qui n'apportent pas de la valeur au client. Ils sont causés par une mauvaise ergonomie au poste de travail, de mauvais rangements, des désordres, une désorganisation dans le processus de fabrication.
- **Le temps d'attente** : Concerne les personnes qui doivent attendre entre deux tâches ou deux étapes.
- **Traitement inutile** : Des tâches, des étapes réalisées inutilement, dans un processus trop complexe par rapport au prix de vente.
- **La Surproduction** : c'est ce qui consiste à produire plus tôt, plus rapidement ou en plus grande quantité que ne le demande le client.
- **Erreurs, défauts et rebuts** : pièces mauvaises ou pas bonnes du premier coup, qui nécessitent répétition ou correction du procédé.
- **Les Muri** : Sont définis par Christian Hohmann comme l'emploi de moyens surdimensionnés ou excessifs par rapport au besoin ou au résultat escompté. (Lean Management), c'est aussi la surcharge physique et morale qui conduit à une surexploitation du potentiel humain.
- **Les Mura** : Ils désignent la variabilité des outputs des processus, qui est causé par des phénomènes stochastiques, tels que les réglages de machines qui varient dans le temps et suivant les variations de son environnement. Ces variabilités sont des gaspillages car elle atteint la capacité des processus, en d'autres termes, elle fait sortir des produits qui ne répondent pas aux besoins des clients.

3.1.2. Les Principes du Lean management

Le Lean est basé sur 5 principes :

- **Spécifier la valeur** : La valeur n'est définie que par le client final, la complexité de conception n'a lieu d'être que si elle ajoute de la valeur au client.
- **Identifier la chaîne de valeur** : La chaîne de valeur est toutes les actions nécessaires pour apporter un produit au client (James, et al., 2008) On distingue :
 - Les activités à valeur ajoutée (VA) qui participent à la création de valeur ;
 - Les activités à non-valeur ajoutée directe ; qui sont nécessaires au processus ;
 - Les activités à non-valeur ajoutée (NVA) : Qui ne créent pas de valeur et qui doivent être éliminées.

La communication entre les acteurs des différents processus est nécessaire pour éviter qu'il y ait des étapes en double.

- **Favoriser l'écoulement du flux** : S'assurer que les opérations créatrices de valeur s'enchaînent sans interruption tout au long du processus, sans qu'elles subissent des attentes, retours en arrière ni circulation erratique.

- **Tirer le flux** : produire à la demande pour satisfaire exactement la demande du client.
- **Viser la perfection** : Rester dans la dynamique d'amélioration continue en cherchant de nouvelles idées d'amélioration et en pérennisant les progrès (Hohmann, 2012).

Le Lean management s'applique grâce à de nombreux outils, nous définissons les outils que nous avons déployé durant notre projet dans la partie restante de ce chapitre.

3.1.3. Les outils du Lean Management

3.1.3.1. Le SIPOC

SIPOC (Acronyme de Supplier Input Process Output Customer) est un outil Six Sigma utilisé dans l'étape « Define » du cycle DMAIC (un acronyme de Define, Mesure, Analyse, Improve and control), qui permet à travers une macro-description de comprendre le périmètre d'une investigation. C'est ce qui fait de lui un excellent préalable à la VSM (Hohmann, 2012).

Il se construit par questionnement, et se présente sous forme de tableau qui se remplit en suivant les étapes :

- Remplir la case processus P du tableau
- Lister les produits de chaque processus dans la case O
- Lister les clients et bénéficiaires en colonne C
- Lister les intrants de chaque processus en I
- Lister les fournisseurs de chaque input en S

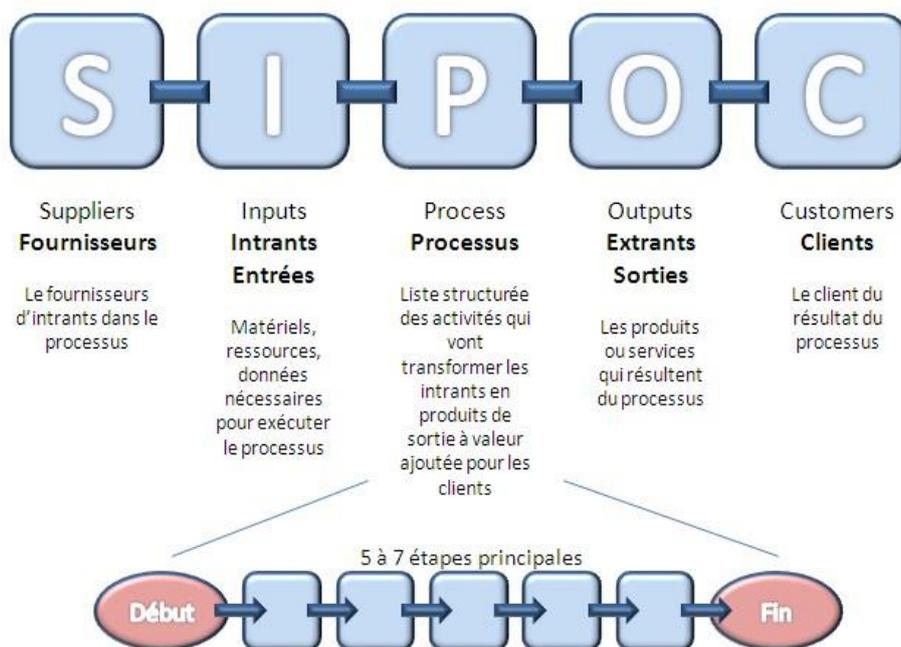


Figure 3.1 : Schéma d'un SIPOC (Marense, 2023)

3.1.3.2. Le Kanban

Du japonais, le mot Kanban désigne « étiquette ». L'approche Kanban, qui a vu le jour en 1950 au Japon, est une méthode de gestion de stock qui permet de répondre aux principes du Lean (Hohmann, 2012).

Elle repose sur un système à flux tiré, ses règles de fonctionnement sont :

- Chaque produit est associé à un kanban et chaque kanban est associé à un produit
- Quand un produit est prélevé par le consommateur il lui enlève le kanban
- Le kanban sans produit devient un bon de commande, qui va inciter le poste à produire un nouveau produit.
- Tant qu'il n'y a pas de Kanban devant le poste, il ne produit rien.

3.2. La Value Stream mapping

En 1988, Toyota a mis au point la « cartographie des flux de matériaux et d'informations » en anglais Material and Information Flow Analysis (MIFA) pour représenter visuellement tous les flux de son processus de production. Elle est popularisée par Mike Rother à travers son livre didactique « Learning to see » et il a donné naissance à un langage commun pour identifier les domaines à améliorer et éliminer le gaspillage.

Ce langage a ensuite dépassé les limites de ce secteur, pour devenir une méthode universelle du lean management utilisée pour transformer les processus dans différents secteurs.

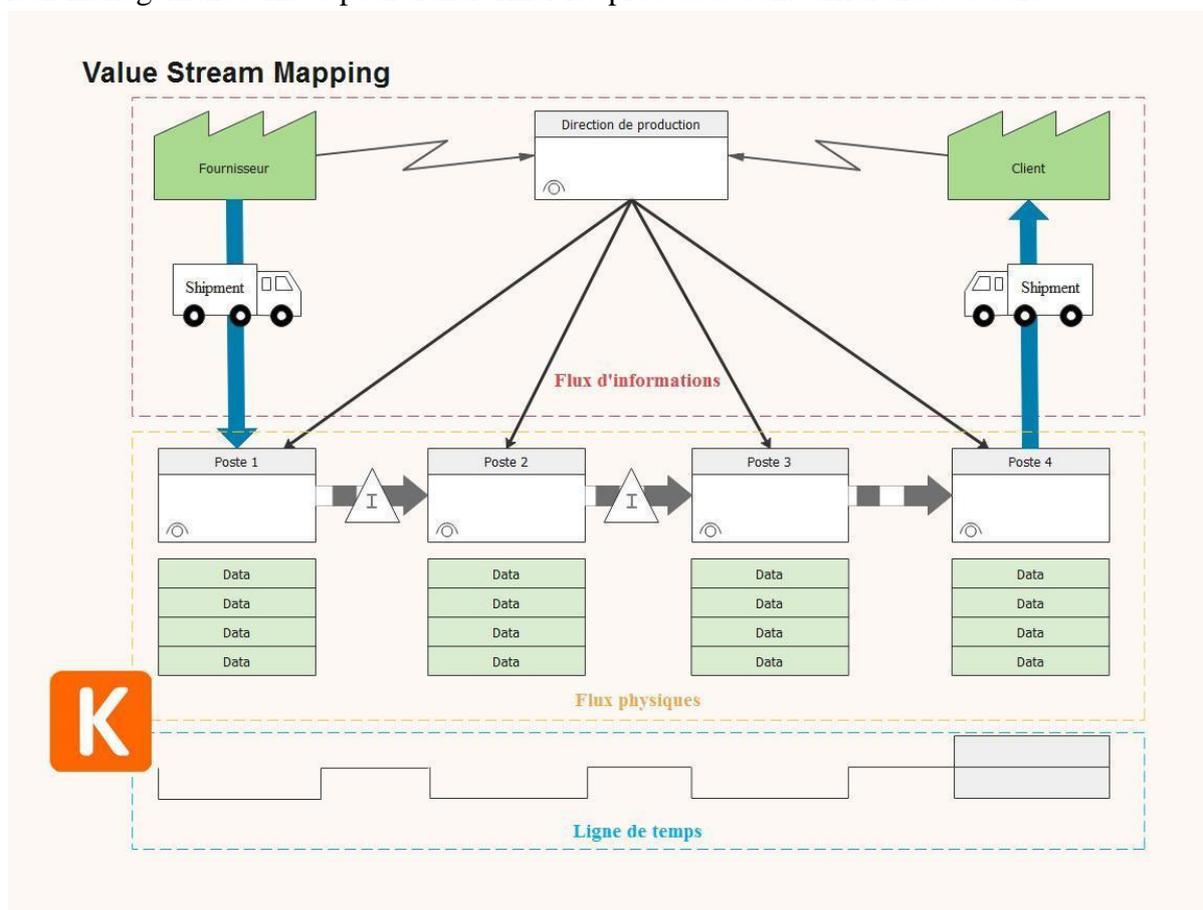


Figure 3.2 : Value Stream Mapping (Kostango, 2023)

3.2.1. La définition de la Cartographie de la chaîne de valeur (Value Stream Mapping)

La chaîne de valeur est un concept développé par Michael Porter en 1985 consistant à schématiser l'entreprise comme une succession de processus interconnectés qui créent une valeur plus ou moins stratégique et importante pour l'entreprise. Cette chaîne peut être composée de plusieurs entreprises ayant des relations gérées par l'entreprise focale (celle qui crée le plus de valeur dans la chaîne). (Dufour, Juin 2022)

La cartographie de la chaîne de valeur est un outil qui montre les éléments clés d'un système de production basé sur les préceptes du Lean et indique comment chacun interagit avec les autres. En observant comment les flux d'information et de matériaux sont liés, elle contribue à visualiser le fonctionnement du système de production à partir du moment où le client lance une commande jusqu'à ce qu'il soit livré. Elle utilise un système de symboles normalisés pour représenter divers flux de travail et d'information. Les processus sont mappés comme processus à valeur ajoutée et processus à non-valeur ajoutée de vue du client, dans le but de détecter les processus à éliminer (MUKHERJEE, 2023).

L'outil VSM est l'un des outils du Lean les plus utilisés, vu les avantages qu'il présente, parmi ces avantages nous citons : (Hohmann, 2012)

- Il permet de prendre de la hauteur et survoler le processus, autrement dit ; elle offre une vision dite « de l'hélicoptère » qui laisse considérer une série d'opérations dans leur contexte global. Ce qui permet de :
 - Synthétiser les investigations sur terrain et révéler les gaspillages, comme la duplication des opérations ou les ressources dans différents endroits.
 - Prise de décisions pour coordonner des actions bénéfiques au niveau global plutôt qu'une optimisation au niveau local à faible impact.
- La VSM met en évidence les interactions des flux physiques et des flux informationnels, elle permet aussi de voir la complexité des flux informationnels et de détecter les redondances en logiciels et applications, fichiers et bases de données.
- Permet aux différents acteurs des processus d'échanger et de mieux comprendre les interdépendances entre les maillons de la chaîne.
- Offre un langage simple et compréhensible par toutes les parties prenantes des processus, ce qui facilite le partage et la communication.
- Permet de présenter et de vendre les idées d'amélioration élaborées par le groupe et par les experts du processus.
- C'est un outil qualitatif complété par des chiffres clés indiquant la performance et fournissant une base pour mesurer le progrès.

3.2.2. Les mesures et symboles de la VSM

A. Temps à valeur ajoutée (Value Added time VA) :

La valeur ajoutée est une opération ou une transformation qui confère à une matière, un produit ou un service, une valeur supérieure que le client est enclin à payer (Hohmann, 2012). Dans la

VSM, il constitue un indicateur d'efficacité, et permet de juger la performance et les marges de progrès des processus.

B. Temps à non-valeur ajoutée (Non Value Added time NVA) :

C'est une activité qui consomme du temps, ressources ou espaces, mais qui n'apporte pas de valeur supérieure au produit lui-même. Cette activité peut être nécessaire dans les conditions actuelles, mais entraîne des coûts supplémentaires au produit.

C. Lead time

Le Lead Time est un indicateur de performance global qui indique le temps qui s'écoule entre le démarrage et la fin d'un processus, en prenant en compte tous les temps intermédiaires de stockage, de retouches ou d'attente. Il peut être divisé en plusieurs composants : le prétraitement, le traitement et le post-traitement. Cet indicateur est souvent utilisé dans les processus de production ou de logistique : pour prévoir et anticiper les délais de production ou de livraison (Grante, 2023).

La formule générale pour calculer le délai est la suivante :

Lead time = Temps de prétraitement + Temps de traitement + Temps de post-traitement

D. Cycle time

En production le temps de cycle désigne le temps qu'une équipe passe à travailler réellement à la production d'un article. En général, il désigne le temps moyen nécessaire pour terminer une unité dans un processus donné. Il est aussi défini comme temps nécessaire à la répétition d'une opération donnée (Panneman, 2017).

La formule de calcul est donnée comme suit :

TC (Temps du cycle) = Temps disponible / Nombre d'unités produites.

E. Le Takt Time

Takt de l'allemand désigne le rythme, le concept de Takt Time est utilisé dans la production Lean, il désigne le rythme que doit suivre le processus de production pour satisfaire toute la demande prévisionnelle (Koo, Avril 2020).

Sa formule de calcul est la suivante :

Takt Time = Temps disponible / Demande client

Le temps de cycle est souvent comparé au Takt Time pour situer la capacité de production actuelle à celle qui permettra de suivre le rythme de consommation.

Ci- dessous un tableau comparatif entre les différentes mesures (Koo, Avril 2020).

	Takt Time	Cycle Time	Lead Time
Définition	Taux de production cible d'une unité	Le temps moyen nécessaire pour produire une unité	Délai entre la pré-production et la livraison du produit
Objectif	Satisfaire la demande	Calculer le taux d'achèvement et le taux de production	Calculer le taux d'arrivée
Formule	$\frac{\text{Demande}}{\text{Temps de travail}} \times \text{de prod}$	$\frac{\text{Temps de prétraitement} + \text{Temps de traitement} + \text{Temps de post-traitement}}{\text{Nombre d'unités}}$	<i>Temps de prétraitement + Temps de traitement + Temps de post-traitement</i>

Table 3.1 : Tableau comparatif des mesures de la VSM

La figure ci-dessous illustre la différence entre le Lead Time et le Cycle Time

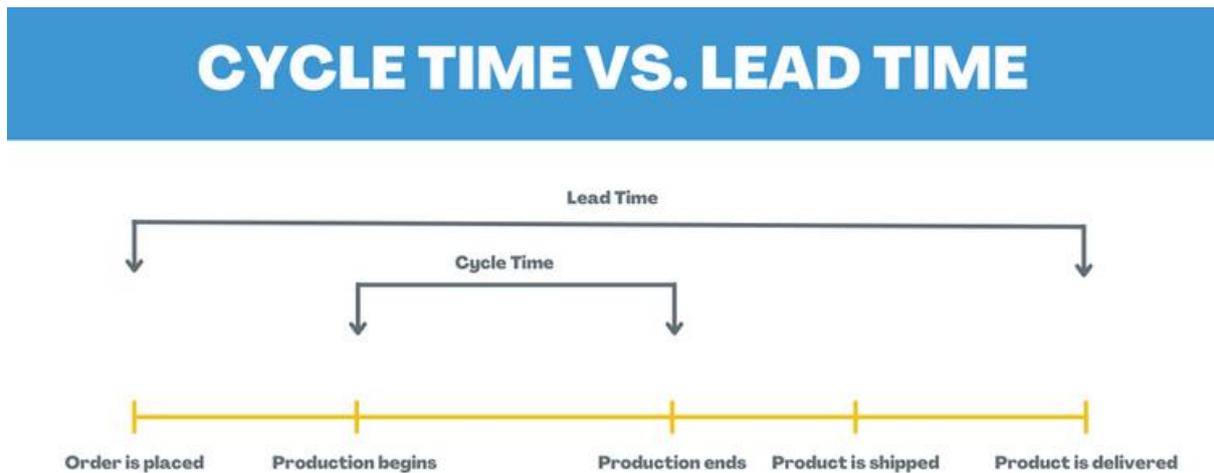
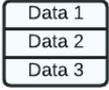
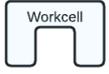
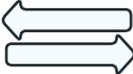
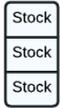


Figure 3.3 : Différence entre le Lead Time et le Cycle Time (SoftwareConnect, 2023)

F. Symboles de la VSM

Les symboles de la cartographie de la chaîne de valeur font d'elle un outil du Management visuel, ayant des symboles simples et compréhensibles par tous, ci-dessous un tableau récapitulatif des symboles utilisés (Jonathan, et al., 2023).

Symbole	Représentation	Description
Processus		
	Fournisseur/ Client	Désigne les fournisseurs en haut à droite et les clients en haut à gauche.
	Boite à processus dédié	La boite à processus représente le flux physique/flux des matières, dans la partie inférieure de la VSM

	Processus partagé	Désigne les processus partagés entre différents départements.
	Boite de donnée	Contient les données nécessaires à l'analyse et l'observation du processus étudié
	Cellule de travail	Désigne une intégration de plusieurs processus dans une cellule de production
Les symboles des matières		
	Stocks	Stock entre 2 processus
	Livraison	Mouvement de matières entre fournisseurs et usine et de l'usine aux clients
	Flux poussé	Indique le flux de matières entre 2 processus
	Stock superette	Désigne un stock « superette »
	Flux Tiré	Transfert de matière d'un stock à un processus aval
	Opération FIFO	Sortie de stock selon le principe FIFO « First In First Out »
	Stock de sécurité	Stock à utiliser en cas de rupture non planifiée.
	Livraison externe	Livraison par des fournisseurs ou expédition aux clients
Symboles d'information		
	Contrôle de production	Chargé de Planification ou de contrôle
	Information électronique	Information provenant d'internet ou d'intranet

	Kanban de production	Ticket qui sert d'ordre de travail au processus précédent
	Kanban de retrait	Ticket qui sert d'ordre de transfert au processus suivant
	Kanban de signal	Indique un niveau de stock bas ou minimal
Symboles généraux		
	Boite Kaizen	Désigne un dysfonctionnement qui nécessite une amélioration
	Opérateur	Nombre d'opérateur
	Autre	Informations utiles

Table 3.2 : Symboles de la cartographie de la chaîne de valeur

3.2.3. La Supply Chain Value Stream Mapping

L'outil Supply Chain Value Stream Mapping est développé compte tenu de l'importance et de l'intérêt que la Supply Chain a suscité dans les entreprises industrielles et du besoin continu d'amélioration et d'optimisation de sa performance en appliquant les principes du lean., il peut être défini comme un outil qui permet de prendre un instantané de la situation actuelle d'une Supply Chain en observant son flux de matières et d'information, ainsi que le volume et les variables OTD (Order To Delivery). (Abideen, et al., 2020) (Farook, et al., 2020)

Élaborer une VSM consiste à tracer la représentation visuelle de tout le processus comprenant le flux d'information et le flux physique, puis de tracer avec les icônes standards la cartographie remaniée. Nous décrivons dans ce qui suit ces étapes (Mike, et al., 2008).

1- Etapes de préparation :

- **Choix d'une famille de produit** : *les clients ne se soucient que de leurs produits spécifiques* (Mike, et al., 2008), c'est pour cela qu'une cartographie de la chaîne de valeur ne doit contenir que les processus qui servent le produit. Souvent, une analyse ABC (Analyse de Pareto qui vise à classer les produits en catégories A, B et C) est menée pour déterminer quels produits, ou familles de produits doivent être étudiés. Les produits sont considérés d'une même famille s'ils suivent les mêmes étapes d'assemblage ou on des équipements communs (Abideen, et al., 2020).

- **Assigner un responsable** : Comme tout autre projet du Lean, il est assigné un responsable à la cartographie de la chaîne de valeur. Ce dernier doit avoir une connaissance des différents processus de la chaîne, et des différents flux physiques et informationnels.

2- Cartographier l'état actuel : La première étape consiste à collecter les informations du terrain pour cartographier le processus actuel, en prenant l'information de sa plus fiable source ; les experts du processus.

Dans cette cartographie, on utilise les symboles standards de l'outil ; en commençant par représenter le client, jusqu'aux fournisseurs en parcourant tous les processus de fabrication. Ensuite, les flux informationnels entre les différentes parties prenantes de la Supply Chain sont mis en évidence.

Cette étape se termine par le calcul des leads times, cycle time, queue time, nombre d'effectif.

3- Analyse de l'état actuel : Elle consiste à analyser les gaspillages et à trouver les racines des problèmes. Cette analyse peut se faire en application de méthodologies de résolution des problèmes comme les 5 pourquoi.

C'est durant cette étape que viennent les idées d'amélioration pour l'état futur.

4- Cartographier l'état futur : Elle consiste à cartographier l'état futur comme il est vu par les participants du projet, dans un horizon de 12 mois, et estimer les données renseignées dans la VSM état actuel (Lead time, cycle time...etc.), avec la configuration future des processus.

5- Établir un plan d'action : Cette étape consiste à définir les actions et projets à entreprendre dans l'horizon d'un an pour implémenter la configuration future et atteindre les objectifs fixés.

Conclusion

Nous avons défini à travers ce chapitre les concepts du Lean en général, en détaillant les outils déployés. Nous avons défini la VSM telle qu'elle est définie par les précurseurs du Lean, nous définissons dans le chapitre qui suit la simulation qui fait d'une VSM classique une VSM dynamique.

Chapitre 04
Exploration approfondie de la Simulation :
État de l'art

Chapitre 04 : Exploration approfondie de la Simulation : État de l'art

Dans ce chapitre nous allons expliquer le concept de la simulation et son intérêt d'application à la Supply Chain. Nous parlerons aussi de ses modèles et ses différentes techniques. Nous décrirons aussi les différentes étapes suivies dans la littérature afin de mener à bien la simulation des flux, et nous revoyons l'état de l'art de la Dynamic Value Stream Mapping que nous avons appliqué dans le présent projet. Nous clôturerons ce chapitre par la définition du logiciel sur lequel nous avons simulé les flux.

4.1. La simulation en Supply Chain

On peut définir la simulation comme la technique d'exécution d'un modèle de système réel en vue d'étudier son comportement sans altérer l'environnement du système réel (Mohand, 2008).

Les termes "modèle" et "système" sont les deux éléments clés de la définition de la simulation (Pristsker, 1979).

Selon Robert Shannon, "*la simulation est le processus de design d'un modèle d'un système réel et de mener des expérimentations avec ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système et/ou d'évaluer diverses stratégies pour le fonctionnement du système en se basant sur un certain nombre de critères*". (Shannon, 1998, p.7). Cette définition met en évidence l'un des avantages de la simulation, qui consiste non seulement à évaluer un système, mais également à observer son comportement avec précision en suivant l'évolution de ses états au fil du temps.

De plus, pour Kim en 2004, « *la simulation est le processus de conception d'un modèle d'un système réel ou proposé (modélisé) au moyen d'objets abstraits dans l'effort de reproduire le comportement du système modélisé* » (Mohand, 2008, p.55). Cette deuxième définition complète la première en indiquant que la simulation ne se limite pas à reproduire le fonctionnement d'un système réel, mais qu'elle peut également être utilisée pour un système modélisé et l'étudier comme un prototype pour résoudre des problématiques communes à des systèmes réels.

Une autre définition est donnée par Alan Pristsker : « *La simulation est une représentation du comportement dynamique du système en le déplaçant d'un état à l'autre conformément à des règles d'exploitation bien définies* ». (Pristsker, 1979, p.1). Dans cette définition, il indique que chaque combinaison de valeurs de variables qui caractérisent ce système représente un état ou une condition unique du système, alors la manipulation des valeurs de la variable simule le mouvement du système d'un état à l'autre. C'est précisément ce qu'est la simulation.

L'établissement d'une chaîne d'approvisionnement solide est essentiel à la réussite des entreprises. Connaissant la complexité de cette dernière, la gestion des flux est l'un des principaux enjeux de la Supply Chain, permettant de trouver un juste équilibre entre les coûts d'approvisionnement, les frais de transport et les délais de livraison afin d'optimiser la

rentabilité de l'entreprise et satisfaire ses clients. Pour ce faire, il est important de prendre en compte les deux principaux flux de la chaîne d'approvisionnement : les flux physiques et les flux d'informations.

Un modèle de simulation aide justement à gérer ce volet. En effet, il permet d'intégrer l'ensemble des processus liés à la chaîne d'approvisionnement, en prenant en compte les différentes activités interconnectées par des flux de matières et d'informations. Et donc, c'est un outil idéal pour la l'analyse des complexités de la chaîne et la prise de décision (Fontanili, et al., 2008).

De plus, avec l'introduction du concept de Supply Chain Management, de nouveaux défis ont émergé en matière de simulation des flux. Les simulations ne se limitent plus à la modélisation d'un simple atelier, mais plutôt s'étendent aux réseaux complexes d'ateliers et d'entrepôts. De plus, il est souvent nécessaire d'interagir avec des simulateurs de planification de la production tels que PIC (Planification Industrielle et Commerciale), PDP (Plan Directeur de Production) et l'ordonnancement pour une meilleure synchronisation entre l'offre et la demande (Fontanili, et al., 2008).

En plus des besoins en matière de simulation des flux évoqués précédemment, la conception et le pilotage d'une chaîne logistique soulèvent ainsi de nombreuses interrogations. Par exemple, la modification de la configuration de la chaîne ou ce qu'on appelle la "Supply Chain Design", il est aussi important de comprendre quel sera l'impact sur les stocks. Les pics de demande peuvent également affecter la chaîne logistique, et il est crucial de déterminer comment y faire face. De même, il est nécessaire de mesurer les effets de toute modification des paramètres de gestion des stocks sur les niveaux de stocks, tout en veillant à ne pas impacter négativement le taux de service. Pour répondre à ces questions et garantir la fiabilité des décisions prises, les différents outils de simulation se révèlent être d'une aide précieuse et incontournable. Elle permet de tester différents scénarios et de comprendre les impacts potentiels de chaque décision avant de les mettre en œuvre dans la pratique. Ainsi, les entreprises peuvent minimiser les risques et maximiser l'efficacité de leur chaîne logistique grâce à l'utilisation d'outils de simulation (Fontanili, et al., 2008).

D'ailleurs, dans le contexte de l'aide à la décision dans un environnement de chaîne logistique stochastique, selon les études menées par Terzi et Cavalieri en 2004 et Wyland en 2000, la popularité croissante de la simulation dans l'étude des chaînes logistiques s'explique par sa capacité d'évaluer les variations du système et l'interdépendance de ses composants. (Mohand, 2008)

En plus, c'est un outil qui peut fournir un support multi décisionnel en ce qui concerne l'analyse « what-if » et l'évaluation des avantages quantitatifs, elle est ainsi considérée comme une technique d'analyse puissante (Hellström, et al., 2002).

Ainsi, les décideurs peuvent évaluer les changements apportés à une partie de la chaîne d'approvisionnement et visualiser leur impact sur les autres parties du système, ce qui leur permet d'avoir une idée précise de la performance de l'ensemble de la chaîne et de prendre des décisions éclairées.

4.2. La classification des modèles et les techniques de la simulation

La classification qu'on va présenter ici se base principalement sur le facteur du temps dans la représentation du système ou du processus réel étudié (Fontanili, et al., 2008).

Modèle	Statique	Dynamique	
Description	Un système dans un état stable et indépendant du temps. Il est davantage axé sur la structure et la composition du système plutôt que de son comportement.	Il se concentre sur l'exécution du système et prend en compte les changements qui se produisent au fil du temps. Il implique des séquences d'opérations, de changements d'état, d'activités, d'interactions et de mémorisation.	
Types	/	Continu	À événements discrets
		Un processus de changement continu d'état avec stimuli continu. En effet, il prend en compte l'évolution continue des variables du système.	Une séquence d'états qui changent de manière abrupte d'un instant à l'autre. Sa particularité est le déroulement du temps dans la simulation, qui avance en sautant d'un événement à un autre. Ces événements sont des points de transition qui marquent les changements d'état du système. Les modèles discrets peuvent être : Discrets dans le temps ou discrets dans les événements. (Luc, et al)

Table 4.1 : Classification des modèles de simulation

On peut classer les différentes techniques de simulation comme suit :

- **Les jeux d'entreprises (Business Games) :**

Une approche a été développée consistant à utiliser des jeux de gestion ou d'entreprise qui permettent aux dirigeants de prendre en main la gestion de la chaîne d'approvisionnement et de son environnement simulé (Francisco, et al., 2011).

Ces jeux peuvent avoir des objectifs éducatifs et de recherche. Par exemple, le jeu de simulation participatif appelé "Lean Leap Logistic Game" met en évidence l'utilisation d'un modèle de

simulation pour comprendre la dynamique d'une chaîne d'approvisionnement dans le secteur automobile et pour explorer des améliorations potentielles (Francisco, et al., 2011).

Kleijnen et Smits en 2003 catégorisent les jeux d'entreprise en deux sous-types distincts :

-Les jeux stratégiques qui impliquent plusieurs équipes de joueurs représentant des entreprises concurrentes dans un environnement simulé, permettant donc d'explorer les interactions entre ces entreprises et les conséquences de leurs décisions stratégiques. Un exemple célèbre de ce type de jeu est le "jeu de la bière" qui met en évidence l'effet "Bullwhip" (John, et al., 2015).

-Les jeux opérationnels qui impliquent une seule équipe, composée d'un ou plusieurs joueurs, qui interagit avec un modèle de simulation en temps réel pendant plusieurs rounds. Ce type de jeu est souvent utilisé dans le cadre de la formation à la planification de la production, car il permet aux participants de prendre des décisions opérationnelles et d'observer les résultats de leurs actions (Francisco, et al., 2011).

- **La dynamique des systèmes (SD) :**

La dynamique des systèmes est développée par Jay Wright Forrester pour modéliser et simuler des systèmes complexes, physiques et sociaux, et pour concevoir des stratégies de gestion et de changement, car elle se base principalement sur l'analyse des systèmes. D'ailleurs, elle est fréquemment utilisée dans l'analyse des politiques stratégiques. (Sweetser, 2019)

La dynamique des systèmes (SD) promeut une vision quasi-continue des flux (matières, informations, personnels, argent...) (Fontanili, et al., 2008). Elle se concentre sur la structure d'un système et offre une perspective systémique, c'est-à-dire les composantes et les relations entre elles déterminent sa performance. En comprenant clairement les liens entre les personnes, les organisations, les processus et les ressources, il est possible d'optimiser la structure d'un système pour améliorer sa performance.

C'est pourquoi, la SD vise à rendre explicites les liens importants entre les objets d'un système, qui sont représentés par des boucles de rétroaction (feedback loop), où un changement dans une variable affecte d'autres variables du système. Par la suite, ces échanges d'informations engendrent des changements dans le comportement du système au fil du temps, et c'est ça qui rend les modèles SD « Dynamiques » (Sweetser, 2019).

Il est à noter que les modèles SD incluent souvent des variables qualitatives « soft » qui ne peuvent pas être facilement quantifiées de manière empirique, et certaines composantes du modèle reposent sur des données anecdotiques et sur les estimations des experts du domaine (Sweetser, 2019).

- **SpreadSheets-Based Simulation :**

La simulation basée sur des tableurs utilise un tableur comme outil pour modéliser, échantillonner, calculer et présenter les résultats d'un modèle.

L'utilisation de tableurs électroniques pour stocker des informations et effectuer des calculs a été introduite par Mattesich en 1961, à une époque où les ordinateurs étaient principalement des machines centrales. Cependant, les tableurs tels que nous les connaissons aujourd'hui ont émergé avec l'avènement des micro-ordinateurs.

Ces outils, tels que VisiCalc, Lotus 1-2-3TM, Microsoft ExcelTM et Quattro ProTM, ont élargi les fonctionnalités des tableurs et les ont transformés en outils de modélisation, de prototypage, d'analyse et de présentation visuelle. Et donc, ils possèdent une grande puissance et permettent sans aucun doute de développer une vaste gamme de modèles de simulation.

De plus, en raison de leur standardisation en tant que plateforme pour représenter des calculs, les tableurs sont devenus un moyen couramment utilisé par les développeurs et les utilisateurs pour partager facilement des modèles de simulation. C'est pourquoi, il est considéré comme une plateforme de simulation très pratique permettant des échanges simplifiés entre les différentes parties prenantes (Seila, 2006).

- **Agent-Based Simulation (ABS) :**

Les agents et les systèmes multi-agents sont particulièrement adaptés à la modélisation et à la simulation du comportement dynamique des réseaux d'approvisionnement (Swaminathan, et al., 1998). Elle offre une flexibilité pour les modéliser à différentes échelles et niveaux de détail (Long, 2014).

L'objectif est d'évaluer les effets de ces agents sur le système dans son ensemble et non pas d'une manière individuelle. En effet, l'intérêt d'utiliser une simulation basée sur les agents est qu'elle permet de modéliser des scénarios complexes où les effets sur le niveau collectif ne sont pas immédiatement apparents ou évidents, même si les hypothèses sur le comportement individuel sont assez simples (Mustafee, et al., 2014).

Dans cette approche, chaque entité est représentée par un agent ou une équipe d'agents, et leurs interactions et négociations sont représentées à travers les interactions entre les agents. Cela permet de construire un système multi-agents qui peut ensuite être simulé en modifiant les scénarios ou la configuration du réseau afin de réaliser des analyses de type « what-if » (Long, 2014).

L'objectif principal est d'aider les décideurs à améliorer leur compréhension du comportement et de la performance du réseau de chaîne d'approvisionnement modélisé, tout en stimulant l'émergence de nouvelles perspectives en matière de gestion (Labarthe, et al., 2006).

Cependant, il est important de prendre en compte que malgré les avantages que présente la simulation basée sur les agents dans l'analyse dynamique, il n'existe pas de norme générique largement acceptée pour cette approche (Long, 2014). Cela signifie qu'il n'existe pas une méthode standardisée ou un cadre adopté pour cette dernière, mais plutôt chaque étude peut utiliser des approches différentes, ce qui peut rendre difficile la comparaison et la validation des résultats ainsi que l'interprétation entre différentes simulations basées sur les agents, et ainsi limite la possibilité d'établir des généralisations ou des conclusions universelles.

Il est aussi à noter qu'actuellement les recherches en cours négligent la synchronisation des sous-modèles et la gestion de la distribution des données dans les simulations basées sur les agents (Long, 2014). Il est donc essentiel de travailler ce volet lors de la mise en place de cette approche, car il est important d'assurer le bon fonctionnement et la cohérence des données dans un environnement distribué.

- **Discret event simulation (DES) :**

Étant donné que nous prévoyons d'utiliser cette approche dans notre projet, il est nécessaire de fournir plus de détails sur cette partie.

La simulation à événement discrets est apparue dans les années 1950 (Mascart, et al., 2020). Elle offre une représentation détaillée et des dépendances temporelles complexes, dépassant ainsi les capacités des autres modèles (Mustafee, et al., 2014). D'ailleurs, elle est considérée l'une des techniques les plus populaires au monde de nos jours. (Sparks, 2014). Elle est la plus fréquemment utilisée pour représenter les processus de production (Guillaume, 2010), et se révèle particulièrement efficace pour modéliser des systèmes de file d'attente (Mustafee, et al., 2014).

Et comme son nom l'indique, elle se base sur la notion d'événement, qui marque le début d'une activité dans le temps, où les objets impliqués dans cet événement sont mis à jour et peuvent définir de nouveaux événements à venir (Sparks, 2014).

Il est à noter que le facteur temps dans cette technique ne s'écoule pas de manière linéaire, mais plutôt par des intervalles irréguliers (Klingstam et al., 1999).

La simulation à événements discrets trouve ses principales applications dans la modélisation des flux de matériaux, l'analyse des systèmes de production et la simulation des flux d'information. Ces domaines d'application peuvent être subdivisés en tâches plus spécifiques et précises à examiner, telles que la gestion des stocks, le suivi du travail en cours, les files d'attente et les temps de transport, etc. (Klingstam et al., 1999).

Les éléments qui constituent un modèle de simulation discret sont :

Le système : c'est l'ensemble de processus traversés par les entités.

Les entités : ce sont les objets modélisés qui possèdent des attributs uniques.

Les processus : ce sont des séquences d'activités qui sont gérées par des ressources et qui agissent sur les entités.

Ainsi, la notion d'événement est une classe d'objets avec les attributs clés suivants : (Guillaume, 2010)

- Nom : le nom de l'événement ;

- Date : la date de début de l'événement ;

- Objet support : la référence à l'objet responsable des activités déclenchées par cet événement, et éventuellement des objets indirectement associés.

-Méthode de priorisation : qui permet de choisir un événement parmi plusieurs déclenchés à la même date.

Selon Thierry en 2008, l'algorithme de simulation d'un modèle à événements discrets consiste en une boucle itérative de sélection et de mise à jour des événements dans le temps, et peut être décrit en quatre phases principales, comme indiqué ci-dessous : (Guillaume, 2010)

- Phase 1 : Initialisation du système : Tout d'abord, le système doit être initialisé avec des objets et des valeurs initiales pour leurs attributs, ainsi qu'une liste d'événements ordonnés dans le temps.

- Phase 2 : Choix de l'événement : Ensuite, le prochain événement dans la liste est choisi et, si nécessaire, les événements simultanés sont ordonnés en utilisant des règles prédéfinies.
- Phase 3 : Mettre à jour l'état du système : Ensuite, l'état du système est mis à jour en prenant en compte les effets de l'événement choisi, à savoir la création ou la suppression d'objets, l'activation de méthodes ou la modification des attributs des objets.
- Phase 4 : Ajout des événements futurs : Enfin, le ou les événements qui sont générés par l'événement sélectionné sont ajoutés à la liste, et le processus recommence à partir de la phase 2 jusqu'à ce que la date de fin de la simulation soit atteinte.

La figure ci-dessous illustre le principe de fonctionnement du modèle à événements discrets, comme a été déjà expliqué.



Figure 4.1 : Principe de fonctionnement d'un modèle à événements discrets (Guillume, 2010, p.92)

4.3. La conduite d'une simulation : Méthodologie à suivre pour mener à bien une étude de simulation

Puisque notre étude s'inscrit dans le cadre d'une simulation à événements discrets, on présentera ici un processus destiné à être utilisé d'une manière générale dans la conception et la réalisation des études de simulation basées sur cette approche.

Ce processus a été proposé en se basant sur les travaux de Law en 2006 et Banks en 1998, et spécifiquement adapté à la recherche en logistique et en chaîne d'approvisionnement. Il est appelé SMDP, et résumé dans la Figure 4.2 et représente une norme à laquelle les chercheurs peuvent se conformer pour garantir la rigueur académique (Manuj, et al., 2009).

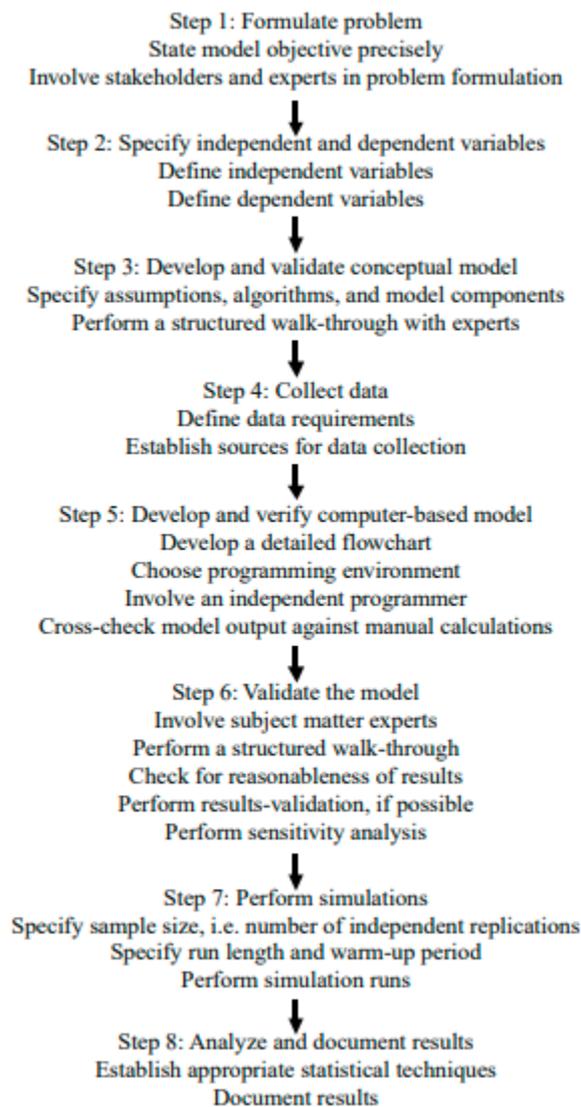


Figure 4.2 : SMDP développé basé sur Law, Banks et Bienstock (Manuj, 2009, p.5)

1- La formulation du problème :

Cette étape vise à définir les objectifs globaux et les questions spécifiques auxquels le modèle de simulation doit répondre. Le manque d'attention à cette étape peut entraîner des échecs dans les performances des modèles.

Une fois que le problème est clairement défini, il devient possible de spécifier avec précision les mesures de performance souhaitées, la portée du modèle, la période et les ressources requises.

2- Spécification des variables indépendantes et dépendantes :

Les variables dépendantes reflètent les critères de performance, tandis que les variables indépendantes comprennent les paramètres du système.

Au cours de la simulation du système, les variables indépendantes sont manipulées pour étudier leur effet sur les variables dépendantes. Par la suite, l'analyse de ces dernières permet de répondre au problème formulé à l'étape 1.

Il est important d'inclure tous les facteurs qui influencent les réponses recherchées, tels que les aspects techniques, légaux, managériaux, économiques, psychologiques, organisationnels, monétaires et historiques. Il est possible de s'appuyer sur des sources variées, telles que des recherches antérieures et l'expertise des parties prenantes, pour identifier les variables d'intérêt et s'assurer de leur inclusion adéquate.

3- Développer et valider le modèle conceptuel :

Le modèle conceptuel est une représentation abstraite du système réel étudié, utilisant des relations mathématiques et logiques pour décrire les composants et la structure du système. Il est essentiel d'établir des hypothèses explicites et de détailler les relations incluses dans le modèle conceptuel afin de garantir sa cohérence avec le problème posé.

Par la suite, il faut valider ce modèle en le présentant lors d'une réunion structurée impliquant des analystes, des programmeurs informatiques et des experts du domaine afin de s'assurer que tous les aspects inclus sont bien corrects.

4- La collecte de données :

Dans cette étape, il faut d'abord définir les besoins en données pour spécifier les paramètres du modèle, la configuration du système et les distributions de probabilité des variables d'intérêt. Elles peuvent être obtenues à partir de diverses sources telles que les bases de données de l'entreprise, les entretiens, les enquêtes et les publications.

Avant d'être utilisées dans le modèle, les données doivent souvent être vérifiées, nettoyées et mises à jour pour corriger les erreurs ou les données manquantes.

Des techniques telles que la méthode Delphi et l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) peuvent également être utilisées pour convertir des données qualitatives en données quantitatives et pour hiérarchiser les éléments à inclure dans le modèle.

La méthode Delphi permet d'obtenir un consensus en interrogeant à plusieurs reprises des experts qualifiés, en prenant en compte les informations fournies lors des interrogations précédentes. L'AMDE est souvent utilisée dans l'ingénierie pour identifier et classer les modes de défaillance potentiels d'une conception ou d'un processus, afin de prioriser les actions d'amélioration.

5- Développer et vérifier le modèle informatique :

En premier lieu, il s'agit de développer le modèle informatique du système. Banks en 1998 propose une approche progressive pour le développement des modèles, en commençant par une version simple et en ajoutant de la complexité étape par étape jusqu'à obtenir un modèle détaillé et complexe acceptable.

Par la suite, une étape de vérification doit être effectuée. Elle consiste à déterminer si la mise en œuvre informatique du modèle conceptuel est correcte. La vérification comprend l'examen des résultats des sous-modèles et du modèle de simulation complet afin de s'assurer que les modèles s'exécutent et se comportent de manière acceptable, en débarrassant les erreurs de logique de programmation et de code.

6- La validation du modèle :

Cette étape est essentielle pour déterminer si la simulation représente de manière précise le système étudié.

D'une part, lorsque cela est possible, les sorties de la simulation informatique peuvent être comparées aux données de sortie du système réel, ce qui constitue une validation entrée-sortie. D'autre part, une méthode statistique couramment utilisée pour analyser des séries temporelles réelles ou simulées est l'analyse spectrale. Elle permet de détecter les écarts par rapport aux niveaux moyens d'une activité donnée et d'identifier leur période ou durée.

Il est également recommandé d'effectuer des analyses de sensibilité sur le modèle programmé afin d'identifier les facteurs ayant le plus grand impact sur les mesures de performance, de tester la stabilité du modèle et d'évaluer la sensibilité de l'analyse aux changements d'hypothèses.

7- Effectuer la simulation :

Exécution de la simulation pour générer les données souhaitées.

Cette phase implique l'utilisation du modèle comme un outil expérimental pour évaluer le comportement dynamique du système. Chaque scénario ou expérience se caractérise par un ensemble de données variables à chaque itération du processus expérimental.

8- Analyse et interprétation des résultats :

Cette partie convient à analyser les résultats de la simulation et tirer des inférences à partir des données générées par cette dernière.

Les études de notre échantillon utilisent diverses techniques d'analyse pour examiner les résultats. Celles-ci incluent l'inspection visuelle des graphiques, l'utilisation de mesures telles que la moyenne, les limites inférieure et supérieure, l'écart-type et les percentiles des variables dépendantes. Les chercheurs ont également recours à des méthodes telles que la méthodologie de surface de réponse, l'ANCOVA, l'ANOVA et différentes techniques de comparaisons multiples.

De plus, il peut être important de vérifier si les données suivent une distribution normale ou s'il existe une autocorrélation entre les variables.

Il est important de comprendre que le temps consacré à la compréhension du problème et à la conception du modèle est essentiel pour mener à bien une étude de simulation. En effet, les informaticiens ont développé des méthodes de conception et de gestion qui recommandent de consacrer 40% du temps aux étapes 1 à 4, 20% à l'étape 5 et 40% aux étapes 6 à 8 (Shannon, 1998).

4.4. La différence entre la Value Stream Mapping et Dynamic Value Stream Mapping

Malgré les avantages de l'outil VSM (Value Stream Mapping) pour visualiser l'application des principes Lean, il présente certaines limites qui restreignent son utilisation à grande échelle.

La VSM actuelle est statique et ne permet pas de représenter de manière précise les problèmes de variabilité liés aux processus analysés, ce qui le rend inadapté et inefficace aux systèmes de Supply Chain actuels, dynamiques et complexes (Thulasi, et al., 2022).

De plus, le VSM traditionnel présente une lacune en termes de développement rapide et d'évaluation de multiples analyses de type "What-if" qui sont nécessaires pour hiérarchiser différentes alternatives du système. (Long, 2014)

Afin de remédier à ces limitations, la simulation informatique utilisant la méthode de simulation à événements discrets (DES) a été intégrée au VSM classique pour démontrer le comportement dynamique et simuler des alternatives possibles du flux de valeur futur (Thulasi, et al., 2022).

En effet, cette approche permet de définir les paramètres de base pour ce dernier et d'évaluer les effets de ces paramètres sur les performances du système (Long, 2014). Elle permet également de générer les besoins en ressources (Thulasi, et al., 2022).

Ainsi, la direction peut évaluer si l'exécution du flux de valeur futur peut fonctionner de manière optimale par rapport au flux de valeur actuel, sans compromettre les fonctions essentielles du système de production, en se basant sur les résultats obtenus grâce à la simulation (Thulasi, et al., 2022).

4.5. La définition du logiciel utilisé pour la simulation

Afin de surmonter la contrainte mise en évidence dans la partie précédente, il est nécessaire de disposer d'un outil de soutien permettant de gérer les incertitudes du VSM.

Il existe plusieurs logiciels de simulation à événements discrets, nous pouvons citer AnyLogic, Wittness, FlexSim, SIMUL8, Sim3D, SimScale et Arena, sur lequel notre choix s'est porté pour des raisons qu'on va expliciter dans le chapitre 06.

Le logiciel Arena est l'un des simulateurs les plus utilisés pour effectuer des simulations à événements discrets (Mohand, 2008).

C'est une application intégrée au système d'exploitation Microsoft® Windows®, offrant une interface conviviale pour la modélisation et la simulation. De plus, il est entièrement compatible avec d'autres logiciels Windows (Kelton, et al., 2015).

SIMAN-ARENA a été créé en 1982 par C.D. Pedgen de System Modeling Corporation. Il s'agit d'un langage de type interaction de processus, avec ARENA étant la version "graphique" de SIMAN.

Le logiciel permet de décrire le modèle du système simulé en utilisant des blocs fonctionnels provenant de bibliothèques ARENA, qui peuvent être assemblés en série, en parallèle ou en rétroaction (BACHIRI, et al., 2016).

Dans son étude, Ahmed Abedeen a utilisé ARENA pour évaluer un système de fabrication de produits de contrôle de mouvement à haute performance. Les résultats de l'étude ont démontré

l'importance de la simulation pour évaluer différentes cartographies de l'état futur (Thulasi, et al., 2022).

De plus, la recherche a souligné que la simulation peut fournir une exploration de divers scénarios complémentaires à ceux obtenus à partir de la cartographie de l'état futur (Abideen, et al., 2020).

4.5.1. Les éléments de base du simulateur ARENA

Arena utilise une approche de programmation qui combine à la fois la programmation visuelle et textuelle. Lors d'une session typique d'Arena, les activités suivantes sont réalisées : (Tayfur, et al., 2010).

- Sélectionner des icônes de modules/blocs à partir d'un panneau de modèles et les placer sur un canevas de modèle graphique en les faisant glisser et les déposer.
- Établir des connexions graphiques entre les modules pour représenter les chemins de flux physiques des transactions et/ou les chemins de flux logiques du contrôle.
- Paramétrer les modules ou les éléments en utilisant un éditeur de texte.
- Rédiger des fragments de code dans les modules en utilisant un éditeur de texte.

La figure suivante illustre les processus de base du simulateur ARENA :

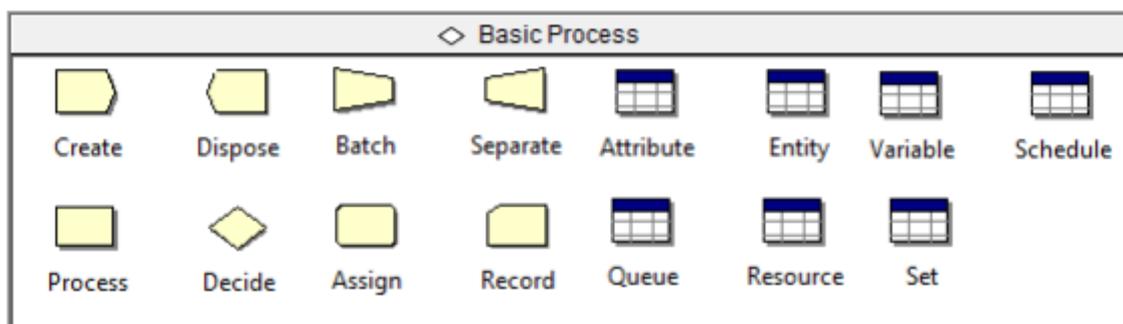


Figure 4.3 : Processus de base d'ARENA (BACHIRI, et al., 2016, p.29)

Conclusion :

En conclusion, nous pouvons dire que la simulation permet aux gestionnaires de visualiser l'impact potentiel des changements majeurs tels que la réorganisation de l'agencement, la planification des ressources, etc., sur les indicateurs clés de performance avant et après la mise en œuvre des principes lean, et ce, sans nécessiter un investissement initial important (Thulasi, et al., 2022).

Chapitre 05

Diagnostic de l'état actuel de la VSM

Chapitre 05 : Diagnostic de l'état actuel de la VSM

Après avoir décrit la Supply Chain du site LMB, exposé le diagnostic de notre étude ainsi que la problématique qui en découle, et également identifié les outils que nous allons utiliser pour traiter cette problématique, nous présenterons dans ce chapitre l'objectif de l'étude ainsi que la méthodologie suivie pour le traitement de la problématique. Nous aborderons par la suite la première phase de son traitement qui consiste en une analyse approfondie de l'état actuel de la VSM.

Nous avons suivi tout au long de ce projet les étapes recommandées par la cLean Academy, qui a adapté le Lean management au besoin de la division de production de Novo Nordisk.

5.1. Objectif de l'étude et méthodologie

Afin de définir clairement notre objectif d'étude, nous avons utilisé la méthode SMART :

- **Spécifique** : Optimisation du lead time global de la Supply Chain de LMB par l'application d'une Dynamic Value Stream Mapping.
- **Mesurable** : Lead time de chaque étape du processus, les temps à valeur ajoutée et à non-valeur ajoutée et les temps d'attente.
- **Atteignable** : Élimination des gaspillages dans toute la chaîne de valeur et identification des opportunités d'amélioration.
- **Réalisable** : Établir la VSM en collaboration avec les experts des activités de la Supply Chain pour pouvoir atteindre l'objectif fixé.
- **Temporelle** : Atteindre l'objectif de la réduction du lead time dans une période de 12 mois.

Dans le but de décrire notre méthodologie de développement de la solution, nous avons utilisé un diagramme de flux (Figure 5.1), contenant 4 étapes essentielles :

- Etapes de préparation
- Elaboration de l'état actuel de la VSM
- Elaboration de l'état futur de la VSM
- Simulation

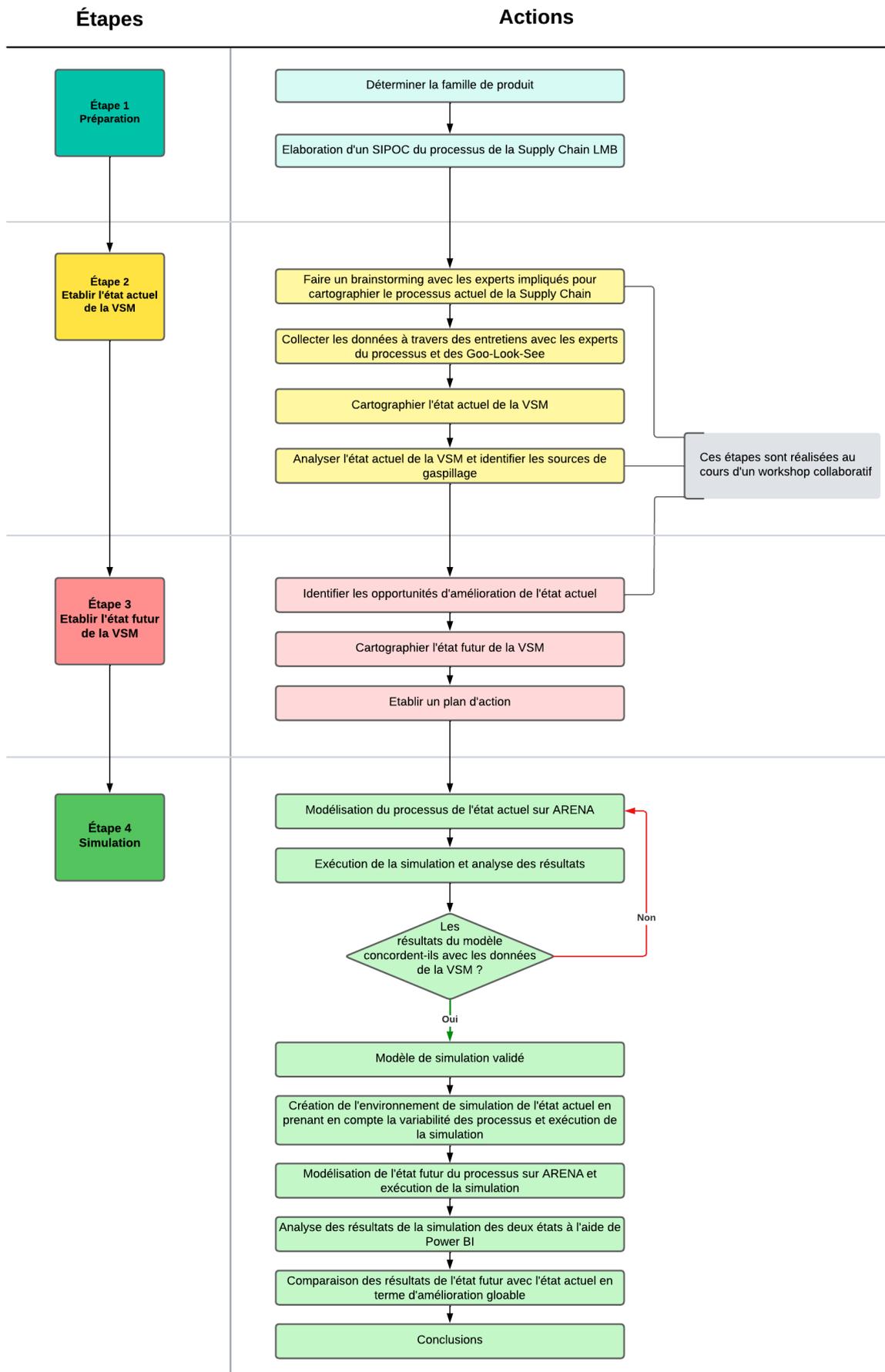


Figure 5.1 : Méthodologie de développement de la solution

5.2. Etape de préparation

5.2.1. La famille de produit

Les 4 produits assemblés à LMB constituent une seule famille de produits, car ils ont tous la même nomenclature, constituée de composants produits par les mêmes fournisseurs, suivent le même processus d'assemblage, et sont destinés au même client. En conséquence, la Supply Chain de l'entreprise est cartographiée dans une seule VSM englobant les différents produits.

5.2.2. L'Élaboration d'un SIPOC de la Supply Chain de LMB

Dans cette partie, afin de mieux comprendre la portée de l'analyse et en définir les limites, nous examinons les différentes relations et les interactions entre les partenaires externes et internes au site LMB, ainsi que les processus impliqués et le flux de travail de la Supply Chain de celui-ci, et cela d'une manière macroscopique.

Pour ce faire, nous avons utilisé le diagramme SIPOC comme étape préliminaire avant la modélisation de l'état actuel de la VSM.

Ce diagramme nous a permis d'obtenir une vue d'ensemble des parties prenantes de la Supply Chain du site, en se concentrant sur les fournisseurs, les entrées, les processus, les sorties et les clients pour mieux visualiser et comprendre les relations entre ces éléments clés.

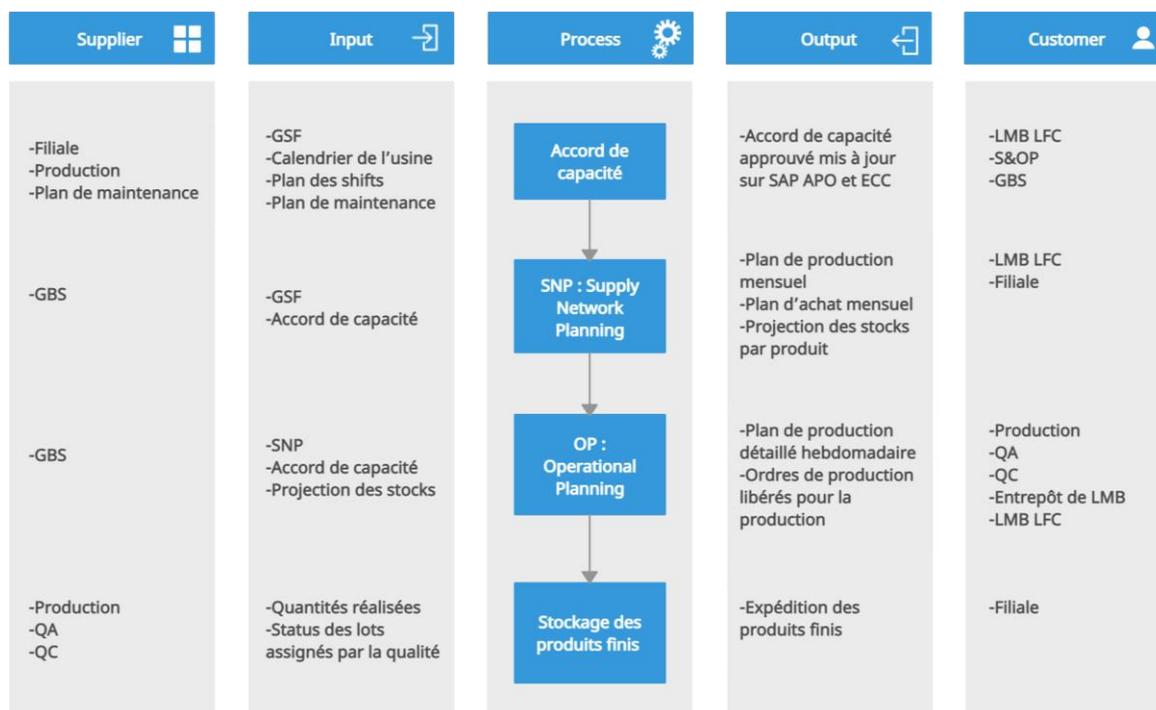


Figure 5.2 : SIPOC du processus de la Supply Chain de LMB

À partir de là, nous pouvons élaborer des flux de processus détaillés à travers l'état actuel de la VSM.

5.3. Cartographie de l'état actuel de la VSM

Dans cette étape, nous avons organisé un atelier collaboratif en présence des experts des différents processus de la chaîne de valeur cartographiée.

- Nous avons commencé par cartographier les principaux processus en commençant par représenter les parties prenantes externes à LMB, le client et les fournisseurs.
- Ensuite, nous avons cartographié l'ensemble des processus dans leur ordre logique, en commençant par ceux qui initient la production, notamment les étapes du Supply Network Planning. En passant ensuite aux étapes d'approvisionnement, d'assemblage et de conditionnement, tout en mettant en évidence les processus visant à assurer la qualité du produit qui sont les contrôles qualités et les revues de l'AQ.
- Puis, nous avons décrit la nature des flux physiques entre les différents processus, et terminé le mapping avec la représentation des flux informationnels en identifiant les échanges d'informations entre toutes les parties prenantes de la chaîne.
- Le mapping a été suivi d'une collecte des données spécifiques à chaque étape du processus, en identifiant les sources potentielles de gaspillage ou d'inefficacité.
- Une séance de brainstorming a eu lieu, où les participants ont donné leurs propositions pour améliorer leurs processus conduisant ainsi à cartographier un état futur.
- Enfin, un plan d'action a été établi sur la base des améliorations identifiées, en évaluant ensuite sa faisabilité et horizon d'implémentation.

Dans cette partie, nous analysons chacun des processus cartographiés.

→ Phase 1 : Client

La filiale de distribution constitue le seul client de LMB, et la source de prévisions de ventes. Chaque mois, elle élabore ces prévisions et les communique aux partenaires S&OP, GBS et LMB.

Elle a accès aux statuts des lots, et se charge de planifier leurs transferts à ses entrepôts dès qu'ils sont libérés par la direction technique de LMB.

Le délai d'arrivée de son transport chez LMB dépend de la disponibilité de sa flotte de transport, mais aussi de son besoin en produits et de son niveau de stock.

→ Phase 2 : Fournisseurs

Les fournisseurs de LMB sont des sites de Novo Nordisk spécialisés :

- **Les cartouches** : Elles sont fournies par le département Product Supply Injectable Finished Products (PS IFP), précisément par son site de production à Chartre (en France) pour les cartouches Flexpen®, et de Bagsvaerd pour les cartouches du GLP-1. La durée de ce processus est de 130 jours, mais elle peut varier selon la demande provenant des autres sites de production ou de distribution dans différents pays, qui sont parfois plus prioritaires que LMB.

- **Les composants en plastique** : Ils sont fournis par DMS, qui gère les relations avec les partenaires producteurs basés au Danemark. Ce fournisseur adopte une approche de production sur stock (Make To Stock) et le lead time de ce processus est de 38 jours.
- **Les articles de conditionnement (PPM)** : ils sont fournis par SoOp, et sont produits par des sous-traitants de Novo Nordisk basés au Danemark. Ces articles sont personnalisés pour chaque site de production, ce qui leur nécessite une approche de production sur commande (Make To Order). En conséquence, le lead time de ce processus est un peu plus long, soit 67 jours.

Tous les fournisseurs préalablement cités envoient leurs produits au Shipping Hub qui possède des structures logistiques de capacités importantes, lui permettant de stocker et de gérer les expéditions des 3 types de matières premières à LMB, par navire pour les PPM et les composants en plastique et par avion pour les cartouches d'insuline.

Les lead time mentionnés pour chaque fournisseur comprennent à la fois le lead time de production chez ce dernier et le lead time du transport, qui inclut le temps nécessaire pour acheminer les produits au port d'Algérie en passant par le Shipping Hub.

La durée de chaque processus dépend de plusieurs paramètres, à savoir la disponibilité des matières chez le fournisseur, il dépend aussi de la demande des autres sites de production qui sont parfois plus prioritaires que LMB, notamment quand il s'agit de sites de production stratégiques qui exportent vers plusieurs marchés.

Le délai le plus long des différentes matières est celui qui est pris dans la VSM.

→ Phase 3 : Réception des matières premières

La réception des matières premières se fait physiquement en 1 heure, tandis que la réception sur système se fait en 2 jours. Ce délai d'exécution est dû à l'association du numéro d'expédition avec chaque palette sur système manuellement.

Les données relatives à ce processus sont présentées dans le tableau 5.1 :

Processus de réception des matières premières	
Temps de cycle	1 heure
Lead time	2 jours
Nombre d'opérateurs	8
Nombre de shift	2

Table 5.1 : Les données relatives au processus de réception des matières premières sur le site de LMB

Afin de bien comprendre le processus de réception des matières premières, nous l'avons modélisé avec l'outil BPMN. (Voir Annexe D)

Le magasin du site LMB est composé de 2 chambres :

- Une chambre ambiante d'une capacité de 1400 palettes, dans laquelle sont stockés les composants en plastique et les articles de conditionnement, qui se trouvent dans une zone sécurisée pour protéger à la fois les patients et l'image de l'entreprise. Sur les 1400 positions, 200 positions sont réservées aux consommables.
- Une chambre froide d'une capacité de 750 palettes, dans laquelle sont stockés les cartouches d'insuline, les produits semi-finis et les produits finis.

La gestion du magasin est supportée par un Warehouse Management System SAP, qui facilite la gestion des flux entrants et sortants.

Le schéma du magasin de LMB est représenté par la figure 5.3.

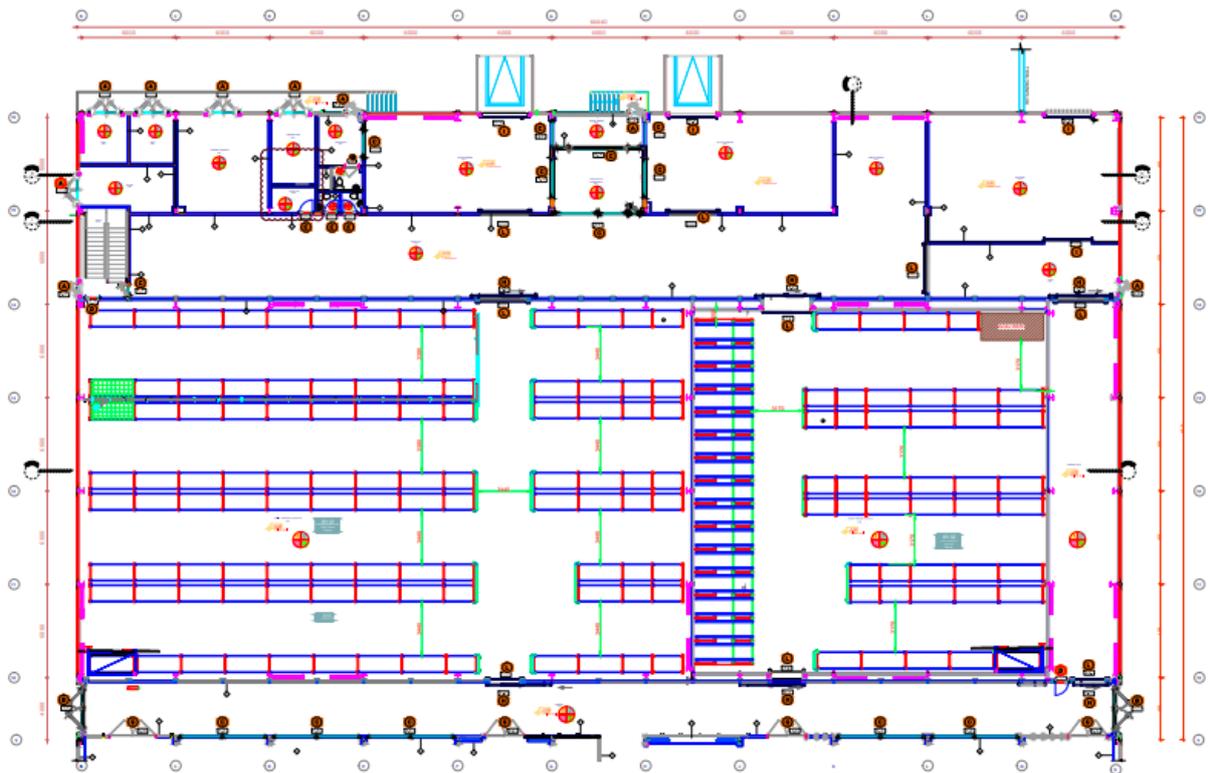


Figure 5.3 : Schéma du magasin de LMB (Document interne à l'entreprise)

→ Phase 4 : Assemblage

L'unité d'assemblage représente l'espace où est installée la ligne d'assemblage du FlexPen® et Pen Injector, appelée NOR12. L'outil 5S est déployé pour l'arrangement de l'unité d'assemblage.

Les étapes clés du processus d'assemblage sont résumées dans la figure suivante.

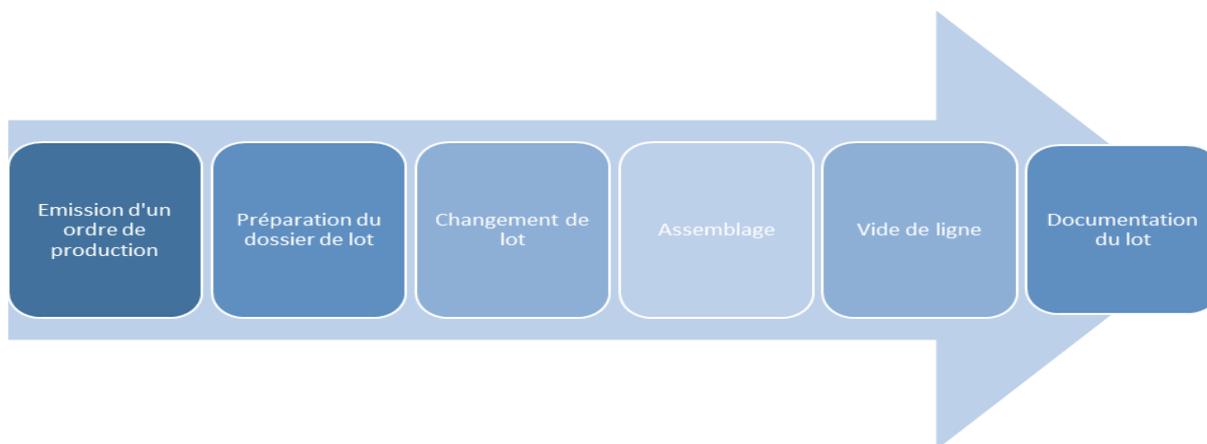


Figure 5.4 : Les étapes du processus d'assemblage au niveau de LMB

Le processus d'assemblage est initié par un ordre de production émis sur SAP.

Un dossier de lot ¹ est constitué juste après l'émission de cet ordre de production. En parallèle, un changement de lot est effectué, il consiste à faire des activités qui permettent le passage d'un lot de produit à un autre selon une approche d'assurance qualité, basée sur les BPF qui garantit la sécurité du patient.

Ensuite, l'assemblage s'effectue sur la ligne NOR 12 de capacité théorique de 180 stylos par minute ; en même temps la ligne prélève des échantillons dont la taille dépend de la taille du lot, puis les place dans une zone dédiée spécifique. Ces échantillons sont envoyés juste après l'assemblage de la dernière unité au laboratoire de contrôle qualité.

Toutes les étapes introduites sont documentées sur le dossier de lot, tout comme la consommation des matières premières, ainsi que les informations relatives à la chaîne de froid, et sa corrélation avec son temps de conservation.

Le lead time de ce processus est de 3 jours.

L'unité d'assemblage travaille en 2 shifts tous les jours de la semaine avec une durée de 10h par shift. Pour chaque shift, 6 opérateurs travaillent au niveau de la ligne d'assemblage et un coordinateur SAP travaille sur le système SAP.

Les données relatives à ce processus sont résumées dans la table 5.2.

¹ Un dossier de lot est un document qui contient les ingrédients approuvés, la formulation et les instructions guidant la production d'un produit pharmaceutique. Ce document permet aux fabricants de suivre les directives réglementaires nécessaires à la fabrication d'un produit, (Voir annexe B).

Processus d'assemblage	
Temps de cycle	0.59 secondes
Lead time	3 jours
Nombre d'opérateurs	14
Nombre de shift	2

Table 5.2 : Les données relatives au processus d'assemblage au niveau de LMB

La figure suivante montre la disposition des zones dans l'unité d'assemblage :

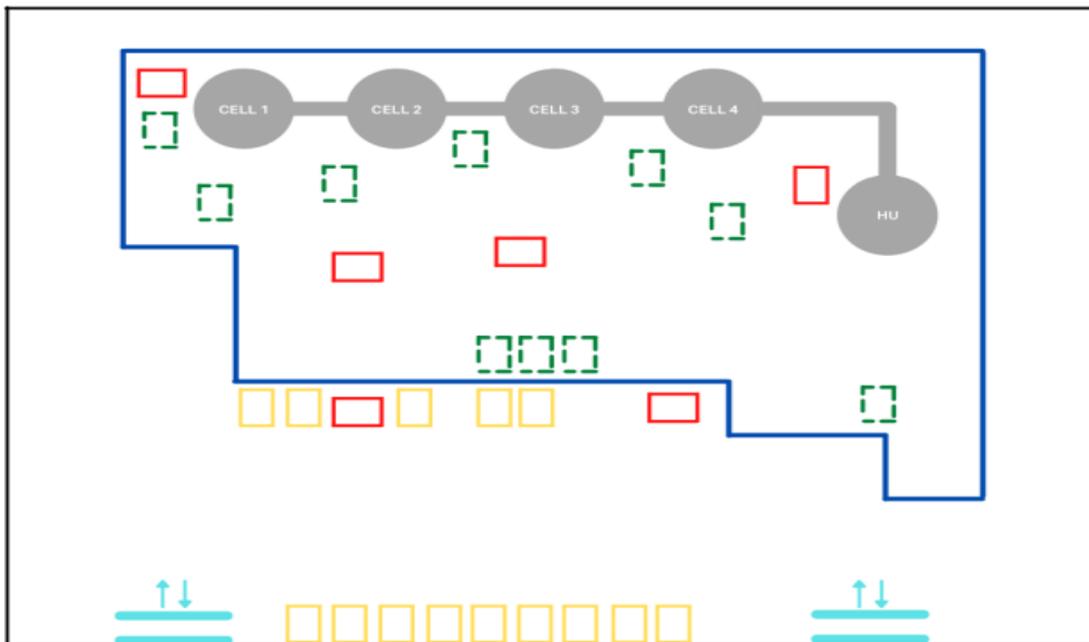


Figure 5.5 : Disposition des zones cLean et GMP au niveau de la ligne d'assemblage des FlexPen® et Pen Injector (Document interne à l'entreprise)

La table suivante désigne le marquage de couleur au sol :

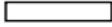
Zone	Correspondance	Remarque
La Zone Bleue 	La ligne relative à la zone de production	Conforme aux BPF
La Zone Jaune 	Stockage de matériel hors ligne	Initiative Lean
Pointillé Blanc 	Remise de matériel	Initiative Lean
La Zone Blanche 	Remise de matériel	Initiative Lean
La Zone Rouge 	Déchets	Conforme aux BPF
Pointillé Vert 	Stockage de matériel dans la zone bleue	Initiative Lean
Pointillé Bleu 	Zone de mobilité d'équipement	Initiative Lean

Table 5.3 : Code couleur des marquages au sol de la ligne d'assemblage (Document interne à l'entreprise)

→ Phase 5 : Le contrôle qualité (QC)

Le processus de contrôle qualité consiste à faire des tests sur des échantillons prélevés de chaque lot. L'échantillonnage étant automatisé sur la ligne d'assemblage NOR12, l'OPC consiste à faire 3 types de tests :

- La précision de la dose : pour un échantillon de 125 à 160 stylos. Cette opération nécessite environ 4 à 5 heures.
- Le volume extractible : pour un échantillon de 5 stylos qui dure environ 45 min.
- La dose de force : pour un échantillon de 125 à 160 qui nécessite environ 3 à 4 heures.

Par conséquent, le temps de cycle total de ce processus est de 8 heures et 45 minutes. En parallèle des tests effectués, le QC se charge également de la préparation du dossier de lot, et le lead time de tout le processus est de 3 jours.

L'unité QC travaille actuellement en un seul shift, avec 2 analystes.

En plus des OPC, le QC est chargé d'inspecter les PPM après leur réception.

Les données relatives à ce processus sont résumées dans la table 5.4.

Processus QC		
	OPC	PPM
Temps de cycle	8h45min	1h
Lead time	3 jours	0.5 jour
Nombre d'opérateurs	2	
Nombre de shift	1	

Table 5.4 : Les données relatives au processus QC au niveau de LMB

→ Phase 6 : Conditionnement

Contrairement à l'unité d'assemblage, l'unité de conditionnement fait sortir du produit fini. En conséquence, le processus doit être initié par un ordre d'achat qui provient de GBS par demande du supply planner.

Après réception de l'ordre de vente, le coordinateur SAP va constituer le dossier de lot de conditionnement, qui va contenir toutes les opérations effectuées sur la ligne, ainsi que les détails de consommation des matières premières (étiquettes, notices, boîtes, cartons). Le lead time de tous les processus est de 3 à 4 jours.

L'unité de conditionnement est équipée de deux lignes : la ligne P et la ligne S, avec une capacité de 100 stylos par minute chacune.

Elle travaille actuellement uniquement sur la ligne P, en 2 shifts tous les jours de la semaine avec une durée de 10h par shift. Chaque ligne nécessite 3 opérateurs, 2 techniciens et un coordinateur SAP.

Les données relatives à ce processus sont résumées dans la table 5.5.

Processus de conditionnement	
Temps de cycle	0.72 seconde
Lead time	4 jours
Nombre d'opérateurs	12
Nombre de shift	2

Table 5.5 : Les données relatives au processus de conditionnement au niveau de LMB

La figure 5.6 illustre le schéma de l'unité de conditionnement qui représente la disposition des différentes zones.

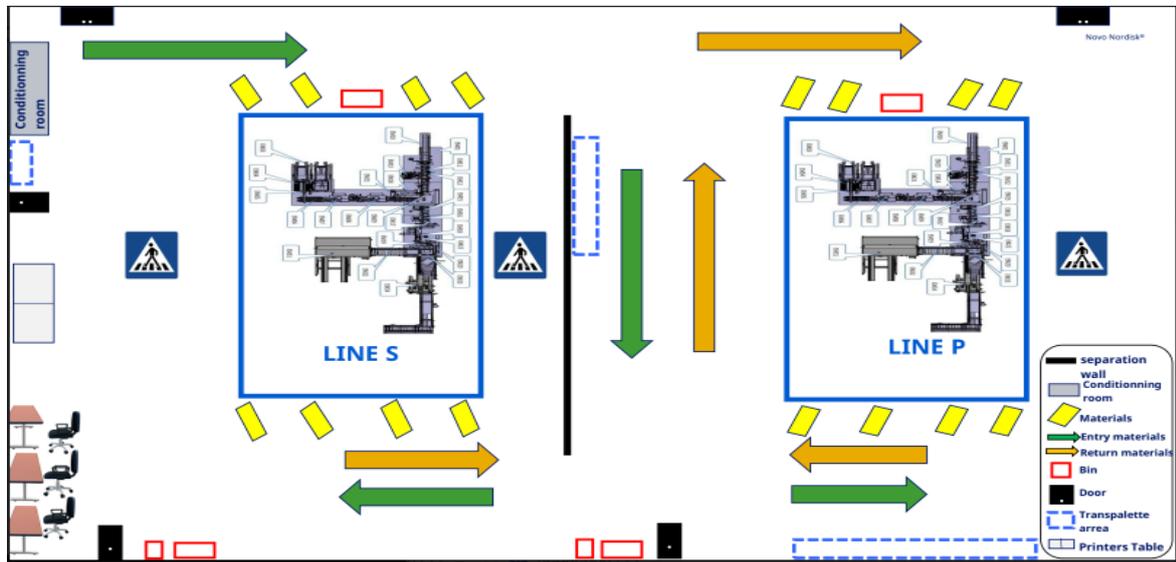


Figure 5.6 : Schéma des deux lignes de conditionnement au niveau de LMB ; ligne P et ligne S
(Document interne à l'entreprise)

→ Phase 7 : processus de transfert

Les unités d'assemblage et de conditionnement ont des zones de stockage dédiées à chaque composant, de manière à minimiser les mouvements pour les opérateurs.

Par contrainte d'espace, chaque zone dédiée peut contenir une seule palette. Dès que celle-ci arrive à sa fin, le coordinateur SAP fait émettre une demande au magasin.

L'équipe Magasin met environ 30 minutes pour délivrer la palette à l'unité d'assemblage.

Afin de bien comprendre le processus de réception des matières premières, nous l'avons modélisé avec l'outil BPMN. (Voir Annexe D)

→ Phase 8 : Assurance qualité

L'Assurance Qualité détient la responsabilité de la conformité des produits et processus. Pour ce faire, son intervention commence en amont du processus de production, et s'achève à sa fin.

➤ En amont : Elle intervient dans les 3 types de matières premières :

- **Cartouches** : Chaque palette de cartouches d'insuline ou de GLP- 1 provient avec un capteur de température CSS, qui enregistre l'historique de température. Cet historique et des coefficients propres à chaque produit seront utilisés par le qualicien pour calculer la chaîne de froid de chaque palette. Le lot sera ensuite transféré du statut quarantaine au statut libéré, et pourra être consommé.
- **Les composants en plastique** : La libération de ces produits est faite par DMS. Ils sont mis en statut pré-approuvé par l'AQ, un statut qui permet leur consommation mais qui bloque la libération du produit.
- **Les articles de conditionnement (PPM)** : Une fois reçu au niveau de LMB, les articles de conditionnement sont libérés après que l'AQ ait effectué la revue du dossier d'inspection émis par le laboratoire de contrôle qualité.

- En aval : La revue concerne ensuite les dossiers de lot d'assemblage, du contrôle qualité et du conditionnement. Celle-ci consiste à vérifier les statuts des composants utilisés dans la production du lot, les interventions effectuées sur la ligne, et les résultats de l'ensemble des tests effectués sur l'échantillon d'analyse.

En cas de déviation majeure d'une procédure, le lot est mis en quarantaine jusqu'à clôture de l'investigation sur la déviation en question.

Les données relatives au processus AQ sont résumées dans la table suivante :

Processus AQ		
	Revue en amont de la production	Revue en aval de la production
Temps de cycle	1h	9h30min
Lead time	1h	2 jours
Nombre d'opérateurs	2	
Nombre de shift	1	

Table 5.6 : Les données relatives au processus AQ au niveau de LMB

→ Phase 9 : La direction technique (DT)

La direction technique a pour responsabilité la libération des lots de produits après avoir garanti que chaque lot a été fabriqué et contrôlé selon les exigences retenues pour l'enregistrement ou l'homologation.

Les données relatives à cette direction sont résumées dans la table suivante :

Processus de libération des lots par la DT	
Temps de cycle	4h
Lead time	1 jour
Nombre d'opérateurs	2
Nombre de shift	1

Table 5.7 : Les données relatives au processus de libération des lots par la DT au niveau de LMB

Après avoir analysé les flux entre les différents processus, nous illustrons la représentation visuelle de la cartographie de l'état actuel de la VSM dans la figure 5.7

Le schéma qu'on a obtenu est divisé en deux : La partie supérieure qui représente le flux d'information et la partie inférieure qui contient les données relatives aux flux de matières. Cette représentation englobe l'ensemble des processus de la Supply Chain de LMB que nous avons décrit précédemment.

Pour chaque case processus, on trouve les leads times correspondants qui sont indiqués en jours, les temps de cycle en heure, en minute ou en secondes, le nombre de shift ainsi que le nombre d'opérateurs chargé d'exécuter le processus.

En ce qui concerne les icônes des stocks, les leads times mentionnés représentent la durée que chaque lot passe dans ces stocks. Etant donné que la situation actuelle de LMB ne lui permet pas de constituer un stock de sécurité vu qu'elle adopte une approche de flux tendu, il n'y a pas de temps alloué dans les stocks.

La ligne tracée tout en bas en dessous des processus représente la ligne de temps et a pour objet de calculer le lead time globale de la chaîne de valeur. Le lead time que nous avons obtenu est de 162.5 jours.

Il est à noter que lorsqu'il s'agit de plusieurs flux qui sont en parallèle dans un même processus, le chemin le plus long en termes de lead time est utilisé pour calculer le lead time global.

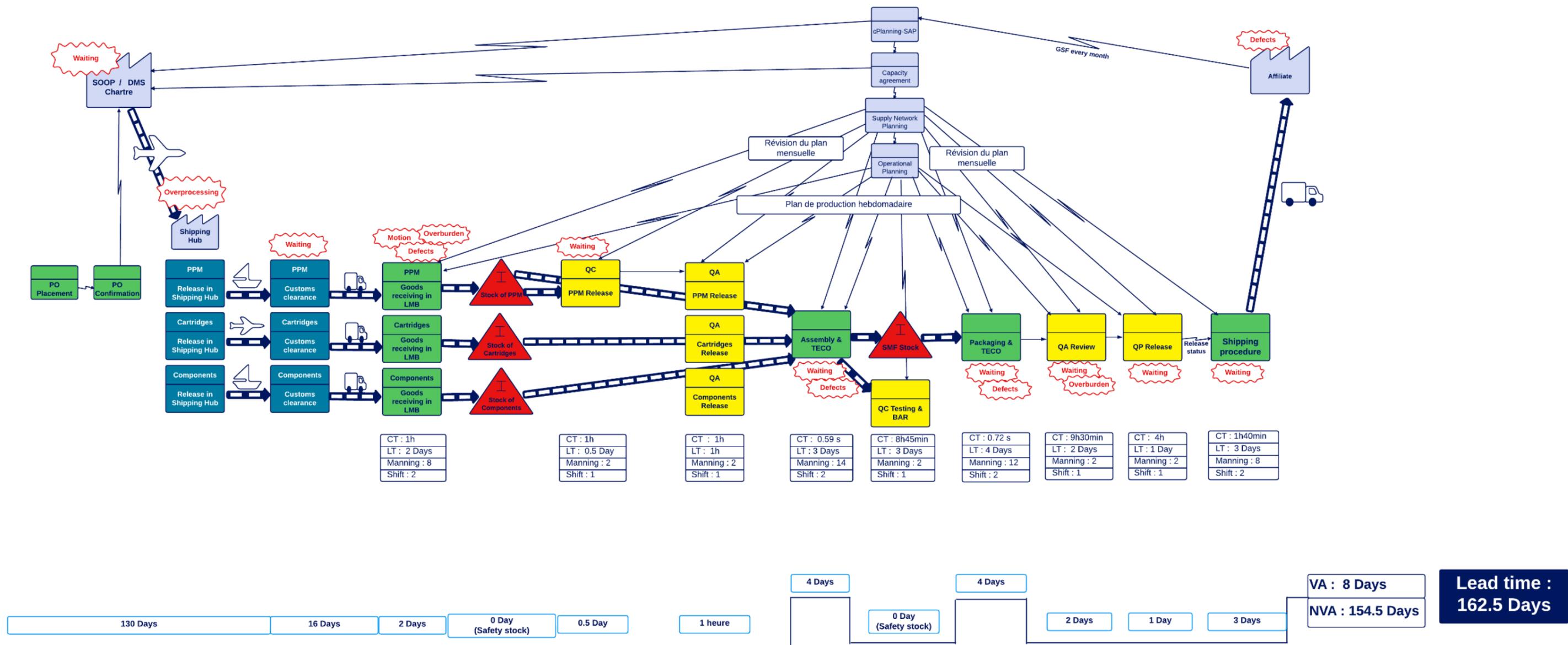


Figure 5.7 : La cartographie de l'état actuel de la VSM

5.4. Analyse de l'état actuel de la VSM

Cette partie de la démarche VSM est une étape de transition, elle a pour but d'analyser l'état actuel en vue de définir l'état futur.

Pour cela, il faut s'approprier un nouveau mode de fonctionnement de la Supply Chain en se basant sur le Lean management.

5.4.1. Analyse des mesures de la VSM

- **Takt time vs Cycle time**

Le but de ces deux indicateurs est de faire correspondre le rythme de production avec la demande du client.

Nous avons calculé le Takt time avec la formule suivante :

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Le temps disponible pour la production}}{\text{La demande du client}}$$

- Comme a été déjà cité auparavant dans les processus d'assemblage et de conditionnement, LMB fonctionne avec 2 shifts travaillant chacun 10h par jour.
- La demande du client (la filiale) est de 18000000 stylos dans l'année 2023.
- Le temps disponible pour la production a été calculé en soustrayant à l'année totale les weekends, le nombre de jours fériés et le temps alloué aux maintenances préventives qui est équivalent à 234 jours.

Et donc le Takt time vaut :

$$\text{Takt time} = \frac{10\text{h} * 2 * 234 \text{ jours} * 3600}{18000000}$$

$$\text{Takt time} = 0.936 \text{ secondes}$$

Cela équivaut à dire que si on souhaite répondre à la demande du client, un stylo d'insuline doit sortir de chaque processus de production toutes les 0.936 secondes.

En se basant sur le principe du flux tiré dans le Lean management, qui consiste à produire à la demande pour satisfaire la demande du client sans accumuler des stocks, les temps de cycle de chacun des processus de production doivent correspondre au Takt Time, ou tout du moins ne le dépassent pas.

La table 5.8, ainsi que la figure 5.8 fournissent les calculs des temps de cycle pour les deux processus d'assemblage et de conditionnement qui doivent être ensuite comparés au Takt time. Nous avons pris les données du mois d'Avril pour effectuer les calculs des temps de cycle, étant donné que c'est la période à laquelle nous avons cartographier l'état actuel de la VSM.

Etape	Cycle Time	Formule	
Assemblage	0.59 s	Temps de production/Nombre d'unités produites	=18111.3*60/1814634
Conditionnement	0.72 s		=18642.4*60/1549265

Table 5.8 : Les mesures des temps de cycle des opérations à valeur ajoutée

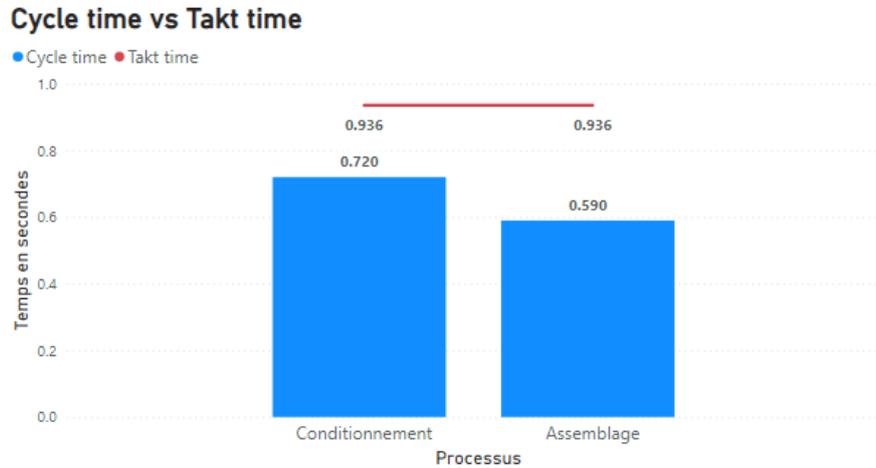


Figure 5.8 : Comparaison entre les temps de cycle des processus à valeur ajoutée avec le Takt time

En comparant la valeur du Takt time avec chacune des deux valeurs des processus d'assemblage et de conditionnement, à savoir 0.936 secondes pour le Takt time, 0.59 seconde pour le processus d'assemblage et 0.72 seconde pour le processus de conditionnement, il devient évident qu'avec le rythme actuel de production, l'entreprise sera en mesure de répondre à la demande du client.

5.4.2. Analyse des gaspillages

Le type de gaspillage détecté dans chaque étape est montré dans la table suivante :

Etape	Gaspillage
1- Acquisition des cartouches	Attente
2- Expédition des matières premières	Over Processing
3- Dédouanement	Attente
4- Réception des matières premières	Mouvement / Défauts
5- Opérations au niveau du Magasin	Surcharge
6- Transfert des stocks entre le magasin et les deux unités d'assemblage et de conditionnement	Attente / Défauts / Surcharge
7- Système d'information	Défauts
8- Libération des lots de produits par l'assurance qualité	Attente
9- Etablissement des prévisions GSF	Défauts

Table 5.9 : Identification des gaspillages dans l'état actuel de la VSM

Nous détaillons dans cette partie les gaspillages détectés dans différentes étapes du processus.

1- Acquisition des cartouches :

Malgré les avantages du design de la Supply Chain de Novo Nordisk décrit dans la partie état des lieux, il peut être considéré comme une faiblesse dans un environnement variable comme l'actuel.

En effet, la demande sur l'insuline a grimpé pendant ces 3 dernières années dans les 4 coins du monde, et sur les traitements d'obésité d'autre part dans l'Amérique du Nord. La production quant à elle, a éteint sa capacité maximale dans les différents sites stratégiques.

Étant produites par la même division, la production excessive des produits d'une aire thérapeutique impacte la production de l'autre ; on ne peut pas augmenter la production des traitements d'obésité sans réduire la production des traitements de diabète qui, ont de plus importantes marges bénéficiaires que l'insuline, et qui sont donc priorisées.

En conséquence, les sites de production locale, LMB en particulier, voient leurs ordres d'achats décalés par les différents fournisseurs (DMS, IFP, SoOp) qui, sont contraints de prioriser les marchés de l'insuline à servir. Surtout que leur demande en matières première dans l'année 2023 n'a pas été intégrée dans les plans de production de ces fournisseurs, car ces derniers ont été établis avant que LMB soit autorisée à produire par l'état algérien.

2- Expédition des matières premières :

Les 3 types de matières premières sont produits dans des sites différents, mais leur expédition à LMB est prise en charge par le même département, qui est Shipping Hub, et qui possède des

structures logistiques au Danemark. En d'autres termes, toute matière première reçue par LMB va du site fournisseur au Danemark avant d'être expédiée en Algérie.

Nous pouvons dire que la raison de ce contre flux est plus réglementaire que logistique ; en effet, l'importation de tout produit nécessite une autorisation d'importation, cette dernière n'est accordée actuellement que pour le site de Shipping Hub situé à Bagsværd.

Une action a été entamée par la filiale IO pour obtenir l'autorisation d'importation pour les sites fournisseurs de LMB, mais a été gelée à cause de la crise sanitaire Covid-19.

3- Le dédouanement :

Dans le contexte actuel, où le fournisseur n'est pas en mesure de constituer un stock de sécurité dans le magasin de LMB, la variabilité de la durée de dédouanement est un gaspillage qui impacte directement les plans opérationnels de production.

Ces retards conduisent au changement des plans de production selon la disponibilité des matières premières, et non selon le mix de produits commandé par le client qui est la filiale de distribution.

4- Inefficacité de l'équipe Magasin lors de la réception :

Les réceptions sur système se font manuellement, en saisissant les références des palettes sur SAP, au lieu de les scanner en utilisant des PDA. Ce qui entraîne des erreurs lors de la saisie ainsi qu'une inefficacité de l'équipe lors de la réception des matières, puisqu'ils sont obligés de se déplacer vers l'opérateur qui gère le transfert sur système.

5 - Surcharge de l'équipe Warehouse :

L'équipe du Magasin qui se charge de toutes les opérations du magasin (la réception, le stockage, les transferts vers la production et le chargement des livraisons) est constituée de 10 personnes, qui travaillent dans les 2 shifts. Ces personnes sont donc surchargées, surtout le shift qui travaille en surface (le shift de 8h à 16h) qui fait généralement les chargements. Cette surcharge a un impact en délai et en coût :

- **En délai :** les erreurs causent l'ouverture de déviations qui retardent la libération des lots.
- **En coût :** Les produits finis/ semi-finis/ matières premières défectueux engendrés par les accidents lors de la manipulation des produits deviennent des déchets à scraper à un coût supplémentaire au lieu de servir leur fin ; qui est d'apporter de l'argent à l'entreprise et de servir de traitement aux patients.

6- Transfert des stocks entre le magasin et les deux unités d'assemblage et de conditionnement :

En ce qui concerne le premier type de gaspillage, à savoir l'attente ; les transferts des stocks entre le Magasin et les unités de production (unité d'assemblage et de conditionnement) prennent environ 30 minutes, ce qui est un temps perdu pour la ligne de production.

Quant aux deux autres types de gaspillages, à savoir les défauts et la surcharge ; il y a des écarts de stocks entre le physique et le système en raison des retards dans la consommation des matières à temps sur SAP. Cette situation a un impact progressif sur la planification de la production et de l'approvisionnement en matières premières. En effet, le planificateur utilise les

informations du système pour planifier la production et l'approvisionnement en matières premières, mais celles-ci ne correspondent pas toujours à la disponibilité physique des matières premières dans l'magasin, car elles ont déjà été consommées, ce qui entraîne des erreurs dans les plans de production et des ruptures de stocks, compromettant ainsi la capacité de l'entreprise à répondre à la demande du client.

Cela est causé principalement par la surcharge des 2 coordinateurs SAP responsables de la consommation des matières sur système, avec d'autres tâches quotidiennes. En effet, ils sont départagés entre les deux shifts, et travaillent actuellement avec une configuration d'un seul coordinateur SAP par shift, qui se charge de la consommation des produits dans les deux unités d'assemblage et de conditionnement.

7- Système d'information : Calcul de la durée de conservation des cartouches :

La production d'un lot de stylos consomme plusieurs palettes de cartouches. Quand ces dernières sont transférées vers l'unité d'assemblage ayant une température ambiante, elles subissent une diminution de durée de conservation proportionnelle au temps passé dans la chambre ambiante. Il est donc nécessaire de suivre la palette de cartouches depuis son entrée dans l'unité d'assemblage jusqu'à sa sortie en tant que produit semi-fini.

Pendant la production, il n'existe qu'une seule palette de cartouches dans l'assemblage, le transfert de la palette suivante n'est initié que quand il ne reste que peu de celle qui est en cours de consommation. En revanche, le système d'information SAP permet d'avoir une traçabilité par lot. Autrement dit, sur système et sur le dossier de lot, le temps passé par chaque palette est calculé comme suit :

Heure d'expédition de la dernière palette de produit semi-fini – heure de réception de la première palette de cartouches.

8 - Libération des lots de produits par l'assurance qualité :

Attendre la finalisation du dossier de lot par les ingénieurs processus pour que l'assurance qualité entame sa revue, ce qui retarde sa libération par la direction technique.

9- Etablissement des prévisions GSF

Les prévisions de la filiale sur lesquelles est basé le plan de production au niveau de LMB ne reflètent pas forcément la demande réelle du marché qui est très volatile. En conséquence, les plans de production et d'achat résultants ne répondent pas à la demande réelle du marché. Comme l'élaboration de ces prévisions ne fait pas partie des responsabilités du site de production, mais de la filiale de distribution, nous ne pouvons pas analyser la méthode de leur élaboration.

Conclusion

En conclusion de cette analyse de l'état actuel et après avoir identifié les gaspillages, il est clair que de nombreuses opportunités d'amélioration existent au sein de la chaîne de valeur. La VSM a permis de mettre en évidence les points faibles, les inefficacités et les sources de gaspillage qui entravent la performance globale de la Supply Chain. Nous avons désormais une vision claire des domaines et des aspects sur lesquels on doit se concentrer pour améliorer l'efficacité et la réactivité des différentes opérations.

Le chapitre qui suit va se concentrer sur la mise en œuvre d'actions correctives et d'amélioration basées sur les résultats de la présente analyse.

Chapitre 06
Optimisation du Lead Time de la Supply
Chain par l'application d'une Dynamic Value
Stream Mapping

Chapitre 06 : Optimisation du Lead Time de la Supply Chain par l'application du Dynamic Value Stream Mapping

Dans ce chapitre nous allons cartographier l'état futur de la VSM, et détailler les actions proposées pour son optimisation. Nous aborderons ensuite les étapes suivies pour simuler les états actuel et futur de la Supply Chain, et visualiser l'impact du plan d'action sur la Supply Chain de LMB.

Le chapitre sera clôturé par la présentation et l'analyse comparative des résultats de simulation sous forme d'un tableau de bord implémenté sur PowerBI.

6.1. Cartographie de l'état futur de la VSM

La figure 6.1 présente la cartographie future de la chaîne de valeur de la Supply Chain après avoir discuté les objectifs visant à améliorer les gaspillages identifiés et en prenant en compte les nouveaux leads times estimés par les experts des processus.

Les changements des flux qui apparaissent à travers les symboles sont :

- La réception de cartouches de la part de plusieurs fournisseurs.
- La mise en place d'un stock avancé au niveau de l'assemblage.
- La constitution des stocks de sécurité des matières premières et d'un stock de produits semi-finis.

La figure 6.1 représente la cartographie de l'état futur de la VSM.

Il est frappant de constater que le lead time global de la VSM n'est pas réduit par rapport à l'état actuel ; on est passé de 162,5 à 196,5 jours, malgré les améliorations retenues. Nous pouvons expliquer cela par le basculement d'une Supply Chain Lean vers une Supply Chain Agile, en constituant 60 jours de stock de sécurité de matières premières, et 15 jours de produit semi-fini. Cette approche vise à faire face à l'instabilité et la volatilité du marché. En constituant des stocks de sécurité, on est mieux préparé pour faire face aux perturbations, telles que des fluctuations de la demande ou des retards dans la livraison des matières premières.

De plus, la situation instable du marché de Novo Nordisk Algérie nécessite une approche proactive pour assurer la continuité du business, en assurant une disponibilité constante des produits nécessaires à la santé des patients algériens.

Comme défini dans le chapitre 2 ; le stock est considéré comme un gaspillage. Le nombre de jours couverts par le stock est donc inclus dans le lead time global.

Cela nous a fait sentir le besoin de faire recours à la simulation des flux actuels et futurs pour voir l'impact des améliorations sur le lead time global, c'est d'ailleurs l'objet de la partie Simulation, qu'on va présenter après l'élaboration du plan d'action dans la partie suivante.

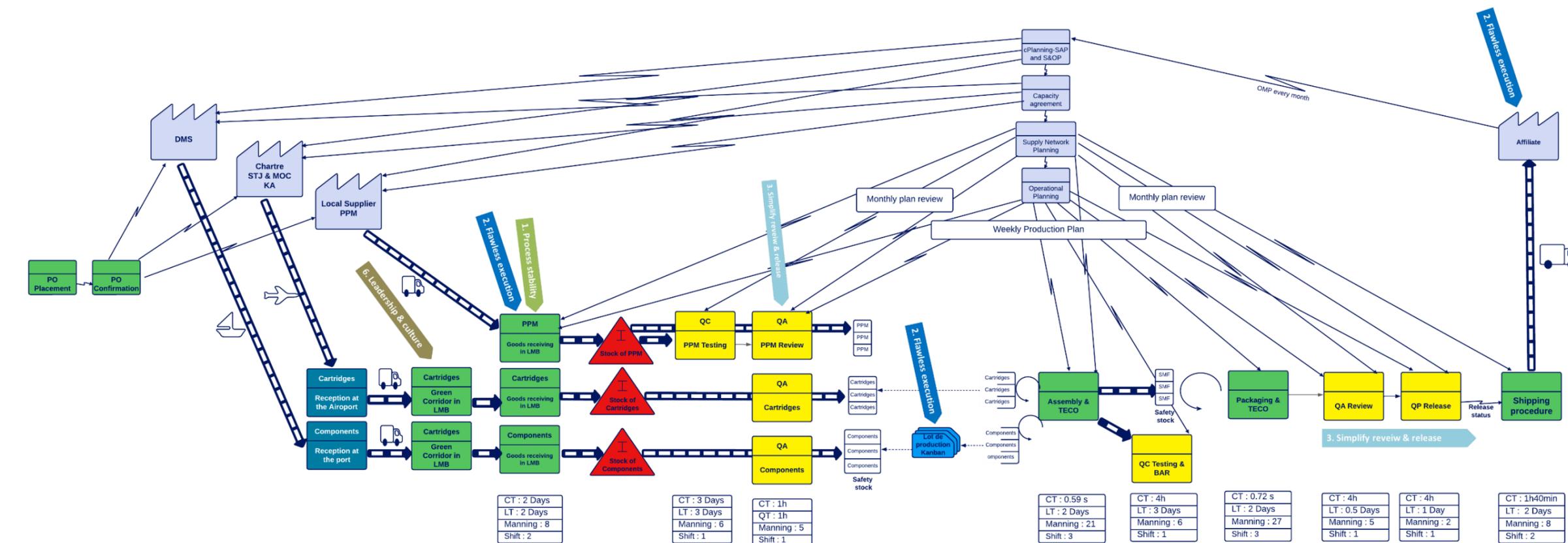


Figure 6.1 : Cartographie de l'état futur de la VSM

6.2. Elaboration d'un plan d'action

Sur la base de la cartographie de l'état futur de la VSM, nous avons élaboré un plan d'action détaillé, en associant chaque type de gaspillage identifié préalablement avec une opportunité d'amélioration spécifique et l'action proposée pour améliorer ce dernier. (Tableau 6.1)

Etape	Gaspillage	Partie prenante	Opportunité d'amélioration	Action proposée
1- Acquisition des cartouches	Attente	Fournisseurs des cartouches	Diversification des sources d'approvisionnement afin d'éviter le risque de dépendance d'un seul fournisseur.	Ajouter d'autres fournisseurs de cartouches en plus de Chartre (STJ, MOC & KA).
2- Expédition des matières premières	Over Processing	Chartre et DMS	Réduction des délais de livraison et des coûts de transport.	Obtention d'une autorisation pour l'expédition des matières directement du fournisseur à LMB sans passer par Shipping Hub.
3- Dédouanement	Attente	Douane	Accélérer le processus de libération de la marchandise à la douane et réduction du délai de livraison.	Green Corridor : Transférer le processus de dédouanement de la marchandise du port au site LMB.
4- Réception des matières premières	Mouvements / Défauts	Magasin de LMB	Améliorer la gestion du magasin et réduire le mouvement du personnel et les erreurs de saisie.	Acquisition des PDAs compatibles avec le système actuel, et assurer leur configuration.
5- Opérations du magasin	Surcharge	Magasin de LMB	Augmenter l'efficacité opérationnelle.	Renforcer l'équipe du magasin de la journée.
6- Transfert des stocks entre le magasin et les deux unités d'assemblage et de conditionnement	Attente	Assemblage et magasin	Elimination du temps d'attente d'arrivée des matières premières à l'assemblage et optimisation du processus de transfert	Reconfiguration du Layout de l'unité d'assemblage pour mettre en place un stock avancé géré avec un système de Kanban.
	Défauts / Surcharge	Assemblage et conditionnement	Renforcement de l'équipe du système SAP	Accélérer la formation des recrues pour le poste coordinateur SAP pour avoir une configuration d'un coordinateur pour chaque

				unité (assemblage et conditionnement).
7- Système d'information	Défauts	LMB	Gagner en efficience	Implémentation du système d'information PASS-X (soumettre un business case).
8- Libération des lots de produits par l'assurance qualité	Attente	Assurance qualité	Accélérer la libération des commandes client et réduire ainsi les délais de livraison.	Mettre en place l'Instant Release Project.
9- Etablissement des prévisions GSF	Défauts	LMB Supply Chain	Couvrir le risque d'approvisionnement en matières premières.	Constitution des stocks de sécurité des matières premières et du produit SMF au niveau du site LMB.

Table 6.1 : Plan d'action pour l'amélioration de l'état actuel de la VSM

Nous allons détailler dans cette partie les actions proposées.

1 - Diversification des fournisseurs de cartouches

L'action proposée pour le gaspillage d'attente pour l'approvisionnement en cartouches est la diversification des fournisseurs de cartouches.

Des discussions vont être entamées par le supply planner de LMB avec les partenaires S&OP pour intégrer LMB parmi les clients d'autres sites de production de cartouches.

Cette action peut avoir un impact positif sur le lead time global, vu qu'elle offre le choix entre différents fournisseurs, qui auront éventuellement des délais de livraison différents l'un de l'autre. Elle permet aussi une agilité et de la flexibilité, en diversifiant ses zones d'approvisionnement, pour juguler les risques pays en cas de crise sanitaire, climatique, éthique, ou encore politique.

Cette action offre aussi la possibilité de construire progressivement des stocks de sécurité de cartouches, qui permettront de se protéger des arrêts de production causés par les ruptures de stock.

2 - Obtention d'une autorisation d'importation depuis les sites des fournisseurs

Revoir le design d'expédition en ayant des expéditions directement des sites producteurs sans passer par le hub d'expédition.

3- Green Corridor

Le projet consiste à avoir un contrat avec les autorités pour faire le dédouanement des matières premières à posteriori pour assurer la continuité du business.

4- Acquisition des PDAs (douchettes)

9- Instant Release Project :

Le projet d'Instant Release (libération instantanée) vise à adapter une approche de libération instantanée des produits dès leur sortie de la ligne de production. Cela permettra d'augmenter considérablement la qualité des produits, de réduire les coûts et d'assurer des livraisons plus rapides aux patients, notamment en réduisant les risques de rupture de stock et en améliorant l'agilité lors des appels d'offres.

Pour se faire, cela consiste à répartir l'étape de constitution du dossier de lot en sous-étapes, celles qui se font en phase de préparation du lot pour l'assemblage, celles qui se font en parallèle avec le processus d'assemblage, et celles qui se font après l'assemblage. Plus que la moitié de la revue par l'assurance qualité et la direction technique sera donc effectuée en temps masqué avec l'assemblage, ce qui va réduire le lead time des lots.

Le niveau de maturité de cette approche nécessite une évaluation sur les dimensions suivantes :

- **Stabilité du processus** en comprenant les paramètres critiques qui ont un impact sur la qualité du produit et en les maintenant sous contrôle.
- **Exécution sans faille** en éliminant la gestion des incidents tels que les alarmes critiques et les écarts, afin que notre processus de production se déroule sans interruption.
- **Simplification du processus de revue et de libération** en éliminant les processus excessifs et en ne faisant pas plus que ce qui est exigé par les autorités pour garantir la sécurité de nos patients.
- **Digitalisation** du processus de revue et de libération des lots et assurer la liaison des équipements et des systèmes par le biais d'interfaces.
- **Résultats des tests en temps réel** en cherchant à obtenir des résultats de test en temps réel afin de réduire les délais et d'agir sur les mesures en temps réel.
- **Leadership et culture** en facilitant l'exécution correcte du travail grâce à des solutions prédictives telles que Yo Kai et en favorisant une culture innovante.

10- Constitution des stocks de sécurité en matières premières au niveau de LMB

Constituer des niveaux de stock de sécurité permettant de s'adapter aux changements de quantités et de mix de produit requis par la filiale.

Il est nécessaire de mettre en place des niveaux de stocks appropriés. Une approche consiste à constituer des stocks de matières premières qui représentent un approvisionnement suffisant pour couvrir 60 jours de vente. Cela signifie que nous avons une réserve adéquate de matières premières disponibles pour soutenir la production, même en cas de variations inattendues de la demande.

De plus, il est également important de constituer des stocks en produits semi-finis qui couvrent 15 jours de vente. En ayant une réserve de produits semi-finis prêts à être finalisés, nous sommes en mesure de répondre rapidement aux demandes spécifiques de la filiale.

En développant ces niveaux de stock de sécurité, nous assurons une plus grande flexibilité opérationnelle et une meilleure gestion des variations de la demande.

6.2.1. La matrice Impact/Effort des actions

Étant donné que toutes les actions identifiées ne peuvent pas être entreprises simultanément, il est nécessaire de les prioriser et de les planifier de manière stratégique.

Pour cela, nous avons utilisé la matrice impact/effort, un outil qui nous permet d'évaluer l'importance et la difficulté de chaque action afin de déterminer les priorités. En utilisant cette matrice, nous pouvons déterminer quelles actions sont les plus susceptibles d'avoir un impact significatif sur le lead time global tout en tenant compte de l'effort nécessaire pour les mettre en œuvre.

Nous avons pris la valeur maximale de 3 facteurs estimés pour calculer l'effort : le temps estimé pour leur réalisation, les coûts associés et les ressources humaines requises. Tandis que pour l'impact attendu, nous l'avons estimé en termes de réduction du lead time d'un lot, étant donné que c'est le critère principal de l'outil que nous sommes en train d'appliquer.

La table 6.4 présente les actions proposées précédemment, avec leur propriétaire spécifique qui sera responsable de sa mise en œuvre dans la période indiquée, ainsi que leurs impacts et efforts requis.

N°	Action	Propriétaire	Période de réalisation	Temps	Coût	RH	Effort	Impact	Classification		
1	Ajouter d'autres fournisseurs de cartouches en plus de Chartre (STJ, MOC & KA).	ZRBY	Q4 2023	2	0	2	2	Low	0	Low	Low priority
2	Obtention d'une autorisation pour l'expédition des matières directement du fournisseur à LMB sans passer par Shipping Hub.	Filiale affaire réglementaire	Q2 2024	6	0	1	6	High	10	High	Major projects
3	Green Corridor : Transférer le processus de dédouanement de la marchandise du port au site LMB.	HCBB	Q1 2024	3	0	1	3	Low	10	High	Quick Wins
4	Acquisition des PDAs compatibles avec le système actuel, et assurer leur configuration.	SAAM	Q3 2023	2	1	4	4	Low	3	Low	Low priority
5	Renforcer l'équipe du magasin de la journée.	SAAM/AOUE	Q3 2023	9	4	1	9	High	3	Low	Low priority
6	Reconfiguration du Layout de l'unité d'assemblage pour mettre en place un stock avancé géré avec un système de Kanban.	AHEB/NQXM	Q2 2023	1	1	2	2	Low	3	Low	Low priority
7	Accélérer la formation des recrues pour le poste coordinateur SAP pour avoir une configuration d'un coordinateur pour chaque unité (assemblage et conditionnement).	HMEM/MEI	Q2 2023	2	2	4	4	Low	4	Low	Low priority
8	Implémentation du système d'information PASS-X (soumettre un business case).	HCBB	Q4 2023	6	9	8	9	High	9	High	Major projects
9	Mettre en place l'Instant Release project.	AOUK	Q4 2023	9	9	9	9	High	9	High	Major projects
10	Constitution des stocks de sécurité des matières premières au niveau du site LMB.	ZRBY	Q4 2023	10	0	1	10	High	8	High	Major projects

Table 6.4 : Les propriétaires des actions et leurs estimations d'impact et d'effort

La figure ci-dessous représente les actions d'amélioration décrites précédemment en les positionnant sur les zones de la matrice Impact / Effort. Les numéros mentionnés sur la matrice correspondent aux numéros des actions dans le tableau précédent.

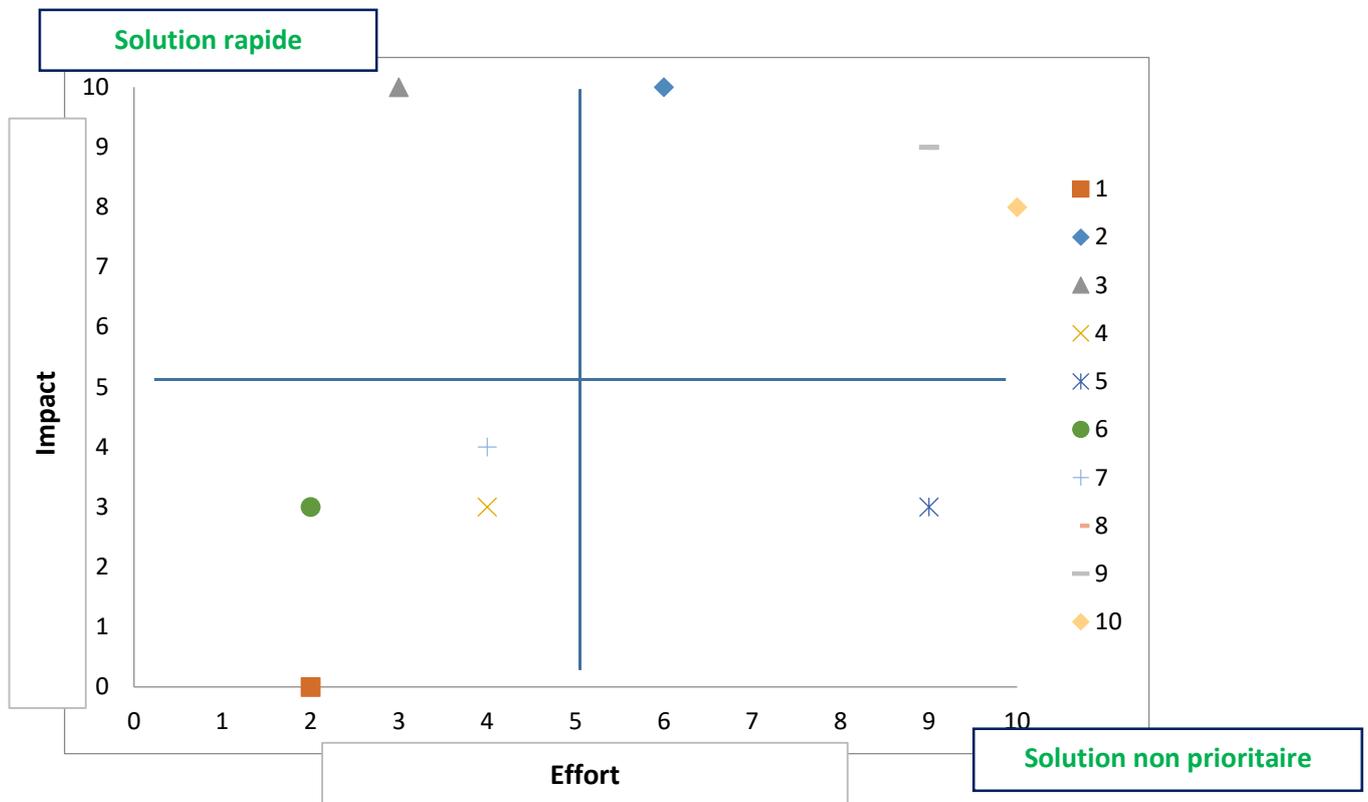


Figure 6.4 : Matrice Impact/Effort des actions d'amélioration

Cependant, si on considère l'impact des actions sur la continuité du business, certaines actions qui ne sont pas jugées prioritaires suite à la catégorisation de la matrice suscitent un grand intérêt de l'entreprise.

C'est le cas de la première action qui consiste à ajouter des fournisseurs, car c'est un prérequis pour construire un stock de sécurité de matière première.

6.3. Simulation de la VSM

L'élaboration de la VSM ne peut pas se faire uniquement sur la base d'estimations. Une approche purement estimative ne permet pas de prédire de manière précise les flux, les niveaux de stock et la durée de chaque processus. C'est là que la simulation entre en jeu. Elle va nous permettre de réduire les incertitudes en visualisant une vue dynamique de l'état actuel ainsi que l'état futur de la Supply Chain, après avoir simulé les actions d'amélioration que nous avons déjà identifiées.

De plus, elle permet de générer des besoins en ressources et des statistiques de performance tout en étant flexible par rapport aux détails spécifiques de l'organisation.

6.3.1. Logiciel de simulation

Notre choix d'un logiciel de simulation s'est porté sur le logiciel ARENA pour les raisons suivantes :

- Il permet de présenter de façon explicite les différents processus logistiques, de modéliser des événements aléatoires, de représenter les règles de pilotage et de routage en prenant en compte les contraintes sur les ressources.
- Disponibilité d'une version académique du logiciel, ayant toutes les fonctionnalités de la version complète.
- Facilité d'utilisation et disponibilité des manuels et de documents de support.
- Il n'y a aucune limite de temps dans son utilisation
- L'existence d'autres logiciels complémentaires d'ARENA comme INPUT ANALYZER, qui facilite l'analyse des données.

6.3.2. Étapes de simulation

6.3.2.1. Modélisation du processus sur l'interface ARENA

Dans un premier temps, nous avons créé un schéma de modèle de processus de l'état actuel. Cela inclut l'identification des activités, leur séquence, les connexions et les dépendances entre elles, en utilisant des processus, des formes et des lignes de connexion sur le logiciel ARENA.

Cette étape a été facilitée par la modélisation préalable du macro-processus de la Supply Chain avec l'outil BPMN (Figure 1.7), ainsi que la cartographie de la VSM (Figure 5.7).

Le modèle de l'état actuel modélisé sur ARENA peut être vu dans la Figure F.1 (Voir Annexe F).

Pour créer le modèle de l'état futur, nous avons utilisé le modèle de l'état actuel comme point de départ. Ensuite, nous avons apporté les modifications nécessaires en nous basant sur les améliorations identifiées dans l'état futur de la VSM.

La figure F.2 illustre le modèle de l'état futur de la Supply Chain modélisé sur ARENA. (Voir Annexe F).

6.3.2.2. Validation du modèle de simulation

La simulation de l'état actuel peut être considérée comme une étape de validation du modèle établi. En comparant le lead time résultant de la simulation avec le lead time de la VSM, nous sommes en mesure de démontrer la crédibilité et la fiabilité de notre modèle.

Pour cela, nous avons utilisé les données constantes de la VSM pour simuler notre modèle avec un seul lot, nous avons obtenu un lead time de 160,0417 jours. En comparant ce lead time avec le lead time de la VSM, qui est de 162,5 jours, nous pouvons démontrer que notre modèle reflète le comportement du système réel, avec un écart de seulement 2,5 jours.

Cet écart peut être expliqué par des processus qui peuvent se dérouler en parallèle, en particulier les processus de l'inspection des 3 types de matières premières et la revue des 3 dossiers de lot par l'AQ.

Cette approche simultanée permet de réduire le lead time global dans la simulation mais n'est pas prise en compte dans la VSM, d'où l'intérêt de la simulation. Cela renforce la confiance dans notre modèle et prouve sa capacité à fournir des résultats proches de la réalité.

La figure G.1 présente les résultats de la simulation du modèle de validation. (Voir Annexe G).

À partir de là, on peut dire que notre modèle est rigoureusement validé. En comparant les résultats de simulation avec les données de la VSM, notamment le lead time, il a été constaté qu'il représente précisément le comportement de la Supply Chain étudiée.

Cette précision nous donne et à l'entreprise confiance, non seulement dans le logiciel utilisé mais également dans le modèle développé pour la simulation, ce qui va renforcer son potentiel en tant qu'outil de prise de décision.

6.3.2.3. Création de l'environnement de simulation

Ici on va configurer les paramètres du modèle réel. Cela comprend la définition des ressources disponibles, le temps de traitement en prenant en compte sa variabilité dans le système réel, les règles de priorité, les variables d'entrée et de sortie, la prise en compte des exceptions de déviations, ainsi que les comportements des clients et des fournisseurs à travers les fréquences de demande et de livraison respectivement.

1) Hypothèses du modèle :

En raison de la contrainte du nombre limité d'entités dans la version étudiant d'ARENA, nous considérons ce qui suit :

- Les 12 composants en plastique sont considérés comme une seule matière.
- Les articles de conditionnement sont considérés comme un seul produit.
- Les simulations sont réalisées par lot de produits
- La taille d'un lot de cartouches est équivalente à la taille d'un lot de composants en plastique et à la taille d'un lot d'articles de conditionnement.

2) Configuration des paramètres :

La cartographie de la VSM n'est pas suffisante pour développer intégralement un modèle de simulation d'événement discret. Il est essentiel d'avoir accès à des informations sur les historiques des données relatives aux délais de chaque processus, afin de prendre en compte la variabilité de l'état actuel du modèle. Les experts des processus nous ont fourni ces données pour répondre à cette exigence. Nous les avons utilisées pour générer des lois de probabilité qui reflètent la variabilité des différents processus à l'aide d'**ARENA Input Analyzer**, que nous présenterons par la suite dans les différents modules utilisés dans le modèle.

A - Les entités : les processus sont initiés par l'arrivée des entités, qui sont créées avec le module *CREATE*. Initialement les entités sont des commandes des 3 types de matière première (Cartouches, composants en plastique et PPM)

➤ À l'état actuel:

La fréquence des commandes suit des lois de probabilité. Ces lois ont été calculées par **Arena Input Analyzer**, à partir d'historiques de demandes des différentes matières premières. Ci-joint un tableau récapitulatif des lois et taille de données utilisées pour les calculs.

Entités	Taille du jeu de données	Loi résultante
Commandes de Cartouches	10	0.5 + GAMM(3.89, 2.13)
Commandes des composants en plastique	7	2.5 + 47*BETA(0.381, 0.517)
Commandes des articles de conditionnement	7	2.5 + GAMM(3.89, 2.13)

Table 6.5 : Lois de probabilité des arrivées de commandes des matières premières du site LMB

Les données utilisées sont le nombre de jours entre 2 commandes de la même matière.

➤ À l'état futur :

La fréquence de commande est stable, elle est émise chaque 2 mois pour les composants en plastique et les PPM, et 5 lots chaque 15 jours pour les cartouches.

Dans notre modèle on a divisé ces quantités en 2 pour pouvoir simuler le flux sans dépasser le nombre maximal d'entités. Les stocks de sécurité sont aussi représentés par des arrivées qui intègrent le processus avant que le temps de simulation commence, pour être stockés dans le module « Hold ».

B – Hold : Les modules Hold sont utilisés dans le modèle de l'état futur, pour stocker les matières premières et les produits semi-finis qui proviennent directement des fournisseurs ou des stocks de sécurité. Ces entités (matières premières) quittent le module « Hold » quand le processus auquel il envoie (Assembly ou Packaging) est libre, et donc prêt à traiter un nouveau lot.

C - Les processus : Les entités du système sont transformées au fur et à mesure, en passant par les différents processus, on peut les classer en 3 catégories selon la nature de leurs durées :

1 - Production des matières premières : Le temps de traitement des 3 processus de production sont les délais mentionnés dans les SLA avec les fournisseurs, du moment que nous n'avons pas accès à l'historique de ce lead time pour représenter sa variabilité dans le modèle. En choisissant le paramètre *Delay*² des processus, nous supposons que le lancement d'une production d'une commande n'est pas conditionné par la finalisation de la commande qui la précède. Leurs durées n'ont pas varié dans le modèle de l'état futur.

2 - Les processus ayant des durées stables, il s'agit de :

- Réception des matières premières.
- Contrôle qualité des PPM
- Approbations de l'Assurance Qualité.

Les délais de ces processus sont stables, ils sont indiqués dans le tableau suivant. La différence entre l'état actuel et l'état futur de ces processus est le nombre de ressources. Nous avons utilisé dans ces processus le paramètre *Seize Delay Release*³.

Processus	Lead time	
	État actuel	État futur
GR	2	2
Quality contrôle PPM	4h	3 jours
QA PPM	30 min	30 min
QA Cartridges	1h	1h
QA Plastic Components	30 min	30 min

Table 6.6 : Configuration de l'effectif des processus à durées constantes

3 - Les processus à délai variable

Il s'agit des processus qui présentent une variabilité relativement significative, que nous pouvons mesurer et représenter sur le modèle de simulation. Leurs durées sont représentées par des lois de probabilité, calculées sur ARENA Input Analyzer à partir de l'historique des lead time des processus. Nous avons utilisé dans ces processus le paramètre *Seize Delay Release*.

² Le paramètre Delay retarde une entité d'un temps spécifié. Lorsqu'une entité arrive à un module Delay, l'expression de délai est évaluée et l'entité reste dans le module pour la période de temps résultante. Le temps est ensuite alloué à la valeur ajoutée, valeur non ajoutée, transfert, attente ou autre temps.

³ Le paramètre Seize Delay Release saisit une ressource tout au long de l'exécution de la tâche, les entités qui arrivent attendront leur tour pour que la ressource soit disponible. Quand son tour vient, l'entité saisira la ressource, retardera le processus, puis libérera.

Les processus concernés, les lois résultantes et le nombre de données utilisées sont indiquées dans la table suivante :

Processus	Taille du jeu de données	Loi de probabilité
Custom clearance	12	$1.5 + 15 * \text{BETA}(2.03, 2.79)$
Assemblage	28	$2.5 + \text{GAMM}(3.89, 2.13)$
QC testing	42	$12 * \text{BETA}(1.17, 2.8)$
Packaging	42	$\text{WEIB}(7.38, 1.73)$
QA Assembly	28	$7 * \text{BETA}(0.408, 1.39)$
QA Packaging	42	$8 * \text{BETA}(0.584, 2.41)$
QA QC	28	$\text{LOGN}(0.783, 0.502)$
Release assy	27	$0.35 + \text{LOGN}(0.277, 0.237)$
Release pack	37	$0.25 + 2.75 * \text{BETA}(0.226, 0.857)$

Table 6.7 : Lois de probabilité des durées des processus à délais variables

D - Assign

Les modules « Assign » dans le modèle de l'état actuel ainsi que l'état futur servent à allouer une nouvelle image à l'entité selon son type, et à faire évoluer cette image au fur et à mesure que l'entité subisse des traitements par la succession des processus.

Quant au module « Assign » situé à la fin des deux modèles (actuel et futur) a pour but de désigner une entité qui représente le produit fini livré à la filiale. Son but est de recueillir à la fin de la simulation le temps total passé par l'entité dans tous les processus pour être livré à la filiale.

E - Les routes

Comme leur nom l'indique, les routes représentent les trajets que les entités font pour aller d'un processus à une station, elles sont utilisées pour représenter le temps que passe nos matières premières dans le transport pour arriver en Algérie.

- À l'état actuel : Les moyens de transport maritimes et aériens ont des durées de trajet variables, nous avons représenté cette variabilité par des lois de probabilité que nous récapitulons dans le tableau ci-dessous.

Route	Taille du jeu de données	Loi de probabilité
SH-Port Cartridges	11	$\text{TRIA}(2, 2.9, 5)$

SH-Port PPM	20	-0.001 + WEIB(4.29, 0.532)
SH-Port PC	20	POIS(26.2)

Table 6.8 : Les lois de probabilité des durées de transfert

- À l'état futur : Les matières seront expédiées sans passer par *Shipping Hub*, puisque nous avons éliminé ce transfert à l'état futur, nous avons donc utilisé les estimations de lead times des routes faites dans la VSM pour faire la simulation.

F- Les stations

Le module Station définit une station correspondant à un emplacement logique où le traitement se produit.

- À l'état actuel : Nous avons défini la station *Shipping Hub* et *Algeria*.
- À l'état futur : Nous avons défini la station *LMB*, tenant compte des changements dans la configuration explicitée dans la partie du Plan d'action.

G- Decide

Le module *Decide* est utilisé dans un premier temps pour orienter des matières provenant d'un module vers différents processus selon le type d'entité, en choisissant le paramètre « *N-way by condition* ».

Ensuite, il est utilisé pour générer des déviations majeures et mineures en choisissant le paramètre « *N-way by chance* ».

- Les déviations majeures pour les 3 processus (Assemblage, conditionnement et QC) ont une possibilité d'occurrence de 1%
- Les déviations mineures pour les deux processus d'assemblage et de conditionnement ont une possibilité d'occurrence de 10%, et de 5% pour le processus QC.

H- Match

Il est utilisé pour regrouper les entités requises pour un processus donné, c'est le cas de l'assemblage qui requiert l'arrivée d'un lot de cartouches et d'un lot de composants en plastique pour pouvoir commencer le traitement du lot, de même pour le conditionnement avec les produits semi-finis et les PPM.

Nous l'avons utilisé aussi pour regrouper les dossiers de lots des 3 processus pour que le lot puisse être libéré.

I- Separate

Le module est utilisé pour créer des duplicatas d'entités sortantes des processus d'assemblage et de conditionnement pour représenter des dossiers de lots et des échantillons d'analyse QC. La durée retenue pour les deux flux simultanés générés par ce module est celle du lead time ayant la plus grande valeur.

6.3.2.4. Exécution de la simulation et analyse des résultats

Il s'agit tout simplement de mettre en action le modèle dans l'environnement de simulation configuré. La fin de la simulation dépend de la disponibilité de toutes les matières premières nécessaires à l'exécution des étapes du modèle. Si à tout moment, il y a une rupture de l'une des matières premières, la simulation s'arrête automatiquement. En d'autres termes, lorsque les matières premières nécessaires ne sont plus disponibles, il devient impossible de poursuivre les étapes de production, entraînant ainsi l'interruption de la simulation.

Il est à souligner que la rupture d'une matière première qui met fin à la simulation, est due à la consommation de toutes les arrivées générées par les commandes dans le modèle. En d'autres termes, toutes les commandes établies dans le modèle ont été satisfaites et consommées, ce qui conduit à l'épuisement des matières premières disponibles et donc à la fin de la simulation.

La configuration future consiste à recevoir 5 lots de cartouches par quinzaine, ce qui permet de couvrir 2 semaines de production, ainsi que des livraisons de 30 lots chaque 2 mois pour les composants en plastique et les PPM.

N'ayant pas la possibilité de simuler 2 mois de production à cause de la limite de 150 entités imposée par le logiciel, nous avons simulé le comportement du système pendant un mois, en réduisant à la moitié les stocks de sécurité des matières premières et des produits finis, pour qui le niveau a été fixé à 30 lots pour couvrir 60 jours de production.

Ce raisonnement a donné 30 lots de produits finis en sortie du processus de l'état futur. Nous avons donc simulé 30 lots aussi dans le modèle de l'état actuel pour pouvoir faire une analyse comparative cohérente et pertinente.

Nous avons défini le nombre de répliques à 30, car cela nous permet de recueillir des données sur plusieurs scénarios différents afin de voir la variabilité des processus et leurs impacts sur le lead time global sans pour autant alourdir les fichiers générés par ARENA.

1) Les résultats de simulation :

Une fois la simulation terminée, ARENA a généré un fichier Excel et un fichier Text contenant les données de la simulation, parmi lesquelles nous citons ; le délai de livraison, les temps de traitement pour chaque étape, les temps d'attente, la consommation des matières premières, les entrées et les sorties de chaque processus.

Parmi les données générées, notre KPI principal est le lead time, appelé *Total Time*, qui représente le temps passé par l'entité dans tous les processus avant de quitter le système (être expédié à la filiale).

Nous retrouvons aussi des données importantes pour notre analyse, nous citons :

- *Transfer time* : qui est le temps passé par l'entité dans les routes du modèle.
- *Wait time* : qui est le temps qu'attend l'entité pour être traitées dans les processus.
- *NVA time* : Non-Value-Added Time qui est le temps passé dans les processus à non-valeur ajoutée.
- *VA time* : Value Added Time qui est le temps passé dans les processus à valeur ajoutée.

Ces données permettront une analyse détaillée des performances du système simulé.

Afin de comparer entre les deux états actuel et futur, nous avons effectué 30 répliques pour générer les données. Cela nous permet d'obtenir des résultats plus robustes et significatifs que nous avons visualisé sur un rapport conçu sur l'outil Power BI (Figure 6.5).

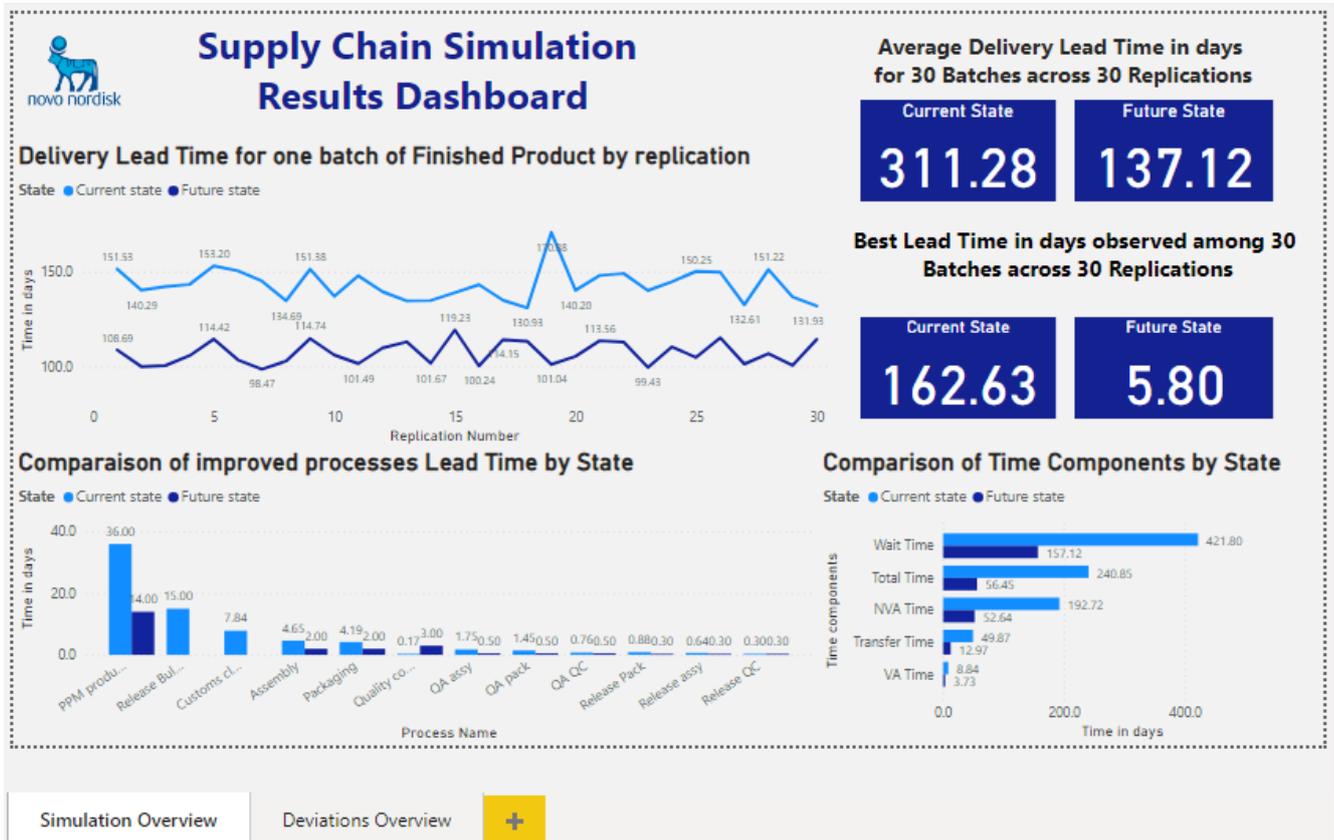


Figure 6.5 : Tableau de bord des résultats de simulation de la Supply Chain à l'état actuel et futur (Power BI Desktop)

2) Analyse et interprétation

Nous pouvons voir sur le rapport illustré dans la figure 6.5 :

- Le lead time moyen de 30 lots, ainsi que le temps minimal prit par le système (Best Lead Time) pour délivrer un lot à la filiale dans les deux états ; actuel et futur. L'écart significatif entre les leads times observés lors de la simulation de 30 lots souligne davantage l'efficacité des actions d'améliorations. De plus, l'impact significatif de la mise en place du stock de produit semi-fini devient évident lorsqu'on constate l'écart considérable entre les leads time minimaux des deux états. Ce qui souligne clairement l'efficacité de cette mesure dans l'optimisation du lead time.
- Une comparaison entre le lead time global d'un seul lot sans prendre en compte la consommation des stocks de sécurité dans l'état futur, afin de mettre en évidence l'impact des autres actions en cas de production en flux tiré à partir de la matière première. Malgré les fluctuations observées dans les différentes répliques pour les deux états, il est notable que le lead time de l'état futur demeure systématiquement inférieur à celui de l'état actuel. Cela confirme de manière convaincante les effets positifs des actions d'amélioration.

- Un histogramme comparatif entre les leads times des processus qui ont été impactés par les actions d'améliorations dans les deux états. Nous pouvons voir la réduction dans les temps de production, comme celui des articles de conditionnement après passage aux fournisseurs locaux, celui de l'assemblage et du conditionnement grâce à l'Instant Release Project. Comme nous pouvons voir l'élimination de certains processus ; la libération au niveau du hub d'expédition et le dédouanement qui, se fera à posteriori grâce au projet Green Corridor.
- Un visuel montrant le gain en temps de transfert, temps d'attente, temps à non-valeur ajoutée et temps à valeur ajoutée après implémentation des actions proposées. Ce graphique est basé sur une simulation de 30 lots lot dans les deux états. En analysant les temps d'attente entre les deux états, nous constatons une disparité significative. Cette différence résulte de plusieurs facteurs, notamment l'augmentation des effectifs dans différents processus, tel que le QC, l'AQ et la DT. Elle découle également de la réduction des délais d'exécution de divers processus observé lors de l'analyse des autres composantes temporelles tel que le temps à valeur ajoutée et à non-valeur ajoutée.
- La figure 6.6 indique le nombre de déviations apparues dans chaque réplication dans les deux états, ce qui montre que notre modèle génère bel et bien des déviations majeures et mineures à une fréquence déterminée par la probabilité d'occurrence qu'on lui a assigné. La comparaison entre le nombre totale de déviations et leurs fréquences respectives entre les deux états nous permet de s'assurer que la réduction du lead time dans l'état futur ne résulte pas d'une réduction de la fréquence à laquelle les déviations se produisent.

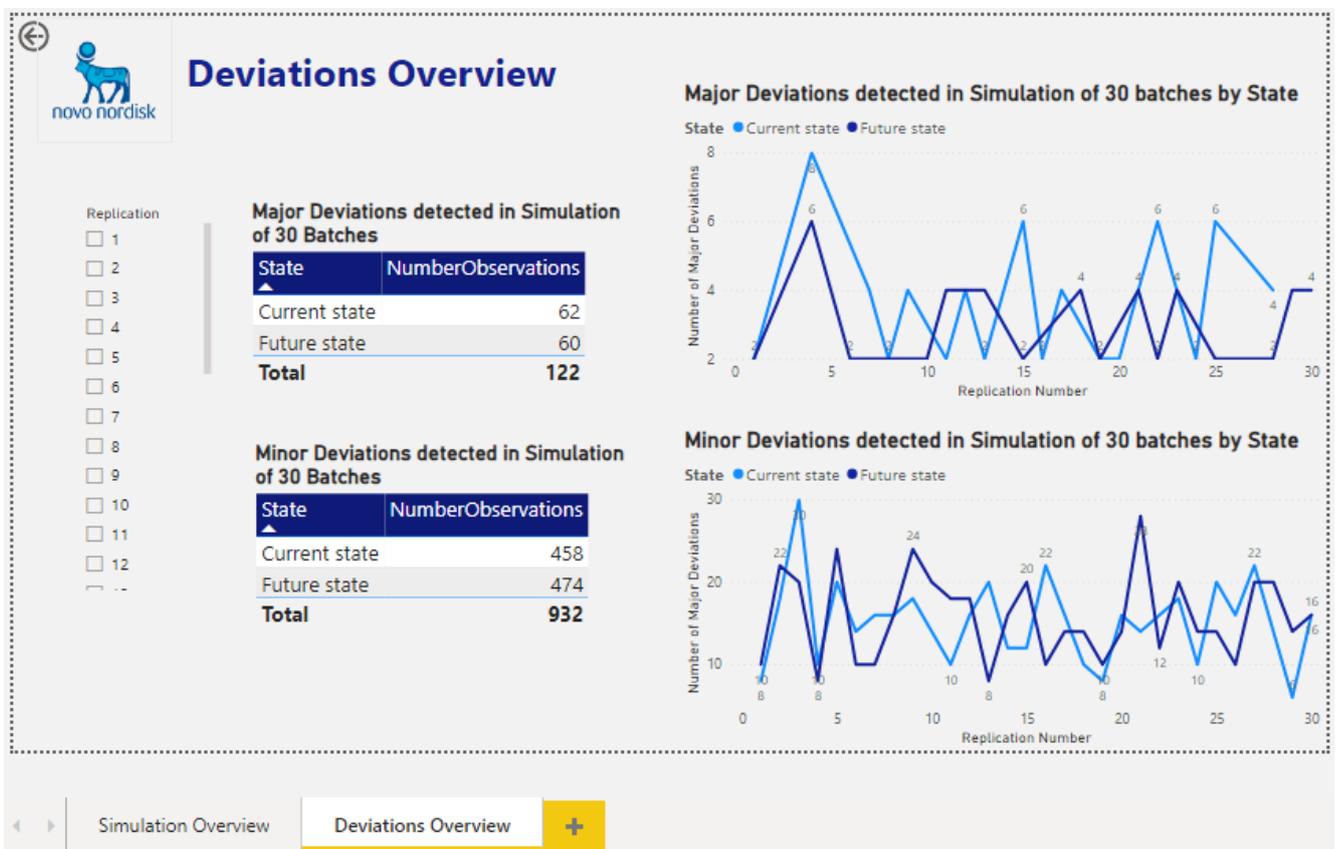


Figure 6.6 : Récapitulatif des déviations par réplication (Power BI Desktop)

Conclusion

Après avoir proposé un plan d'action effectif, nous avons visualisé la performance de notre Supply Chain à l'état futur.

Cette simulation nous a permis de voir quels seront nos processus goulots dans 12 mois, et nous donne donc la possibilité d'anticiper sur des actions et projets d'amélioration pour minimiser leurs délais. C'est le cas du processus de contrôle qualité, qui, à l'état futur, va dépasser la durée du processus d'assemblage et de conditionnement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Bientôt 4 ans après la pandémie Covid-19, les entreprises du secteur pharmaceutique subissent encore les conséquences. Elles font face à une augmentation exponentielle de la demande dans plusieurs aires thérapeutiques. Une demande que la capacité de la Supply Chain actuelle n'arrive pas à satisfaire avec les capacités de production des structures en place. Ajouté à cela, l'inaptitude des entreprises logistiques à suivre le rythme de réponse requis par leurs partenaires avec des structures aussi affaiblies par la crise sanitaire.

Comme toute autre entreprise cherchant à garder sa position sur le marché, Novo Nordisk a concentré ses efforts sur l'optimisation de ses processus. Dans cette optique, LMB nous a confié la responsabilité de mener ce projet, qui a été un pont entre notre parcours académique à l'ENP et l'industrie. Pour ce faire, nous avons déployé l'outil Dynamic Supply Chain Value Stream Mapping.

Notre contribution peut être répartie en deux (2) parties. Dans un premier temps nous avons pris le temps de bien comprendre la structure de la Supply Chain de Novo Nordisk, pour connaître les rôles et responsabilités des départements avec lesquels LMB interagit, ainsi que l'importance de ces interactions pour l'exécution de ces processus. Pour ce faire, nous avons modélisé sa Supply Chain avec l'approche BPMN.

Ensuite, nous nous sommes concentrés sur les processus internes à LMB. Cette partie a été initiée par un atelier collaboratif entre les experts des processus de la chaîne de valeur de LMB, où nous avons pris le rôle de facilitatrices, à côté de la cLean Partner. Nous avons discuté durant cet atelier les possibilités d'amélioration dans les différents processus en tenant compte de l'impact des changements sur leurs processus fournisseurs et clients, ainsi que la faisabilité de l'action dans un horizon de 12 mois. L'atelier a été donc le berceau d'un plan d'actions que nous avons détaillé après avoir cartographié l'état actuel et futur, analysé les gaspillages à réduire ou à éliminer, et déterminé le rythme de production adéquat pour satisfaire la demande annuelle.

Ces actions ont été classées dans une matrice impact/effort, dans laquelle nous avons estimé l'impact en termes de gain en lead time, quant à l'effort ; il est estimé en considérant le temps, coût et ressources humaines allouées à chaque action.

L'analyse comparative des lead times de l'état actuel et futur a permis de justifier notre choix d'intégrer la partie simulation dans notre projet. En effet, l'agilité de l'état futur de la Supply Chain, caractérisée par les stocks de sécurité, pour qui les durées de stockage sont additionnées au lead times des différents processus et transport. Cela a fait que le lead time global de la VSM augmente à l'état futur. La simulation s'est donc montrée primordiale pour visualiser l'impact de nos actions sur le lead time global, en nous donnant des indicateurs de performance plus pertinents et plus parlant que ceux de la VSM.

La partie simulation est faite sur le logiciel ARENA, pour les deux états actuel et futur. Dans la simulation de l'état actuel nous avons défini les délais des processus internes à LMB par des lois de

probabilité calculées sur ARENA Input Analyzer à partir d'historiques de Lead Times. Tandis que l'état futur, nous avons défini les lead times des processus internes selon les estimations de l'entreprise, quant aux processus externes, nous avons pris les intervalles de délais contractualisés.

Cette partie de notre contribution a été clôturée par une analyse comparative des résultats de la simulation des états actuel et futur, que nous avons effectués par l'implémentation d'un rapport interactif sur l'outil Power BI.

Nous avons concentré nos efforts sur les processus se trouvant dans le champ d'intervention de LMB faute d'absence d'informations sur le fonctionnement des parties prenantes externes à LMB, et de la difficulté d'échanger avec ces derniers pour obtenir l'information, ou pour proposer des changements. Les actions proposées ont donc été abordées de manière à expliciter ce qui devrait être fait au niveau de LMB sans tenir compte de la partie externe concernée.

Afin d'améliorer les résultats de simulation, il est intéressant d'aller un peu plus dans le détail de quelques solutions, notamment celle du PASS-X. Une évaluation du degré d'intégration du système dans l'horizon de la VSM peut nous renseigner sur le gain en temps et en efficacité, cette évaluation peut être plus fiable si elle résulte d'un benchmark interne à Novo Nordisk.

L'horizon d'application de la VSM nous a limité à des solutions applicables dans 12 mois. Sans cette contrainte, d'autres solutions plus efficaces et plus durables peuvent être proposées et étudiées. Il s'agit de projets visant à basculer vers des fournisseurs locaux de composants en plastique, ainsi que la production locale des cartouches au niveau du site.

Pour finir, le résultat de notre projet est la réduction du lead time des FlexPen® d'insuline qui était de 162.5 jours, à moins de 6 jours, en suivant une démarche Lean, de laquelle nous sommes sortis avec un plan d'action effectif qui va générer de la valeur à l'entreprise et au patient algérien, et qui va garantir la continuité du business. Cette démarche a été modernisée et dynamisée pour nous donner des indicateurs de performances pertinents sur lesquelles les managers peuvent baser leurs décisions.

Nous espérons que le présent travail sera une modeste contribution pour jeter les bases d'une collaboration gagnant-gagnant entre l'Université Algérienne et le monde industriel.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : Abideen, A., & Fazeeda Binti Mohamad. (2020). *Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation*. Retrieved from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JM2-07-2019-0159/full/html>
- [2] : Algérie Press, S. (Mai 2022). *Production de l'insuline : le laboratoire Novo Nordisk a failli à ses engagements*. Retrieved from <https://www.aps.dz/sante-science-technologie/139286-production-de-l-insuline-le-laboratoire-novo-nordisk-a-failli-a-ses-engagements>
- [3] : ASQ Quality, P. (2023). *Adapté de: The Public Health Quality Improvement Handbook*. Retrieved from <https://asq.org/quality-resources/spaghetti-diagram#:~:text=A%20spaghetti%20diagram%20is%20defined,opportunities%20to%20expedite%20process%20flow>
- [4] : Assey Mbang Janvier-James. (2012). *A New Introduction to Supply Chains and Supply Chain Management: Definitions and Theories Perspective*. Retrieved from <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/ibr/article/view/13861>
- [5] : BACHIRI Imene, & LARBI BENHADJAR Abdelkrim. (2016). *Simulation d'un système de production avec ARENA*. Retrieved from <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/9474/MINF143.pdf>
- [6] : Caitlin L. Maikawa, Joseph L. Mann, Aadithya Kannan, Catherine M. Meis, Abigail K. Grosskopf, Ben S. Ou, . . . Eric A. Appel. (2021). *Engineering Insulin Cold Chain Resilience to Improve Global Access*. Retrieved from *Engineering Insulin Cold Chain Resilience to Improve Global Access | Biomacromolecules (acs.org)*
- [7] : Dinclaux, V. (2018). *Conserver et transporter l'insuline : mode d'emploi*. Retrieved from *Conserver et transporter l'insuline : mode d'emploi (laboutiquedufroid.com)*
- [8] : Dufour, L. (Juin 2022). *Qu'est-Ce Que La Chaîne De Valeur ?* Retrieved from <https://www.leblogdudirigeant.com/la-chaine-de-valeur/>
- [9] : Farook Abdullah Sultan, Srikanta Routroy, & Maitri Thakur. (2020). *A simulation-based performance investigation of downstream operations in the Indian Surimi Supply Chain using environmental value stream mapping*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125389>
- [10] : Fontanili F, Castagna P, & Yannou B. (2008). *Les outils de simulation*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Bernard-Yannou/publication/260752171_Les_outils_de_simulation/links/56eea8a208ae4b8b5e751175/Les-outils-de-simulation.pdf
- [11] : Francisco Campuzano, & Josefa Mula. (2011). *Supply Chain Simulation*. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-85729-719-8>
- [12] : George Archibald, Nejat Karabakal, & Paul Karlsson. (1999). *SUPPLY CHAIN VS. SUPPLY CHAIN: USING SIMULATION TO COMPETE BEYOND THE FOUR WALLS*. Retrieved from <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/324898.325039>
- [13] : Gholamhossein, M. (2013). *Developing a model for an agile supply chain in pharmaceutical industry*. Retrieved from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPHM-09-2013-0050/full/html>
- [14] : Grante, P. (2023). *Définition du lead time et comment l'optimiser*. Retrieved from *Lead time : définition et calcul + comment l'optimiser | Packhelp*

- [15] : Guillaume, M. (2010). *Management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration au sein d'une chaîne logistique: une approche par simulation*. Retrieved from <https://oatao.univ-toulouse.fr/7046/1/Marques.pdf>
- [16] : Hameed, A. (Juillet 2019). *Spaghetti Diagram*. Retrieved from <https://www.benchmarksixsigma.com/forum/topic/35572-spaghetti-diagram/>
- [17] : Hellström, Daniel, Johnsson, & Mats. (2002). *Using discrete event simulation in supply chain planning*. Retrieved from <https://portal.research.lu.se/en/publications/using-discrete-event-simulation-in-supply-chain-planning>
- [18] : Hohmann, C. (2012). *A3 problem solving*. Retrieved from <https://hohmannchris.wordpress.com/2014/01/11/a3-problem-solving/>
- [19] : Hohmann, C. (2012). *De l'intérêt de la cartographie VSM*. Retrieved from <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/value-stream-mapping/462-de-linteret-de-la-cartographie-vsm>
- [20] : Hohmann, C. (2012). *Lead time, cycle time, value added time*. Retrieved from <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/les-basiques-du-lean/259-lead-time-cycle-time-value-added-time#TTS>
- [21] : Hohmann, C. (2012). *Lean Thinking*. Retrieved from <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/les-basiques-du-lean/55-lean-thinking#3>
- [22] : Hohmann, C. (2012). *SIPOC*. Retrieved from <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/six-sigma/six-sigma-les-basiques/173-sipoc>
- [23] : Hohmann, C. (2012). *Système Kanban et principe du supermarché*. Retrieved from <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/les-basiques-du-lean/413-systeme-kanban-et-principe-du-supermarche>
- [24] : Intaher Marcus, A. (2010). *AGILE SUPPLY CHAIN: STRATEGY FOR COMPETITIVE ADVANTAGE*. Retrieved from <https://isma.info/uploads/files/005-agile-supply-chain-strategy-for-competitive-advantage.pdf>
- [25] : James P. Womack, & Daniel T. Jones. (2008). *Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Retrieved from (PDF) *Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* (researchgate.net)
- [26] : John Sterman, Rogelio Oliva, Kevin Linderman, & Elliot Bendoly. (2015). *System Dynamics perspectives and modeling opportunities for research in Operations Management*. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3118311
- [27] : Jonathan Trout, & Noria Corporation. (2023). *Value Stream Mapping: A Complete Guide*. Retrieved from <https://www.reliableplant.com/value-stream-mapping-31747>
- [28] : Kelton, W. D., Randall P. Sadowski, & Nancy B. Zupick. (2015). *Simulation with Arena*. Retrieved from https://www.academia.edu/download/55650802/Simulation_with_Arena_6e.pdf
- [29] : Koo, J. (Avril 2020). *Temps de cycle, délai d'exécution et temps de Takt - Les principales mesures de production expliquées*. Retrieved from <https://tulip.co/fr/blog/cycle-vs-lead-vs-takt/>
- [30] : Kostango. (2023). *Value Stream Mapping : principes et mise en place*. Retrieved from <https://www.kostango.com/blog/value-stream-mapping-principes-mise-en-place>
- [31] : Labarthe, O., Bernard Espinasse, Alain Ferrarini, & Benoit Montreuil. (2006). *Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569190X06000748>
- [32] : Logmore. (2023). *Insulin Supply Chain: Complexity of Drug Deliveries*. Retrieved from <https://www.logmore.com/post/insulin-supply-chain-complexity-of-drug-deliveries>

- [33] : Long, Q. (2014). *Distributed supply chain network modelling and simulation: integration of agent-based distributed simulation and improved SCOR model*. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.910623>
- [34] : Luc Pellecuer, & Sandrine Poteau. (n.d.). *La simulation*. Retrieved from https://moodle.polymtl.ca/pluginfile.php/140139/mod_folder/content/0/16-Simulation.pdf?forcedownload=1
- [35] : M.Thulasi, A.A. Faieza, A.S.Azfanizam, & Z. Leman. (2022). *State of the Art of Dynamic Value Stream Mapping In the Manufacturing Industry*. Retrieved from <https://journal.ump.edu.my/jmmst/article/view/7376>
- [36] : Manuj, I., John T. Mentzer, & Melissa R. Bowers. (2009). *Improving the rigor of discrete-event simulation in logistics and supply chain research*. Retrieved from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09600030910951692/full/html>
- [37] : Marensé. (2023). *SIPOC*. Retrieved from <https://www.marensé.com/conseil/amelioration-continue/six-sigma/sipoc/>
- [38] : Mascart, C., Alexandre Muzy, & Patricia Reynaud-Bouret. (2020). *Discrete event simulation of point processes: A computational complexity analysis on sparse graphs*. Retrieved from <https://hal.science/hal-02455422v1/document>
- [39] : Mentzer, J. T., William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D, . . . Zach G. Zacharia. (2001). *DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- [40] : Mike Rother, & John Shook. (2008). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Retrieved from Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda - Mike Rother, John Shook - Google Books
- [41] : Mohand, E. (2008). *MODELISATION ET SIMULATION DE LA CONNECTIVITE DES FLUX LOGISTIQUES DANS LES RESEAUX MANUFACTURIERS*. Retrieved from <https://theses.hal.science/tel-00783593/>
- [42] : MUKHERJEE, J. (2023). *Value Stream Mapping Learn how this analysis technique can optimize your CD pipeline*. Retrieved from <https://www.atlassian.com/continuous-delivery/principles/value-stream-mapping>
- [43] : Mustafee, N., & Korina Katsaliaki. (2014). *A REVIEW OF LITERATURE IN DISTRIBUTED SUPPLY CHAIN SIMULATION*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7020128>
- [44] : Myerson, P. (2012). *Praise for Lean Supply Chain and Logistics Management*.
- [45] : Natasa Vujica Herzog, & Stefano Tonchia. (December 2014). *An Instrument for Measuring the Degree of Lean Implementation in Manufacturing*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/280904098_An_Instrument_for_Measuring
- [46] : Novo, N. (2022). *Annual Report*. Retrieved from https://www.novonordisk.com/content/dam/nncorp/global/en/investors/irmaterial/annual_report/2023/novo-nordisk-annual-report-2022.pdf
- [47] : Obilog, g. (2021). *Qu'est-ce que la Supply Chain ?* Retrieved from <https://www.obilog.fr/blog/fiche-actualite/qu-est-ce-que-la-supply-chain>
- [48] : Panneman. (2017). *Takt-, Cycle-, Process-, and Lead time*. Retrieved from <https://www.mudamasters.com/en/lean-toolbox-lean-production-lean-transformations/takt-cycle-process-and-lead-time>
- [49] : Par Klingstam, & Per Gullander. (1999). *Overview of simulation tools for computer-aided production engineering*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361598001171>

- [50] : Pritsker, A. (1979). *Compilation of definitions of simulation*. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/003754977903300205?journalCode=simb>
- [51] : prof. Ing. Milan Kováč, & DrSc. (2013). *LEAN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*. Retrieved from <https://www.sjf.tuke.sk/transfervinovacii/pages/archiv/transfervinovacii/28-2013/pdf/003-007.pdf>
- [52] : REDWOOD. (2021). *Should You Use a Lean or Agile Supply Chain?* Retrieved from <https://www.redwoodlogistics.com/use-lean-agile-supply-chain/#:~:text=The%20difference%20between%20lean%20and,smaller%2C%20customizable%20batches%20of%20items.>
- [53] : Samira Azib, & Karima Touati. (2022). *Les Investissements Directs Étrangers et le Commerce Extérieur des Produits Pharmaceutiques en Algérie*. Retrieved from <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/279/12/1/195963#:~:text=En%202020%2C%20l'Alg%C3%A9rie%20a,elle%20a%20plus%20que%20tripl%C3%A9.>
- [54] : Sedapta, g. (2021). *Les contraintes réglementaires de la supply chain pharmaceutique*. Retrieved from <https://www.sedapta.com/fr/nouvelles/les-contraintes-reglementaires-de-la-supply-chain-pharmaceutique/>
- [55] : Seila, A. F. (2006). *SPREADSHEET SIMULATION*. Retrieved from <https://www.informs-sim.org/wsc06papers/002.pdf>
- [56] : Shannon, R. E. (1998). *INTRODUCTION TO THE ART AND SCIENCE OF SIMULATION*. Retrieved from <https://www.informs-sim.org/wsc98papers/001.PDF>
- [57] : Shradha Gupta, & Monica Sharma. (Décembre 2015). *Lean services : a systematic review*. Retrieved from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-02-2015-0032/full/html>
- [58] : Sparks, D. T. (2014). *COMBINING SUSTAINABLE VALUE STREAM MAPPING SIMULATION TO ASSESS MANUFACTURING SUPPLY CHAIN NETWORK PERFORMANCE*. Retrieved from https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=me_etds
- [59] : Swaminathan, J. M., Stephen F. Smith, & Norman M. Sadeh. (1998). *Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach*. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1540-5915.1998.tb01356.x>
- [60] : Sweetser, A. (2019). *A Comparison of System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES)*. Retrieved from <https://proceedings.systemdynamics.org/1999/PAPERS/PARA78.PDF>
- [61] : Tayfur Altıok, & Benjamin Melamed. (2010). *Simulation Modelling and Analysis with ARENA*. Retrieved from https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=5SezxR5q4mYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=simulation+modelling+and+analysis+with+arena&ots=1f_dac4Xjv&sig=P_rBtWqWe9rIkWt8s47CsHFHw&redir_esc=y#v=onepage&q=simulation%20modelling%20and%20analysis%20with%20arena&f=false
- [62] : ZOUAGHI Iskander, LAGHOUAG Abderrazak. (2021). *A Research Note on Defining the Concept of Supply Chain*. Retrieved from (PDF) *A Research Note on Defining the Concept of Supply Chain* (researchgate.net)

Annexes

Annexes

Annexe A

Modules usagés du système SAP (APO-ECC)

Le système SAP est composé de modules axés sur une fonction opérationnelle de base, comme les finances et la comptabilité, les ressources humaines, la production, les matériaux et la gestion de la qualité. Les organisations n'utilisent que les modules dont elles ont besoin pour gérer leur entreprise. Dans le secteur pharmaceutique, et plus particulièrement chez Novo Nordisk, l'accent est mis sur les deux modules suivants : (Knolmayer et al., 2009 ; Stadtler et al., 2015)

SAP APO : SAP Advanced Planner & Optimizer fournit un ensemble d'outils pour planifier et optimiser la Supply Chain et les processus aux niveaux stratégiques, tactique et opérationnel. Il permet de réduire les coûts opérationnels, d'augmenter les revenus et les performances de livraison à temps, de réduire les délais et d'optimiser les séquences pour le produit. Il améliore également l'exactitude des prévisions et la capacité de planifier et d'optimiser les envois de commandes (bons de commande, retours ou commandes de transfert de stock). Il a différentes applications telles que la planification de la demande, Supply Network Planning, la planification de la production et la planification détaillée qui utilise plusieurs méthodes heuristiques, d'optimisation mathématique et différents modèles statistiques (séries chronologiques, régression stochastique, linéaire, etc.).

SAP ECC : SAP ERP Central Components est un progiciel de gestion intégré. Les logiciels ECC intègrent en temps réel des informations numériques créées dans un secteur de l'entreprise à des données d'autres secteurs de la même entreprise. Il offre de multiples transactions qui permettent aux entreprises de gérer des fonctionnalités commerciales clés en fonction de leurs besoins spécifiques. Il permet l'intégration des données d'un état opérationnel aux décideurs. SAP ECC comprend généralement la comptabilité financière, le contrôle, la gestion du matériel et les ventes et la distribution.

Annexe B

Dossier de lot

Les fabricants de produits pharmaceutiques sont tenus de conserver leurs dossiers de lots maîtres avec certains détails et informations. Voici quelques-uns des éléments qui doivent figurer dans le dossier principal de lot : (Lemay, 2022)

- Le nom et le code d'identification du produit ;
- Les caractéristiques et propriétés du produit pharmaceutique ;
- Une nomenclature détaillant les ingrédients spécifiques à ajouter à la formule du produit en question. Cela comprend également les différentes tailles et quantités de ces ingrédients ;
- La taille de l'ensemble du lot ;
- Une nomenclature des procédés indiquant la configuration de la chaîne de production, les équipements et les outils nécessaires à la fabrication du produit ;
- Instructions de travail pour le personnel à chaque étape de la chaîne de production ;
- Rendement attendu du lot ;
- Les informations relatives à la santé et à la sécurité à respecter pendant le processus de production ;
- Les procédures d'assurance et de contrôle de la qualité et les critères d'essai acceptables ;
- L'emballage et le stockage sont approuvés.

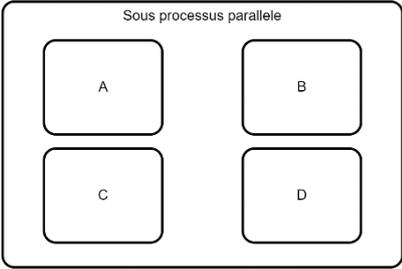
Ces détails permettent de s'assurer que l'ensemble du cycle de vie du produit est documenté et comptabilisé, fournissant ainsi la preuve que les médicaments produits répondent aux normes de santé et de sécurité nécessaires.

Annexe C

Principaux éléments du BPMN 2.0

Type d'objet	Élément	Description	Type d'élément
Objet flux	Activité	Tâche : activité unitaire	 Tâche
		Tâche d'envoi : permet l'envoi d'un message aux participants externes	 Tâche d'envoi
		Tâche de réception : Permet la réception d'un message venu d'un participant Externe	 Tâche de réception
		Tâche utilisateur : opération humaine via un système	 Tâche utilisateur
		Tâche manuelle : opération humaine purement manuelle	 Tâche manuelle
		Tâche de service : opération effectuée à travers un système externe	 Tâche service
		Tâche script : opération exécutée par un système conçu spécifiquement a elle	 Tâche script

Objet flux	Activité	Tâche règle de gestion : opération gérée par système de gestion de règles métier.	 Tâche règle de gestion
		Sous-processus contracté : activité avec un ensemble de tâches (forme contractée)	 Sous-processus contracté
		Sous-processus appelé : un sous-processus intervenant dans plusieurs processus	 Sous-processus appelé
		Activité parallèle : une activité exécutée parallèlement par plusieurs instances	parallèle 
		Activité séquentielle : une activité exécutée séquentiellement par plusieurs instances	Séquentiel 
		Activité boucle : une activité exécutée de façon répétée.	Boucle 
		Sous processus Ad-hoc : un Sous-processus parallèle qui se termine selon le Process-owner	Ad-hoc 
		Sous-processus étendu : activité avec un ensemble de tâches (forme contractée)	 Sous-processus étendu

		<p>Sous-processus parallèle : un sous- processus composé de tâches indépendantes</p>	
		<p>Sous-processus événementiels : Constitué de tâches qui dépendent d'un événement</p>	
		<p>Sous-processus transactionnel : Constitué de tâches qui dépendent d'un protocole transactionnel</p>	
	Passerelle	Exclusive (XOR)	
		Inclusive (OR)	
		Parallèle (AND)	
		Basé sur événements (Event-Based)	

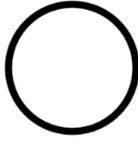
		Complexe	
		Début (Start-Evet)	

Table C.1 : Principaux éléments du BPMN 2.0 (*Offensive, 2011*)

Annexe D

Process Order Placement modélisé avec BPMN 2.0

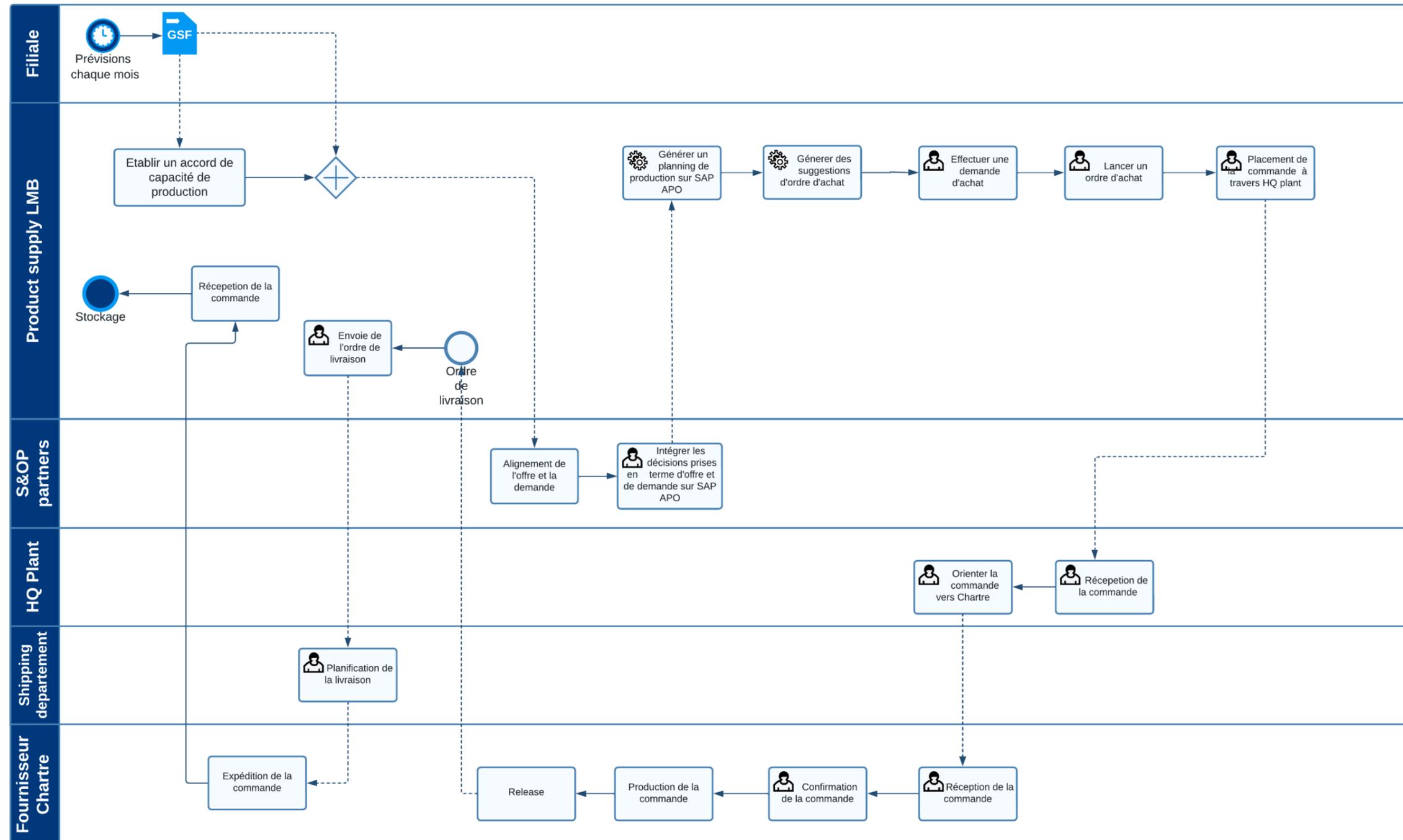


Figure D. 1 : Process Order Placement modélisé avec BPMN 2.0

Processus GR modélisé avec BPMN

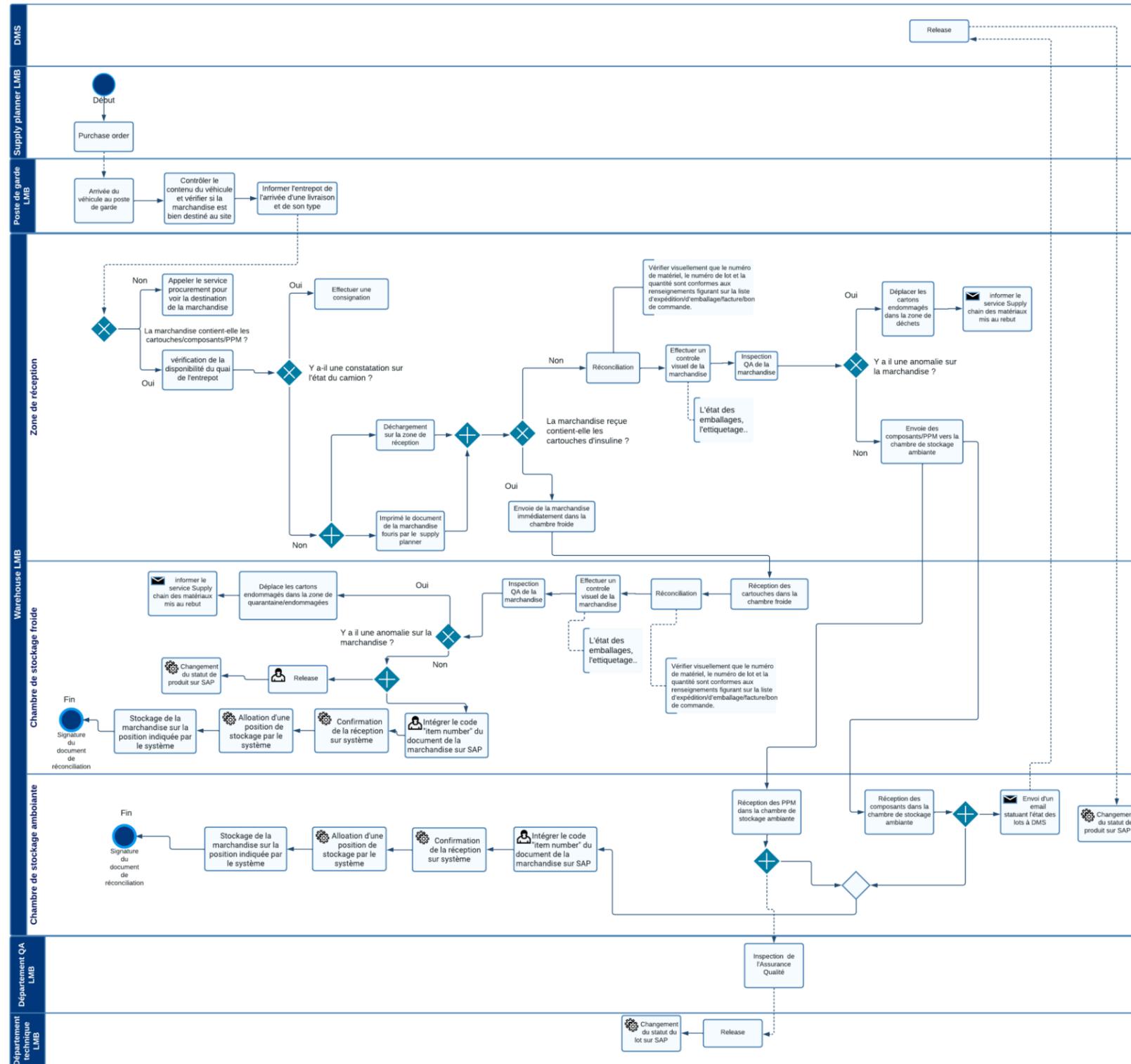


Figure D. 2 : Processus GR du site LMB modélisé avec BPMN 2.0

Processus de transfert des matières depuis le stockage des matières premières jusqu'au produit fini modélisé avec BPMN 2.0

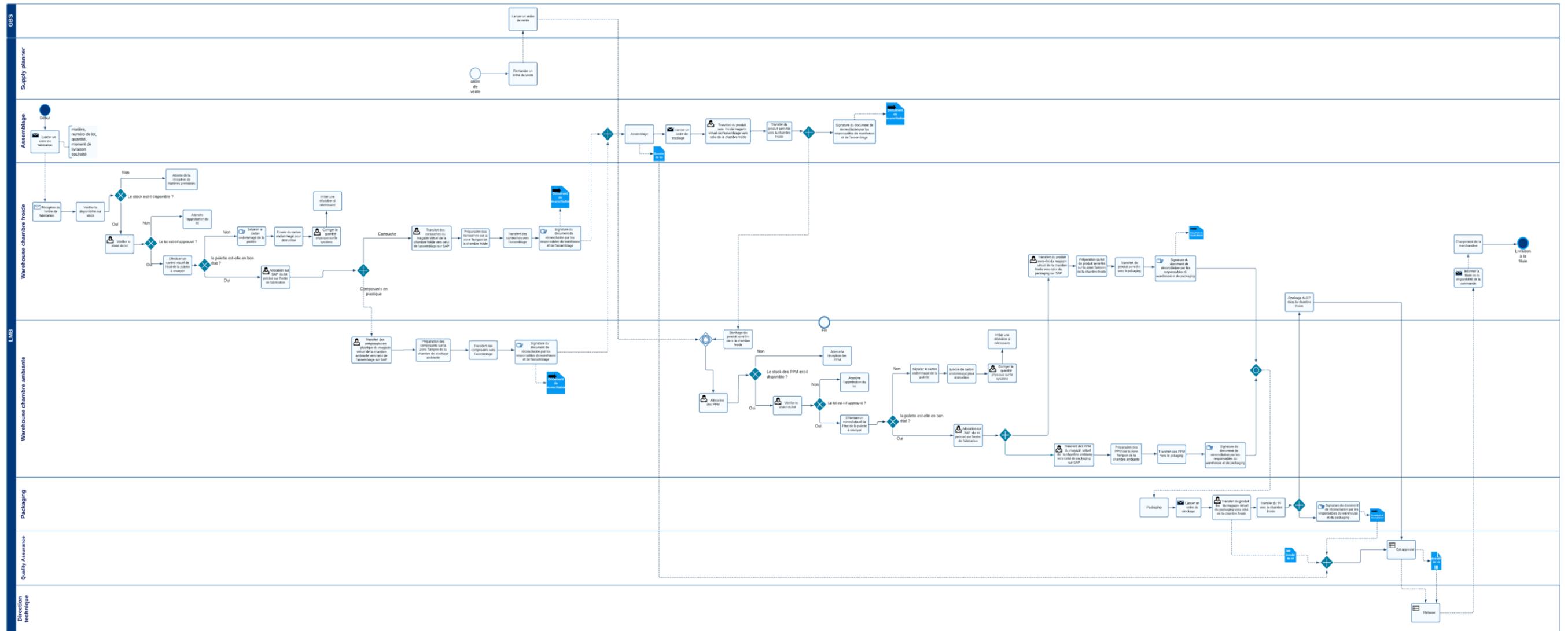


Figure D.3 : Processus de transfert des matières depuis le stockage des matières premières jusqu'au produit fini sur le site LMB modélisé avec BPMN 2.0

Annexe E

Product Supply Injectable Finished Products (PS IFP)

La figure suivante illustre la localisation des sites de production IFP.



Figure E.1 : La localisation des sites de production IFP de NN (Document interne à Novo Nordisk)

Product Supply Biotech & Rare Disease (PS BRD)

La figure suivante illustre la localisation des sites de production PS BRD.

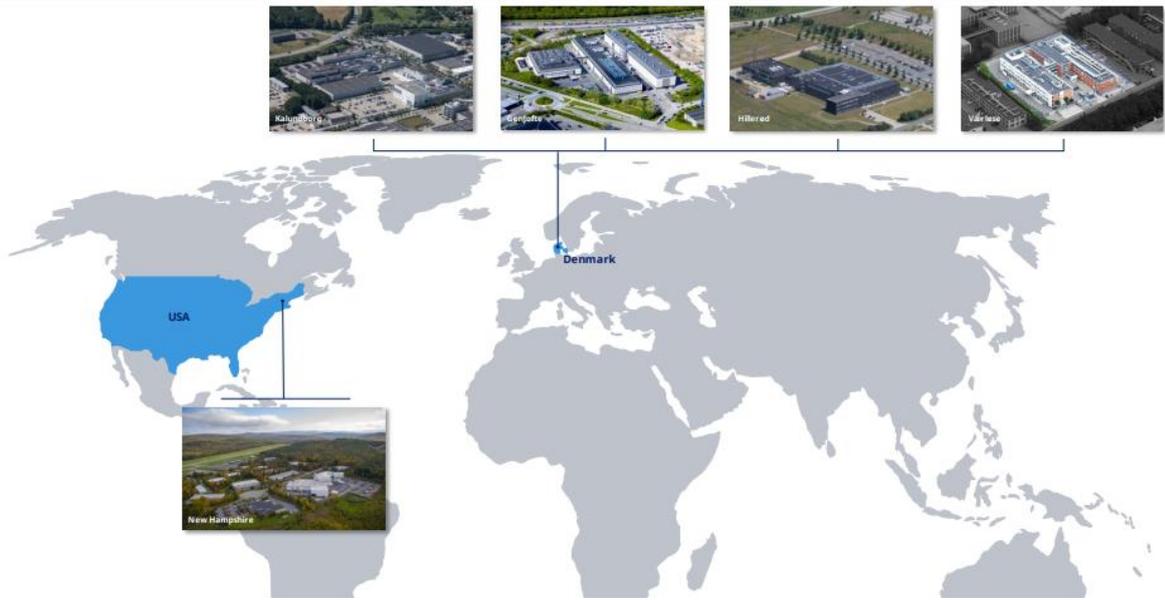


Figure E.2 : La localisation des sites de production PS BRD de NN (Document interne à Novo Nordisk)

Aperçu des zones de production de Product Supply



Figure E.3 : Un aperçu des zones de production de PS NN (Document interne à Novo Nordisk)

Annexe F

Modèle de simulation de l'état actuel de la Supply Chain sur ARENA

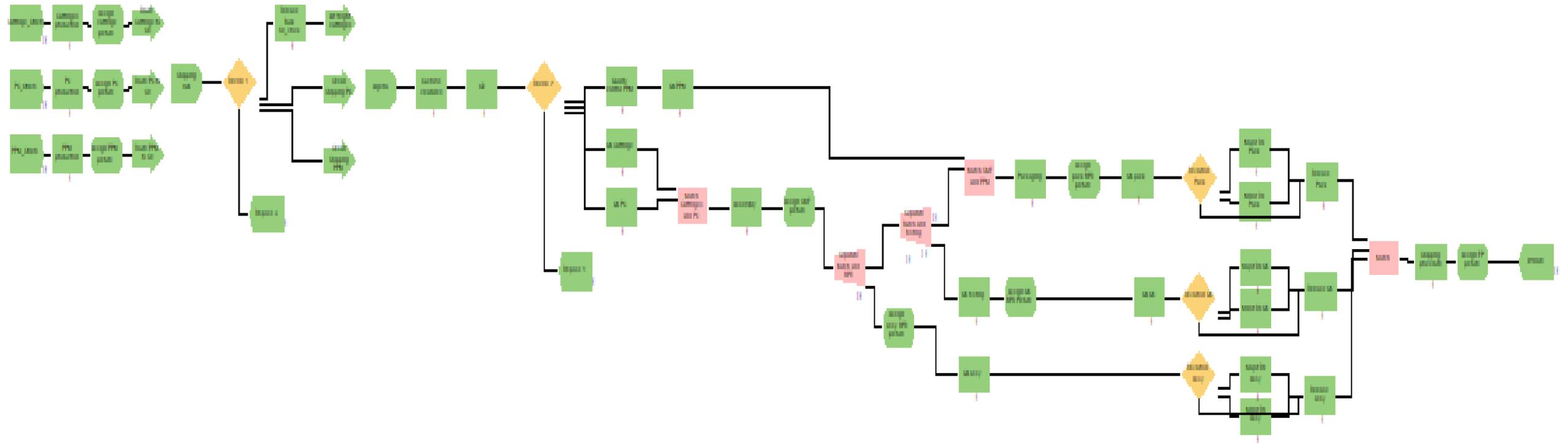


Figure F.1 : Modèle de simulation de l'état actuel de la Supply Chain sur ARENA

Annexe G

Les résultats de simulation du modèle de validation fournis par ARENA

Replication ended at time : 160.04167 Days		OUTPUTS	
Base Time Units: Days		Identifier	Value
Cartridges production Accum NVA Time	100.00	QA PPM Accum NVA Time	.02083
Cartridges production Number In	1.0000	QA PPM Number In	1.0000
Cartridges production Number Out	1.0000	QA PPM Number Out	1.0000
PC production Accum NVA Time	7.0000	Assembly Accum VA Time	4.0000
PC production Number Out	1.0000	Assembly Number In	1.0000
PC production Number In	1.0000	Assembly Number Out	1.0000
PPM production Accum NVA Time	36.000	QC testing Accum NVA Time	3.0000
PPM production Number In	1.0000	QC testing Number In	1.0000
PPM production Number Out	1.0000	QC testing Number Out	1.0000
Release Bulk SH_stock Accum NVA Time	15.000	Packaging Accum VA Time	4.0000
Release Bulk SH_stock Number In	1.0000	Packaging Number In	1.0000
Release Bulk SH_stock Number Out	1.0000	Packaging Number Out	1.0000
Customs clearance Number Out	3.0000	QA assy Accum NVA Time	.50000
Customs clearance Number In	3.0000	QA assy Number In	1.0000
Customs clearance Accum NVA Time	48.000	QA assy Number Out	1.0000
GR Accum NVA Time	6.0000	QA QC Accum NVA Time	.50000
GR Number In	3.0000	QA QC Number In	1.0000
GR Number Out	3.0000	QA QC Number Out	1.0000
Quality control PPM Accum NVA Time	.50000	QA Pack Accum NVA Time	.50000
Quality control PPM Number In	1.0000	QA Pack Number In	1.0000
Quality control PPM Number Out	1.0000	QA Pack Number Out	1.0000
QA Cartridge Accum NVA Time	.04167	Release Assy Accum NVA Time	.30000
QA Cartridge Number In	1.0000	Release Assy Number In	1.0000
QA Cartridge Number Out	1.0000	Release Assy Number Out	1.0000
QA PC Accum NVA Time	.02083	Release QC Accum NVA Time	.30000
QA PC Number In	1.0000	Release QC Number In	1.0000
QA PC Number Out	1.0000	Release QC Number Out	1.0000
		Release Pack Accum NVA Time	.30000
		Release Pack Number In	1.0000
		Release Pack Number Out	1.0000
		Shipping procedure Accum NVA Time	3.0000
		Shipping procedure Number In	1.0000
		Shipping procedure Number Out	1.0000
		System.NumberOut	1.0000

Figure G.1 : Les résultats de simulation du modèle de validation fournis par ARENA

Annexe H

Organigramme de l'entreprise Novo Nordisk

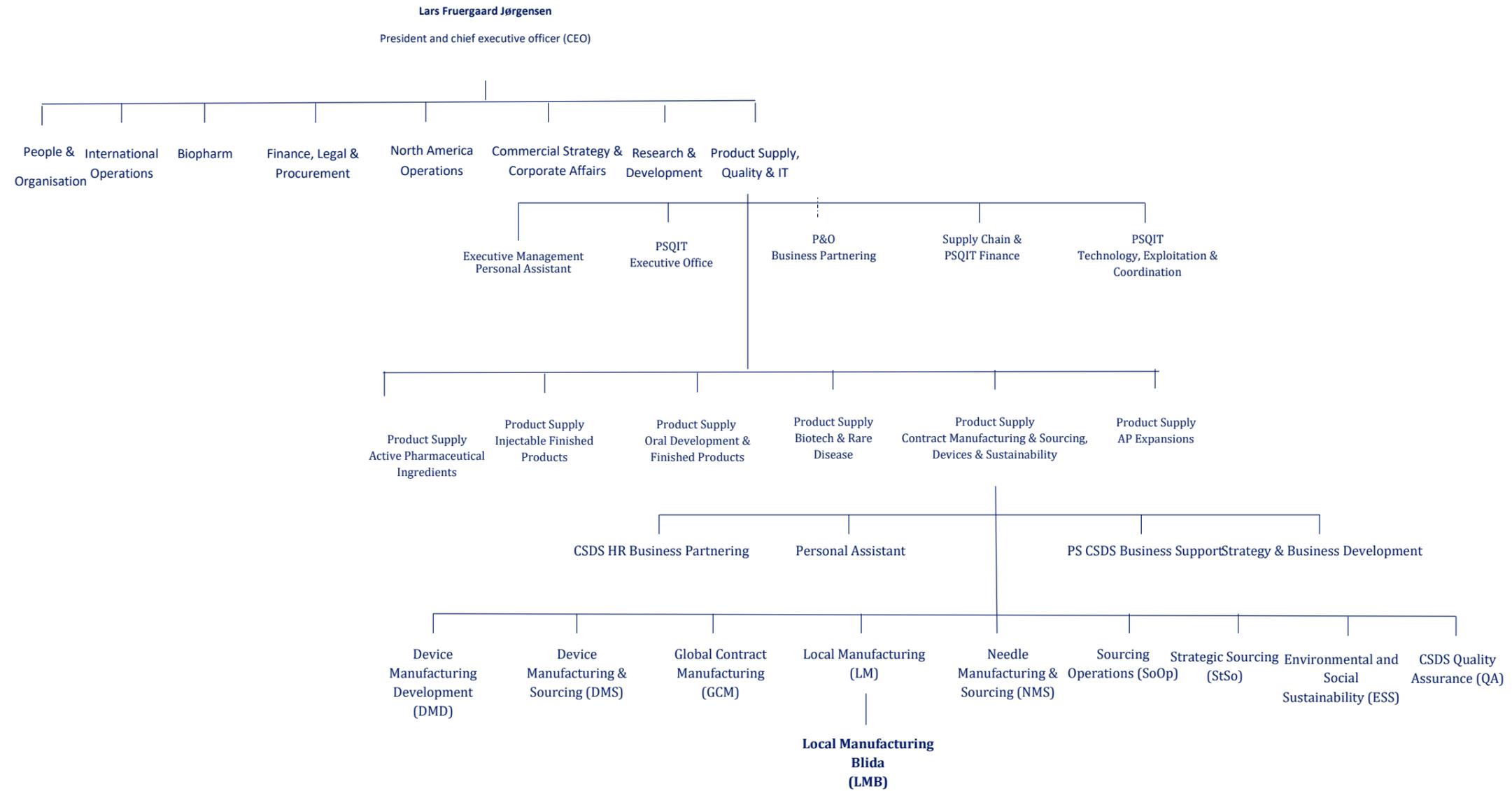


Figure H. 1 : Organigramme de l'entreprise Novo Nordisk