

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Génie Industriel

Option : Management Industriel

Optimisation des flux entre la production et le Warehouse par une démarche Lean Management

Application : Novo Nordisk Algérie, Site Flexpen – Blida

HIRECHE Adnane & CHENAOUI Yacine

Sous la direction de

Mme. Fatima NIBOUCHE

Encadrante académique

M. Nassim MENOUS

Encadrant industriel (Novo Nordisk)

Présenté et soutenu publiquement le **27 Juin 2026**.

Composition du jury :

Présidente :	Mme Bahia BOUCHAFAA	ENP
Examineur :	M. Belaid TAMADARTAZA	ENP
Promotrice :	Mme. Fatima NIBOUCHE	ENP
Encadrant industriel :	M. Nassim MENOUS	Novo Nordisk Algérie

ENP 2026

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Génie Industriel

Option : Management Industriel

Optimisation des flux entre la production et le Warehouse par une démarche Lean Management

Application : Novo Nordisk Algérie, Site Flexpen – Blida

HIRECHE Adnane & CHENAOUI Yacine

Sous la direction de

Mme. Fatima NIBOUCHE

Encadrante académique

M. Nassim MENOUS

Encadrant industriel (Novo Nordisk)

Présenté et soutenu publiquement le **27 Juin 2026**.

Composition du jury :

Présidente :	Mme Bahia BOUCHAFAA	ENP
Examineur :	M. Belaid TAMADARTAZA	ENP
Promotrice :	Mme. Fatima NIBOUCHE	ENP
Encadrant industriel :	M. Nassim MENOUS	Novo Nordisk Algérie

ENP 2026

يندرج هذا المشروع في إطار مسعى التحسين المستمر بموقع فليكسبن لنوفو نورديسك الجزائر بالبليدة، ويهدف إلى تحسين تدفقات اللوجستيك بين المستودع وخطوط الإنتاج. كشف تشخيص ميداني معمق، يجمع بين ملاحظات الجمبا وتدقيق مستوى النضج، عن اختلالات هيكلية جوهرية : غياب التقسيم المعياري، وعدم رسمية أوامر النقل، وضعف الرؤية على مخزون بداية الخط. للتصدي لهذه الإشكاليات، تم نشر مقارنة منظمة على ثلاثة محاور : إعادة هيكلة التخزين وفق تصنيف ABC، التحكم الرقمي في التدفقات عبر لوحة كانبان ب Excel VBA، وضبط سياسة المخزن الاحتياطي بمحاكاة مونت كارلو.

كلمات مفتاحية

التسيير اللين - Kanban - ABC - محاكاة Monte Carlo - مخزن عازل

Abstract

This final year project, carried out at the FlexPen site of Novo Nordisk Algeria in Blida, is part of a continuous improvement initiative aimed at optimizing logistics flows at the interface between the Warehouse and the production lines. An in-depth diagnostic combining Gemba observations and a maturity audit highlighted structural dysfunctions : absence of standardized zoning, informal triggering of transfer orders and limited visibility over line-side stocks. To address these issues, a structured three-axis approach was deployed : a physical reorganization of storage based on ABC classification, a digital flow management system through a Kanban dashboard developed under Excel VBA as well as an Excel VBA dashboard tool designed to improve stock visibility, and a safety stock policy dimensioned through Monte Carlo simulation.

Keywords : Lean Management — ABC classification — Digital Kanban — Monte Carlo — Buffer stock — Excel VBA

Résumé

Ce projet de fin d'études, réalisé au sein du site FlexPen de Novo Nordisk Algérie à Blida, s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue visant à optimiser les flux logistiques à l'interface entre le Warehouse et les lignes de production. Un diagnostic approfondi combinant observations Gemba et audit de maturité a mis en évidence des dysfonctionnements structurels : absence de zoning standardisé, déclenchement informel des ordres de transfert et faible visibilité sur les stocks bord de ligne. Pour y répondre, une approche structurée en trois axes a été déployée : une restructuration physique du stockage basée sur une classification ABC, un pilotage numérique des flux par tableau de bord Kanban sous Excel VBA ainsi que le développement d'un outil Excel VBA de tableau de bord destiné à améliorer la visibilité sur les stocks, et une politique de stock tampon dimensionnée par simulation Monte Carlo.

Mots clés : Lean Management — ABC — Kanban numérique — Monte Carlo — Stock tampon — Excel VBA

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude à Mme Fatima NIBOUCHE, notre encadrante pédagogique, pour la qualité de son suivi, ses précieux conseils, sa bienveillance et l'intérêt constant qu'elle a porté à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à M. Nassim MENOUS, notre encadrant au sein de l'entreprise Novo Nordisk, pour sa confiance, son accompagnement quotidien, son sens de l'écoute et ses encouragements qui ont été de véritables moteurs pour nous.

Nous remercions chaleureusement M. Mohamed IGHMOUR pour la précieuse opportunité qu'il nous a accordée, ainsi que pour ses conseils avisés et son soutien tout au long de cette expérience.

Notre reconnaissance s'adresse aux membres du jury, Mme Bahia BOUCHAFAA et M. Belaid TAMADARTAZA, pour l'honneur qu'ils nous font d'évaluer notre travail et pour l'attention qu'ils y ont portée.

Un remerciement tout particulier est dédié à l'équipe Warehouse pour son accueil chaleureux, sa disponibilité sur le terrain et sa précieuse collaboration, ainsi qu'à l'ensemble des collaborateurs de Novo Nordisk qui ont facilité nos recherches.

Enfin, nos remerciements vont à l'ensemble du corps professoral du département Génie Industriel pour la qualité et la rigueur de la formation qui nous a été dispensée tout au long de notre cursus.

Nous remercions aussi toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin.

Adnane et Yacine

Dédicaces

À Allah Tout-Puissant, source de ma foi inébranlable, je vous exprime ma gratitude pour le courage, la volonté et la force que vous m'avez accordés.

À mes parents, pour leur soutien indéfectible, leur présence constante et leur patience. Sans eux, je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui.

À mes grands-mères, pour leur présence et leur affection depuis mon enfance jusqu'à aujourd'hui.

À mon cher grand-père, que Dieu t'accueille dans son vaste paradis. Ta mémoire restera gravée éternellement dans nos cœurs, où tu demeureras à jamais présent.

À mes grands frères, pour leurs conseils, leur soutien et leur motivation à toujours dépasser mes limites.

À mes petites sœurs, avec l'espoir de les voir s'épanouir et réussir dans tout ce qu'elles entreprennent.

À toute ma famille, mes tantes, mes oncles et tous mes proches, pour leur encouragement et leur appui.

*À mon binôme et ami **Yacine**, pour son accompagnement, sa patience et les beaux moments partagés durant cette aventure.*

*À mes amis **Kouci, Ayoub, Rabie, Yazan, Tamer, Akram, Islem, Anis, Moh**, ainsi qu'à toute la famille du Génie Industriel et à l'équipe **IEC**, ainsi qu'à l'équipe **Charity Trip**, pour tous les bons moments passés ensemble.*

*À toute l'équipe de « **Novordisk** », spécialement l'équipe **Warehouse**, ainsi qu'à **El Menous, Twila Mathimou, Thafy l'old school, Bilal wlid Sostara, Sa9r Kaya, Didihou, Houcine, Fateh Rougi, Krimou Ze3bour, Fouzi, Meziane, Khaled, Pako, LVAMB et Salem**, pour leur accueil, leur soutien et les bons moments partagés.*

Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Adnane

Dédicaces

À Allah Tout-Puissant, source de ma foi, je Lui exprime ma gratitude pour la santé, la force, la volonté et la persévérance qu'Il m'a accordées tout au long de mon parcours.

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et tous les sacrifices qu'ils ont consentis afin de m'offrir les meilleures conditions possibles et me permettre de m'épanouir pleinement. Sans eux, je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui.

*À mon frère **Amine**, alias « **Zwdrox** », qui est bien plus qu'un frère : mon meilleur ami. Merci pour tous les souvenirs, les moments inoubliables et l'accompagnement de toute une vie.*

À mes quatre grands-parents, que Dieu les garde parmi nous en bonne santé, pour leur affection, leurs prières et leur présence précieuse.

À toute ma famille, mes tantes, mes oncles, mes cousins et tous mes proches, pour leur soutien, leur affection et leurs encouragements.

*À mon binôme et ami **Adnane**, pour ces trois années de collaboration, son appui constant et les beaux moments partagés durant cette aventure.*

*À mes amis **Sib, Ziguetch, Djazil, Wassim, Raouf Tchika, Hichem, Moumen, SUSU, aymen, Ilyes, Moh l9bayli, Younes**, ainsi qu'à toute la famille **IEC**, sans oublier bien sûr **MM**, pour tous les souvenirs inoubliables créés ensemble.*

*À toute l'équipe de **Novo Nordisk**, spécialement l'équipe **Warehouse**, ainsi qu'à **Nassim, Twila AHWO, Safy l'artiste, Bilel, Sa9r Kaya, Dahmane, Hocine, Fateh wlid houmti, Krimo Za3bour, Fouzi, Meziane, Khaled, AQOU, l'VAMB et Salem**, pour leur accueil, leur bienveillance et les excellents moments partagés.*

Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Yacine

Table des matières

Table des figures

Liste des tableaux

Liste des acronymes

Introduction générale	20
1 État des lieux	22
1 L'industrie pharmaceutique	22
1.1 L'industrie pharmaceutique en Algérie	25
1.2 Le marché du diabète en Algérie	27
2 Le groupe Novo Nordisk A/S	28
2.1 La division commerciale : International Operations (IO)	30
2.2 La division de production : Product Supply (PS)	30
3 Novo Nordisk Algérie	33
3.1 Organisation interne : Local Manufacturing Algeria	34
4 Description du système de production actuels	37
4.1 La ligne d'assemblage NOR12	37
4.2 Les lignes de conditionnement	39
5 Description des flux internes du site Flexpen	41
5.1 Réception des matières premières et des articles de conditionnement	42
5.2 Flux Warehouse → Production	43
5.3 Flux Production → Warehouse	43
5.4 Flux Expédition des produits finis	44
6 Diagnostic	44
6.1 Diagnostic stratégique	44
6.2 Diagnostic industriel opérationnel	46
7 Énoncé de la problématique	51

2 État de l'art 53

1	Fondements du Lean Manufacturing	53
1.1	Origines et philosophie du Lean	53
1.2	Digitalisation et Lean	56
2	Cartographie et analyse	57
2.1	PDCA	57
2.2	SIPOC	57
2.3	Value Stream Mapping	58
2.4	Diagramme spaghetti	59
2.5	Diagramme de Pareto	59
2.6	QOOQCCP	60
2.7	Analyse de déroulement	60
2.8	Analyse fonctionnelle	60
3	Gestion et optimisation du warehouse	60
3.1	Fonctions logistiques du warehouse	60
3.2	Adressage des emplacements	61
3.3	FIFO et FEFO	61
3.4	Classification ABC	61
3.5	Lien entre classification ABC et plan de stockage	61
4	Analyse multicritère et aide à la décision	61
4.1	Principe général	61
4.2	Méthode de la somme agrégée	62
4.3	Méthode de Borda	62
5	Flux poussés versus flux tirés	62
5.1	Flux tendu	63
5.2	Les Buffers Intermédiaires en Production	63
5.3	Kanban : principe et dimensionnement	64
5.4	L'Overall Equipment Effectiveness (OEE)	65
5.5	Politiques de Pilotage à Seuils avec Hystérésis	66
5.6	Fondements Probabilistes de la Simulation	67
5.7	La Méthode Monte Carlo et la Quantification du Risque	69

3	Analyses, Solutions et Mise en Œuvre	72
1	Analyse et Collecte de Données	72
1.1	Identification et Cadrage du Projet	73
1.2	Diagnostic de l'État Actuel	75
1.3	Analyse Quantitative des Données	79
1.4	Plan d'actions global	81
2	Solutions et Mise en Œuvre	84
2.1	Axe 1 : Optimisation Physique et Organisationnelle	85
2.2	Axe 2 : Digitalisation et Pilotage Numérique	94
2.3	Axe 3 : Flux Continu et Buffer SMF	105
	Conclusion générale	115
4	Annexes	118
	Annexe A – Guide d'entretien	118
	Annexe B – Fichier d'audit utilisé	120
	Annexes du chapitre 3	121
	Annexe C – SIPOC des flux logistiques	121
	Annexe D – VSM	125
	Annexe E – Voix du client	126
	Annexe F – Charte de projet	126
	Annexe G – Design team	127
	Annexe H – Matrice R&R	128
	Annexe I – Analyse de déroulement	128
	Annexe J – Liste des requests observées	130
	Annexe K – Diagrammes spaghetti du coordinateur SAP	131
	Annexe L – Tableaux des temps d'observation pour l'estimation des gains .	132
	Annexe M – Code Python pour la classification ABC	133
	Annexe N – Code Python pour le calcul des scores d'emplacement	135
	Références bibliographiques	139

Table des figures

1.1	Prévisions des dépenses mondiales en médicaments (hors vaccins COVID), de 2019 à 2028 en milliards de dollars Source : IQVIA, 2024.	23
1.2	Estimation des 20 aires thérapeutiques principales en 2028. Source : IQVIA, 2024.	24
1.3	Prévisions du marché pharmaceutique mondial à l’horizon 2029 — Répartition régionale et perspectives de croissance (CAGR 2025-2029). Source : IQVIA, 2025.	24
1.4	Évolution des importations des produits pharmaceutiques en Algérie (2000-2025). Source : Ministère de la Santé / Douanes algériennes.	25
1.5	Parts des importations de produits pharmaceutiques par origine en 2024. Source : Ministère de la Santé.	26
1.6	Évolution des exportations des produits pharmaceutiques en Algérie (2010-2025). Source : Ministère de la Santé.	26
1.7	Parts des exportations de produits pharmaceutiques par destination en 2017. Source : Ministère de la Santé.	27
1.8	Production de médicaments en volume (2010-2017). Source : Ministère de la Santé.	27
1.9	Prévalence du diabète de la population âgée de 20 à 79 ans en Algérie (2010-2050). Source : IDF Diabetes Atlas.	28
1.10	Responsabilités de Product Supply. Source : Document interne Novo Nordisk.	30
1.11	Le réseau mondial de la division Product Supply. Source : Document interne Novo Nordisk.	31
1.12	Les sites de fabrication locaux de Novo Nordisk à travers le monde (<i>Local manufacturing footprint</i>). Source : Document interne Novo Nordisk.	33
1.13	Les composants du FlexPen®. Source : Document interne LMA Flexpen. .	34

1.14	L'organigramme de Local Manufacturing Algeria. Source : Document interne LMA.	34
1.15	Supply Chain Network de LMA Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.	35
1.16	Flux logistique des fournisseurs Novo Nordisk vers le site LMA Flexpen. Réalisation personnelle.	36
1.17	Les étapes clés du processus d'assemblage au niveau du site Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.	37
1.18	Les différentes cellules de la ligne d'assemblage NOR12. Source : Document interne LMA Flexpen.	38
1.19	Disposition des zones cLean et BPF au niveau de la ligne d'assemblage des FlexPen® et Pen Injector. Source : Document interne LMA Flexpen. . . .	38
1.20	Les étapes clés du processus de conditionnement au niveau du site Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.	40
1.21	Disposition des zones cLean et BPF au niveau des deux lignes de conditionnement des FlexPen® et Pen Injector. Source : Document interne LMA Flexpen.	40
1.22	La machine de conditionnement au niveau du site Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.	41
1.23	Vue globale des flux internes du site Flexpen. Réalisation personnelle. . . .	41
1.24	Démarche adoptée pour le diagnostic industriel de l'interface Production – Warehouse. Réalisation personnelle.	47
2.1	Logigramme des classification des opérations. Réalisation personnelle. . . .	55
2.2	La roue PDCA. Réalisation personnelle.	57
2.3	SIPOC. Réalisation personnelle.	57
2.4	VSM.	59
2.5	Diagramme spaghetti. Réalisation personnelle.	59
3.1	Diagramme spaghetti — Trajectoires observées lors de la préparation d'un request (état actuel).	77

3.2	Diagramme spaghetti — Trajectoires du coordinateur SAP (état actuel).	77
3.3	Template de l'analyse de déroulement utilisée pour le diagnostic. Réalisation personnelle.	77
3.4	Temps de préparation observés vs temps standard. Réalisation personnelle.	80
3.5	Nombre de palettes prélevées par composant sur 40 requests observés. Réalisation personnelle.	81
3.6	Cadrage de la solution. Réalisation personnelle.	84
3.7	Courbe de Pareto — Classification ABC des composants FlexPen par rotation horaire de palettes. Réalisation personnelle.	86
3.8	Flux opérationnel après affectation des emplacements buffers selon la classification ABC. Réalisation personnelle.	88
3.9	Flux opérationnel du magasinier après classification des emplacements. Réalisation personnelle.	91
3.10	Comparaison des opérations SAP avant et après mise en place des solutions. Réalisation personnelle.	92
3.11	Comparaison de la préparation physique avant et après mise en place des solutions. Réalisation personnelle.	92
3.12	Comparaison de la livraison vers la production avant et après mise en place des solutions. Réalisation personnelle.	93
3.13	Bête à cornes globale des outils de digitalisation (1). Réalisation personnelle.	95
3.14	Bête à cornes des outils de digitalisation (2). Réalisation personnelle. . . .	95
3.15	Interface d'accès aux modules décisionnels. Réalisation personnelle.	97
3.16	Module de recherche des emplacements disponibles. Réalisation personnelle.	98
3.17	Module de recherche FEFO avec suggestions automatiques. Réalisation personnelle.	98
3.18	Module de gestion des péremptions. Réalisation personnelle.	99
3.19	Interface du module de préparation optimisée des prélèvements. Réalisation personnelle.	99
3.20	Feuille de picking générée automatiquement au format PDF. Réalisation personnelle.	100

3.21	Interface dédiée à la recherche par batch. Réalisation personnelle.	100
3.22	Tableau de bord Kanban numérique. Réalisation personnelle.	102
3.23	Feuille <i>Prévisions et Cartes Kanban</i> — Statuts et stocks. Réalisation personnelle.	102
3.24	Formulaire de saisie des réceptions et consommations. Réalisation personnelle.	103
3.25	Formulaire de mise à jour du TRS et de l'état opérationnel des lignes. Réalisation personnelle.	104
3.26	Distribution des 326 arrêts Assembly par tranche de durée — Données terrain Avril–Juin 2026.	106
3.27	Arrêts Assembly dans le temps — Confrontation au seuil de couverture du flux continu.	107
3.28	Cartes d'optimisation des seuils (S_B, S_H) — 1 388 combinaisons $\times$ 50 simulations. Réalisation personnelle.	110
3.29	Courbe Risque-Buffer — Probabilité de rupture du buffer en fonction de S_B (150 simulations par point).	111
3.30	Évolution du buffer SMF sur 60 jours — Politique optimale $S_B = 12/S_H =$ 19 palettes. Réalisation personnelle.	111
3.31	Validation Monte Carlo — 500 simulations indépendantes — Buffer minimum (gauche) et arrêts Pack L1 comparés (droite).	112
4.1	Fichier d'audit – observations terrain 1	120
4.2	Fichier d'audit – observations terrain 2	120
4.3	Fichier d'audit – observations terrain 3	120
4.4	VSM	125
4.5	Charte de projet – partie 1	126
4.6	Charte de projet – partie 2	127
4.7	Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (1)	128
4.8	Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (2)	128
4.9	Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (3)	129

4.10	Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (4)	129
4.11	Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (5)	129
4.12	Analyse de déroulement – retour Production vers WH (1)	129
4.13	Analyse de déroulement – retour Production vers WH (2)	130
4.14	Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État avant (1)	131
4.15	Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État après (1)	131
4.16	Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État avant (2)	132
4.17	Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État après (2)	132
4.18	HeatMap des scores	138

Liste des tableaux

1.1	Estimation du nombre de cas de diabète en Algérie en 2021. Source : IDF Diabetes Atlas, 2021.	28
1.2	Fiche des informations clés de l'entreprise Novo Nordisk A/S. Source : Site officiel Novo Nordisk, 2024.	29
1.3	Les produits assemblés au niveau du site Flexpen Novo Nordisk. Source : Document interne LMA Flexpen.	33
1.4	Lead time des composants livrés à LMA Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.	36
1.5	Code couleur des marquages au sol de la ligne d'assemblage. Source : Document interne LMA Flexpen.	39
1.6	Composants associés à chaque cellule de la ligne d'assemblage. Réalisation personnelle.	39
1.7	Les inputs de la ligne de conditionnement. Source : Document interne LMA Flexpen.	41
1.8	Matrice SWOT de Novo Nordisk Algérie (LMA Flexpen). Réalisation personnelle.	46
1.9	Catégories d'acteurs sollicités dans l'étude	48
1.10	Définition des cinq niveaux du modèle de maturité logistique.	49
1.11	Synthèse des stades de maturité observés sur l'ensemble des critères analysés.	50
1.12	Dysfonctionnements identifiés et actions correctives proposées pour l'interface Production–Warehouse.	51
2.1	Types de Muda	56
2.2	Décomposition de l'OEE : définitions et pertes associées.	65

3.1	Identification de la problématique par l’outil QQQQCCP. Réalisation personnelle.	74
3.2	Analyse de déroulement — Processus magasinier (réception request → livraison ligne). Réalisation personnelle.	78
3.3	Analyse de déroulement — Processus coordinateur SAP (détection des manquants → lancement request). Réalisation personnelle.	79
3.4	Plan d’actions global – Synthèse des trois axes. Réalisation personnelle. . .	82
3.5	Classification ABC des composants FlexPen par rotation horaire de palettes. Réalisation personnelle.	86
3.6	Affectation numérotée des emplacements buffers par cellule et par classe. Réalisation personnelle.	88
3.7	Résultats du vote par la méthode de Borda. Réalisation personnelle.	90
3.8	Synthèse des meilleurs emplacements affectables du magasin ambiant. Réalisation personnelle.	90
3.9	Analyse fonctionnelle globale du besoin. Réalisation personnelle.	94
3.10	Architecture générale du tableau de bord VBA. Réalisation personnelle. . .	96
3.11	Principaux traitements appliqués aux données importées. Réalisation personnelle.	96
3.12	Synthèse des apports des modules fonctionnels. Réalisation personnelle. . .	101
3.13	Structure générale de l’outil Kanban. Réalisation personnelle.	101
3.14	Codification des statuts Kanban selon le niveau de stock. Réalisation personnelle.	103
3.15	Synthèse des gains apportés par l’outil Kanban numérique. Réalisation personnelle.	104
3.16	Statistiques descriptives des arrêts Assembly NOR12 — Avril–Juin 2026. .	105
3.17	Hypothèses du modèle de simulation. Réalisation personnelle.	108
3.18	Caractéristiques des seuils optimaux. Réalisation personnelle.	110
3.19	Résultats de la validation Monte Carlo (500 simulations). Réalisation personnelle.	112

3.20 Synthèse comparative — Flux continu vs politique buffer optimale. Réalisation personnelle.	113
3.21 Synthèse des solutions mises en place et des gains obtenus	114
4.1 Guide d’entretien semi-directif – partie 1	118
4.2 Guide d’entretien semi-directif – partie 2	119
4.3 Voix du client	126
4.4 Design team	127
4.5 Matrice R&R	128
4.6 Temps de traitement SAP par palette – avant/après équilibrage des charges	130
4.7 Temps de prélèvement physique par palette – avant/après équilibrage des charges	130
4.8 Temps de livraison physique par palette – avant/après réorganisation . . .	131
4.9 Récapitulatif des temps d’observation pour l’estimation des gains	132

Liste des acronymes

- **ABC** : *Activity-Based Classification* — classification par fréquence d'activité.
- **A/S** : *Aktieselskab* (terme danois signifiant société par actions).
- **ANSM** : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé.
- **AQ** : Assurance qualité.
- **Assy** : *Assembly*.
- **BCO** : *Batch Change Over* — changement de série entre deux lots de production.
- **BPMN** : *Business Process Model and Notation*.
- **BPR** : *Batch Production Record*.
- **BPF** : Bonnes Pratiques de Fabrication.
- **BtB** : *Back to Back*.
- **CAGR** : *Compound Annual Growth Rate* — taux de croissance annuel composé.
- **cLean** : *Current Lean* — standard qualité interne de Novo Nordisk.
- **CNC** : Contrôlé Non Classifiée.
- **CSDS** : *Customer & Supply-chain Driven Sites*.
- **DV** : *Deviation*.
- **ECPA** : Éliminer, Combiner, Permuter, Améliorer.
- **ENP** : École Nationale Polytechnique.
- **ERP** : *Enterprise Resource Planning*.
- **FEFO** : *First Expired, First Out*.
- **FIFO** : *First In, First Out*.
- **FP** : *Finished Product*.
- **GBS** : *Global Business Services*.
- **GMP** : *Good Manufacturing Practice*.
- **GRF** : *Good Receiving Form*.
- **HMI** : Interface Homme-Machine.
- **IDF** : *International Diabetes Federation*.
- **IFP** : *Injectable Finished Products*.
- **IO** : *International Operations* — division commerciale de Novo Nordisk.

- **IPC** : Contrôle au cours du Processus (*In Process Control*).
- **IT/OT** : Technologies de l'information et technologies opérationnelles.
- **JIT** : *Just-In-Time*.
- **KPI** : *Key Performance Indicator*.
- **LM** : *Local Manufacturing*.
- **LMA** : *Local Manufacturing Algeria*.
- **LT** : *Lead Time* — délai de traversée.
- **MENA** : *Middle East and North Africa*.
- **NC** : Non Contrôlée.
- **NN** : Novo Nordisk.
- **NOR12** : ligne d'assemblage du site Flexpen.
- **NVA** : Non-Valeur Ajoutée.
- **OEE** : efficacité globale de l'équipement.
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.
- **OPC** : *Out Process Control* — contrôle en dehors du processus.
- **OST** : Organisation Scientifique du Travail.
- **OTD** : *On-Time Delivery* — taux de livraison à temps.
- **Pack** : *Packaging*.
- **PC** : *Plastic Components*.
- **PDA** : *Personal Digital Assistant*.
- **PDCA** : *Plan, Do, Check, Act*.
- **PF** : Produit fini.
- **PFE** : Projet de Fin d'Études.
- **PPM** : *Printed Packaging Material*.
- **PS** : *Product Supply* — division de production de Novo Nordisk.
- **QA** : *Quality Assurance*.
- **QC** : *Quality Control*.
- **QQOQCCP** : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Combien, Pourquoi.
- **QP** : *Qualified Person*.
- **SAP** : *Systems, Applications and Products* — ERP du site.
- S_B : seuil bas — seuil d'arrêt de la deuxième ligne de packaging.
- S_H : seuil haut — seuil de lancement de la deuxième ligne de packaging.
- **SIPOC** : *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*.
- **SMF** : semi-fini — palettes de produits semi-finis stockées en WH Cold.
- **SOP** : *Standard Operating Procedure*.

- **SWOT** : *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*.
- **TPM** : *Total Productive Maintenance*.
- **TPS** : *Toyota Production System*.
- **TPU** : *Tray Pallet Unit* — unité de palette de plateau.
- **TRS** : Taux de Rendement Synthétique — équivalent francophone de l'OEE.
- **VA** : Valeur ajoutée.
- **VBA** : *Visual Basic for Applications*.
- **VSM** : *Value Stream Mapping*.
- **WH** : *Warehouse* — entrepôt / magasin.
- **WIP** : *Work In Progress* — encours de production.

Introduction générale

L'industrie pharmaceutique occupe aujourd'hui une place stratégique de premier plan à l'échelle mondiale. Portée par le vieillissement des populations, la progression des maladies chroniques et l'essor continu des innovations thérapeutiques, elle connaît une croissance soutenue. Dans ce paysage, le diabète représente l'un des domaines thérapeutiques les plus dynamiques, en raison de l'augmentation continue du nombre de patients concernés à travers le monde.

En Algérie, cette dynamique mondiale s'inscrit dans un contexte national marqué par une volonté claire de renforcer la souveraineté sanitaire et de développer la production locale de médicaments. L'État a engagé depuis plusieurs années une stratégie industrielle ambitieuse visant à réduire la dépendance aux importations et à consolider un tissu pharmaceutique national capable de répondre aux besoins du marché local. Cette orientation a permis au pays de disposer d'un secteur en expansion, avec plusieurs centaines d'unités de production et une couverture importante de la demande nationale.

C'est dans ce contexte porteur que Novo Nordisk Algérie, à travers son site de production Local Manufacturing Algeria (LMA) Flexpen situé à Blida, assure l'assemblage et le conditionnement des stylos d'insuline FlexPen® destinés au marché algérien ainsi qu'à certains marchés africains et MENA. Le site doit aujourd'hui répondre à une demande croissante tout en maintenant un haut niveau d'efficacité, de fiabilité et de conformité réglementaire, dans un environnement industriel particulièrement exigeant.

Cependant, malgré une capacité de conditionnement globalement stable, plusieurs contraintes opérationnelles continuent d'affecter la performance globale du site. La ligne d'assemblage reste exposée à des arrêts récurrents, et l'interface entre le Warehouse et les lignes de production présente certaines limites dans la coordination des flux, le pilotage des stocks et l'anticipation des besoins. Ces interactions imparfaites peuvent générer des retards, des tensions logistiques et une perte de fluidité dans l'alimentation des lignes.

Dans ce cadre, le présent projet de fin d'études s'inscrit dans une démarche d'optimisation de l'interface entre le Warehouse et les lignes de production. À l'issue d'un diagnostic opérationnel approfondi, l'ensemble des dysfonctionnements observés converge vers la problématique centrale suivante :

Comment améliorer la performance globale de l'interface entre le Warehouse et les lignes de production du site Flexpen en optimisant simultanément l'organisation physique des flux, leur pilotage informationnel et la continuité

des flux de production, afin de garantir un approvisionnement interne fiable, synchronisé et capable de soutenir les objectifs de performance industrielle du site ?

Pour y répondre, cette problématique est déclinée en trois sous-questions complémentaires. La première interroge la manière de réorganiser l'espace physique du Warehouse afin de réduire les distances de picking et de garantir la disponibilité des composants critiques au bon endroit et au bon moment ; l'hypothèse associée postule qu'une classification des références par rotation et un adressage formalisé des emplacements permettraient d'atteindre cet objectif. La deuxième sous-question porte sur l'amélioration du pilotage des approvisionnements, aujourd'hui largement informel et réactif, afin de le rendre plus anticipé et mieux synchronisé avec les besoins réels des lignes ; l'hypothèse correspondante soutient que le développement d'un outil de pilotage dédié à la visibilité et au suivi des stocks en temps réel, couplé à un système Kanban numérique, permettrait de formaliser les ordres de transfert, de renforcer la transparence sur l'état des flux et de réduire significativement les commandes urgentes non planifiées. La troisième sous-question aborde la sécurisation de la continuité du conditionnement face aux aléas de la ligne d'assemblage ; l'hypothèse avancée est que la mise en place d'un stock tampon de produits semi-finis piloté par une politique à deux seuils, dimensionnée par simulation stochastique, permettrait d'absorber les perturbations amont et de garantir un niveau de disponibilité des lignes de conditionnement supérieur à 95 %.

Ces trois hypothèses, issues du croisement rigoureux des entretiens, des observations Gemba et des analyses quantitatives menées lors du diagnostic, constituent le fil conducteur de la démarche de résolution développée dans ce rapport.

Ce rapport s'articule autour de trois chapitres. **Le premier chapitre** présente l'état des lieux du site Flexpen et formule la problématique à l'issue d'un diagnostic stratégique et opérationnel approfondi. **Le deuxième chapitre** expose les fondements théoriques et méthodologiques mobilisés pour structurer la démarche d'amélioration. **Le troisième chapitre** développe les solutions proposées, en détaille la mise en œuvre et présente les résultats obtenus ainsi que les recommandations associées.

État des lieux

Ce premier chapitre pose le cadre général dans lequel s’inscrit le présent projet de fin d’études. Suivant une approche *top-down*, il part d’une lecture macroéconomique de l’industrie pharmaceutique mondiale pour converger progressivement vers le contexte spécifique du site Flexpen de Novo Nordisk Algérie. Après avoir présenté le groupe Novo Nordisk A/S, son organisation et sa filiale algérienne, il décrit en détail le système de production du site la ligne d’assemblage NOR12 et les deux lignes de conditionnement ainsi que l’ensemble des flux internes qui les relient au Warehouse. Cette description constitue le socle factuel indispensable à la conduite d’un diagnostic rigoureux, lui-même articulé autour d’une analyse stratégique et d’un audit opérationnel approfondi de l’interface Production–Warehouse, aboutissant à la formulation de la problématique centrale du projet.

1 L’industrie pharmaceutique

Avant la fin du XIX^e siècle, les médicaments étaient fabriqués par chaque pharmacien ou apothicaire à partir de diverses substances végétales, voire minérales. L’industrie pharmaceutique moderne est née à la fin du XIX^e siècle avec le développement des médicaments de synthèse issus de la chimie. Aujourd’hui, le secteur pharmaceutique est l’un des plus rentables et importants économiquement au monde. Après une période contrastée, le marché pharmaceutique mondial a atteint **1 607 milliards de dollars** en 2023, soit une croissance de 8,2% par rapport à 2022. Selon les estimations d’IQVIA, ce marché devrait dépasser **2 200 milliards de dollars** d’ici 2028, propulsé principalement par les médicaments des dix plus grands marchés mondiaux [1].

**1. PRÉVISIONS DES DÉPENSES MONDIALES EN MÉDICAMENTS (HORS VACCINS COVID)
DE 2019 À 2028** (en milliards de dollars)
Source : IQVIA: Outlook to 2028, January 2024

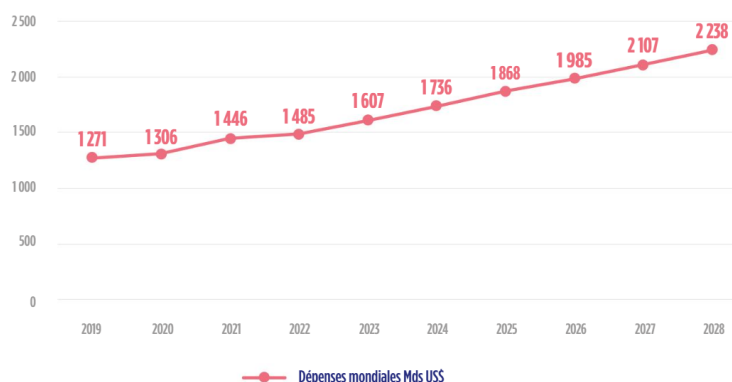


FIGURE 1.1 – Prévisions des dépenses mondiales en médicaments (hors vaccins COVID), de 2019 à 2028 en milliards de dollars Source : IQVIA, 2024.

Les aires thérapeutiques dans lesquelles les dépenses devraient être les plus élevées en 2028 sont l'oncologie, l'immunologie et les antidiabétiques, suivies par les maladies cardiovasculaires selon [1]. L'arrivée continue d'innovations en oncologie devrait induire une croissance de 14 à 17% d'ici 2028. En immunologie, la croissance sera freinée par la pénétration de médicaments biosimilaires. Le diabète devrait devenir le troisième domaine thérapeutique mondial, avec une croissance estimée entre 3 et 6%, du fait d'une explosion du nombre de patients diabétiques. Multiplié par quatre en trente ans selon l'OMS, ce nombre devrait atteindre **1,3 milliard** de personnes d'ici 2050, contre 529 millions en 2021 [2].

4. ESTIMATION DES 20 AIRES THÉRAPEUTIQUES PRINCIPALES EN 2028

(en chiffres d'affaires et taux de cumul annuel moyen)

Source : Global Use of Medicines 2024 outlook to 2028, février 2024, IQVIA Institute

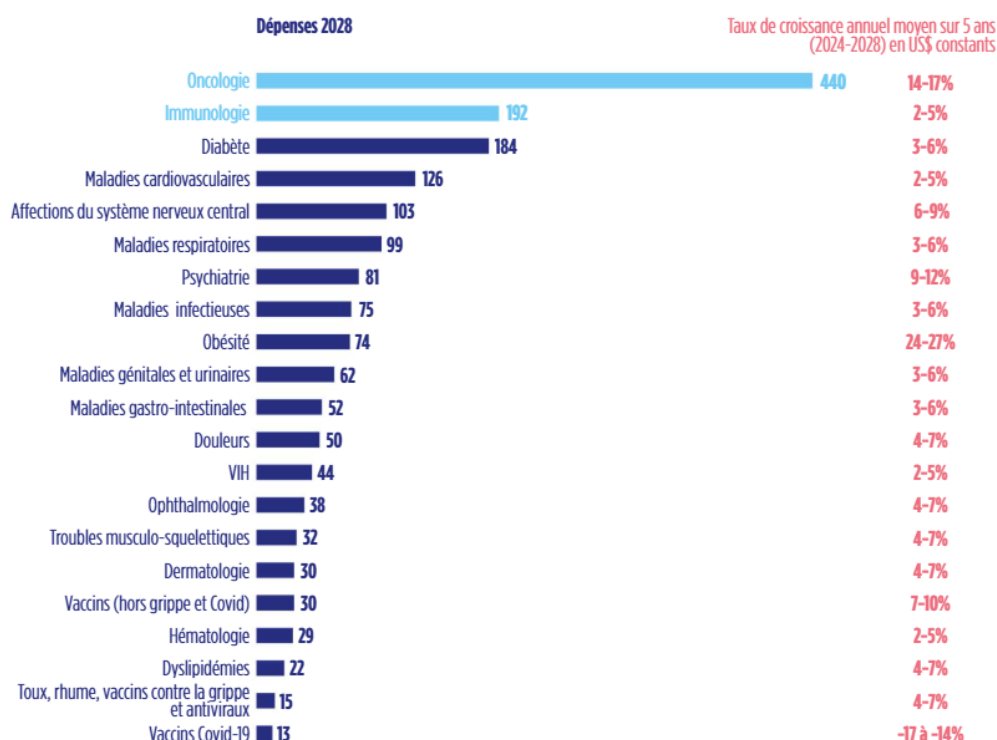


FIGURE 1.2 – Estimation des 20 aires thérapeutiques principales en 2028. Source : IQVIA, 2024.

By 2029, Global pharma business is expected to reach LC\$ 2.41 T; Middle East & Africa pharma business collectively to be LC\$ 69.56 B

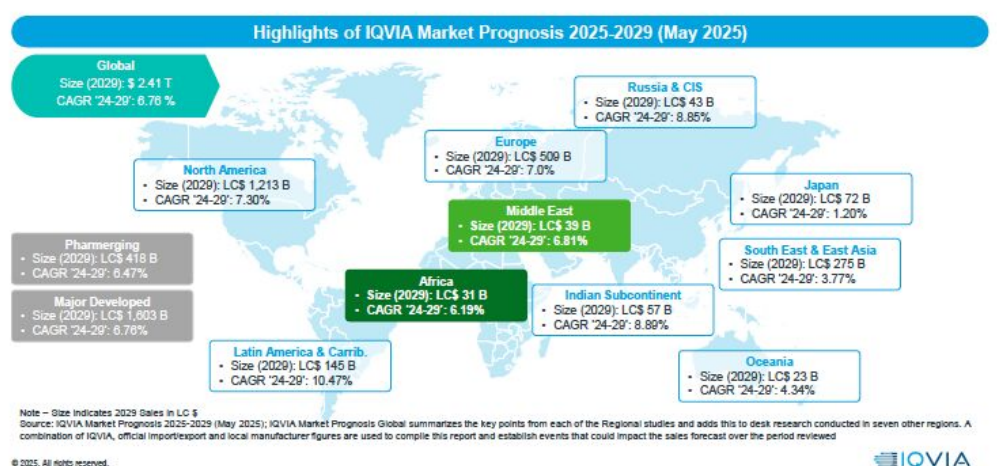


FIGURE 1.3 – Prévisions du marché pharmaceutique mondial à l'horizon 2029 — Répartition régionale et perspectives de croissance (CAGR 2025-2029). Source : IQVIA, 2025.

1.1 L'industrie pharmaceutique en Algérie

L'importation des produits pharmaceutiques

La facture d'importation des produits pharmaceutiques a atteint **1,85 milliard USD** en 2008 [3], un chiffre jugé inquiétant par le gouvernement, qui souhaitait réduire la dépendance aux importations dans un secteur aussi sensible, tout en garantissant l'accès de tous les citoyens à des médicaments de qualité et en favorisant la production nationale. Pour atteindre cet objectif, des restrictions à l'importation des produits pharmaceutiques remplacés par des produits locaux ont été mises en place à travers 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).

Cependant, les laboratoires algériens ne disposant ni du savoir-faire ni des capacités nécessaires pour couvrir 70% de la demande par des produits locaux, l'État a ouvert le marché aux leaders du secteur pharmaceutique pour investir en Algérie. Cette stratégie, soutenue par la croissance continue du marché algérien évalué à **2 milliards de dollars en 2022**, a encouragé les grandes firmes pharmaceutiques à investir massivement en Algérie. Parmi elles, on compte Sanofi-Aventis, Hikma Pharma, GSK, Novartis, Pfizer, Novo Nordisk, MSD, Roche Diagnostics et AstraZeneca [4]. Cependant, certaines aires thérapeutiques, telles que le diabète, n'ont pas pu être couvertes par la production locale. En 2012, des changements dans les contrats d'assurance santé ont entraîné une hausse exorbitante de la facture d'importation de l'insuline. En 2022, cette facture est estimée à **400 millions de dollars par an** [4].

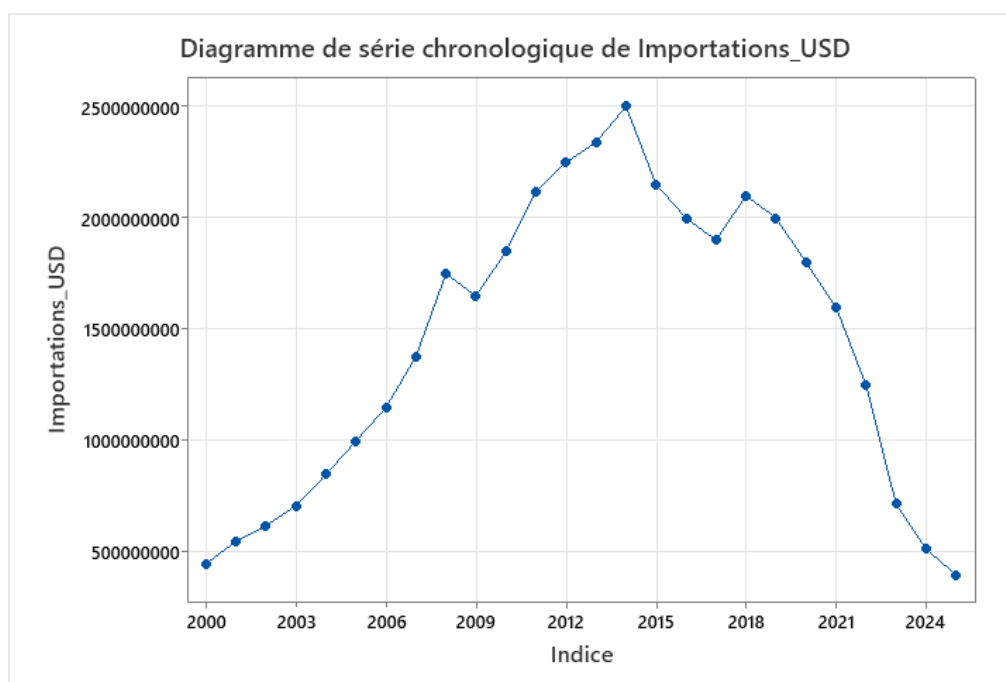


FIGURE 1.4 – Évolution des importations des produits pharmaceutiques en Algérie (2000-2025). Source : Ministère de la Santé / Douanes algériennes.

En 2024, l'Algérie importait majoritairement ses produits pharmaceutiques de l'Union européenne (UE27), qui représentait **75%** des importations. Les pays du reste du monde suivaient avec 19%, tandis que les pays méditerranéens contribuaient à hauteur de 4%. Enfin, les pays de la région MENA (hors pays méditerranéens) ne représentaient que 1%. Cette répartition souligne la forte dépendance de l'Algérie vis-à-vis de l'Europe pour l'approvisionnement en médicaments [5].

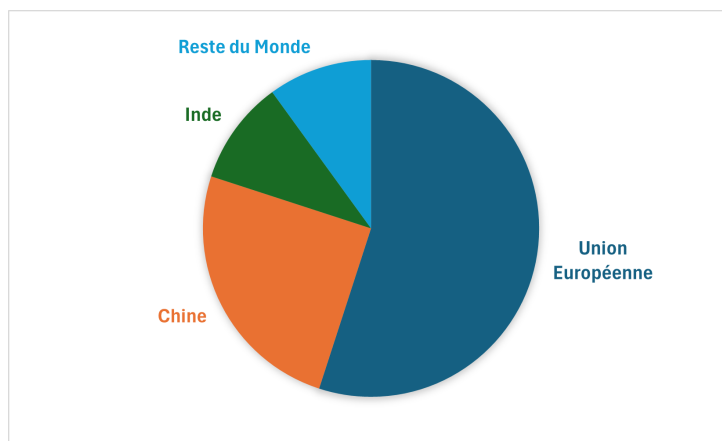


FIGURE 1.5 – Parts des importations de produits pharmaceutiques par origine en 2024. Source : Ministère de la Santé.

L'exportation des produits pharmaceutiques

Pour ce qui est des exportations de médicaments, on constate une légère contradiction avec les importations : une baisse des chiffres en 2011, en 2017, puis de 2018 à 2025, avec une forte augmentation des exportations, ce qui pourrait refléter une couverture plus importante du marché national par la production locale.

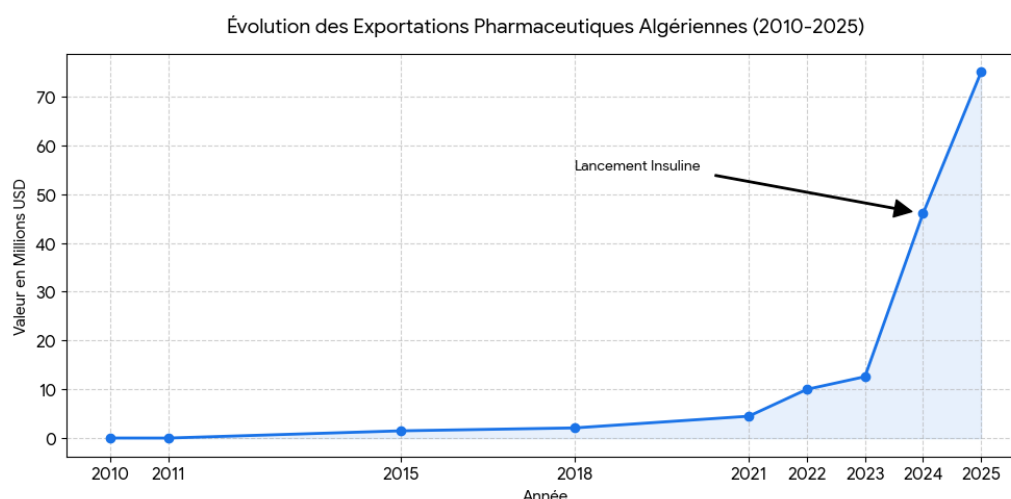


FIGURE 1.6 – Évolution des exportations des produits pharmaceutiques en Algérie (2010-2025). Source : Ministère de la Santé.

En 2021, selon les données récentes d'AlgerieInvest, les exportations pharmaceutiques algériennes étaient principalement destinées à l'Afrique (44 %), suivie par l'Europe (28 %).

Le reste du monde représentait les 28 % restants, avec des exemples comme l'Arabie Saoudite et d'autres pays africains ciblés [6].

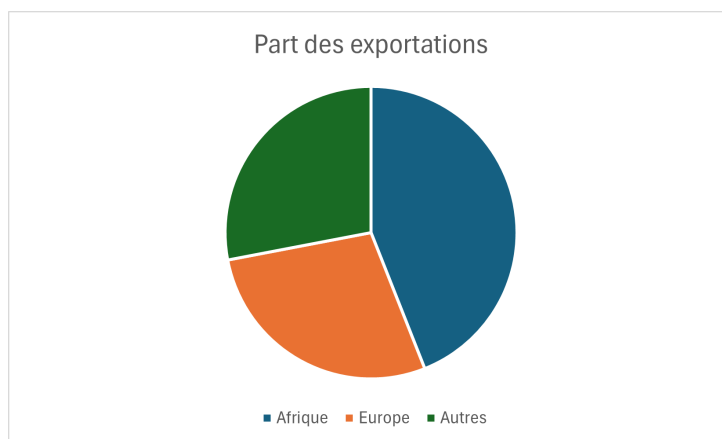


FIGURE 1.7 – Parts des exportations de produits pharmaceutiques par destination en 2017. Source : Ministère de la Santé.

La production des produits pharmaceutiques

Une stratégie a été mise en place pour encourager l'augmentation progressive du taux d'intégration dans l'industrie pharmaceutique. Bien que les volumes de production et de conditionnement en nombre de boîtes soient restés relativement stables, on observe qu'ils suivent des tendances opposées. Cette évolution semble liée à des réformes visant à favoriser la production locale : lorsqu'un fabricant commence à produire un médicament, les autres acteurs qui se limitaient au conditionnement sont poussés à faire de même pour rester compétitifs.

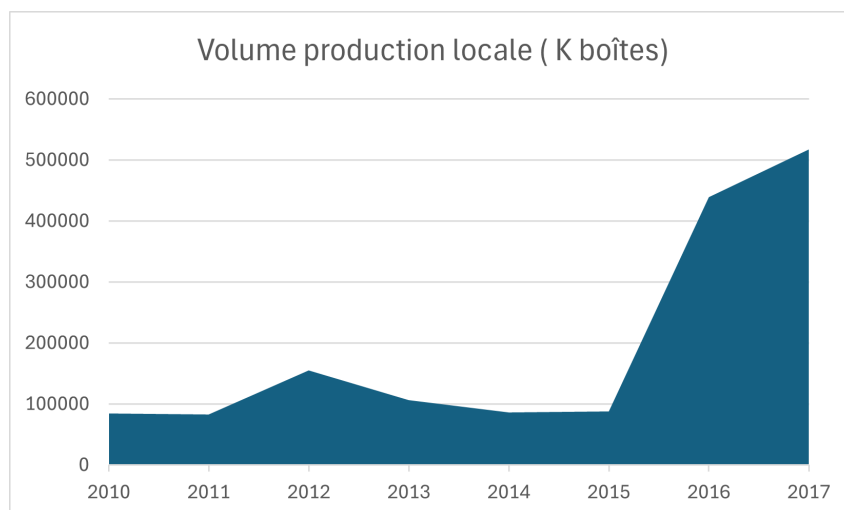


FIGURE 1.8 – Production de médicaments en volume (2010-2017). Source : Ministère de la Santé.

1.2 Le marché du diabète en Algérie

Une enquête réalisée en 2016-2017 par le Ministère de la Santé, en collaboration avec l'OMS, a révélé que plus de 14% des Algériens âgés de 18 à 69 ans souffrent de diabète,

contre 8% il y a quinze ans. Selon l'IDF, avec 42 500 cas, l'Algérie, derrière les États-Unis, l'Inde, le Brésil, la Chine et la Russie, est le sixième pays qui compte le plus grand nombre de cas de diabète de type 1 chez les enfants et les adolescents en 2017. Dans son rapport annuel 2018, Novo Nordisk fait de l'Algérie un « marché stratégique » dans lequel investir, dans la région AAMEO (Afrique, Asie, Moyen-Orient et Océanie), aux côtés de la Russie et de l'Iran. L'obligation, depuis 2009, pour un investisseur étranger de s'associer à hauteur de 49% au maximum avec un opérateur local, n'a pas été une entrave pour l'entreprise danoise [7].

Le tableau ci-dessous présente des données sur la population adulte en Algérie ainsi que la prévalence du diabète chez les adultes pour l'année 2021 :

TABLE 1.1 – Estimation du nombre de cas de diabète en Algérie en 2021. Source : IDF Diabetes Atlas, 2021.

Indicateur	Valeur
Population adulte totale	28 219 300
Prévalence du diabète chez les adultes	17,5 %
Nombre total de cas de diabète chez les adultes	4 761 800

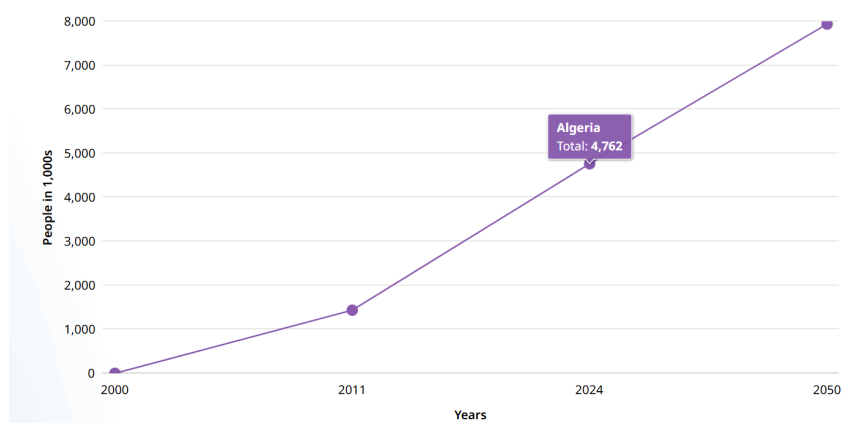


FIGURE 1.9 – Prévalence du diabète de la population âgée de 20 à 79 ans en Algérie (2010-2050). Source : IDF Diabetes Atlas.

2 Le groupe Novo Nordisk A/S

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 d'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. Elle emploie environ **55 200 personnes** et dessert un nombre record de près de **40 millions de patients** à l'échelle mondiale [NN2024].

Ci-dessous se trouve un tableau résumant les informations clés de l'entreprise :

TABLE 1.2 – Fiche des informations clés de l'entreprise Novo Nordisk A/S. Source : Site officiel Novo Nordisk, 2024.

Information	
Nom	Novo Nordisk A/S
Date de création	1923
Fondateurs	Hans Christian Hagedorn, August Krogh, Marie Krogh et August Kongsted
Forme juridique	Société par actions (SPA danoise)
Siège social	Bagsværd, Danemark
Secteur d'activité	Pharmaceutique

Novo Nordisk a développé une stratégie axée sur 3 leviers de création de valeur nommée **ESG** (*Environmental, Social and Governance*). Ils visent à être respectés pour ajouter de la valeur à la société, progresser vers zéro impact environnemental, être reconnus 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 : maladies cardiovasculaires (MCV), stéatohépatite sans alcool (NASH), néphropathie chronique (MRC) et 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.

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 Novo Nordisk dans de nouveaux marchés.

La présence d'IO en Algérie remonte à 1936, 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 Novo Nordisk 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 Novo Nordisk à partir de ses 3 entrepôts à 5 catégories de clients :

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

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 1.10 – Responsabilités de Product Supply. Source : Document interne Novo Nordisk.

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

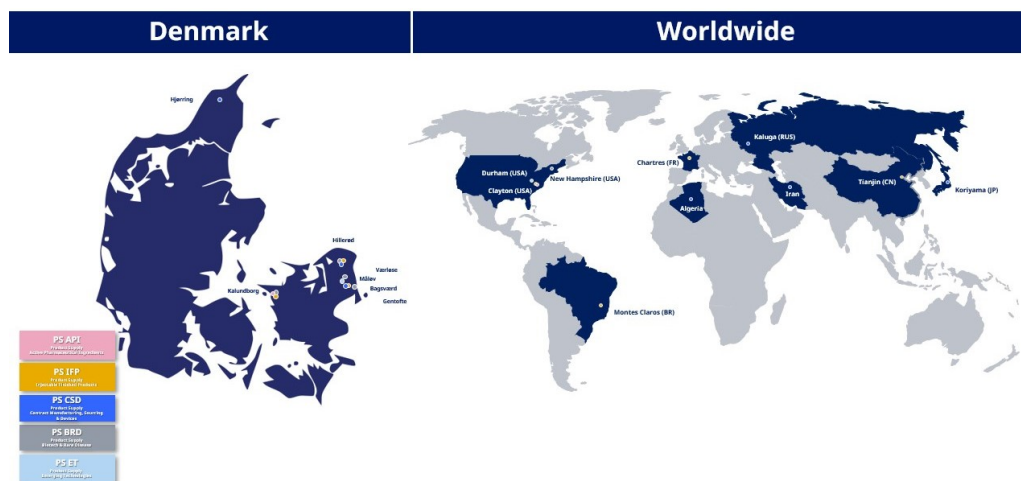


FIGURE 1.11 – Le réseau mondial de la division Product Supply. Source : Document interne Novo Nordisk.

- **Product Supply Active Pharmaceutical Ingredients (PS API)** : Elle est chargée de produire et de fournir les principes actifs. Ses 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 Novo Nordisk, situés au Danemark, en France, en Chine, aux États-Unis et au Brésil. Les principaux processus sont la formulation d'insuline, le remplissage de cartouches, l'assemblage et le conditionnement de stylos d'insuline. Le département IFP est à la fois fournisseur de matières premières (cartouches) pour les sites dédiés à la production locale (Local Manufacturing Sites — LM sites), et producteur de produits finis (FlexPen®) destinés à l'exportation.
- **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.
- **Product Supply Emerging Technologies (PS ET)** : Elle consiste à assurer la production de comprimés et de leur conditionnement, ainsi que la distribution.
- **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. Elle comporte à son tour les sous-départements suivants :
 - **PS CSDS Business Support & CSDS HR Business Partnering** : 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 de 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. Les composants en plastique sont produits au Danemark selon une approche Make To Stock, avec un lead time de **38 jours**.
- **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 la production des 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 Glucophage, et Local Manufacturing Blida. Elle possède également d'autres sites à travers le monde. Dès janvier 2024, ces deux Local Manufacturing ont été fusionnés sous le nom **Local Manufacturing Algeria (LMA)**, les deux sites s'appellent : Site Tablet à Tizi Ouzou et Site Flexpen à Blida.
- **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 (*Printed Packaging Materials*) pour la production et les essais cliniques. Les PPM sont produits par des sous-traitants basés au Danemark selon une approche Make To Order, avec un lead time de **67 jours**.
- **Strategic Sourcing (StSo)** : est responsable des stratégies de sous-traitance à long terme de toutes matières premières, articles, produits et services utilisés par la 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.



FIGURE 1.12 – Les sites de fabrication locaux de Novo Nordisk à travers le monde (*Local manufacturing footprint*). Source : Document interne Novo Nordisk.

3 Novo Nordisk Algérie

À partir de janvier 2024, les deux sites de production de Novo Nordisk Local Manufacturing Blida et celui de Tizi Ouzou ont été fusionnés sous le nom **Local Manufacturing Algeria (LMA)**. Le site de production de Blida est désormais appelé **Site Flexpen** et celui de Tizi Ouzou, **Site Tablet**. Le site Flexpen, 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**. Novo Nordisk a construit une unité d'assemblage et de conditionnement sur le site Flexpen, destinée à assembler 3 types de stylos FlexPen® et un Pen Injector, illustrés dans le tableau suivant :

TABLE 1.3 – Les produits assemblés au niveau du site Flexpen Novo Nordisk. Source : Document interne LMA Flexpen.

Produit	Description
NovoRapid FlexPen®	Insuline aspartate, insuline à action rapide.
NovoMix 30 FlexPen®	Association d'insuline aspartate et d'insuline aspartate protamine (30/70), insuline mixte à action rapide et intermédiaire.
Tresiba®	Insuline dégludec, insuline à action ultra-prolongée.
Pen Injector	Liraglutide, analogue du GLP-1 (<i>Glucagon Like Peptide</i>), utilisé dans la prise en charge du diabète.

Les composants du FlexPen® sont illustrés dans la figure suivante :

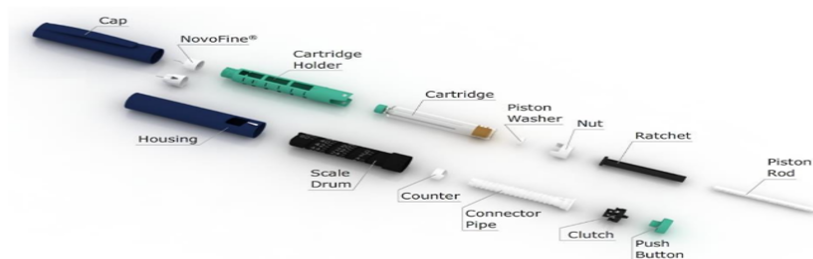


FIGURE 1.13 – Les composants du FlexPen®. Source : Document interne LMA Flexpen.

Le FlexPen® est constitué des composants suivants :

- Cap (capuchon)
- NovoFine (aiguille)
- Cartridge (cartouche)
- Housing (corps du stylo)
- Scale Drum (tambour gradué)
- Piston Washer (joint piston)
- Counter (compteur)
- Nut (écrou)
- Connector Pipe (tube connecteur)
- Clutch (embrayage)
- Ratchet (cliquet)
- Piston Rod (tige de piston)
- Push Button (bouton poussoir)

3.1 Organisation interne : Local Manufacturing Algeria

L'organisation du Local Manufacturing Algeria est répartie selon l'organigramme représenté dans la figure 1.14, qui regroupe les deux sites Flexpen et Tablet ainsi que leurs différentes activités.

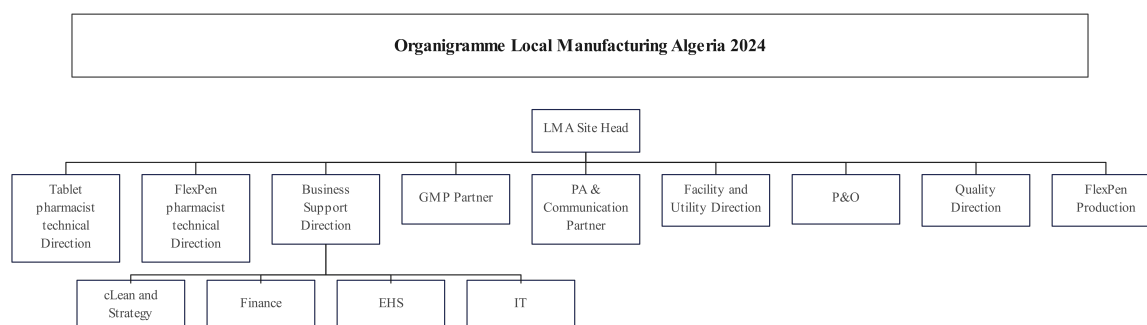


FIGURE 1.14 – L'organigramme de Local Manufacturing Algeria. Source : Document interne LMA.

La Supply Chain chez LMA Flexpen

Ayant centralisé quasiment toutes ses activités, la Supply Chain au niveau du site de production locale de Novo Nordisk Blida 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 lesquelles les relations sont régies par des **SLA** (*Service Level Agreements*).

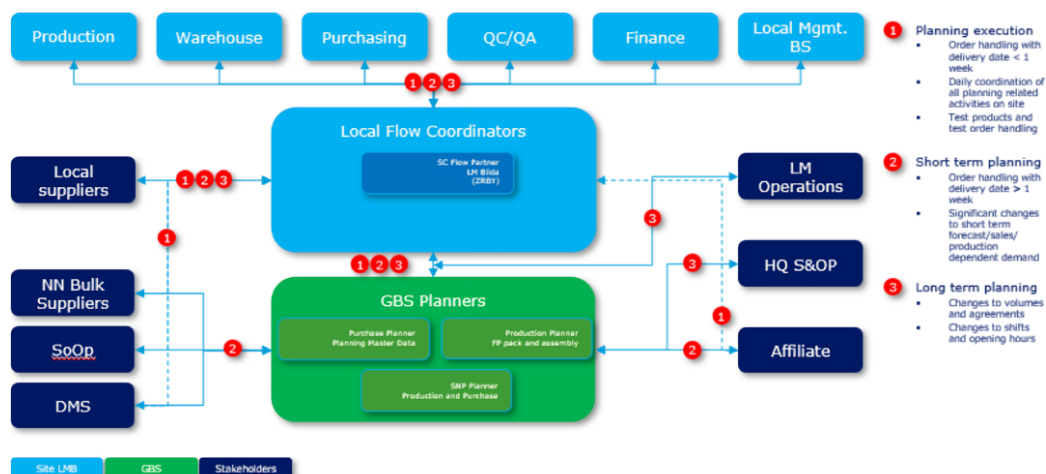


FIGURE 1.15 – Supply Chain Network de LMA Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.

D'une part, la filiale de distribution IO envoie les prévisions (*Global Sales Forecast*) des ventes du marché. GBS (*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 (PPM — *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 LMA Flexpen précédemment cités envoient leurs produits au Shipping Hub, qui assure le stockage et la livraison des matières au site de production locale, par navire pour les PPM et les composants en plastique, et par avion pour les cartouches d'insuline.

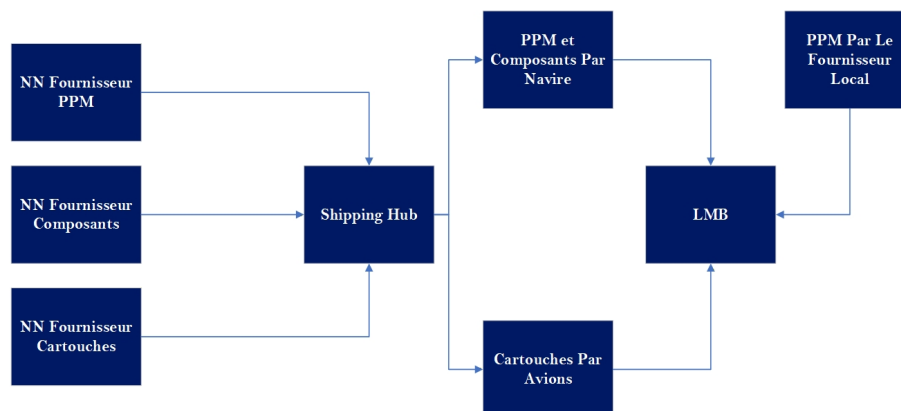


FIGURE 1.16 – Flux logistique des fournisseurs Novo Nordisk vers le site LMA Flexpen. Réalisation personnelle.

Les lead times associés à chaque fournisseur sont présentés dans le tableau suivant. Ces durées incluent le lead time de production chez le fournisseur et le lead time de transport, comprenant l’acheminement jusqu’au port d’Algérie via le centre d’expédition :

TABLE 1.4 – Lead time des composants livrés à LMA Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.

Composant	Lead time
Les cartouches (PS IFP — Chartres, France)	130 jours
Les composants en plastique (DMS — Danemark)	38 jours
Les articles de conditionnement PPM (SoOp — Danemark)	67 jours

Le site LMA Flexpen étant un site stratégique, il est généralement prioritaire par rapport à d’autres sites de production, surtout en ce qui concerne l’approvisionnement. Cette priorité est renforcée par l’utilisation du système **SAP**, qui permet de gérer efficacement les flux de matières et d’assurer leur disponibilité en fonction des besoins de production. Afin de sécuriser la chaîne d’approvisionnement, LMA Flexpen adopte une stratégie de constitution de stock de sécurité équivalent à **deux mois de consommation**, réduisant considérablement les risques liés aux aléas d’approvisionnement.

Le département cLean Strategy

Le département cLean Stratégie chez Novo Nordisk se concentre sur l’optimisation de la productivité opérationnelle tout en identifiant des objectifs stratégiques à long terme, en mettant en œuvre les principes du Lean management. Ce département vise à maintenir des environnements de travail efficaces, propres et sûrs tout en contribuant à l’élaboration de stratégies à long terme pour soutenir la croissance de l’entreprise. En intégrant les principes du Lean management, ce département s’efforce d’optimiser les processus opérationnels, de réduire le gaspillage et d’identifier des opportunités d’amélioration continue, tout en contribuant à la définition des orientations stratégiques de l’entreprise. En combinant ces deux aspects, le département cLean Stratégie joue un rôle essentiel dans l’harmonisation

des objectifs opérationnels quotidiens avec les initiatives stratégiques à long terme de Novo Nordisk.

4 Description du système de production actuels

4.1 La ligne d'assemblage NOR12

L'unité d'assemblage représente l'espace où est installée la ligne d'assemblage du FlexPen® et du 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 :

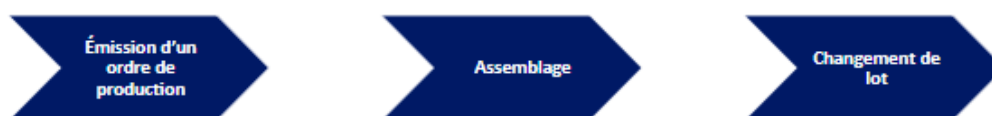


FIGURE 1.17 – Les étapes clés du processus d'assemblage au niveau du site Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.

Le processus d'assemblage est initié par un **ordre de production émis sur SAP**. Un dossier de lot (*Batch Production Record* — BPR) est constitué juste après l'émission de cet ordre de production. En parallèle, un changement de lot (BCO — *Batch Change Over*) est effectué. Il consiste à réaliser des activités permettant le passage d'un lot de produit à un autre selon une approche d'assurance qualité basée sur les BPF (*Bonnes Pratiques de Fabrication*), qui garantit la sécurité du patient. Ensuite, l'assemblage s'effectue sur la ligne NOR12 dont la capacité théorique est de **180 stylos par minute**. En même temps, la ligne prélève des échantillons (dont la taille dépend de la taille du lot) et les place dans une zone dédiée spécifique. Ces échantillons sont envoyés au laboratoire de contrôle qualité (QC) après l'assemblage de la dernière unité. Toutes les étapes sont documentées sur le dossier de lot, tout comme la consommation des matières premières et les informations relatives à la chaîne de froid.

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 et d'assurer la traçabilité complète.

La figure suivante montre les différentes cellules de la ligne d'assemblage NOR12 :

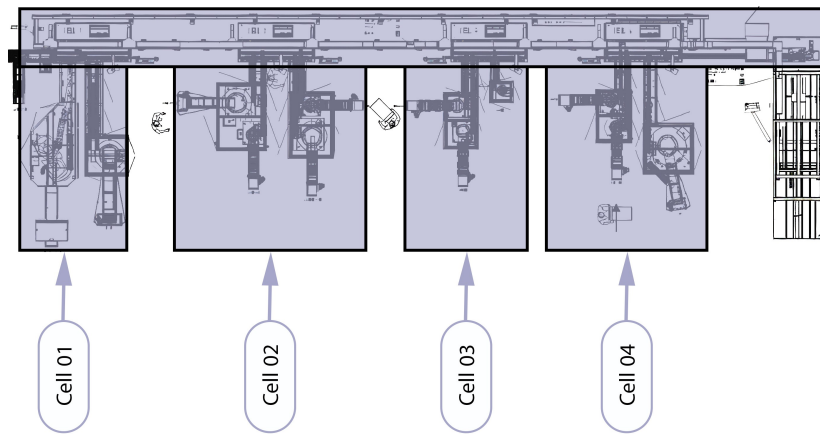


FIGURE 1.18 – Les différentes cellules de la ligne d’assemblage NOR12. Source : Document interne LMA Flexpen.

L’unité d’assemblage suit une disposition définie grâce à la réglementation d’une part et aux chantiers menés par le département cLean d’autre part :

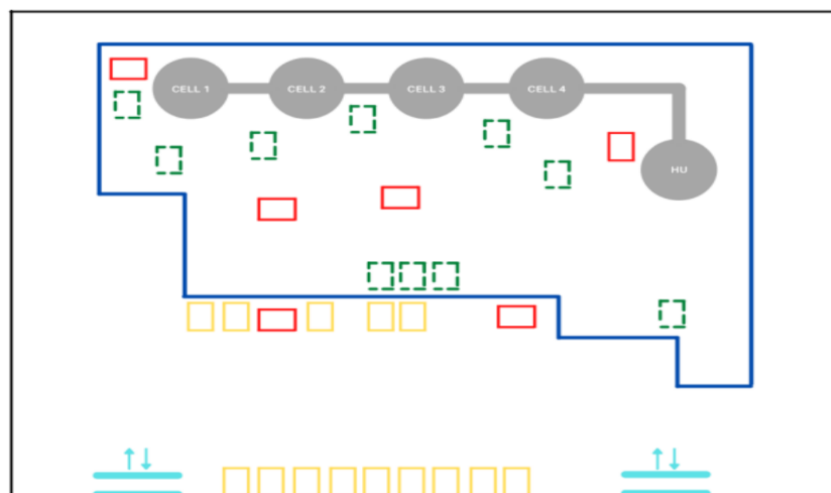


FIGURE 1.19 – Disposition des zones cLean et BPF au niveau de la ligne d’assemblage des FlexPen® et Pen Injector. Source : Document interne LMA Flexpen.

Cette disposition est le résultat d’un chantier 5S inauguré par le département cLean. Elle permet d’identifier : la zone de production (ligne bleue, conforme aux BPF), la zone de stockage des matières premières hors production (rectangles jaunes, initiative Lean), la zone des déchets (rouge, BPF), et les autres zones (pointillés bleus, blancs et verts) pour les équipements de ligne, la remise du matériel non consommé, et le stockage du matériel dans la zone de production. Le tableau suivant synthétise cette disposition :

TABLE 1.5 – Code couleur des marquages au sol de la ligne d’assemblage. Source : Document interne LMA Flexpen.

Zone	Correspondance	Remarque
Zone bleue	La ligne, zone de production	Conforme aux BPF
Zone jaune	Stockage de matériel hors ligne	Initiative Lean
Zone blanche	Remise de matériel	Initiative Lean
Zone rouge	Déchets	Conforme aux BPF
Pointillé bleu	Zone de mobilité d’équipement	Initiative Lean
Pointillé blanc	Remise de matériel	Initiative Lean
Pointillé vert	Stockage de matériel dans la zone bleue	Initiative Lean

Les inputs de la ligne d’assemblage

Le tableau suivant présente les matières premières (*inputs*) introduites dans la ligne d’assemblage :

TABLE 1.6 – Composants associés à chaque cellule de la ligne d’assemblage. Réalisation personnelle.

Cellule	Composants associés
Cellule 1	Cartridge, cartridge holder, housing
Cellule 2	Scale drum, counter, connector pipe, nuts
Cellule 3	Piston rod, ratchet, piston washer
Cellule 4	Clutch, cap, push button

4.2 Les lignes de conditionnement

Le conditionnement représente l’ensemble des opérations utilisées pour conditionner le produit en vrac (les stylos), préalablement fabriqué, dans le but de le protéger de l’environnement extérieur, créant ainsi un produit fini. Ce processus est essentiel pour garantir la qualité et la sécurité des produits avant qu’ils n’atteignent les consommateurs. L’unité de conditionnement est l’espace dédié où sont installées les deux lignes de conditionnement, destinées à l’emballage du FlexPen® et du Pen Injector. Les étapes clés du processus de conditionnement sont résumées dans la figure suivante :

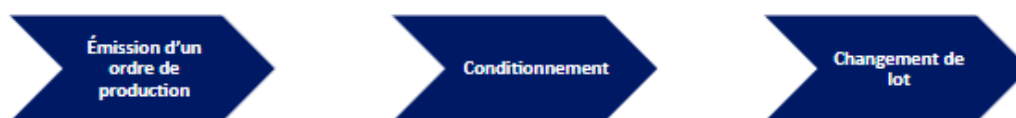


FIGURE 1.20 – Les étapes clés du processus de conditionnement au niveau du site Flexpen.
Source : Document interne LMA Flexpen.

Organisation des zones BPF et cLean

Cette unité est soigneusement délimitée par des zones spécifiques dédiées aux matériaux d'emballage, distincts en fonction de leur usage :

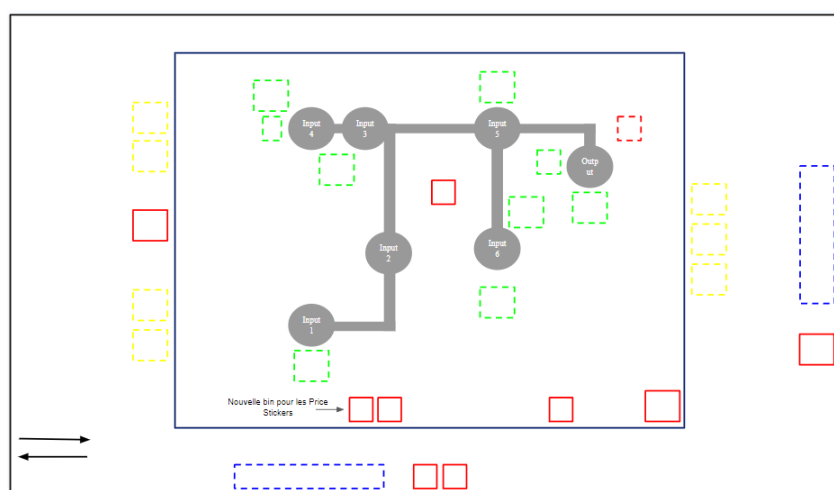


FIGURE 1.21 – Disposition des zones cLean et BPF au niveau des deux lignes de conditionnement des FlexPen® et Pen Injector. Source : Document interne LMA Flexpen.

La zone de production est marquée par une ligne bleue, la zone de stockage des matières premières hors production est délimitée par des rectangles jaunes, et la zone des déchets est signalée en rouge. Les autres zones, indiquées par des pointillés bleus, blancs et verts, sont respectivement destinées au stockage des équipements de la ligne, au retour du matériel non consommé et au stockage du matériel dans la zone de production.

Les inputs de la ligne de conditionnement

Le tableau suivant présente les matières premières (*inputs*) introduites dans la ligne de conditionnement :

TABLE 1.7 – Les inputs de la ligne de conditionnement. Source : Document interne LMA Flexpen.

Input	Matière	Description
1	Pens	Stylos pré-assemblés issus de la ligne NOR12.
2	Label	Étiquette imprimée contenant les informations produit, le numéro de lot, la date ainsi que les mentions réglementaires.
3	Leaflet	Notice d'utilisation insérée dans chaque boîte individuelle.
4	Carton	Boîte individuelle destinée au conditionnement primaire du produit fini.
5	Shipper box	Carton d'expédition regroupant plusieurs unités destinées au transport et à la distribution.
6	Price stickers	Vignettes de prix obligatoires pour la commercialisation sur le marché algérien.

La machine de conditionnement

Au cœur de cette unité se trouve la machine de conditionnement, un équipement sophistiqué et central au processus :

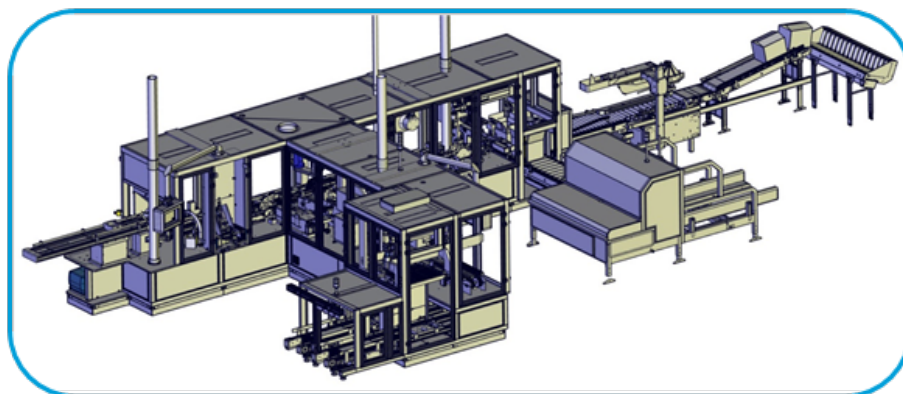


FIGURE 1.22 – La machine de conditionnement au niveau du site Flexpen. Source : Document interne LMA Flexpen.

5 Description des flux internes du site Flexpen

Le site Flexpen de Novo Nordisk Algérie opère selon une logique de flux tirés, pilotée par les ordres de production émis sur **SAP**. Les flux internes sont structurés en quatre processus séquentiels et interdépendants, illustrés dans la figure suivante :



FIGURE 1.23 – Vue globale des flux internes du site Flexpen. Réalisation personnelle.

5.1 Réception des matières premières et des articles de conditionnement

La réception des matières premières et des articles de conditionnement (PPM — *Printed Packaging Materials*) constitue la première étape du flux interne. Elle est assurée par l'équipe **Warehouse**, au niveau du **quai de réception** du site Flexpen.

Processus de réception et de vérification

À l'arrivée de chaque livraison, un contrôle physique est effectué sur le camion et la marchandise. Ce contrôle est formalisé et documenté à l'aide du **formulaire GRF (*Good Receiving Form*)**, qui enregistre l'ensemble des informations relatives à la réception, notamment :

- L'état général du camion (température, intégrité du scellé, conditions de transport).
- Les quantités reçues par référence et par numéro de lot.
- L'état visuel des articles réceptionnés (intégrité des emballages, absence de dommages apparents).
- La conformité des documents d'accompagnement (bons de livraison, certificats d'analyse, dossiers de lot).

Évaluation de la conformité

L'évaluation de la conformité des articles réceptionnés est structurée à travers un **arbre de décision**, permettant de statuer sur l'acceptation ou le rejet de chaque livraison selon les critères qualité définis dans les procédures BPF (*Bonnes Pratiques de Fabrication*) du site. Cet outil garantit une décision objective et traçable pour chaque réception.

Stockage et enregistrement dans SAP

Une fois la conformité validée, les articles sont orientés vers leurs zones de stockage respectives selon leur nature :

- **Cartouches d'insuline** : Acheminées vers le **Cold Warehouse** (zone réfrigérée), en respect des exigences de la chaîne de froid (température contrôlée entre +2°C et +8°C).
- **Composants plastique et articles de conditionnement (PPM)** : Stockés dans le **Warehouse ambiant**, à température contrôlée.

L'ensemble des mouvements de réception est ensuite enregistré dans **SAP** selon une logique d'**affectation bin-to-bin**, qui associe chaque référence à un emplacement physique précis dans le warehouse. Cet enregistrement garantit la traçabilité complète des articles et la fiabilité des niveaux de stock affichés dans le système.

5.2 Flux Warehouse → Production

Le flux de transfert du warehouse vers les lignes de production est déclenché par les **coordinateurs SAP**, qui émettent des **ordres de transfert** à destination de l'équipe Warehouse. Ces ordres précisent l'ensemble des informations nécessaires à la préparation, notamment :

- La référence et la désignation exacte des articles demandés.
- Les quantités à préparer, calculées en fonction du plan de production.
- Le numéro de lot et la date d'expiration (conformément à la règle **FEFO : *First Expired, First Out***).
- La ligne de destination (assemblage ou conditionnement).

Préparation et livraison

Sur la base de cet ordre, le magasinier effectue le **picking** des articles dans le warehouse, puis procède à leur livraison vers la ligne concernée :

- **Vers la ligne d'assemblage (NOR12) :** Si les articles demandés sont des **composants plastique** (cap, housing, cartouches, etc.), destinés à alimenter le processus d'assemblage des FlexPen® et Pen Injector.
- **Vers les lignes de conditionnement (Ligne S / Ligne P) :** Si les articles demandés sont des **stylos semi-finis** (SMF issus de l'assemblage) ou des **articles de conditionnement** (PPM : étiquettes, notices, cartons, vignettes de prix), destinés à alimenter le processus de conditionnement.

5.3 Flux Production → Warehouse

Le flux retour de la production vers le warehouse couvre trois situations distinctes, chacune déclenchée par un **ordre de récupération** émis par les coordinateurs SAP :

1. **Retour des composants non consommés :** À l'issue d'un ordre de fabrication, les composants plastique ou articles de conditionnement livrés en excédent et non consommés sur la ligne sont retournés vers le warehouse. Le magasinier effectue la réintégration physique de ces articles à leurs emplacements désignés et met à jour le stock dans SAP.
2. **Retour des articles non conformes :** Tout article identifié comme non conforme lors du contrôle en cours de processus (IPC — *In Process Control*) est isolé, étiqueté et retourné vers le warehouse, dans l'attente d'une décision de l'Assurance Qualité (QA).
3. **Stockage des produits semi-finis (SMF) :** Les stylos assemblés issus de la ligne NOR12, en attente de leur passage sur les lignes de conditionnement, sont

transférés vers le **Cold Warehouse** pour stockage intermédiaire sous conditions de température contrôlée.

5.4 Flux Expédition des produits finis

L'expédition des produits finis constitue le dernier maillon du flux interne du site Flexpen. Elle correspond au transfert des produits finis conditionnés depuis le **Cold Warehouse** vers le **quai de livraison**, en vue de leur expédition vers la filiale de distribution IO (International Operations).

Préparation de l'expédition

Avant tout chargement, une série de **vérifications réglementaires et qualité** est effectuée par l'équipe Warehouse et l'Assurance Qualité, portant sur :

- La conformité du statut des lots dans SAP (statut « approuvé » par QP).
- Le respect des quantités et références commandées par IO.
- La vérification des conditions de température lors du transfert du Cold Warehouse vers le quai (respect de la chaîne de froid).
- Le contrôle de l'intégrité physique des unités de palettes.

Chargement et documentation

Une fois les vérifications validées, le chargement est effectué sur le camion frigorifique, et l'ensemble des données d'expédition (numéros de lots, quantités, températures, heure de chargement) est enregistré dans SAP et formalisé dans les documents d'expédition transmis à IO.

6 Diagnostic

Afin de mener à bien cette étape, le diagnostic est structuré en deux volets complémentaires. Un premier volet de **diagnostic stratégique** évalue la position de Novo Nordisk Algérie dans son environnement, en identifiant les forces et faiblesses internes ainsi que les opportunités et menaces externes. Un second volet de **diagnostic industriel opérationnel** examine en profondeur les flux logistiques à l'interface Production – Warehouse du site Flexpen, afin d'en identifier les dysfonctionnements et de formuler la problématique de ce projet.

6.1 Diagnostic stratégique

Diagnostic interne

Forces

- Réputation internationale du groupe Novo Nordisk.
- Engagement du personnel et culture Lean développée.

- Accès à un savoir-faire industriel structuré et à des standards groupe.
- Système SAP intégré assurant la traçabilité des mouvements.

Faiblesses

- Forte dépendance à des composants importés et à des délais d'approvisionnement longs.
- Capacité de production partiellement sous-exploitée.
- Désynchronisation entre les flux du Warehouse et ceux de la production.
- Visibilité limitée sur les stocks, les emplacements et les besoins réels en temps opportun.

Diagnostic externe

Opportunités

- Croissance du marché du diabète et besoins croissants en traitements.
- Développement possible d'outils Lean et digitaux pour améliorer le pilotage.
- Renforcement de la performance par la standardisation des flux logistiques.
- Amélioration continue des processus de production et de logistique.

Menaces

- Pression concurrentielle accrue dans l'industrie pharmaceutique.
- Risques liés aux ruptures d'approvisionnement et à la volatilité de la supply chain.
- Contraintes réglementaires, qualité et conformité de plus en plus strictes.
- Retards logistiques susceptibles d'impacter la continuité de production.

Synthèse SWOT

S – Forces	W – Faiblesses
Réputation internationale du groupe Novo Nordisk.	Forte dépendance à des composants importés et à des délais d'approvisionnement longs.
Engagement du personnel et culture Lean développée.	Capacité de production partiellement sous-exploitée.
Accès à un savoir-faire industriel structuré et à des standards groupe.	Désynchronisation entre les flux du Warehouse et ceux de la production.
Système SAP intégré assurant la traçabilité des mouvements.	Visibilité limitée sur les stocks, les emplacements et les besoins réels en temps opportun.
O – Opportunités	T – Menaces
Croissance du marché du diabète et besoins croissants en traitements.	Pression concurrentielle accrue dans l'industrie pharmaceutique.
Développement possible d'outils Lean et digitaux pour améliorer le pilotage.	Risques liés aux ruptures d'approvisionnement et à la volatilité de la supply chain.
Renforcement de la performance par la standardisation des flux logistiques.	Contraintes réglementaires, qualité et conformité de plus en plus strictes.
Amélioration continue des processus de production et de logistique.	Retards logistiques susceptibles d'impacter la continuité de production.

TABLE 1.8 – Matrice SWOT de Novo Nordisk Algérie (LMA Flexpen). Réalisation personnelle.

À partir de ce diagnostic stratégique, il ressort que le site LMA Flexpen doit impérativement renforcer ses faiblesses opérationnelles notamment en matière de synchronisation des flux internes pour être en mesure de profiter de la croissance du marché algérien et de se protéger contre l'intensification de la concurrence. C'est dans cette perspective que s'inscrit le second volet du diagnostic, centré sur l'analyse des flux logistiques à l'interface Production – Warehouse.

6.2 Diagnostic industriel opérationnel

L'objectif de cette étape est d'établir une image fidèle et structurée de la situation actuelle à l'interface entre la production et le Warehouse au sein du site Flexpen de Novo Nordisk Algérie. Pour ce faire, une approche multidimensionnelle a été adoptée, combinant recueil de données qualitatives et analyses quantitatives, structurée en trois étapes complémentaires

progressant du général au particulier, et du qualitatif au quantitatif, comme l'illustre la figure suivante :



FIGURE 1.24 – Démarche adoptée pour le diagnostic industriel de l'interface Production–Warehouse. Réalisation personnelle.

Cette démarche s'inscrit dans une logique de progression rigoureuse : les entretiens semi-directifs fournissent une première lecture qualitative des dysfonctionnements perçus sur le terrain, qui sont ensuite objectivés et quantifiés via la fiche d'audit et les KPIs de performance. Ces deux premières étapes alimentent enfin l'éclatement analytique de la problématique, permettant de passer des symptômes observés aux causes racines réelles, condition indispensable à la formulation de solutions durables.

6.2.1 Étape 1 : Entretiens semi-directifs avec les parties prenantes

Afin de comprendre les réalités opérationnelles et les contraintes de chaque maillon de la chaîne logistique interne, une série d'**entretiens semi-directifs** a été menée auprès de l'ensemble des acteurs clés du site. Cette phase constitue le point d'entrée naturel du diagnostic : elle permet de croiser les perceptions du terrain avec la vision stratégique du management, évitant ainsi tout diagnostic partiel ou biaisé. En effet, un dysfonctionnement perçu par un opérateur peut avoir une cause structurelle invisible depuis le bureau d'un manager et inversement.

Les acteurs sollicités sont répartis en trois catégories :

TABLE 1.9 – Catégories d'acteurs sollicités dans l'étude

Catégorie	Rôle dans l'étude
Opérationnels	Magasiniers, opérateurs Assembly et Packaging. Ils constituent la première source d'information sur les dysfonctionnements du terrain : ruptures de composants, attentes non planifiées, difficultés de manipulation et erreurs récurrentes lors des transferts entre le Warehouse et les lignes de production. Leurs témoignages permettent d'identifier les écarts entre les procédures théoriques et les pratiques réelles.
Support et coordination	Coordinateurs SAP, chargés de garantir l'intégrité des flux d'information. Ils apportent une vision transversale sur la cohérence entre les mouvements physiques et leur traçabilité dans le système d'information, notamment pour le déclenchement des ordres de transfert, les saisies de consommation et les réconciliations de fin de shift.
Management	Managers de services et Shift Supervisors, mobilisés pour apporter une vision globale de la performance d'équipe et des objectifs stratégiques. Ils permettent de replacer les dysfonctionnements opérationnels dans le cadre des exigences de production, de la cadence, du respect des BPF et des enjeux Supply Chain de LMA Flexpen.

Les entretiens ont été conduits selon un guide de questions organisé autour de trois axes principaux :

1. La description des activités quotidiennes et des flux manipulés ;
2. L'identification des points de friction, des sources de perte de temps et des irritants récurrents dans les opérations ;
3. Les propositions d'amélioration issues de l'expérience terrain des acteurs, afin de capitaliser sur l'intelligence opérationnelle déjà présente au sein des équipes.

Cette phase d'entretiens a permis de faire émerger plusieurs **signaux faibles** qui ont orienté les investigations ultérieures : absence perçue de standards clairs pour les opérations de transfert, sentiment d'un manque de visibilité sur les priorités de picking, ou encore insatisfaction des opérateurs de production face aux délais d'approvisionnement interne. Ces éléments, encore qualitatifs à ce stade, ont constitué les **hypothèses de travail** soumises à vérification lors des étapes suivantes.

Le guide d'entretien semi-directif utilisé lors des investigations terrain est présenté en **Annexe A**.

6.2.2 Étape 2 : Diagnostic logistique, KPIs et évaluation de la maturité

Sur la base des hypothèses issues des entretiens, un **diagnostic logistique structuré** a été conduit afin d'évaluer de manière objective et reproductible la performance des processus à l'interface Production–Warehouse du site LMA Flexpen. Cette démarche s'appuie sur un ensemble de critères adaptés au contexte de Novo Nordisk Algérie, en retenant les dimensions les plus pertinentes pour l'environnement pharmaceutique : traçabilité BPF, fiabilité des flux, niveau de service interne et synchronisation entre Production et Warehouse **Annexe B**.

Le diagnostic est structuré autour de trois axes : **Qualité, Interactions entre Warehouse et Production** et **Flux d'information**. Il vise à :

- Identifier les processus logistiques les moins performants ;
- Établir un état des lieux de la maturité opérationnelle du Warehouse ;
- Mettre en évidence les dysfonctionnements récurrents et leurs causes ;
- Alimenter la formulation de la problématique et des hypothèses de travail.

Le fichier de diagnostic utilisé pour l'observation terrain est présenté en annexe.

Grille d'évaluation et modèle de maturité Chaque indicateur et critère qualitatif est évalué selon une **échelle de maturité à cinq niveaux**, allant de *Beginner* à *Expert*, afin de positionner le Warehouse sur une trajectoire de progression logistique.

Beginner (0) → Junior (1) → Senior (2) → Advanced (3) → Expert (4)

TABLE 1.10 – Définition des cinq niveaux du modèle de maturité logistique.

Niveau	Désignation	Signification
0	Beginner	Aucune standardisation formelle ; les pratiques logistiques sont gérées de manière ponctuelle et dépendante de l'initiative individuelle.
1	Junior	Des règles existent, mais leur application reste partielle et variable selon les équipes ou les shifts.
2	Senior	Les processus sont documentés et appliqués régulièrement, mais restent peu pilotés par des indicateurs formalisés.
3	Advanced	Les processus sont stabilisés, mesurés par des KPI et pilotés dans une logique d'amélioration continue.
4	Expert	L'excellence opérationnelle est atteinte : les processus sont automatisés, pilotés par la donnée et intégrés au système d'information.

Calcul des scores et appréciation de la performance L'appréciation de la performance logistique ne repose pas uniquement sur des mesures quantitatives. Plusieurs critères observés à l'interface Production–Warehouse sont en effet de nature qualitative ou semi-quantitative, ce qui nécessite une lecture combinant observation terrain, entretiens et analyse documentaire.

Une réunion de convergence a donc permis de positionner chaque KPI et chaque processus sur l'échelle de maturité définie précédemment. Pour rendre les résultats comparables, les niveaux ont été convertis en scores numériques : Beginner = 0, Junior = 1, Senior = 2, Advanced = 3 et Expert = 4. Le score global a ensuite été apprécié par agrégation des scores obtenus sur l'ensemble des critères audités.

TABLE 1.11 – Synthèse des stades de maturité observés sur l'ensemble des critères analysés.

Stade de maturité	Nombre de KPI	% du total	Lecture
Beginner	3	23,1%	Niveau encore présent sur certains processus
Junior	5	38,5%	Stade dominant sur plusieurs KPI
Senior	4	30,8%	Processus partiellement maîtrisés
Advanced	1	7,7%	Bon niveau ponctuel
Expert	0	0,0%	Non atteint
Score global moyen : 2,3 / 4 Niveau global observé : Entre Junior et Senior			

Dysfonctionnements identifiés À l'issue de cette évaluation, les dysfonctionnements majeurs sont récapitulés ci-dessous avec les actions correctives associées :

TABLE 1.12 – Dysfonctionnements identifiés et actions correctives proposées pour l’interface Production–Warehouse.

Dysfonctionnement identifié	Suggestions proposée
Absence de zoning standardisé : localisation des composants dépendante de SAP, parcours de picking non optimisés et temps de préparation élevés.	Mise en place d’un adressage physique et d’une classification ABC des références selon leur fréquence de rotation et leur criticité.
Déclenchement des ordres de transfert par email ou verbalement, sans anticipation réelle des besoins de production.	Déploiement d’un système Kanban de transport pour formaliser les transferts et synchroniser les flux avec la demande réelle.
Absence de KPI formalisés et de fréquence d’inventaire régulière, entraînant des écarts de stock non détectés à temps.	Mise en place d’un tableau de bord mensuel avec revue PDCA et plan d’action associé.
Saisies SAP reportées en cas de sous-effectif, créant des écarts entre stock physique et stock système.	Standardisation des saisies avec validation obligatoire à chaque point de transfert, indépendamment du manning.
Faible visibilité sur l’état des stocks bord de ligne, générant des commandes urgentes et des conflits de priorité.	Mise en place d’indicateurs visuels de niveau de stock et d’un déclenchement anticipé des réapprovisionnements.
Déséquilibre des charges entre la ligne d’assemblage NOR12 et les lignes de conditionnement : la Packaging subit des attentes fréquentes dues aux arrêts non planifiés, maintenances préventives et BCO en Assembly.	Découplage partiel des flux amont/aval par la mise en place d’un tampon logistique et d’un pilotage spécifique des flux pour sécuriser la continuité de Packaging indépendamment des aléas de l’Assembly.

7 Énoncé de la problématique

L’ensemble des dysfonctionnements observés au sein du site Flexpen converge vers une problématique centrale unique, formulée comme suit :

Comment améliorer la performance globale de l’interface entre le Warehouse et les lignes de production du site Flexpen en optimisant simultanément l’organisation physique des flux, leur pilotage informationnel et la continuité des flux de production, afin de garantir un approvisionnement interne fiable, synchronisé et capable de soutenir les objectifs de performance industrielle du site ?

Afin de structurer la réflexion et d'orienter l'analyse, cette problématique a été déclinée en trois sous-questions complémentaires :

1. **Sous-question 1** : Comment améliorer l'organisation physique de l'espace logistique afin de faciliter les opérations quotidiennes, de réduire les temps de préparation et de mieux assurer la disponibilité des ressources nécessaires aux lignes de production ?
 - **Hypothèse H1** : Une meilleure structuration de l'espace logistique, fondée sur une logique de priorisation des références par rotation et une organisation cohérente des emplacements, permettrait de réduire les efforts de manutention, de minimiser les distances de picking et d'améliorer l'efficacité globale des opérations de préparation.
2. **Sous-question 2** : Comment renforcer le pilotage des flux internes afin d'assurer un déclenchement plus fiable, plus anticipé et mieux coordonné des approvisionnements entre les différentes entités du site ?
 - **Hypothèse H2** : La mise en place d'un dispositif de pilotage plus structuré, appuyé par des outils numériques adaptés notamment un outil dédié à la visibilité et au suivi des stocks en temps réel permettrait d'améliorer la transparence sur l'état des flux, de mieux synchroniser les besoins des lignes avec les actions de réapprovisionnement et de limiter les écarts entre la demande réelle et les transferts effectués.
3. **Sous-question 3** : Comment sécuriser la continuité des opérations de production face aux aléas internes afin de limiter leur impact sur la performance globale du système ?
 - **Hypothèse H3** : L'instauration d'un mécanisme de sécurisation adapté aux variations et aux aléas de production s'appuyant sur un stock tampon dimensionné par simulation stochastique et piloté par une politique à deux seuils permettrait de mieux absorber les perturbations amont, de réduire leur propagation vers le Packaging et de renforcer la continuité de l'activité.

Ces trois hypothèses, issues du croisement des entretiens, des observations de terrain et des analyses menées au cours du diagnostic, constituent le fil conducteur de la partie suivante. Elles permettent de passer d'un constat des dysfonctionnements à une compréhension structurée des enjeux à traiter, tout en restant dans une formulation générale compatible avec une démarche d'analyse et de proposition de solutions.

État de l'art

Ce deuxième chapitre présente les fondements théoriques et méthodologiques mobilisés pour analyser et répondre à la problématique identifiée dans le chapitre précédent. L'objectif n'est pas de dresser une revue exhaustive de la littérature, mais de retenir les concepts les plus pertinents au regard des dysfonctionnements observés et des solutions envisagées. Le chapitre s'articule autour de cinq axes complémentaires : les fondements du Lean Manufacturing et de sa dimension digitale ; les outils de cartographie et d'analyse des flux ; la gestion et l'optimisation du Warehouse ; les méthodes d'aide multicritère à la décision ; et enfin, les approches quantitatives de pilotage des flux et de simulation stochastique, incluant les politiques à seuils avec hystérésis, les fondements probabilistes et la méthode Monte Carlo. L'ensemble de ces concepts forme le socle scientifique à partir duquel les solutions proposées dans la troisième partie sont construites et justifiées.

1 Fondements du Lean Manufacturing

1.1 Origines et philosophie du Lean

Le Lean Manufacturing trouve son origine dans le *Toyota Production System* (TPS), système de production développé par Toyota au début des années 1950. Ce modèle est né dans un contexte marqué par de fortes contraintes de ressources, poussant l'entreprise à rechercher une organisation plus efficace, plus flexible et plus réactive. L'objectif principal du TPS était de produire uniquement ce qui est nécessaire, au bon moment, avec un minimum de gaspillage. Cette philosophie a ensuite été rendue publique et diffusée notamment à travers les travaux de Taiichi Ohno, Shigeo Shingo et plusieurs autres auteurs ayant contribué à la formalisation de ses principes [8, 9].

À l'origine, le Lean est resté fortement associé à Toyota, mais il a progressivement été enrichi par les apports d'autres entreprises et chercheurs à partir de la fin des années 1980. Le terme s'est alors imposé comme une approche de management et d'amélioration des performances applicable à de nombreux secteurs, au-delà de la seule industrie automobile. La popularisation du concept a été largement renforcée par l'ouvrage *Lean Thinking* de Womack et Jones, qui a contribué à diffuser une vision structurée du Lean fondée sur la valeur, le flux et l'amélioration continue [10].

1.1.1 Toyota Production System

Selon Ohno, le Toyota Production System constitue le socle historique du Lean Manufacturing [8]. Développé chez Toyota dans un contexte de ressources limitées, ce système visait à produire avec un haut niveau de flexibilité tout en éliminant systématiquement les gaspillages. Shingo et Monden ont ensuite montré que cette approche ne repose pas uniquement sur des outils de production, mais sur une logique globale de conception des flux, de stabilisation des processus et de résolution des problèmes à la source [9, 11].

Le TPS s'appuie classiquement sur deux piliers complémentaires. D'une part, le **Just-in-Time** vise à produire uniquement ce qui est nécessaire, au moment où cela est nécessaire et dans la quantité requise. D'autre part, le **Jidoka** consiste à intégrer la qualité au sein du processus afin de détecter immédiatement les anomalies et d'empêcher leur propagation [8]. Cette double logique permet de réduire les stocks intermédiaires, de limiter les retards et d'améliorer la fiabilité globale du système de production.

Au-delà des outils, le TPS représente également une culture de management fondée sur la discipline, la standardisation et l'amélioration continue. Selon Liker, cette approche repose sur une vision systémique dans laquelle chaque activité doit contribuer à la création de valeur tout en renforçant la stabilité des flux [12].

1.1.2 Lean Thinking

D'après Womack et Jones, le Lean Thinking repose sur cinq principes directeurs qui permettent d'améliorer la performance en se concentrant sur la valeur réellement attendue par le client [10]. Le premier principe consiste à définir la valeur du point de vue du client. Le second vise à identifier la chaîne de valeur afin de distinguer les activités créatrices de valeur de celles qui n'en créent pas. Le troisième principe repose sur la continuité du flux, en supprimant les interruptions, les ruptures et les attentes inutiles. Le quatrième principe consiste à mettre en place un système tiré, piloté par la demande réelle. Enfin, le cinquième principe renvoie à la recherche permanente de la perfection à travers l'amélioration continue [10].

Dans une logique d'ingénierie industrielle, ces principes constituent une grille de lecture particulièrement pertinente pour analyser les flux logistiques, réduire les temps de traversée et mieux synchroniser les activités du warehouse avec les besoins de la production. Ils permettent également d'identifier les gaspillages, de fluidifier les opérations et d'orienter les actions d'amélioration vers les étapes à plus forte valeur ajoutée.

1.1.3 Notions de base du Lean

Dans la littérature, on distingue généralement trois grandes catégories d'activités dans une chaîne de valeur. Les **activités à valeur ajoutée** (VA) transforment directement le produit ou le service d'une manière que le client est prêt à payer. Les **activités à non-valeur ajoutée nécessaire** (NVN) ne créent pas de valeur pour le client, mais

restent indispensables au bon déroulement du processus. Enfin, les **activités à non-valeur ajoutée** (NVA) ne créent aucune valeur et doivent être éliminées autant que possible.

Cette classification est essentielle dans une démarche Lean, car elle permet de cibler les sources de gaspillage et d'orienter les efforts d'amélioration. En pratique, l'analyse des flux consiste à réduire au maximum les NVA, à simplifier les NVN et à renforcer les VA afin d'améliorer la performance globale du système.

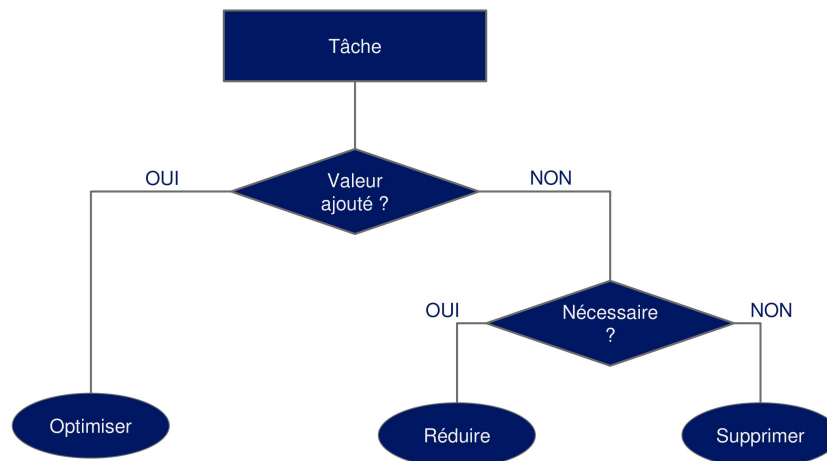


FIGURE 2.1 – Logigramme des classification des opérations. Réalisation personnelle.

1.1.4 Les gaspillages : Muda, Mura et Muri

Selon Ohno, le Lean Management s'attache d'abord à identifier et réduire les gaspillages, appelés **Muda** [8]. Liker ajoute que la performance d'un système ne dépend pas seulement de la suppression du Muda, mais aussi de la maîtrise du **Mura** et du **Muri**, qui correspondent respectivement à l'irrégularité et à la surcharge [12].

Le Muda regroupe les activités qui consomment des ressources sans créer de valeur. Dans le cadre logistique, cela se traduit notamment par les déplacements inutiles, les attentes, les stocks excessifs ou les transports redondants. Le Mura génère de la variabilité dans les charges de travail et déséquilibre le flux. Le Muri désigne, quant à lui, une sollicitation excessive des opérateurs ou des équipements, susceptible d'entraîner des erreurs, des arrêts ou des dégradations de qualité [13].

TABLE 2.1 – Types de Muda

N°	Type de Muda	Exemple en logistique industrielle
1	Surproduction	Production ou assemblage de lots sans besoin réel immédiat.
2	Attente	Opérateurs ou lignes en attente de matières, d'informations ou de validation.
3	Transport inutile	Déplacements multiples entre zones éloignées sans valeur ajoutée.
4	Surtraitement	Contrôles redondants ou opérations réalisées au-delà du nécessaire.
5	Stocks excessifs	Accumulation de WIP ou de composants en quantité non maîtrisée.
6	Mouvements inutiles	Déplacements superflus des opérateurs pour accéder aux références.
7	Défauts	Erreurs de préparation, de référence ou de conditionnement.
8	Sous-utilisation des talents	Non-valorisation des compétences et idées des équipes terrain.

1.2 Digitalisation et Lean

Selon plusieurs travaux récents, la digitalisation ne remplace pas le Lean : elle en renforce l'efficacité lorsqu'elle est utilisée comme levier de suppression des activités sans valeur ajoutée. Les technologies numériques améliorent en particulier la visibilité des flux, la traçabilité, la réactivité décisionnelle et la standardisation des opérations [14, 15, 16]. Dans les environnements industriels, cette évolution se traduit par l'intégration d'outils de collecte de données, d'applications mobiles, de tableaux de bord en temps réel et de solutions low-code/no-code permettant de formaliser rapidement les standards opérationnels et de fluidifier la transmission des informations [15, 16, 17].

Dans une approche d'ingénierie, la digitalisation s'inscrit donc comme un prolongement naturel du Lean : elle facilite la mesure, le pilotage et la stabilisation des processus. Elle devient particulièrement intéressante lorsqu'il s'agit de gérer des flux complexes, de suivre les emplacements de stockage, de fiabiliser les affectations ou d'appuyer une logique d'amélioration continue fondée sur les données [15, 17].

2 Cartographie et analyse

2.1 PDCA

La roue de Deming, appelée également **PDCA**, est une démarche organisationnelle utilisée dans de nombreux domaines tels que les sciences, le management et la qualité. Elle repose sur un cycle vertueux composé de quatre étapes [18] :

- **Plan (Planifier)** : cette étape consiste à définir les objectifs à atteindre, à identifier les problèmes, à rechercher les causes et à établir un plan d'action.
- **Do (Mettre en œuvre)** : cette phase correspond à la réalisation des actions planifiées dans le respect des dispositions définies lors de l'étape précédente.
- **Check (Contrôler)** : cette étape vise à analyser les résultats obtenus à l'aide d'indicateurs de performance afin de vérifier l'atteinte des objectifs fixés.
- **Act (Agir)** : cette dernière phase consiste à standardiser les actions mises en place et, en fonction des résultats observés, à définir des mesures correctives ou préventives.

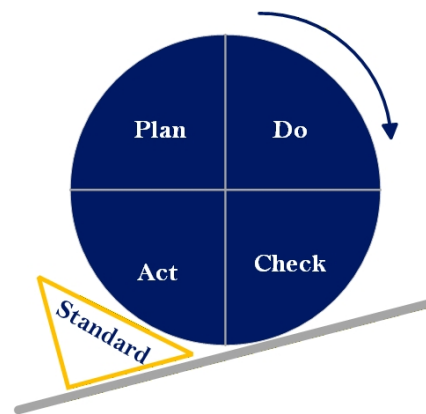


FIGURE 2.2 – La roue PDCA. Réalisation personnelle.

2.2 SIPOC

Selon Hohmann, le SIPOC constitue un outil de cadrage macro permettant de représenter un processus en identifiant ses fournisseurs, ses entrées, ses étapes, ses sorties et ses clients [19]. Son intérêt principal réside dans sa capacité à délimiter le périmètre d'analyse et à clarifier les interfaces avant de passer à un niveau de détail plus fin. Voehl et al. soulignent également que le SIPOC facilite l'alignement des acteurs autour d'une représentation commune du processus [20].



FIGURE 2.3 – SIPOC. Réalisation personnelle.

2.3 Value Stream Mapping

D'après Rother et Shook, la Value Stream Mapping est un outil central du Lean, car elle permet de représenter simultanément les flux physiques et informationnels d'un processus [21]. Elle distingue l'état actuel, qui décrit le fonctionnement réel avec ses pertes, et l'état futur, qui fixe la cible d'amélioration. Nash et Poling ont élargi son application aux environnements logistiques et transactionnels, ce qui la rend particulièrement adaptée à l'analyse d'un warehouse industriel [22].

Les indicateurs généralement associés à la VSM sont le Takt Time, le Lead Time et le Cycle Time. Ces indicateurs permettent de mesurer la capacité du système à répondre à la demande et de mettre en évidence les écarts entre temps utile et temps total de traversée [21].

2.3.1 Indicateurs clés de la VSM

La VSM s'appuie sur trois indicateurs fondamentaux [21, 19] :

1. Le **Takt Time**, rythme auquel la demande client exige la production d'une unité :

$$T_{\text{takt}} = \frac{\text{Temps de production disponible par période}}{\text{Demande client par période}}$$

2. Le **Lead Time**, durée totale s'écoulant entre le lancement d'un ordre et la livraison du produit fini.
3. Le **Cycle Time**, durée effective de traitement d'une unité à une étape donnée du processus.

Le ratio VA/LT est un indicateur synthétique de la qualité du flux [21] :

$$\text{Ratio VA} = \frac{\sum \text{Temps à valeur ajoutée}}{\text{Lead Time total}} \times 100$$

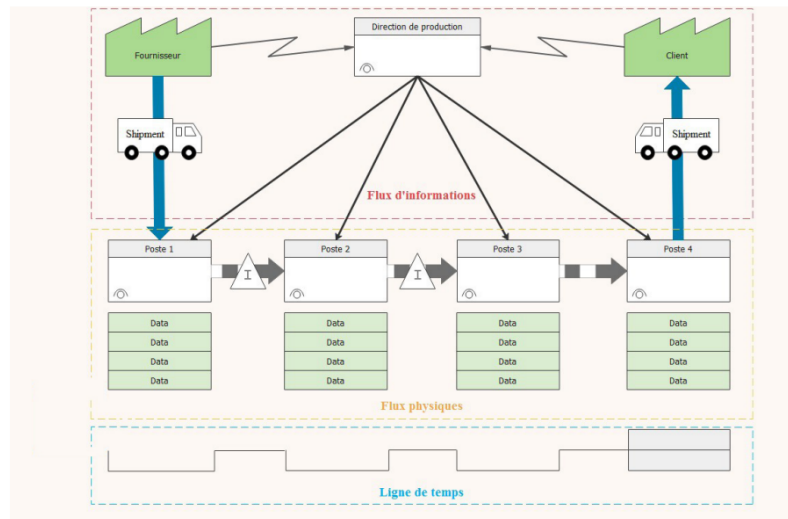


FIGURE 2.4 – VSM.

2.4 Diagramme spaghetti

Le diagramme spaghetti, souvent utilisé en complément de la VSM, permet de visualiser les déplacements réels des opérateurs ou des matières dans l'espace de travail [19]. Selon Tompkins et al., cet outil est particulièrement utile pour révéler les circulations longues, les croisements inutiles et les zones de congestion, qui traduisent souvent une implantation sous-optimale [23]. Dans une perspective d'ingénierie, il constitue un support simple mais efficace pour objectiver les pertes de temps liées aux mouvements.

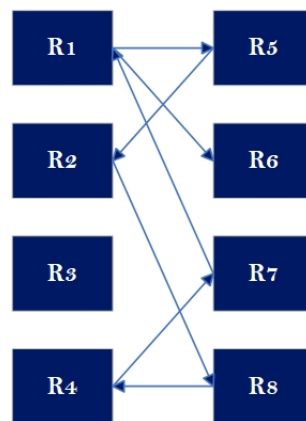


FIGURE 2.5 – Diagramme spaghetti. Réalisation personnelle.

2.5 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto repose sur le principe selon lequel une petite part des causes explique une grande part des effets [24]. Dans le contexte industriel, il sert à hiérarchiser les problèmes ou les familles de causes afin d'orienter les efforts d'amélioration vers les leviers les plus contributifs [25]. Son intérêt est d'apporter une lecture opérationnelle des priorités d'action.

2.6 QQQQCCP

Le QQQQCCP est un outil de questionnement structuré qui permet de formaliser un problème de manière rigoureuse [19]. Il aide à caractériser la situation observée en répondant aux questions suivantes : quoi, qui, où, quand, comment, combien et pourquoi. Dans une démarche de résolution de problème, il constitue un support simple pour objectiver le contexte avant l'analyse détaillée.

2.7 Analyse de déroulement

Selon Hohmann et Voehl, l'analyse de déroulement est une méthode chronologique qui consiste à décomposer une activité en séquences élémentaires afin d'en mesurer la durée, la nature et la valeur ajoutée [19, 20]. Elle permet d'identifier les opérations productives, les attentes, les contrôles redondants et les déplacements inutiles. Cette méthode est particulièrement pertinente dans les environnements logistiques, car elle fournit une base factuelle pour comparer le travail réel au travail prescrit et pour standardiser les tâches répétitives.

2.8 Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche de conception qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser et hiérarchiser les fonctions qu'un produit ou un système doit assurer pour répondre à un besoin donné [26, 27]. Elle permet de distinguer les fonctions attendues par l'utilisateur des solutions techniques retenues pour les satisfaire [26].

L'analyse fonctionnelle externe vise à exprimer le besoin et à formaliser les relations entre le système et son environnement, tandis que l'analyse fonctionnelle interne s'intéresse à la manière dont les fonctions sont réalisées. Dans cette logique, des outils comme la *bête à cornes* servent à reformuler le besoin de manière simple et structurée.

Cette démarche est généralement menée en amont du projet, afin d'éviter de figer trop tôt une solution technique et de garantir une expression claire du besoin [26]. Elle constitue ainsi une base utile pour élaborer un cahier des charges fonctionnel cohérent et orienter la recherche de solutions adaptées [27].

3 Gestion et optimisation du warehouse

3.1 Fonctions logistiques du warehouse

Selon Frazelle, un warehouse remplit plusieurs fonctions fondamentales : réception, stockage, préparation de commandes, consolidation, expédition et support d'information [28]. Dans les environnements industriels, la fonction de préparation est souvent la plus consommatrice de temps et de ressources, ce qui en fait un levier majeur d'optimisation [23, 29]. Une organisation efficace de l'entrepôt vise donc à réduire les déplacements, fluidifier l'accès aux références et garantir la disponibilité des articles au bon moment.

3.2 Adressage des emplacements

L'adressage consiste à attribuer un identifiant unique à chaque emplacement de stockage afin de localiser rapidement une référence [28]. Frazelle distingue un adressage fixe, dans lequel chaque référence est associée à une position stable, et un adressage dynamique, dans lequel les emplacements sont alloués en fonction du flux et de la disponibilité [28]. D'un point de vue industriel, l'adressage fixe est souvent privilégié pour les références à forte rotation, car il améliore la lisibilité du magasin et réduit les temps de recherche [23].

3.3 FIFO et FEFO

En environnement pharmaceutique, les règles de rotation des stocks doivent respecter des contraintes de qualité et de péremption. Le principe FIFO impose une sortie selon l'ordre d'entrée, tandis que le principe FEFO impose une sortie selon la date d'expiration [24, 30]. Selon Chopra et Meindl, ces règles garantissent à la fois la conformité réglementaire et la maîtrise du risque qualité dans les chaînes d'approvisionnement sensibles [30].

3.4 Classification ABC

Selon Silver, Pyke et Peterson, la classification ABC repose sur le principe de Pareto, selon lequel une part réduite des références concentre l'essentiel des sorties ou de la valeur consommée [24]. Viswanathan et Bhakhar soulignent que cette approche permet de prioriser les efforts de gestion en fonction de la contribution réelle des articles au système [31]. Dans un contexte de warehouse, la classification ABC sert généralement à définir les règles de stockage, les distances d'accès et les niveaux de priorité d'emplacement.

3.5 Lien entre classification ABC et plan de stockage

Tompkins et al. montrent que l'implantation des références dans un entrepôt doit suivre des principes de popularité, de complémentarité et de similarité [23]. Les références les plus sollicitées doivent être placées à proximité des zones de départ, tandis que les articles moins fréquemment utilisés peuvent être positionnés plus loin ou en hauteur. Cette logique permet de réduire les temps de manutention et d'améliorer la productivité globale du warehouse.

4 Analyse multicritère et aide à la décision

4.1 Principe général

Dans les problématiques industrielles impliquant plusieurs critères simultanés, l'analyse multicritère permet de comparer des alternatives en tenant compte de dimensions parfois contradictoires. Selon Triantaphyllou, l'aide à la décision multicritère consiste à agréger plusieurs critères de performance afin de classer des solutions et de sélectionner l'option la plus adaptée au contexte étudié [32]. Dans un problème de logistique interne, cette

approche est particulièrement utile pour hiérarchiser des emplacements ou des zones de stockage à partir d'indicateurs de distance, d'accessibilité et de criticité.

4.2 Méthode de la somme agrégée

La méthode de la somme agrégée, souvent appelée *weighted sum method*, repose sur la normalisation des critères puis sur leur pondération avant addition [32, 33]. Chaque alternative reçoit un score global calculé comme la somme des scores pondérés de ses critères. Cette méthode est simple, lisible et largement utilisée dans les contextes industriels lorsque les critères sont homogénéisés sur une même échelle.

L'avantage principal de cette approche est sa transparence. Elle permet de justifier facilement le classement obtenu, ce qui est précieux dans un mémoire d'ingénieur où la traçabilité du raisonnement est essentielle. En revanche, elle suppose que les poids attribués aux critères reflètent correctement les priorités opérationnelles du système. Pour l'aide à la décision multicritère, la méthode de la somme agrégée est définie par :

$$S(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j \hat{c}_{ij}$$

4.3 Méthode de Borda

Selon la théorie du choix social, la méthode de Borda attribue des points à chaque alternative en fonction de son rang dans chaque critère ou chaque préférence, puis additionne ces points pour obtenir un classement global [34, 35]. Cette méthode est particulièrement intéressante lorsque l'on souhaite obtenir un compromis robuste entre plusieurs critères et éviter qu'une alternative extrême domine tout le classement uniquement grâce à un seul indicateur.

Dans un cadre industriel, la méthode de Borda peut être utilisée pour agréger des classements issus de plusieurs critères de performance, par exemple la proximité à un point de départ, la proximité à une machine et la facilité d'accès. Son intérêt est de produire une hiérarchisation simple, intuitive et cohérente avec une logique de consensus entre critères [34, 35]. Enfin, la méthode de Borda permet d'agréger des classements partiels à partir d'un système de points attribués selon le rang :

$$B(A_i) = \sum_{j=1}^m p_{ij} \quad \text{avec} \quad p_{ij} = n - r_{ij}$$

5 Flux poussés versus flux tirés

Dans un système de production de type **push** (flux poussé), les ordres de fabrication sont émis selon un plan prévisionnel, indépendamment de l'état réel de la demande aval. Hopp et Spearman montrent que cette organisation tend à générer des encours élevés, des délais allongés et une forte variabilité du flux [36]. À l'inverse, dans un système **pull** (flux tiré), chaque étape n'est déclenchée que par le besoin réel de l'étape en aval : la production est

ainsi synchronisée sur la demande effective, ce qui limite les surproductions et réduit les travaux en cours [11].

5.1 Flux tendu

Baudin définit le **flux tendu** comme une forme avancée du flux tiré dans laquelle les stocks intermédiaires sont réduits au minimum strict et les étapes de production sont directement synchronisées entre elles [37]. Harris et al. précisent que cette configuration exige une forte stabilité des temps de cycle, une fiabilité élevée des équipements et un haut niveau de standardisation des opérations [38]. En milieu industriel, le flux tendu est recherché pour réduire les délais, limiter les encours et accroître la réactivité du système face aux variations de la demande. Il constitue l'idéal vers lequel tendent les démarches lean, sans pour autant en être toujours le point de départ approprié.

5.2 Les Buffers Intermédiaires en Production

5.2.1 Définition et rôle

Dans tout système de production, un **buffer** (ou stock intermédiaire de découplage) est un encours physique placé entre deux étapes séquentielles afin de les rendre indépendantes opérationnellement. Contrairement à une idée reçue héritée du lean manufacturing, un buffer n'est pas systématiquement un gaspillage : en présence de variabilité, il constitue un mécanisme indispensable d'absorption des aléas inhérents à tout système industriel réel [36].

La *physique des usines* (*Factory Physics*) formule ce principe comme une loi fondamentale : dans tout système où au moins une ressource présente de la variabilité, l'absence de buffer entraîne nécessairement soit une perte de débit, soit une augmentation des délais, soit les deux simultanément [36]. En milieu pharmaceutique, les buffers jouent de surcroît un rôle réglementaire : ils permettent de maintenir le flux de conditionnement pendant la durée des contrôles qualité en cours (validations de lot, libération QP), sans bloquer la production amont [36].

5.2.2 La Loi de Little et l'impact de la variabilité

La **loi de Little** [36], pierre angulaire de la théorie des files d'attente, établit une relation fondamentale entre l'encours moyen L , le débit moyen λ et le temps de cycle moyen W d'un système en régime stationnaire :

$$L = \lambda \cdot W \quad (2.1)$$

Cette loi implique que toute réduction non compensée du débit d'une ressource amont se traduit mécaniquement soit par une augmentation de l'encours en attente, soit par un arrêt de la ressource aval ce que le buffer de découplage permet précisément d'absorber.

La variabilité d'une ressource est caractérisée par son **coefficient de variation** :

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2.2)$$

où σ est l'écart-type et μ la valeur moyenne de la cadence effective. Plus c_v est élevé, plus le buffer nécessaire pour maintenir un niveau de service donné est important [24]. Ce résultat est formalisé dans la formule d'Allen-Cunneen pour les files d'attente $G/G/1$, qui montre que le temps d'attente moyen est proportionnel à $c_v^2/(1 - \rho)$, où ρ désigne le taux d'utilisation de la ressource [36].

5.2.3 Dimensionnement théorique d'un buffer de découplage

Le dimensionnement d'un buffer entre deux étapes séquentielles repose sur deux critères complémentaires [24] :

- **La couverture temporelle** : le buffer doit couvrir la durée maximale prévisible des arrêts de la ressource amont. Si d_{max} désigne cette durée et μ_{aval} la cadence effective de la ressource aval, le buffer minimum est :

$$B_{min} = \mu_{aval} \times d_{max} \quad (2.3)$$

- **Le niveau de service** : la probabilité que le buffer soit suffisant pour absorber un arrêt donné doit dépasser un seuil cible β , typiquement fixé à 95 % ou 99 % en production pharmaceutique, selon les exigences de continuité réglementaires [24].

Ces deux critères permettent de définir un intervalle $[B_{min}; B_{cible}]$ au sein duquel le dimensionnement est réalisé, en arbitrant entre le coût d'immobilisation du stock et le niveau de protection opérationnelle souhaité.

5.3 Kanban : principe et dimensionnement

Selon Ohno, le **Kanban** est le mécanisme qui matérialise le tirage entre deux processus successifs [8]. Monden distingue deux formes principales : le Kanban de production, qui autorise la fabrication d'une quantité définie, et le Kanban de transport, qui autorise le déplacement d'une quantité entre deux postes [11]. Gross et McInnis montrent que la mise en place d'un système Kanban permet de limiter les surproductions, de rendre les besoins visibles et de mieux maîtriser le niveau des encours [39].

Le dimensionnement d'un système Kanban peut s'exprimer par la relation :

$$N_{kanban} = \frac{D \times (T_L + T_S) \times (1 + \alpha)}{C} \quad (2.4)$$

où D représente la demande, T_L le délai de réapprovisionnement, T_S le temps de suivi administratif, α un coefficient de sécurité et C la capacité d'un contenant [39, 11]. Smalley rappelle que le coefficient de sécurité α doit rester faible, car une valeur trop élevée traduit une instabilité du processus à corriger à la source plutôt qu'à masquer par du stock [40].

5.4 L'Overall Equipment Effectiveness (OEE)

5.4.1 Définition et décomposition

L'*Overall Equipment Effectiveness* (OEE), introduit par Nakajima dans le cadre de la *Total Productive Maintenance* (TPM) [14], est l'indicateur de référence pour mesurer l'efficacité globale d'un équipement de production. Il se décompose en trois facteurs multiplicatifs qui couvrent l'ensemble des pertes industrielles connues :

$$\text{OEE} = \underbrace{A}_{\text{Disponibilité}} \times \underbrace{P}_{\text{Performance}} \times \underbrace{Q}_{\text{Qualité}} \quad (2.5)$$

Facteur	Formule	Pertes associées
Disponibilité (A)	$A = \frac{T_{\text{fonct}}}{T_{\text{planifié}}}$	Pannes, BCO, changements de format, nettoyages [14]
Performance (P)	$P = \frac{Q_{\text{réelle}}}{Q_{\text{théorique}}}$	Micro-arrêts, ralentissements, sous-cadences [41]
Qualité (Q)	$Q = \frac{Q_{\text{conforme}}}{Q_{\text{totale}}}$	Rejets, retraits, non-conformités [14]
OEE	$\text{OEE} = A \times P \times Q$ — Valeur de classe mondiale : $\geq 85\%$ [41]	

TABLE 2.2 – Décomposition de l'OEE : définitions et pertes associées.

5.4.2 OEE et cadence effective

La cadence effective réelle d'une ressource s'obtient à partir de sa cadence nominale et de la valeur instantanée de son OEE :

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{nominal}} \times \text{OEE} \quad (2.6)$$

En pratique, l'OEE fluctue d'un shift à l'autre en raison de la nature stochastique des pannes, des micro-arrêts et des variations de qualité. La cadence effective est donc elle-même une **variable aléatoire**, ce qui rend le flux entrant dans tout buffer intermédiaire fondamentalement non déterministe [36].

5.4.3 OEE de breakeven et pilotage des ressources en aval

Lorsqu'une ressource amont alimente n ressources aval en parallèle, il existe un seuil critique d'OEE en deçà duquel la ressource amont ne peut plus soutenir en continu le débit de l'ensemble des ressources aval. Ce seuil, appelé **OEE de breakeven**, est défini par :

$$\text{OEE}_{\text{breakeven}}(n) = \frac{n \times \mu_{\text{aval}}}{\mu_{\text{amont, nominal}}} \quad (2.7)$$

Lorsque l'OEE réel de la ressource amont est supérieur à ce seuil, le flux est excédentaire et le buffer intermédiaire se reconstitue. Dans le cas contraire, le buffer se vide et les ressources aval risquent l'arrêt par manque d'approvisionnement. Ce concept est fondamental pour dimensionner correctement le nombre de ressources aval à activer en fonction de l'OEE observé [36].

5.5 Politiques de Pilotage à Seuils avec Hystérésis

5.5.1 Politiques à deux seuils en gestion des stocks

La théorie du contrôle des inventaires distingue plusieurs familles de politiques de gestion [42, 24]. La **politique** (s, S) , parmi les plus étudiées, stipule qu'un réapprovisionnement jusqu'au niveau S (niveau cible) est déclenché dès que le stock descend en dessous de s (point de commande). Zipkin démontre l'optimalité de cette politique pour les systèmes à demande stochastique sous des hypothèses larges [42].

Par transposition au pilotage des ressources de production, cette logique binaire devient : une ressource additionnelle est activée lorsque le buffer atteint un seuil haut S_H , et désactivée lorsqu'il redescend à un seuil bas $S_B < S_H$. Cette approche est connue sous le nom de **politique à bandes** (*band policy*) : le système oscille de façon stable entre les deux seuils, la ressource additionnelle étant active ou non selon la bande dans laquelle se situe le niveau du stock [24].

5.5.2 Le mécanisme d'hystérésis

Le terme **hystérésis**, emprunté à la physique, désigne la propriété d'un système dont l'état courant dépend non seulement de la valeur présente de la variable de commande, mais aussi de son historique. Dans une politique à deux seuils [36] :

- La ressource additionnelle est **activée** lorsque le buffer atteint S_H (seuil haut) ;
- Elle est **désactivée** lorsque le buffer redescend à S_B (seuil bas) ;
- Entre S_B et S_H , l'état de la ressource est **maintenu inchangé**, quelle que soit la dynamique instantanée du buffer.

Ce mécanisme présente deux avantages opérationnels majeurs. D'une part, il supprime le *chattering* : un seuil unique sans hystérésis provoquerait des commutations incessantes, préjudiciables aux équipements et aux opérateurs. D'autre part, il garantit une durée minimale de fonctionnement dans chaque état, facilitant la planification de la charge et la gestion des ressources humaines [42].

5.5.3 Dynamique générale d'un système à deux seuils

Notons $r^+ = \mu_{\text{amont}} - \mu_{\text{aval}}$ le flux net lorsqu'une seule ressource aval est active (buffer en reconstitution), et $r^- = \mu_{\text{amont}} - n \cdot \mu_{\text{aval}}$ le flux net lorsque n ressources aval sont actives (buffer en consommation). La dynamique du buffer $B(t)$ est décrite par :

$$\frac{dB}{dt} = \begin{cases} r^+ > 0 & \text{si 1 ressource aval active (reconstitution)} \\ r^- < 0 & \text{si } n \text{ ressources aval actives (consommation)} \end{cases} \quad (2.8)$$

Pour que le système soit stable, il est nécessaire que $r^+ > 0$ (la ressource amont dépasse la capacité d'une ressource aval) et que $r^- < 0$ (la ressource amont ne peut pas alimenter n ressources aval en continu). C'est précisément cette condition qui rend la politique à deux seuils à la fois nécessaire et efficace [36, 42].

5.6 Fondements Probabilistes de la Simulation

5.6.1 Variables aléatoires et fonctions de densité

Une **variable aléatoire continue** X est caractérisée par sa fonction de densité de probabilité $f(x)$, qui vérifie :

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (2.9)$$

L'espérance et la variance de X sont respectivement définies par $\mathbb{E}[X] = \int x f(x) dx$ et $\text{Var}(X) = \mathbb{E}[X^2] - (\mathbb{E}[X])^2$. Ces deux moments suffisent à caractériser complètement une loi normale [43].

5.6.2 La loi normale et le théorème central limite

La **loi normale** $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$, de densité :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.10)$$

est la distribution la plus utilisée pour modéliser des grandeurs résultant de la combinaison de nombreux facteurs indépendants. Le **théorème central limite** (TCL) établit que la somme de n variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées, quelle que soit leur loi individuelle, converge en distribution vers une loi normale lorsque $n \rightarrow +\infty$ [43] :

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} \xrightarrow[n \rightarrow +\infty]{\mathcal{L}} \mathcal{N}(0, 1) \quad (2.11)$$

Ce résultat justifie l'utilisation systématique de la loi normale pour modéliser des indicateurs de performance industrielle tels que l'OEE, qui résultent de la combinaison de nombreux facteurs aléatoires indépendants [43]. Lorsque la variable modélisée est bornée physiquement, la loi normale est *tronquée* à l'intervalle admissible, sans modifier significativement ses propriétés pour des bornes éloignées de la moyenne.

5.6.3 La loi de Poisson et la modélisation des événements discrets

La **loi de Poisson** est la distribution de référence pour modéliser le nombre d'événements discrets survenant dans un intervalle de temps fixé, lorsque ces événements sont rares,

indépendants et surviennent à un taux moyen constant [43]. Une variable aléatoire $N \sim \mathcal{P}(\lambda)$ a pour loi de masse :

$$P(N = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \quad k \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (2.12)$$

où $\lambda > 0$ est à la fois l'espérance et la variance de N . Sa validité repose sur trois conditions fondatrices [43] :

1. **Stationnarité** : le taux d'occurrence λ est constant sur l'intervalle considéré, en l'absence de changement structurel du système.
2. **Indépendance** : la survenue d'un événement à l'instant t n'affecte pas la probabilité d'un événement ultérieur ; les événements sont statistiquement décorrélés.
3. **Rareté dans un intervalle infinitésimal** : la probabilité de deux événements simultanés est négligeable, soit $P(N \geq 2 \text{ dans } [t, t + dt]) = o(dt)$.

Ces conditions caractérisent un **processus de Poisson homogène**. Le paramètre λ s'estime par **maximum de vraisemblance** estimateur sans biais et de variance minimale au sens de la borne de Cramér-Rao par :

$$\hat{\lambda} = \frac{N_{\text{total événements}}}{N_{\text{périodes observées}}} \quad (2.13)$$

La loi de Poisson est particulièrement adaptée à la modélisation des arrêts non planifiés de ressources industrielles : chaque arrêt peut être assimilé à un événement rare, survenant à un taux empiriquement mesurable à partir des historiques d'exploitation. Son adéquation peut être vérifiée par un test du χ^2 ou par la comparaison de la moyenne et de la variance empirique, qui doivent être approximativement égales sous un processus de Poisson [43, 44].

5.6.4 Rééchantillonnage empirique (*Bootstrap*)

Lorsque la distribution d'une variable aléatoire est inconnue ou difficile à ajuster par une loi paramétrique en raison notamment d'une forme multimodale, d'une asymétrie marquée ou d'une queue lourde la méthode du **rééchantillonnage bootstrap** constitue une alternative statistiquement fondée [43]. Introduite par Efron [45], elle consiste à tirer aléatoirement, avec remise, des observations directement dans l'**échantillon empirique observé**, sans imposer de forme paramétrique a priori.

Cette approche présente deux avantages théoriques décisifs :

- Elle **préserve fidèlement la distribution réelle** des données observées, y compris les événements rares de grande amplitude (*heavy tail*), systématiquement sous-représentés par toute loi paramétrique mal ajustée.

- Elle **évite le biais de spécification de modèle** : aucune hypothèse distributionnelle n'est imposée, ce qui rend les simulations plus robustes lorsque la distribution sous-jacente est complexe ou composite [43].

En simulation industrielle, le bootstrap est recommandé dès lors que l'échantillon est de taille suffisante ($n \geq 30$) pour être représentatif de la population, et que la distribution présente des caractéristiques incompatibles avec les lois usuelles telles que l'exponentielle ou la log-normale [43, 44].

5.6.5 Indépendance et modélisation par shifts

L'hypothèse d'**indépendance** entre observations successives est une condition fondamentale pour l'application du TCL et de la loi des grands nombres [43]. Dans le contexte de la simulation par shifts, chaque période de production est modélisée comme un tirage indépendant de la distribution retenue. Cette hypothèse est vérifiée lorsque les causes de variation équipes, conditions environnementales, lots de matières premières changent de façon non corrélée entre deux périodes consécutives [43].

5.7 La Méthode Monte Carlo et la Quantification du Risque

5.7.1 Principe et fondements mathématiques

La **méthode de Monte Carlo** désigne une famille d'algorithmes de calcul numérique s'appuyant sur des tirages aléatoires répétés pour estimer des quantités mathématiques difficiles, voire impossibles, à obtenir analytiquement [44]. Développée dans les années 1940 dans le cadre du projet Manhattan, elle est aujourd'hui l'un des outils fondamentaux de la recherche opérationnelle et de la simulation industrielle [44].

Son fondement mathématique est la **loi forte des grands nombres** : pour une variable aléatoire X d'espérance $\mathbb{E}[X]$, la moyenne empirique de N réalisations indépendantes converge presque sûrement vers $\mathbb{E}[X]$:

$$\bar{X}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \xrightarrow[N \rightarrow +\infty]{\text{p.s.}} \mathbb{E}[X] \quad (2.14)$$

5.7.2 Précision et intervalles de confiance

La précision d'une estimation Monte Carlo est quantifiée par l'**intervalle de confiance**. Par application du TCL à la moyenne empirique, l'erreur d'estimation à 95 % de confiance est :

$$\varepsilon_{95\%} = 1,96 \times \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{N}} \quad (2.15)$$

où $\hat{\sigma}$ est l'écart-type empirique estimé sur les N simulations. Cette formule montre que la précision croît en $\sqrt{N}$: doubler la précision nécessite de quadrupler le nombre de

simulations. En pratique, $N = 500$ simulations constitue un compromis standard entre précision et temps de calcul pour l'optimisation de politiques de production [44, 43].

5.7.3 Application à l'optimisation par grid search

La méthode Monte Carlo se combine naturellement avec une **exploration systématique de l'espace des paramètres** (*grid search*) [43]. Pour chaque combinaison de paramètres $(p_1, p_2, \dots)$ d'un espace discrétisé, on lance N simulations stochastiques indépendantes et on calcule la performance moyenne attendue. L'ensemble des résultats forme une **surface de réponse** (*response surface*) qui permet d'identifier la combinaison optimale selon un ou plusieurs critères [43].

5.7.4 Quantification du risque par simulation stochastique

Au-delà de l'optimisation d'un critère moyen, la simulation de Monte Carlo permet de **quantifier le risque** associé à une politique donnée [44]. Dans un contexte général de gestion de stock ou de buffer de production, le risque est défini comme la **probabilité qu'un événement redouté** typiquement l'épuisement du stock tampon **surviennne au moins une fois** sur la période de simulation :

$$\mathcal{R}(\theta) = P\left(\min_{t \in [0, T]} B_\theta(t) \leq 0\right) \quad (2.16)$$

où θ désigne le vecteur de paramètres de la politique et $B_\theta(t)$ le niveau du stock au temps t . L'estimation de $\mathcal{R}(\theta)$ par Monte Carlo est :

$$\hat{\mathcal{R}}(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \mathbf{1}\left[\min_t B_{\theta,s}(t) \leq 0\right] \quad (2.17)$$

En faisant varier le paramètre de dimensionnement (exemple le niveau de buffer), on obtient une **courbe risque-paramètre** qui relie le niveau de protection au coût d'immobilisation du stock. La **contrainte de sécurité cible** typiquement $\hat{\mathcal{R}} \leq 5\%$ permet d'identifier le niveau minimal garantissant un risque résiduel acceptable dans le contexte opérationnel considéré [44, 24].

Cette approche constitue le fondement du **risk management quantitatif** appliqué aux systèmes de production : plutôt que de raisonner sur un scénario unique ou sur la moyenne, elle fournit une **garantie probabiliste** sur le comportement du système face à la variabilité réelle de ses entrées [44].

Conclusion du chapitre

Ce chapitre a établi le cadre théorique et conceptuel nécessaire à la conduite du projet d'amélioration, en sélectionnant rigoureusement les concepts les plus pertinents au regard des dysfonctionnements identifiés dans le premier chapitre.

Les fondements du **Lean Manufacturing** ont fourni la grille de lecture permettant d'identifier et de classifier les gaspillages observés à l'interface Production-Warehouse, en distinguant les activités à valeur ajoutée des Muda, Mura et Muri qui pénalisent la performance opérationnelle du site. La dimension digitale du Lean a par ailleurs justifié le recours à des outils numériques non pas comme une fin en soi, mais comme un levier de suppression des activités sans valeur ajoutée et de standardisation des flux d'information.

Les **outils de cartographie et d'analyse** VSM, diagramme spaghetti, analyse de déroulement, QQQQCCP, diagramme d'Ishikawa ont constitué la boîte à outils méthodologique permettant d'objectiver l'état actuel des processus logistiques, de mesurer les écarts par rapport au standard et d'en identifier les causes racines de manière structurée.

La **théorie de la gestion du Warehouse** a posé les bases conceptuelles de la réorganisation physique : la classification ABC a fourni le critère de différenciation des références selon leur criticité, l'adressage formalisé a défini le principe d'affectation des emplacements, et les règles FIFO/FEFO ont ancré la démarche dans les exigences réglementaires propres à l'environnement pharmaceutique. La **méthode de Borda**, issue de l'aide multicritère à la décision, a complété ce dispositif en offrant un cadre rigoureux et objectif pour arbitrer entre les différentes options d'affectation.

Enfin, les **fondements quantitatifs et stochastiques** mobilisés dans la dernière section constituent l'ossature analytique de la solution de buffer SMF :

- la **loi de Poisson** pour modéliser les arrêts non planifiés à partir des données historiques ;
- le **bootstrap empirique** pour préserver fidèlement la distribution réelle des durées d'arrêt, sans distorsion paramétrique ;
- la **politique à deux seuils hystérésis** pour concevoir une règle de pilotage stable, évitant le chattering et garantissant une durée minimale de fonctionnement dans chaque état ;
- la **méthode Monte Carlo**, couplée au grid search, pour quantifier le risque résiduel et identifier les seuils optimaux par une garantie probabiliste plutôt que par un raisonnement sur le seul cas moyen.

L'ensemble de ces outils, articulés de manière cohérente et progressive, est directement appliquée dans la partie suivante pour répondre aux trois hypothèses formulées lors du premier chapitre.

Analyses, Solutions et Mise en Œuvre

Ce troisième et dernier chapitre constitue le cœur de la contribution de ce projet de fin d'études. Fort des dysfonctionnements identifiés dans le premier chapitre et des outils théoriques mobilisés dans le second, il présente la démarche de résolution structurée mise en œuvre pour répondre à la problématique centrale. Le chapitre s'ouvre sur le cadrage du projet identification par QQQQCCP, VSM de l'état actuel et lancement du projet avec charte et design team avant de développer les trois axes de solutions retenus. L'**Axe 1** porte sur l'optimisation physique et organisationnelle du Warehouse, à travers la classification ABC, le réaménagement du plan de stockage et la mise en place d'un adressage formalisé. L'**Axe 2** traite de la digitalisation et du pilotage numérique, avec le développement d'un outil de gestion intelligent sous Excel VBA et d'un système Kanban numérique. L'**Axe 3**, enfin, adresse la continuité de production à l'interface Assembly –Packaging par une approche de risk management quantitatif, fondée sur une simulation stochastique calibrée sur les données réelles d'arrêts de la ligne NOR12.

1 Analyse et Collecte de Données

Avant de proposer toute solution, une phase rigoureuse d'analyse et de collecte de données a été conduite afin d'objectiver les dysfonctionnements identifiés lors de l'état des lieux et d'en quantifier précisément l'ampleur. Cette section constitue le passage du constat qualitatif à la mesure quantitative : elle transforme les observations terrain en données exploitables, structurées et directement mobilisables pour la conception des solutions.

La démarche adoptée suit une logique progressive du général au particulier. Le cadrage du projet par l'outil QQQQCCP et la cartographie SIPOC permettent d'abord de délimiter le périmètre d'étude et de formaliser la problématique. La Value Stream Mapping fournit ensuite une lecture complète du flux physique et informationnel, révélant le risque structurel du flux continu à l'interface Assembly–Packaging. Les analyses de déroulement et les Gemba Walks décomposent enfin le processus en tâches élémentaires et mesurent, à l'échelle de l'opération unitaire, les pertes réelles de temps et de valeur ajoutée.

Ces données sont complétées par une analyse quantitative des temps de préparation et une étude terrain sur 40 requests consécutifs, qui valident empiriquement le modèle de rotation horaire servant de base à la classification ABC. L'ensemble de ces éléments constitue le

socle analytique sur lequel reposent directement les trois axes de solutions développés dans la section suivante.

1.1 Identification et Cadrage du Projet

1.1.1 Préparation pré-projet

Avant d'entamer l'analyse détaillée du processus logistique, une phase de préparation pré-projet a été menée afin de maîtriser l'environnement de travail, les standards en vigueur et les contraintes opérationnelles du site. Cette étape a constitué un préalable indispensable pour assurer la pertinence du diagnostic et la cohérence des actions d'amélioration envisagées. Elle s'est articulée autour de plusieurs actions complémentaires :

- la lecture et l'analyse des SOP afin d'identifier les standards de travail attendus ;
- la formation théorique sur les processus logistiques du site et sur les outils de pilotage utilisés ;
- la formation pratique sur le terrain, permettant d'observer directement les opérations et de comprendre leur déroulement réel ;
- les échanges avec les équipes opérationnelles afin de mieux cerner les difficultés rencontrées au quotidien.

1.1.2 Identification de la Problématique — Outil QQQQCCP

Avant d'engager toute action d'amélioration, une première formalisation de la problématique a été réalisée à l'aide de l'outil QQQQCCP. Cet outil permet de structurer l'expression du besoin de manière exhaustive en répondant à sept questions fondamentales, afin de délimiter précisément le périmètre du dysfonctionnement observé.

TABLE 3.1 – Identification de la problématique par l’outil QQQQCCP. Réalisation personnelle.

Question	Réponse
Qui est concerné ?	Les magasiniers, les coordinateurs SAP, les opérateurs de production, l’équipe Lean et les responsables du pilotage logistique.
Quoi ?	Des dysfonctionnements dans l’organisation physique et informationnelle du Warehouse, qui compromettent la capacité du site à assurer la continuité des flux d’approvisionnement vers les lignes de production dans les délais et quantités requis.
Où ?	Au sein du Warehouse ambiant, de la zone buffer de la ligne d’assemblage et des interfaces logistiques entre le Warehouse, la Production et le WH Cold.
Quand ?	Les dysfonctionnements sont observés lors des opérations quotidiennes de picking, d’approvisionnement bord de ligne et de pilotage des transferts entre le Warehouse et la Production.
Comment ?	Par l’analyse des SOP, l’audit logistique, la VSM, l’analyse de déroulement, le Gemba Walk, les chronométrages et l’étude des flux physiques et informationnels.
Combien ?	Une variabilité opérationnelle importante et des transferts déclenchés de manière réactive, sans anticipation sur les besoins réels des lignes.
Pourquoi ?	Ces dysfonctionnements génèrent des pertes directes de productivité délais, arrêts et attentes évitables, dégradent l’ efficacité opérationnelle du site en augmentant la part des activités sans valeur ajoutée, et exposent Novo Nordisk Algérie à un risque sur son image de marque : une continuité de production défaillante compromet la fiabilité des livraisons vers la filiale et la capacité du site à honorer ses engagements stratégiques à l’échelle africaine.

1.1.3 Cartographie Globale — SIPOC

Afin d’obtenir une vision globale et holistique du fonctionnement logistique, quatre diagrammes SIPOC ont été réalisés pour les processus clés du site. Cet outil permet d’identifier les fournisseurs, les entrées, les processus, les sorties et les clients associés à chaque flux étudié :

- le processus de réception et stockage ;
- le processus d’interaction Warehouse → Production ;
- le processus d’interaction Production → Warehouse ;
- le processus de shipping.

La cartographie SIPOC des flux logistiques est présentée en **Annexe C**.

1.1.4 Charte de Projet et Design Team

La charte de projet résume les conclusions de la phase de préprojet et formalise le cadre de travail du projet d'amélioration. Elle précise la problématique, définit l'état actuel et l'état cible, identifie les attentes opérationnelles du site et fixe les bases du suivi du projet. L'équipe projet a été constituée à partir des besoins identifiés lors du cadrage. Des profils complémentaires ont été sélectionnés afin de couvrir l'ensemble du processus, de la supervision à l'exécution terrain. Une matrice des rôles et responsabilités a été utilisée pour clarifier les missions de chacun et structurer le travail collectif dès le lancement du projet.

La charte de projet est présentée en **Annexe F** ; la composition de l'équipe projet et la matrice des rôles et responsabilités sont présentées en **Annexe G** et **Annexe H**.

1.2 Diagnostic de l'État Actuel

1.2.1 Approche Macro vers Micro

La démarche de diagnostic a été construite selon une logique progressive allant du macro vers le micro, afin d'identifier les non-valeurs ajoutées à chaque niveau d'analyse. À l'échelle macro, le projet s'inscrit dans la stratégie globale de Novo Nordisk Algérie, qui vise à améliorer la performance industrielle, sécuriser l'alimentation des lignes de production et renforcer la réactivité des flux logistiques. À l'échelle micro, l'analyse s'est concentrée sur le fonctionnement détaillé des opérations, notamment par l'observation terrain, le Gemba Walk, l'analyse de déroulement et les chronométrages.

1.2.2 Analyse des Flux — Value Stream Mapping

La Value Stream Mapping (Annexe D) a été mobilisée afin de visualiser simultanément le flux physique et le flux d'information associés au processus de production du site Flexpen. Cette cartographie a permis d'obtenir une représentation complète de la chaîne de valeur, depuis la réception des composants jusqu'à l'expédition des produits finis, et de localiser les principaux goulots d'étranglement et sources de non-valeur ajoutée.

La VSM a été réalisée dans le contexte de la configuration actuelle du site, dite de **flux continu** : les palettes de produits semi-finis (SMF, 15 552 stylos chacune) quittent la ligne Assembly dès leur complétion et sont acheminées **directement** vers les lignes de Packaging disponibles, sans accumulation formalisée dans le WH Cold intermédiaire. Ce dernier n'est donc pas un buffer géré, mais un simple point de transit dont le temps de séjour effectif est de l'ordre de **1 à 2 heures**, correspondant au temps de transfert physique et au délai de prise en charge par la ligne de Packaging.

Dans cette configuration, le lead time total de la chaîne de valeur est estimé entre **3,1 et 8,5 jours**, pour une valeur ajoutée nette de seulement **7 à 10 heures**. Les principaux postes de non-valeur ajoutée se répartissent comme suit :

- **Good Receipt** : 1,83 à 3 jours, liés aux délais de réception, contrôle qualité à l'entrée et mise en stock des composants.
- **Warehouse (composants)** : 2 à 4 heures de préparation et acheminement vers la ligne Assembly, pénalisés par l'absence d'adressage formalisé et de séquençage de picking.
- **Warehouse Cold aval** : 1 à 5 jours, avec une forte variabilité imputable aux délais de release QP. Cette variabilité se propage directement à l'expédition, rendant les délais de livraison vers la filiale instables.

Risque structurel du flux continu : Si la configuration de flux continu élimine l'accumulation informelle dans le WH Cold intermédiaire, elle crée en contrepartie une **dépendance fonctionnelle directe** entre la ligne Assembly et les lignes de Packaging : en l'absence de tout stock tampon, tout arrêt Assembly planifié ou non se propage immédiatement au Packaging dès l'épuisement de la palette en cours de conditionnement. La VSM met ainsi en évidence une vulnérabilité structurelle du flux actuel : le WH Cold intermédiaire, qui pourrait jouer le rôle d'un point de découplage protecteur, n'est aujourd'hui qu'un couloir de transit sans aucune capacité d'absorption des aléas amont. Ce risque est quantifié et traité dans l'**Axe 3**.

1.2.3 Analyse de Déroulement et Gemba Walk

En complément de la VSM, une analyse de déroulement a été menée afin de détailler le processus en tâches élémentaires et de mesurer la durée associée à chacune d'elles. Cette méthode a été renforcée par des Gemba Walks permettant d'observer les opérations directement sur le terrain. Deux outils complémentaires ont été mobilisés conjointement :

- **Le diagramme spaghetti** (Figures 3.1 et 3.2), qui matérialise les trajets physiques effectués par les opérateurs, révélant des aller-retours redondants, des croisements de flux et une absence totale de séquençage logique des déplacements.
- **L'analyse de déroulement** (Table 3.2 et 3.3), qui décompose le processus en tâches élémentaires, qualifie leur nature (VA / NVA) et identifie les actions correctives selon la grille **ECPA** (*Éliminer – Combiner – Permuter – Améliorer*).

Ces analyses ont été conduites sur **plusieurs sessions d'observation terrain**, couvrant des requests de volumes variés et des shifts différents, afin d'obtenir des résultats représentatifs.

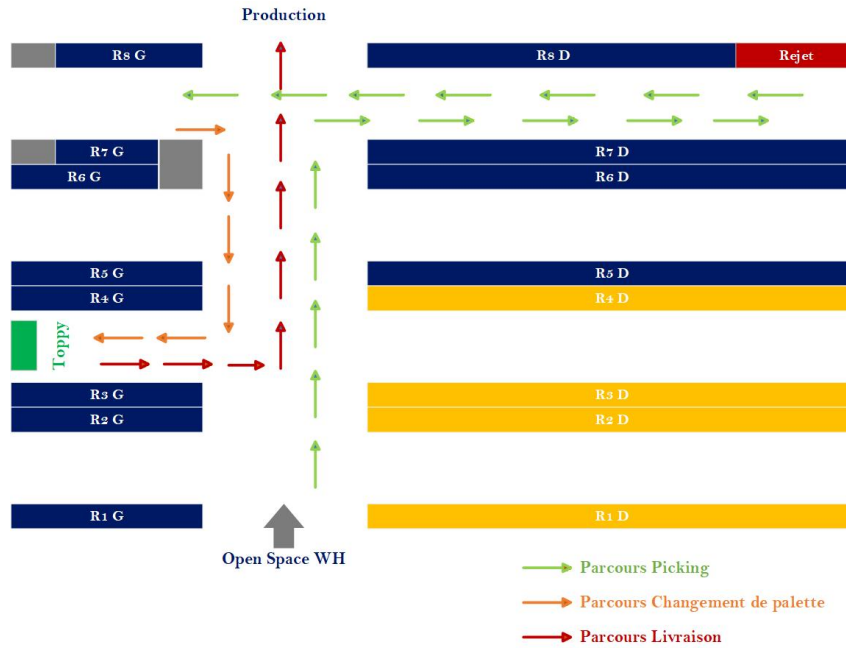


FIGURE 3.1 – Diagramme spaghetti — Trajectoires observées lors de la préparation d'un request (état actuel).

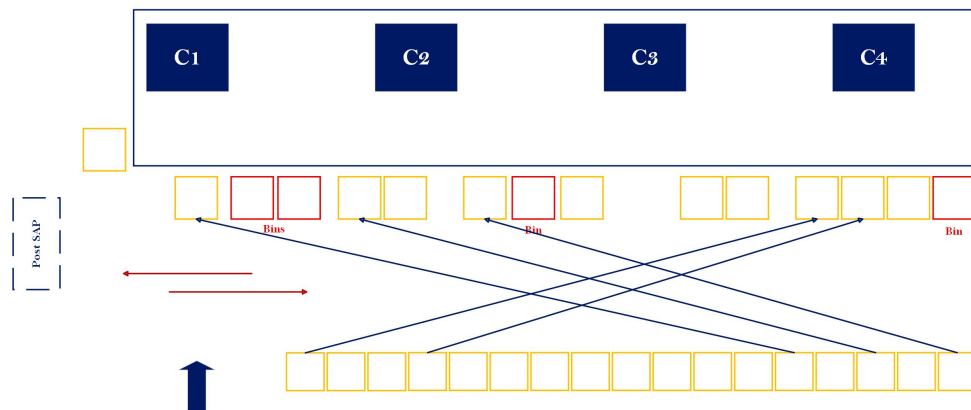


FIGURE 3.2 – Diagramme spaghetti — Trajectoires du coordinateur SAP (état actuel).

Le template de la fiche d'analyse de déroulement utilisée est présenté en Figure 3.3 ; les fiches complètes sont disponibles en **Annexe I**.

Folio : 1 / 1		Analyse de déroulement																
Entreprise : Novo Nordisk																		
Processus : Préparation des commandes										Début : 10:57h			Fin : 11h12			1 Palette Par l'équipe de IABS,AHWOVAMB,MZBK		
N°	Etapas	Operation	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Distances	Quantité	Temps	Nb d'opérateur	Remarques	Actions						
												A Eliminer	A Combiner	A Permuter	A Améliorer			
1	Etape 1								/	/	/							
2	Etape 2								/	/	/							
3	Etape 3								/	/	/							
4	Etape 4							/	/	1	/							

FIGURE 3.3 – Template de l'analyse de déroulement utilisée pour le diagnostic. Réalisation personnelle.

TABLE 3.2 – Analyse de déroulement — Processus magasinier (réception request → livraison ligne). Réalisation personnelle.

N°	Étape	Type	VA/NVA	Dysfonctionnement observé
1	Login	Opération	VA	—
2	Vérification sur SAP	Contrôle	NVA/Néc.	Données SAP parfois non à jour.
3	Descente et picking des palettes	Opération	VA	Emplacements non optimisés par rotation : déplacements inutiles observés au diagramme spaghetti, picking non séquentiel.
4	Nettoyage des palettes	Opération	NVA/Néc.	Tâche systématique sans instruction de travail formalisée.
5	Changement palettes	Opération	NVA/Néc.	Exigence qualité non négociable (QA). 2 opérateurs mobilisés ; palettes plastiques non préparées en avance : attente systématique générée ; oubli fréquent de bins vides ; positionnement de la toopy non optimisé par rapport au flux de sortie.
6	Saisie sur SAP	Opération	VA	Parfois différée si effectif insuffisant : compromet la fiabilité du stock SAP en temps réel.
7	Livraison vers la ligne	Transport	VA	—
Part NVA				Étapes 3, 4–5 : $\approx 40\%$ du temps magasinier, concentrée sur la recherche et la double manutention palette.

TABLE 3.3 – Analyse de déroulement — Processus coordinateur SAP (détection des manquants → lancement request). Réalisation personnelle.

N°	Étape	Type	VA/NVA	Dysfonctionnement observé
1	Détection visuelle des composants manquants en bord de ligne	Contrôle	NVA	Déplacements inutiles le long de la ligne pour identifier manuellement les composants en rupture ; absence de signalement visuel standardisé. Détection tardive : le composant est souvent déjà épuisé avant intervention.
2	Avancement des palettes vers la zone de stock avancé	Transport	NVA/Néc.	Les palettes en cours de consommation ne sont pas systématiquement avancées en priorité : génère des ruptures locales évitables et des mouvements de manutention non optimisés.
3	Déplacement vers le poste SAP	Transport	NVA	Trajet sans valeur ajoutée répété à chaque déclenchement de request.
4	Rédaction du request sur papier	Opération	NVA/Néc.	Support papier adopté récemment pour améliorer la traçabilité : risque d'erreurs de lecture et de perte du document.
5	Déplacement vers l'open space WH (dépôt du request)	Transport	NVA/Néc.	Trajet pur de transmission d'information sans manipulation produit.
Part NVA : étapes 1–5 : 100 % du processus coordinateur est NVA ou NVA/Néc.				

1.3 Analyse Quantitative des Données

1.3.1 Variabilité des Temps de Préparation

L'analyse du temps total de préparation (Figure 3.4) repose sur une décomposition fonctionnelle du processus, afin d'identifier les leviers d'action les plus pertinents. Le temps global n'est pas une grandeur homogène : il résulte de la superposition d'une composante fixe, liée aux opérations de coordination et de lancement, et d'une composante variable, directement dépendante du volume traité et des conditions de prélèvement :

$$T_{\text{total}} = t_{\text{sap}} + t_{\text{prél}} + t_{\text{chg}} + \left[(N - 1) \times \max(t_{\text{prél}}, t_{\text{transf}}) \right] + t_{\text{transf}}$$

Dans cette formulation, t_{sap} représente la part organisationnelle du processus détection, saisie et déclenchement du request relativement stable mais améliorable par la standardisation et la digitalisation. À l'inverse, $t_{\text{prél}}$ constitue la variable la plus sensible aux conditions opérationnelles : elle dépend de la localisation des composants, des distances de déplacement, du séquençage des palettes et de la qualité de l'implantation physique. Les observations terrain mettent en évidence une dispersion significative des durées en fonction du nombre de palettes. Le standard doit être examiné comme un indicateur de pilotage, et non comme une contrainte figée indépendante de la charge.

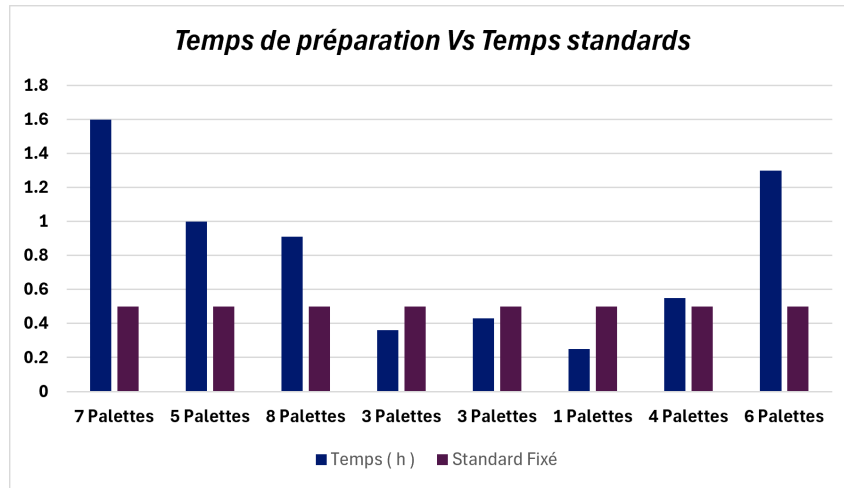


FIGURE 3.4 – Temps de préparation observés vs temps standard. Réalisation personnelle.

1.3.2 Collecte et Analyse des Données de Rotation

Le paradoxe logistique de l'entrepôt : Dans une usine d'assemblage telle que celle du FlexPen, tous les composants entrent dans le produit final à la même vitesse unitaire : chaque stylo d'insuline consomme exactement une unité de chaque composant. En revanche, ces composants n'arrivent pas dans l'entrepôt avec le même conditionnement : certains sont de petite taille ou s'imbriquent parfaitement en palette, tandis que d'autres sont volumineux. Ce différentiel de conditionnement engendre un **paradoxe logistique fondamental** : classer les composants par consommation unitaire ne fournit aucune information discriminante sur la pression exercée sur les emplacements de stockage.

La variable pertinente est donc la **rotation horaire de palettes**, définie pour chaque composant i par :

$$R_i = \frac{q}{U_i} \quad (3.1)$$

où $q = 8000$ u/h est la cadence de production et U_i le nombre d'unités par palette du composant i . Plus R_i est élevé, plus les palettes de ce composant se renouvellent fréquemment, et plus leur emplacement de stockage doit être optimal pour minimiser le temps de prélèvement et de localisation.

Démarche d’observation et population étudiée. Afin de valider et d’enrichir le modèle théorique de rotation, une étude terrain a été conduite sur une **population de 40 requests consécutifs**. L’objectif était d’identifier, en conditions réelles d’exploitation, les composants les plus fréquemment sollicités et les volumes de palettes effectivement prélevés par request.

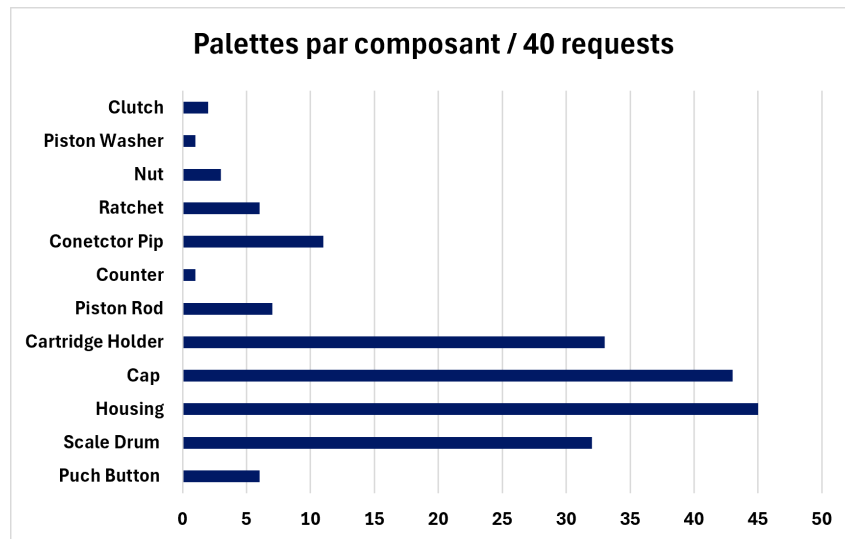


FIGURE 3.5 – Nombre de palettes prélevées par composant sur 40 requests observés. Réalisation personnelle.

Le graphique ci-dessus (Figure 3.5) confirme la hiérarchie théorique issue de l’équation (3.1) : les composants à forte rotation calculée (*Cap*, *Housing*, *Cartridge Holder*, *Scale Drum*) sont effectivement ceux qui génèrent le plus grand nombre de mouvements de palettes sur le terrain. Cette concordance valide la pertinence de la rotation horaire comme critère de classification et fonde la démarche ABC développée dans la section suivante.

1.4 Plan d’actions global

Suite au diagnostic terrain et à l’analyse des données collectées, un plan d’actions structuré a été élaboré afin de répondre aux dysfonctionnements identifiés à l’interface Production–Warehouse (Table 3.4). Ce plan couvre les trois axes du projet : l’organisation physique du Warehouse, le pilotage numérique des flux et la continuité de production. Pour chaque action retenue, le type d’intervention est précisé selon la méthode ECPA, et la réalisation est assurée conjointement par les deux auteurs du projet.

Légende ECPA : Éliminer Améliorer Combiner Permuter

TABLE 3.4 – Plan d’actions global – Synthèse des trois axes. Réalisation personnelle.

Axe	Domaine	ECPA	Action proposée	Réalisation
Axe 1	Organisation physique du WH	Améliorer	Classification ABC et standardisation des emplacements	Adnane & Yacine
		Améliorer	Standardisation des emplacements buffers par cellule et classification ABC	Adnane & Yacine
		Améliorer	Réorganisation par scoring multicritère et séquençage du picking	Adnane & Yacine
		Améliorer	Formalisation d’une instruction de travail validée	Adnane & Yacine
		Permuter	Repositionnement de la machine de changement de palettes (La Toppy) dans le flux naturel	Adnane & Yacine
Axe 2	Pilotage numérique et flux	Améliorer	Kanban numérique : détection automatique des composants sous seuil et déclenchement anticipé des requests	Adnane & Yacine
		Améliorer	Outil de pilotage du magasin : suivi des KPIs logistiques, amélioration de la visibilité des stocks et aide à la décision opérationnelle	Adnane & Yacine
		Combiner	Digitalisation des requests pour et assurer la traçabilité	Adnane & Yacine
Axe 3	Continuité de production	Améliorer	Dimensionnement d’un stock tampon SMF par simulation stochastique	Adnane & Yacine
		Améliorer	Politique à deux seuils (S_B^* , S_H^*) pour absorber les aléas Assembly	Adnane & Yacine
		Combiner	Suivi des indicateurs Packaging et actualisation périodique des seuils buffer	Adnane & Yacine

1.4.1 Conclusion de l'analyse

Cette section d'analyse et de collecte de données a permis d'établir un état des lieux quantifié et structuré des dysfonctionnements logistiques du site Flexpen, en s'appuyant sur des observations terrain, des chronométrages et des données d'exploitation réelles.

Trois résultats majeurs ressortent de cette phase d'analyse. Premièrement, l'analyse de déroulement révèle que **40 %** du temps du magasinier est consacré à des activités sans valeur ajoutée, principalement liées à des déplacements non optimisés et à une double manutention des palettes ; la totalité du processus du coordinateur SAP **100 %** est constituée d'activités NVA ou NVA nécessaires. Deuxièmement, la VSM met en évidence la vulnérabilité structurelle du flux continu : le WH Cold intermédiaire, faute de politique de gestion formalisée, ne joue aucun rôle protecteur face aux aléas de la ligne Assembly ; tout arrêt se propage directement au Packaging. Troisièmement, l'étude terrain sur 40 requests confirme la hiérarchie théorique de rotation : quatre composants concentrent près de 80 % des mouvements de palettes, validant le critère de classification ABC comme base d'affectation des emplacements.

Ces résultats définissent avec précision les leviers d'action prioritaires et fondent directement la conception des solutions présentées dans la section suivante : réorganisation physique du Warehouse (Axe 1), digitalisation du pilotage des flux (Axe 2) et dimensionnement d'un buffer SMF par simulation stochastique (Axe 3).

2 Solutions et Mise en Œuvre

Fort des données collectées et des dysfonctionnements objectivés dans la section précédente, ce volet présente la démarche de résolution structurée mise en œuvre pour répondre à la problématique centrale du projet. Les solutions proposées s'inscrivent dans une logique de complémentarité : elles n'adressent pas un symptôme isolé, mais agissent simultanément sur les trois dimensions du problème identifié physique, informationnelle et opérationnelle.

L'**Axe 1** porte sur l'optimisation physique et organisationnelle du Warehouse. À partir de la classification ABC des composants par rotation horaire et d'un scoring multicritère des emplacements par la méthode de Borda, il définit un standard d'affectation formalisé visant à réduire les distances de picking, à sécuriser l'alimentation bord de ligne et à atteindre l'objectif de préparation de 30 minutes.

L'**Axe 2** traite de la digitalisation et du pilotage numérique. Il propose deux outils complémentaires développés sous Excel VBA : un tableau de bord opérationnel centralisant la visibilité sur les stocks et automatisant les analyses, et un système Kanban numérique à algorithme de consommation prédictive permettant d'anticiper les besoins de réapprovisionnement et de formaliser le déclenchement des ordres de transfert.

L'**Axe 3**, enfin, adresse la continuité de production à l'interface Assembly-Packaging par une approche de risk management quantitatif. Calibrée sur les données réelles d'arrêts de la ligne NOR12 et validée par plus de 69 000 simulations Monte Carlo, la solution dimensionne un buffer SMF dans le WH Cold et définit une politique de pilotage optimale à deux seuils, garantissant la continuité du Packaging indépendamment des aléas amont. Chacun de ces axes est présenté avec sa propre logique de conception, ses éléments de validation et ses résultats quantifiés. Ensemble, ils constituent une réponse intégrée, mesurable et pérenne à la problématique du site Flexpen.

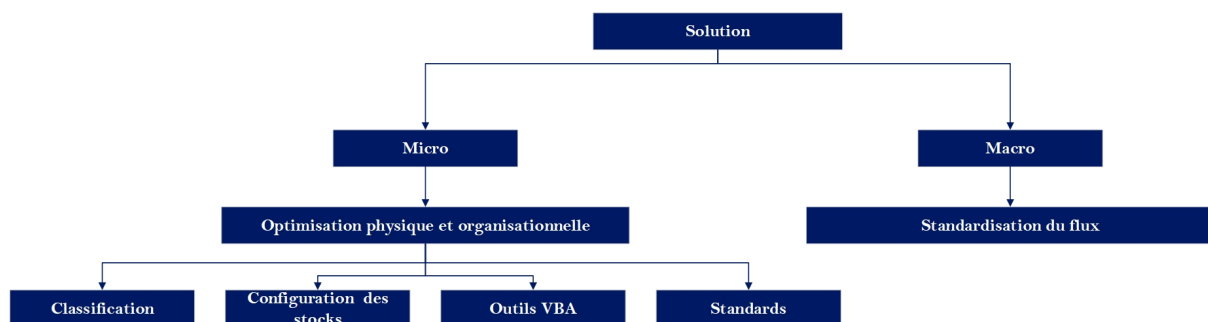


FIGURE 3.6 – Cadrage de la solution. Réalisation personnelle.

2.1 Axe 1 : Optimisation Physique et Organisationnelle

Le diagnostic opérationnel conduit dans la section précédente a mis en évidence deux niveaux de dysfonctionnements physiques distincts. D'une part, l'absence de règle de stockage formalisée au sein du magasin ambiant génère des parcours de picking non optimisés. D'autre part, la zone buffer de la ligne d'assemblage ne suit pas de logique d'affectation standardisée, ce qui provoque des déplacements redondants et une alimentation de la ligne insuffisamment anticipée.

Cet axe propose une réponse structurée à ces deux niveaux. Il s'articule en quatre étapes séquentielles : la classification ABC des références par rotation horaire de palettes, qui fournit le critère de différenciation entre les composants ; la configuration standardisée des stocks buffers de la ligne d'assemblage, qui traduit la classification en règles physiques d'allocation ; l'organisation spatiale du magasin ambiant par scoring multicritère des emplacements, qui détermine la meilleure affectation de chaque référence dans le magasin ; et enfin, la validation quantitative des gains obtenus avant et après déploiement des solutions.

2.1.1 Classification ABC des Composants

Exclusions stratégiques du modèle : Deux catégories de matériels sont volontairement exclues de la classification standard :

- **Les Printed Packaging Materials (PPM).** Les étuis, notices et cartons d'emballage disposent déjà d'emplacements dédiés et fixes dans le magasin. Leur flux répond à des contraintes de kitting distinctes du flux d'assemblage pur.
- **Les Cartouches Cold Chain.** Soumises à un strict respect de la chaîne du froid, elles ne concourent pas pour les alvéoles de stockage classiques et sont exclues du présent modèle. Leur emplacement reste géré par une procédure dédiée, indépendante de la classification ABC.

Algorithme de classification et règle de Pareto : La classification ABC a été réalisée à l'aide d'un algorithme Python calculant, pour chaque composant, la rotation horaire $R_i = q/U_i$, triant les composants par ordre décroissant de R_i , puis calculant le cumul normalisé afin d'affecter chaque composant à sa classe selon les seuils retenus : Classe A ($\leq 80\%$), Classe B ($\leq 95\%$) et Classe C ($> 95\%$). Les résultats confirment que **4 composants sur 12 concentrent près de 80 % de la rotation totale**, ce qui justifie une politique d'affectation différenciée des emplacements de stockage amont. Le code Python utilisé pour la classification ABC est présenté en **Annexe M**.

TABLE 3.5 – Classification ABC des composants FlexPen par rotation horaire de palettes.
Réalisation personnelle.

N°	Composant	U/palette	Rot. (pal/h)	Cumul (%)	Classe
1	Cap	36 288	0,2205	24,7	A
2	Housing	41 088	0,1947	46,5	A
3	Scale Drum	51 840	0,1543	63,8	A
4	Cartridge Holder	57 600	0,1389	79,3	A
5	Connector Pipe	147 456	0,0543	85,4	B
6	Piston Rod	239 616	0,0334	89,1	B
7	Ratchet	239 616	0,0334	92,8	B
8	Clutch	374 880	0,0213	95,2	C
9	Push Button	499 968	0,0160	97,0	C
10	Nut	499 968	0,0160	98,8	C
11	Counter	1 440 000	0,0056	99,4	C
12	Piston Washer	1 502 976	0,0053	100,0	C
Seuils : A $\leq$ 80 % — B $\leq$ 95 % — C $>$ 95 %					—

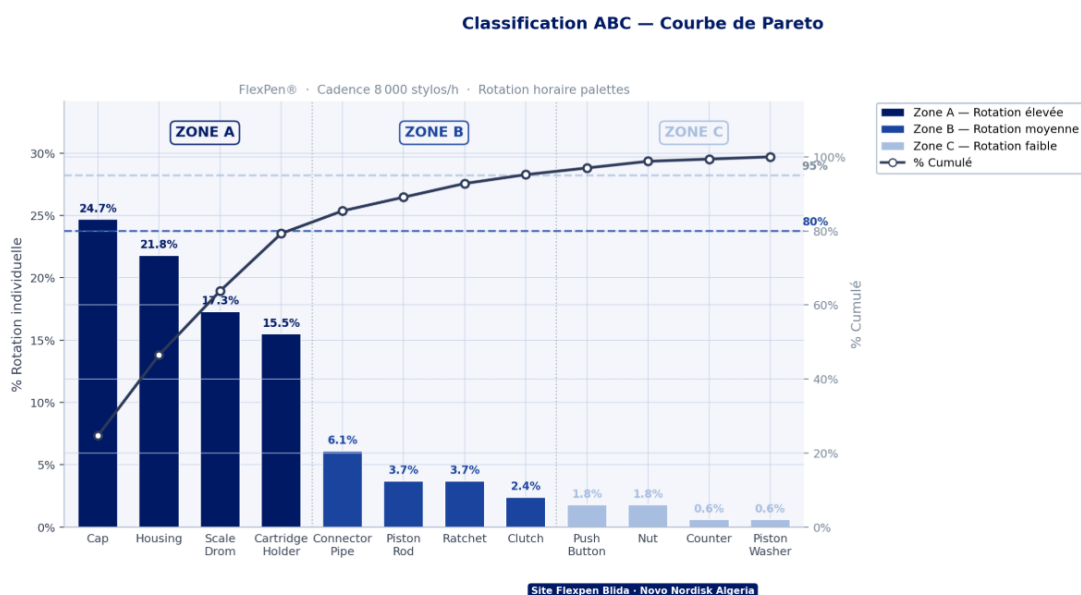


FIGURE 3.7 – Courbe de Pareto — Classification ABC des composants FlexPen par rotation horaire de palettes. Réalisation personnelle.

2.1.2 Configuration Standardisée des Stocks Buffers en Ligne

Principe d'allocation et logique de la zone buffer : La ligne d'assemblage dispose de **17 emplacements buffers** et de **12 emplacements de stocks avancés**. Le stock avancé est la palette directement en cours de consommation sur la cellule ; lorsqu'elle approche de son épuisement, la palette buffer correspondante est avancée immédiatement en zone stock avancé, sans recherche ni déplacement inutile.

La logique d'allocation repose sur les principes suivants :

- Les composants de **Classe A** (forte rotation) nécessitent **2 à 3 emplacements buffers** pour couvrir un shift de 100 000 stylos et sont positionnés au plus proche de leur cellule consommatrice.
- Les composants de **Classe B** (rotation intermédiaire) nécessitent **1 emplacement buffer**, positionné à distance intermédiaire.
- Les composants de **Classe C** (faible rotation) **ne nécessitent pas d'emplacement buffer dédié** : leur rotation est suffisamment lente pour qu'un unique stock avancé soit alimenté directement depuis le magasin ambiant sans risque de rupture intra-shift.
- **2 emplacements minimum sont réservés aux TPU vides**, positionnés à proximité immédiate de C4 dans le sens naturel du flux de sortie.

Le nombre d'emplacements buffers nécessaires pour les Classe A est estimé par :

$$N_{\text{buf},i} = \left\lceil \frac{100\,000}{U_i} \right\rceil$$

Composition par cellule. Chaque cellule consomme un sous-ensemble défini de composants :

- **C1** : Cartouche Cold Chain (exclue, procédure dédiée), Cartridge Holder, Housing.
- **C2** : Scale Drum, Connector Pipe, Counter, Nut.
- **C3** : Piston Rod, Ratchet, Piston Washer.
- **C4** : Cap, Clutch, Push Button ; zone de sortie des TPU vides.

Affectation numérotée des emplacements buffers : Les emplacements sont numérotés de 1 à 17 dans l'ordre croissant de la distance à la Porte A (entrée des palettes), de C1 vers C4 :

TABLE 3.6 – Affectation numérotée des emplacements buffers par cellule et par classe. Réalisation personnelle.

Emp.	Composant	Cellule	Classe	Type	Justification
1	Cartridge Holder	C1	A	Buffer 1/2	Plus proche Porte A, forte rotation
2	Cartridge Holder	C1	A	Buffer 2/2	Couverture shift complète
3	Housing	C1	A	Buffer 1/3	Forte rotation, adjacent C1
4	Housing	C1	A	Buffer 2/3	—
5	Housing	C1	A	Buffer 3/3	Couverture shift complète
6	Scale Drum	C2	A	Buffer 1/2	Forte rotation, adjacent C2
7	Scale Drum	C2	A	Buffer 2/2	Couverture shift complète
8	Connector Pipe	C2	B	Buffer 1/1	Rotation intermédiaire
9	Piston Rod	C3	B	Buffer 1/1	Rotation intermédiaire
10	Ratchet	C3	B	Buffer 1/1	Rotation intermédiaire
11	<i>Libre</i>	—	—	Flexible	Débordement ou nouveau composant
12	<i>Libre</i>	—	—	Flexible	Débordement ou nouveau composant
13	Cap	C4	A	Buffer 1/3	Forte rotation, adjacent C4
14	Cap	C4	A	Buffer 2/3	—
15	Cap	C4	A	Buffer 3/3	Couverture shift complète
16	TPU vides	C4	—	Réservé	—
17	TPU vides	C4	—	Réservé	—

Note : Classe C (Clutch, Push Button, Nut, Counter, Piston Washer) : pas de buffer dédié, alimentés directement depuis le magasin.

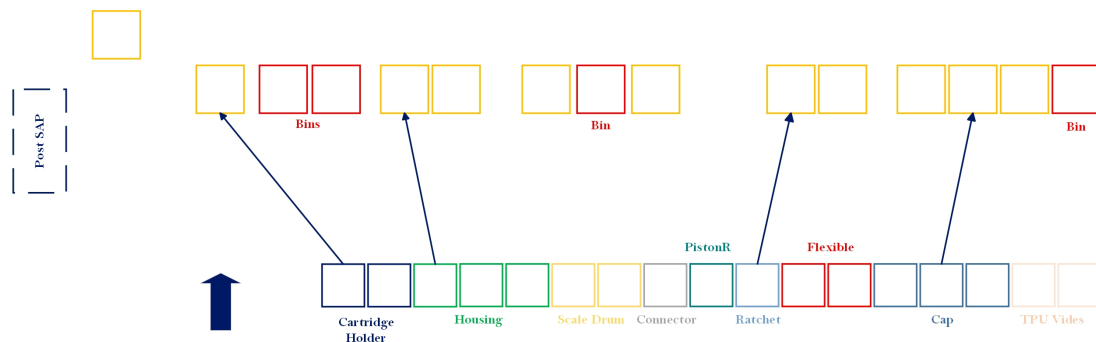


FIGURE 3.8 – Flux opérationnel après affectation des emplacements buffers selon la classification ABC. Réalisation personnelle.

2.1.3 Organisation Spatiale des Stocks dans le Magasin Ambiant

Topologie du magasin et contraintes de circulation : Le magasin ambiant est organisé selon une structure de racks parallèles desservis par des allées longitudinales, connectées à un couloir central jouant le rôle d'axe principal de circulation. La codification des emplacements est conservée de manière continue, même pour les positions non affectables, afin de garantir une correspondance stable entre la cartographie physique, le modèle de scoring et le standard d'affectation. Dans le cadre de l'optimisation, **la Toppo a été repositionnée devant les racks R6 et R7**, à proximité de la Porte A, afin de **réduire les déplacements inutiles et de limiter les croisements de flux**.

Modélisation spatiale et scoring multicritère des emplacements : L'évaluation des emplacements repose sur un score global multicritère combinant trois dimensions : la proximité à la Porte A, la proximité à la Toppo et la hauteur de stockage. Le traitement a été automatisé via un script Python (**Annexe N**).

La distance à la Porte A est calculée selon une métrique Manhattan :

$$D_A(i) = |Y_A - Y_i| + |X_A - X_i| \quad (3.2)$$

La distance à la Toppo tient compte de la configuration des allées :

$$D_T(i) = \begin{cases} |X_i - X_T| & \text{si même allée que la Toppo} \\ |X_T - X_c| + |Y_T - Y_i| + |X_c - X_i| & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.3)$$

Les distances sont normalisées en scores de 0 à 100 :

$$S(i) = 100 \times \left(1 - \frac{D(i)}{D_{\max}} \right) \quad (3.4)$$

Le score global est obtenu par combinaison pondérée :

$$S_g(i) = w_A S_A(i) + w_T S_T(i) + w_H S_H(i) \quad (3.5)$$

Détermination des poids par la méthode de Borda : Les poids w_A , w_T et w_H résultent d'un vote structuré réalisé auprès de dix acteurs opérationnels du site (huit magasiniers et deux Shift Supervisors). L'agrégation des préférences selon la règle de Borda traduit la perception terrain en coefficients numériques cohérents avec les priorités logistiques du magasin (Table 3.7).

TABLE 3.7 – Résultats du vote par la méthode de Borda. Réalisation personnelle.

Critère	Points Borda	Poids normalisé	Rôle opérationnel
Proximité Toppy	28	0,467	Flux le plus critique et répétitif
Hauteur d'accès	18	0,300	Effort de manutention le plus pénalisant
Proximité Porte A	14	0,233	Flux secondaire

Standard d'affectation des emplacements ambiant : Le standard d'affectation repose sur un zonage par classe ABC : les emplacements les mieux notés sont réservés aux références prioritaires, tandis que les emplacements plus contraints accueillent les produits moins critiques. Le tableau ci-dessous présente les dix meilleurs emplacements affectables selon le score global calculé.

TABLE 3.8 – Synthèse des meilleurs emplacements affectables du magasin ambiant. Réalisation personnelle.

Code	Rack	Section	Position EE	Étage	Score Global
001-08-27-1	R8	G	27	1	92,90
001-07-26-1	R7	D	26	1	91,17
001-08-26-1	R8	D	26	1	91,17
001-08-28-1	R8	G	28	1	91,17
001-07-25-1	R7	D	25	1	89,43
001-07-29-1	R7	G	29	1	89,43
001-08-25-1	R8	D	25	1	89,43
001-08-29-1	R8	G	29	1	89,43
001-07-24-1	R7	D	24	1	87,70
001-07-30-1	R7	G	30	1	87,70

Les meilleurs emplacements se concentrent autour des racks R7 et R8 au niveau 1, à proximité de la zone de circulation principale. Ce résultat confirme la cohérence entre le modèle de scoring et la réalité terrain.

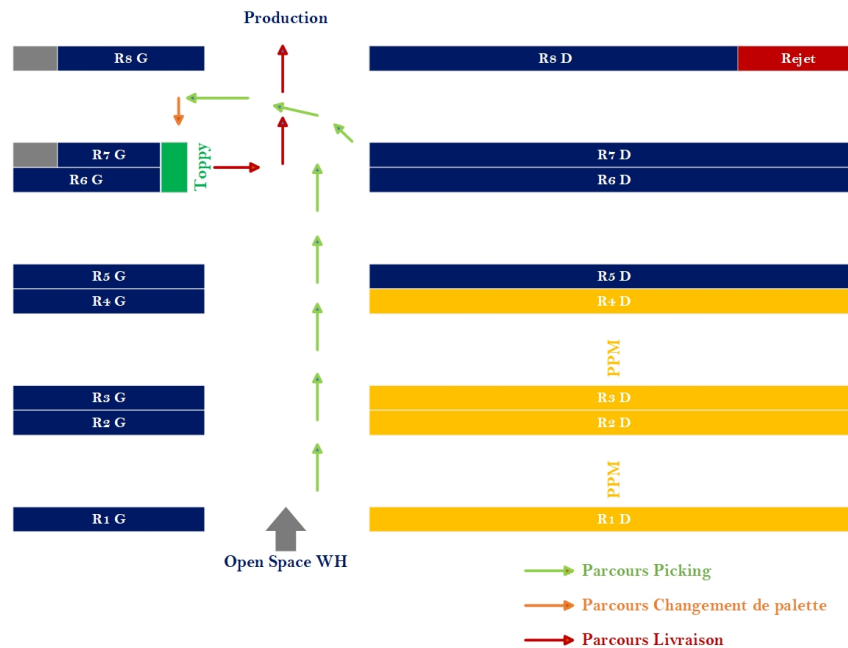


FIGURE 3.9 – Flux opérationnel du magasinier après classification des emplacements. Réalisation personnelle.

2.1.4 Résultats et Validation des Solutions

Afin d'évaluer l'effet des solutions mises en place, plusieurs simulations ont été réalisées sur différentes requests, dans des conditions de volumes et de manning variables. L'analyse a été centrée sur la **partie variable** du processus logistique, raisonnée en **temps par palette** afin de normaliser les observations et de visualiser clairement l'impact réel des améliorations.

Comparaison des opérations SAP : Avant amélioration, les recherches manuelles plus longues et la visibilité limitée sur les emplacements buffers conduisaient à un temps moyen de **2,54 minutes par palette**. Après déploiement du système d'adressage, de la classification ABC et de la réorganisation des stocks buffers, ce temps descend à **1,83 minute par palette**, soit un gain de **28,0 %**.

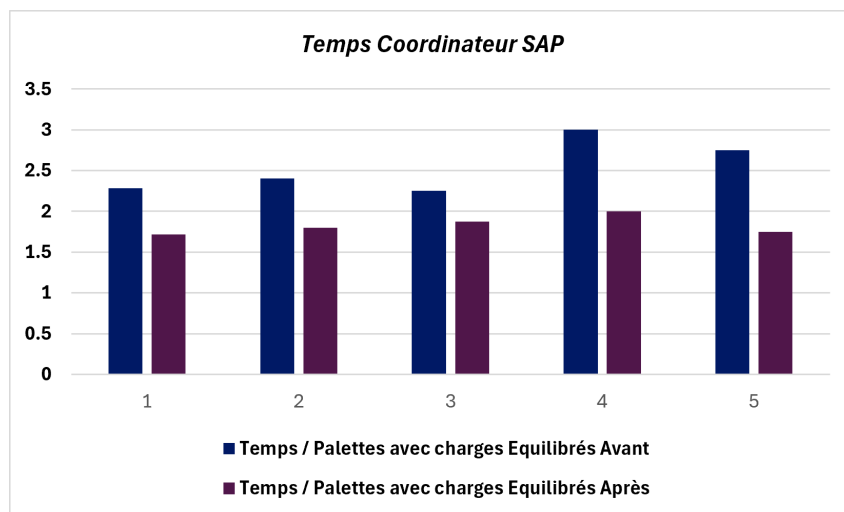


FIGURE 3.10 – Comparaison des opérations SAP avant et après mise en place des solutions. Réalisation personnelle.

Comparaison de la préparation physique : Avant amélioration, la préparation physique (localisation, descente des palettes, manutention) présentait un temps moyen de **5,82 minutes par palette**. Après réorganisation des emplacements et repositionnement de la Topyy, ce temps passe à **3,47 minutes**, soit une réduction de **40,2 %**, principalement grâce à la suppression des déplacements inutiles.

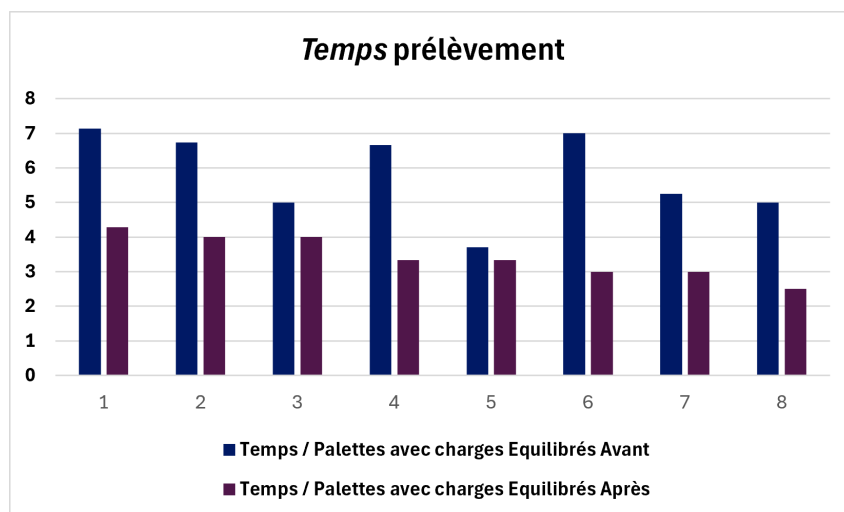


FIGURE 3.11 – Comparaison de la préparation physique avant et après mise en place des solutions. Réalisation personnelle.

Comparaison de la livraison vers la production : Le temps moyen de livraison physique vers la production passe de **3,0 minutes** à **2,4 minutes par palette**, soit un gain de **20,7 %**, résultant d'une circulation plus fluide et d'une meilleure coordination entre le magasin et la ligne.

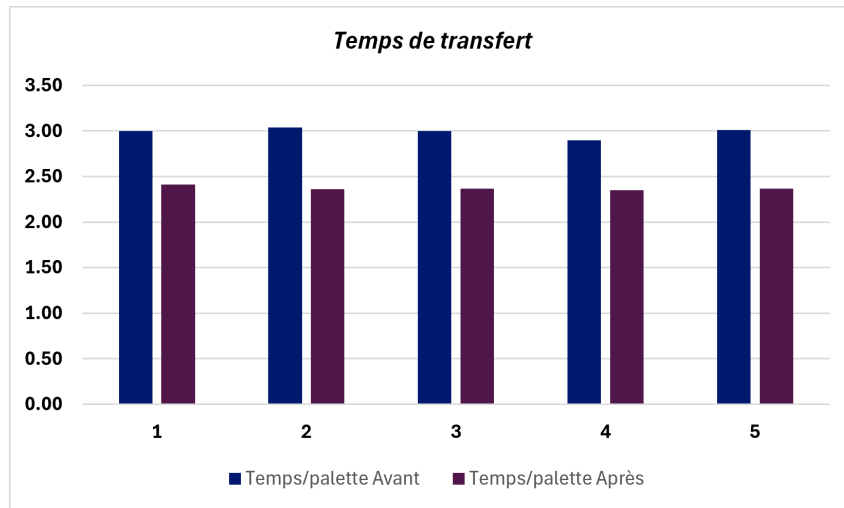


FIGURE 3.12 – Comparaison de la livraison vers la production avant et après mise en place des solutions. Réalisation personnelle.

Synthèse des gains. En considérant uniquement la partie variable du processus, le temps moyen total par palette passe de **11,36 minutes** à **7,7 minutes**, soit un gain global de **32,2 %**. Ces bénéfices concernent l'ensemble de la chaîne logistique interne, de la préparation au magasin jusqu'à la livraison bord de ligne.

Durabilité et pérennisation des solutions : La mise en place des solutions physiques ne suffit pas à garantir leur efficacité sur le long terme. Deux mécanismes de pérennisation ont été intégrés dès la conception :

- **Désignation des process owners :** Les shift superviseurs ont été désignés responsables de chaque activité améliorée. Leur rôle est de veiller à l'application rigoureuse des standards définis (emplacements buffers, zoning, séquences de picking et de livraison) et d'assurer le suivi des temps opérationnels.
- **Amélioration continue par cycles PDCA :** Les processus définis s'inscrivent dans une logique de cycles PDCA : identification des écarts, analyse des causes, actions correctives. Les résultats et actions engagées sont formalisés au niveau du **Bord** (tableau de management visuel), assurant une transparence vis-à-vis de l'ensemble de l'équipe.

L'Axe 1 a permis de transformer un processus de picking informel et non standardisé en un système d'approvisionnement organisé, fondé sur des règles objectives de classification et d'affectation. La classification ABC a fourni le critère de différenciation ; le scoring multicritère par la méthode de Borda a objectivé les décisions d'implantation ; la configuration standardisée des buffers de ligne a sécurisé l'alimentation cellule par cellule. Les gains mesurés **28,0 %** sur les opérations SAP, **40,2 %** sur la préparation physique et **20,7 %** sur la livraison, soit **32,2 %** au global valident l'impact direct des solutions déployées sur la fluidité et la fiabilité du flux logistique interne.

2.2 Axe 2 : Digitalisation et Pilotage Numérique

La réorganisation physique du Warehouse constitue une condition nécessaire mais non suffisante pour garantir la continuité de l’approvisionnement. Le diagnostic a révélé que la principale source de dysfonctionnement informationnelle réside dans l’absence d’un outil de pilotage opérationnel adapté : les approvisionnements sont déclenchés de manière réactive, la visibilité sur les stocks est limitée et les équipes sont contraintes de reconstituer l’information à partir de plusieurs sources manuelles. Cet axe présente deux solutions numériques complémentaires développées pour répondre à ces limites : un tableau de bord intelligent sous Excel VBA et un système Kanban numérique à algorithme prédictif.

2.2.1 Constat Initial et Analyse Fonctionnelle

Problématique de l’état actuel : Dans l’état actuel, SAP assure la traçabilité des mouvements, mais ne fournit pas une vision synthétique et opérationnelle des stocks, des emplacements et des priorités d’action. Les équipes doivent exploiter des extractions brutes, allongeant le temps d’analyse et augmentant le risque d’erreur. Cette situation a conduit à la conception de deux solutions numériques complémentaires, orientées vers la visibilité des stocks et l’anticipation des besoins.

TABLE 3.9 – Analyse fonctionnelle globale du besoin. Réalisation personnelle.

Question	Réponse
À qui le produit rend-il service ?	Aux équipes du Warehouse et de production qui ont besoin d’une information fiable, rapide et exploitable pour piloter les flux et sécuriser l’approvisionnement.
Sur quoi agit-il ?	Sur les stocks de composants, les emplacements physiques, les flux de réapprovisionnement et les décisions opérationnelles associées.
Dans quel but ?	Anticiper les besoins, améliorer la visibilité sur les stocks, réduire les risques de rupture, fiabiliser les décisions et soutenir la continuité d’activité.

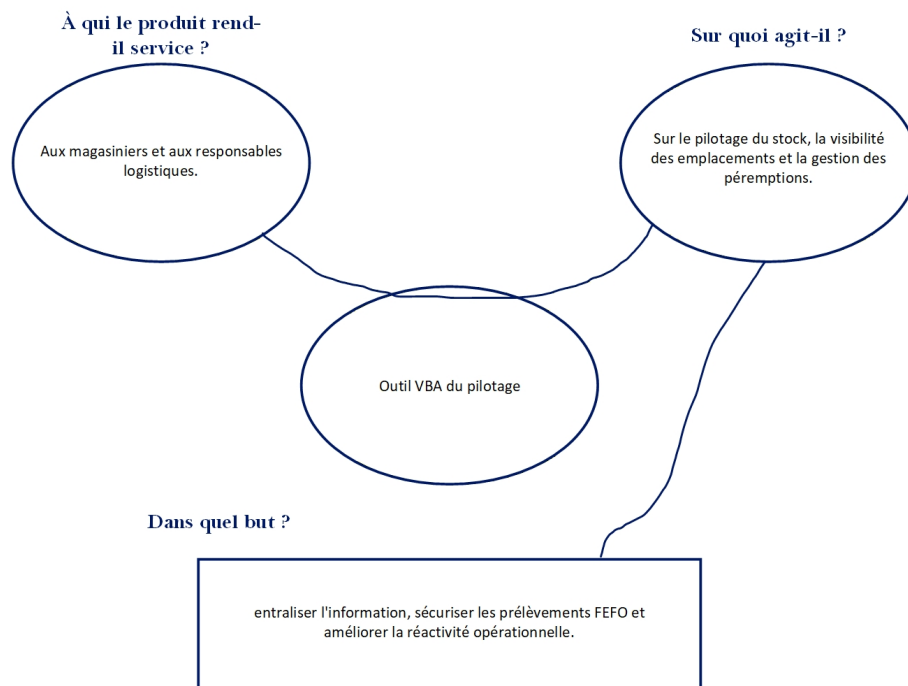


FIGURE 3.13 – Bête à cornes globale des outils de digitalisation (1). Réalisation personnelle.

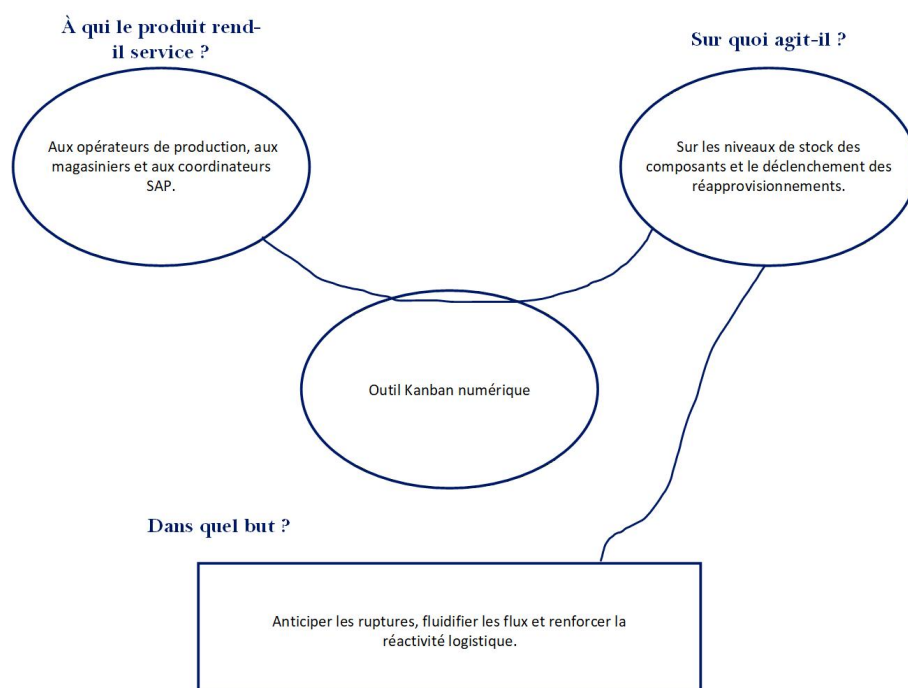


FIGURE 3.14 – Bête à cornes des outils de digitalisation (2). Réalisation personnelle.

Analyse fonctionnelle globale du besoin :

Validation du besoin : Le besoin identifié a été validé car il répond à une difficulté réelle et récurrente. Il existe parce que le pilotage actuel repose sur des traitements manuels, des extractions SAP brutes et des échanges verbaux. Il pourrait évoluer en cas d'augmentation du volume d'activité ou de modification des règles de gestion logistique. Il disparaîtrait si un système ERP intégré proposait nativement les mêmes fonctionnalités visualisation

temps réel, anticipation automatique des ruptures, gestion des priorités sans traitement complémentaire.

2.2.2 Outil de Pilotage Intelligent du Warehouse

Architecture générale de l'outil : L'outil a été conçu selon une architecture modulaire reposant sur six feuilles interconnectées :

TABLE 3.10 – Architecture générale du tableau de bord VBA. Réalisation personnelle.

Feuille	Rôle
ACCUEIL	Guide d'utilisation, workflow global et accès rapides aux fonctionnalités.
PARAMÈTRES	Règles métier, paramètres de fonctionnement et chemins d'export.
DATA	Données brutes issues de l'extraction SAP LX03.
DATA CLEAN	Base nettoyée et enrichie, source unique des analyses et modules décisionnels.
DASHBOARD	KPI, visualisations et accès aux modules fonctionnels.
LOG	Journal de traçabilité des actions effectuées.

Chaîne automatisée de traitement des données : Le fonctionnement repose sur une chaîne de traitement en cinq étapes : import de l'extraction SAP, nettoyage et enrichissement des données, mise à jour automatique des indicateurs, export du Dashboard au format PDF, et traçabilité des actions dans la feuille LOG.

TABLE 3.11 – Principaux traitements appliqués aux données importées. Réalisation personnelle.

Traitement réalisé	Objectif
Nettoyage des données importées	Éliminer les incohérences et préparer une base fiable.
Normalisation des champs SAP	Harmoniser les informations pour faciliter l'exploitation.
Calcul du délai avant expiration	Identifier rapidement les produits sensibles.
Classement des péremptions par criticité	Hierarchiser les actions selon le niveau d'urgence.
Identification de la zone de stockage	Distinguer les produits du Warehouse ambiant et de la Cold Room.
Découpage des informations de stockage	Extraire zone, rack, étage et position.

Dashboard opérationnel : Le Dashboard constitue l'interface principale de pilotage. Il offre une vue synthétique de l'état du Warehouse avec des filtres interactifs par zone et par rack, les KPI principaux (palettes périmées, produits à risque, taux de remplissage de la Cold Room) et des graphiques de répartition facilitant l'interprétation visuelle.

Modules fonctionnels d'aide à la décision : En complément du Dashboard, cinq modules permettent de passer d'une simple consultation de données à une utilisation orientée vers l'action :

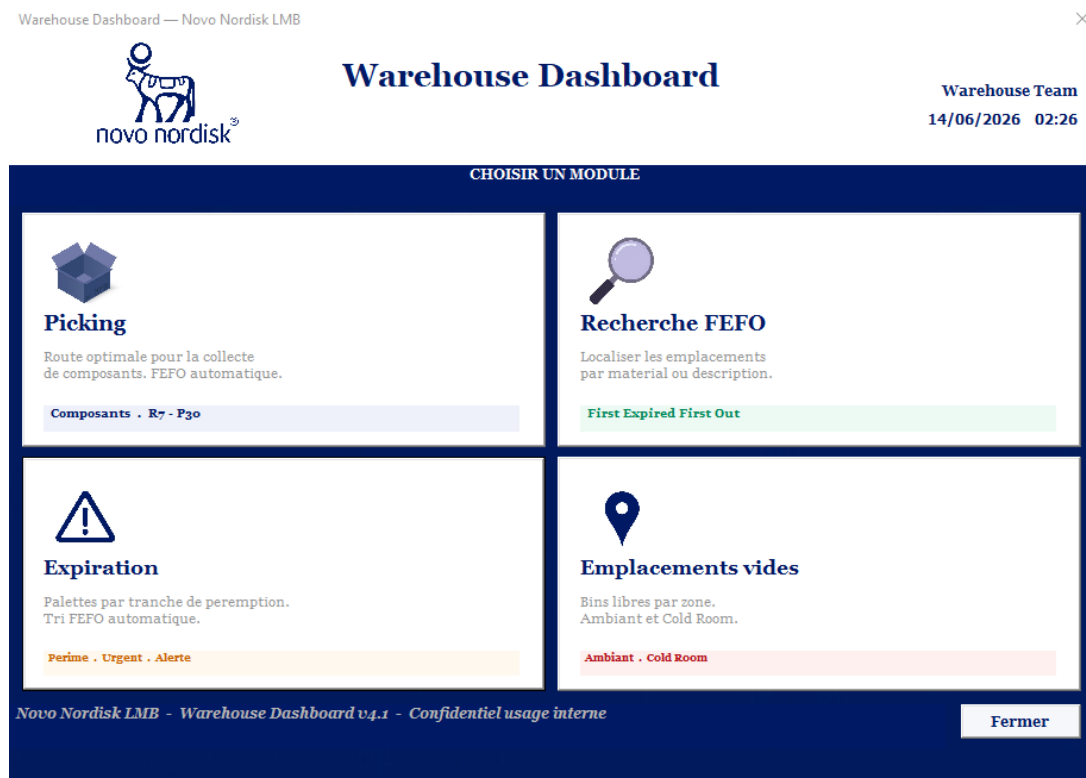


FIGURE 3.15 – Interface d'accès aux modules décisionnels. Réalisation personnelle.

- **Recherche des emplacements disponibles :** identification rapide des bins libres et visualisation des capacités restantes par zone.

Emplacements vides — Novo Nordisk LMB



EMPLACEMENTS VIDES

Comparaison structure theorique vs donnees SAP LX03

WAREHOUSE

☒ AMBIANT (001)

☐ COLD ROOM (002)

Rechercher vides

Reinitialiser

AMBIANT : 1324 bins theoriques
COLD : 833 bins theoriques

Exporter Excel **Fermer**

ZONE	RACK	POSITION	ETAGE	STORAGE BIN
AMBIANT	1	1	5	00101015
AMBIANT	1	2	5	00101025
AMBIANT	1	3	5	00101035
AMBIANT	1	4	5	00101045
AMBIANT	1	5	5	00101055
AMBIANT	1	6	5	00101065
AMBIANT	1	7	5	00101075
AMBIANT	1	8	5	00101085
AMBIANT	1	9	5	00101095
AMBIANT	1	10	5	00101105
AMBIANT	1	25	4	00101254
AMBIANT	1	26	3	00101263
AMBIANT	1	26	4	00101264
AMBIANT	1	26	5	00101265
AMBIANT	1	27	3	00101273
AMBIANT	1	28	1	00101281
AMBIANT	1	28	3	00101283
AMBIANT	1	29	1	00101291
AMBIANT	1	29	3	00101293
AMBIANT	1	30	3	00101303
AMBIANT	1	31	1	00101311
AMBIANT	1	31	3	00101313
AMBIANT	1	32	3	00101323
AMBIANT	1	33	3	00101333
AMBIANT	1	34	3	00101343
AMBIANT	1	35	2	00101352

AMBIANT : 187 vide(s) | 966 occupe(s) | 1153 total | Taux remplissage : 84%

FIGURE 3.16 – Module de recherche des emplacements disponibles. Réalisation personnelle.

- **Recherche selon la logique FEFO** : classement automatique par date de péremption et localisation des palettes concernées.

Recherche FEFO — Novo Nordisk LMB



RECHERCHE D'EMPLACEMENTS PALETTES

Logique FEFO | First Expired First Out

SAISIE DE LA RECHERCHE

Flexpen Scale Drum

Rechercher **Reinitialiser**

RESULTATS — TRI FEFO (expiration croissante)									
MATERIAL	BATCH	SLED/BBD	AVAIL. STOCK	ZONE	RACK	POS	ET.	STORAGE BIN	STATUT
2717111	N5U6J49	13/09/2028	25920	AMBIANT	8	3	3	00108033	OK
2717111	N5U8166	16/11/2028	47520	AMBIANT	8	2	2	00108022	OK
2717111	N5U8166	16/11/2028	51840	AMBIANT	8	23	1	00108231	OK
2717111	N5U8166	16/11/2028	51840	AMBIANT	8	25	1	00108251	OK
2717111	N5U8166	16/11/2028	51840	AMBIANT	8	26	1	00108261	OK
2717111	P5TE129	07/01/2030	51840	AMBIANT	5	30	5	00105305	OK
2717111	P5TE129	07/01/2030	51840	AMBIANT	5	31	4	00105314	OK
2717111	P5TE129	07/01/2030	51840	AMBIANT	7	8	3	00107083	OK
2717111	P5TE130	10/01/2030	51840	AMBIANT	2	31	5	00102315	OK
2717111	P5TE130	10/01/2030	51840	AMBIANT	5	32	5	00105325	OK
2717111	P5TE130	10/01/2030	51840	AMBIANT	5	33	4	00105334	OK
2717111	P5TE130	10/01/2030	51840	AMBIANT	5	33	5	00105335	OK
2717111	P5U3153	13/02/2030	51840	AMBIANT	3	35	3	00103353	OK
2717111	P5U3153	13/02/2030	51840	AMBIANT	3	36	3	00103363	OK
2717111	P5U3153	13/02/2030	51840	AMBIANT	4	35	3	00104353	OK
2717111	P5U3153	13/02/2030	51840	AMBIANT	4	36	3	00104363	OK
2717111	P5U3148	02/03/2030	51840	AMBIANT	5	17	5	00105175	OK
2717111	P5U3148	02/03/2030	51840	AMBIANT	5	28	5	00105285	OK
2717111	P5U3148	02/03/2030	51840	AMBIANT	6	12	3	00106123	OK
2717111	P5U3148	02/03/2030	51840	AMBIANT	7	4	3	00107043	OK
2717111	P5U3151	03/03/2030	51840	AMBIANT	3	33	3	00103333	OK
2717111	P5U3151	03/03/2030	51840	AMBIANT	3	34	3	00103343	OK
2717111	P5U3151	03/03/2030	51840	AMBIANT	4	33	3	00104333	OK
2717111	P5U3151	03/03/2030	51840	AMBIANT	4	34	3	00104343	OK
2717111	P5UET94	04/03/2030	51840	AMBIANT	6	34	1	00106341	OK

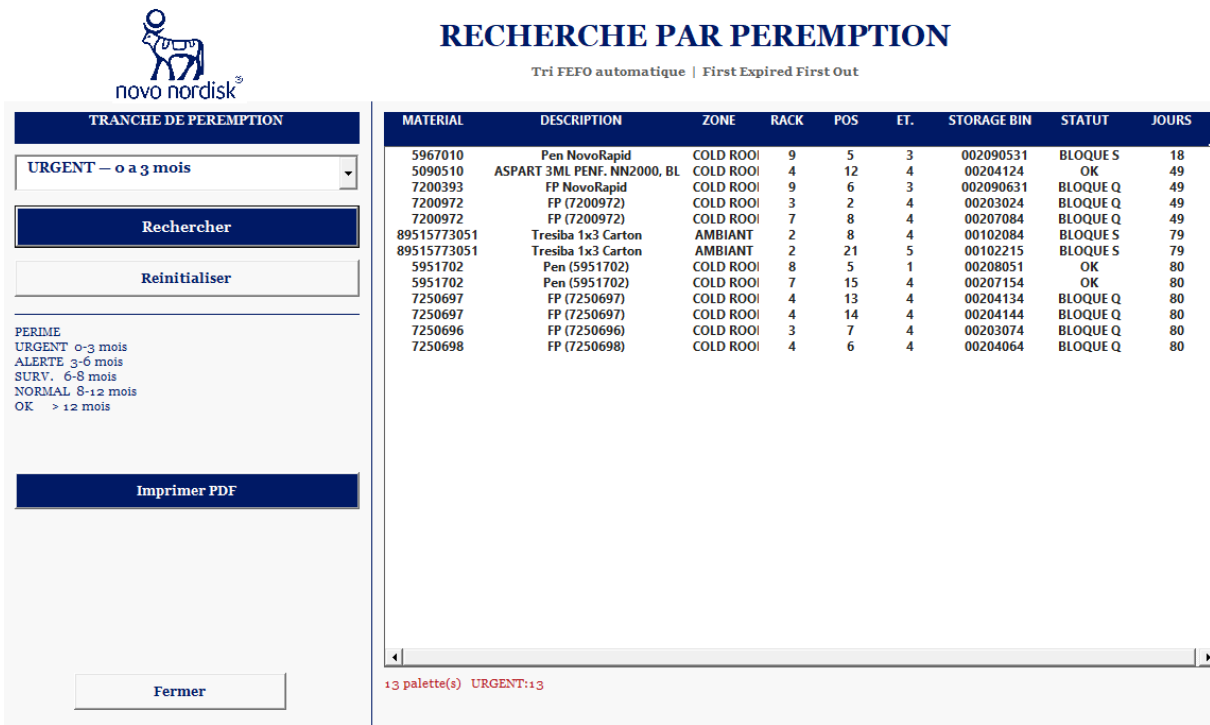
98 emplacement(s) | Tri FEFO (expiration croissante)

URGENT < 90j | ALERTE 90-180j | OK > 180j

Exporter Excel **Fermer**

FIGURE 3.17 – Module de recherche FEFO avec suggestions automatiques. Réalisation personnelle.

- **Suivi des péremptions** : filtrage par niveau de criticité, localisation précise et génération de listes de travail.



RECHERCHE PAR PEREMPTION
Tri FEFO automatique | First Expired First Out

TRANSCHE DE PEREMPTION
URGENT — 0 à 3 mois

Rechercher

Reinitialiser

PERIME
URGENT 0-3 mois
ALERTE 3-6 mois
SURV. 6-8 mois
NORMAL 8-12 mois
OK > 12 mois

Imprimer PDF

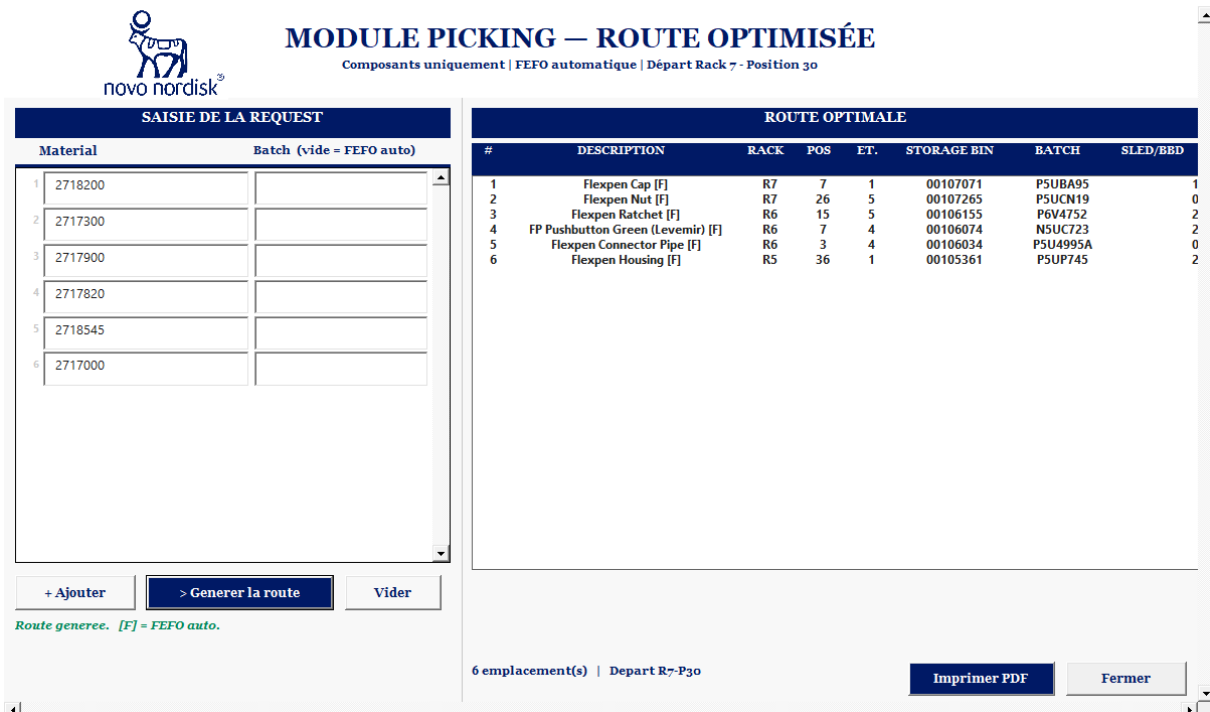
MATERIAL	DESCRIPTION	ZONE	RACK	POS	ET.	STORAGE BIN	STATUT	JOURS
5967010	Pen NovoRapid	COLD ROOM	9	5	3	002090531	BLOQUE S	18
5090510	ASPART 3ML PENF. NN2000, BL	COLD ROOM	4	12	4	00204124	OK	49
7200393	FP NovoRapid	COLD ROOM	9	6	3	002090631	BLOQUE Q	49
7200972	FP (7200972)	COLD ROOM	3	2	4	00203024	BLOQUE Q	49
7200972	FP (7200972)	COLD ROOM	7	8	4	00207084	BLOQUE Q	49
89515773051	Tresiba 1x3 Carton	AMBIANT	2	8	4	00102084	BLOQUE S	79
89515773051	Tresiba 1x3 Carton	AMBIANT	2	21	5	00102215	BLOQUE S	79
5951702	Pen (5951702)	COLD ROOM	8	5	1	00208051	OK	80
5951702	Pen (5951702)	COLD ROOM	7	15	4	00207154	OK	80
7250697	FP (7250697)	COLD ROOM	4	13	4	00204134	BLOQUE Q	80
7250697	FP (7250697)	COLD ROOM	4	14	4	00204144	BLOQUE Q	80
7250696	FP (7250696)	COLD ROOM	3	7	4	00203074	BLOQUE Q	80
7250698	FP (7250698)	COLD ROOM	4	6	4	00204064	BLOQUE Q	80

13 palette(s) URGENT:13

Fermer

FIGURE 3.18 – Module de gestion des péremptions. Réalisation personnelle.

- **Préparation optimisée des prélèvements** : organisation de la tournée de picking et génération d'une feuille standardisée.



MODULE PICKING — ROUTE OPTIMISÉE
Composants uniquement | FEFO automatique | Départ Rack 7 - Position 30

SAISIE DE LA REQUEST

Material	Batch (vide = FEFO auto)
1 2718200	
2 2717300	
3 2717900	
4 2717820	
5 2718545	
6 2717000	

+ Ajouter > Generer la route Vider

Route generée. [F] = FEFO auto.

ROUTE OPTIMALE

#	DESCRIPTION	RACK	POS	ET.	STORAGE BIN	BATCH	SLED/BBB
1	Flexpen Cap [F]	R7	7	1	00107071	P5UBA95	1
2	Flexpen Nut [F]	R7	26	5	00107265	P5UCN19	0
3	Flexpen Ratchet [F]	R6	15	5	00106155	P6V4752	2
4	FP Pushbutton Green (Levemir) [F]	R6	7	4	00106074	NSUC723	2
5	Flexpen Connector Pipe [F]	R6	3	4	00106034	P5U4995A	0
6	Flexpen Housing [F]	R5	36	1	00105361	P5UP745	2

6 emplacement(s) | Depart R7-P30

Imprimer PDF Fermer

FIGURE 3.19 – Interface du module de préparation optimisée des prélèvements. Réalisation personnelle.

TABLE 3.12 – Synthèse des apports des modules fonctionnels. Réalisation personnelle.

Dimension	Avant l'outil	Après l'outil
Recherche d'information	Données dispersées, analyses manuelles.	Accès rapide aux modules selon le besoin.
Gestion de l'espace	Recherche manuelle des emplacements.	Identification immédiate des capacités libres.
Application du FEFO	Tri manuel avec risque d'erreur.	Sélection rapide et fiable des palettes prioritaires.
Suivi des péremptions	Visibilité limitée sur les produits critiques.	Repérage structuré et priorisation des actions.
Préparation des prélèvements	Parcours dépendant de l'expérience de l'opérateur.	Tournée de picking organisée et standardisée.
Traçabilité par lot	Recherche lente dans les données brutes.	Localisation rapide et lecture synthétique des lots.

2.2.3 Outil Kanban Numérique

Présentation générale et architecture : Un outil numérique complémentaire a été développé sous **Microsoft Excel avec macros VBA** pour assurer la gestion visuelle des niveaux de stock et le déclenchement automatique des réapprovisionnements. Il rassemble les données de stock, met à jour les indicateurs de consommation, génère les cartes Kanban lorsque les seuils critiques sont atteints et conserve l'historique des cartes clôturées.

TABLE 3.13 – Structure générale de l'outil Kanban. Réalisation personnelle.

Feuille	Rôle
Master__Stocks	Stock actuel, consommation horaire, heures avant seuil de sécurité et date prévisionnelle de rupture.
Composants	Référentiel statique : unités/palette, ratio BOM, stock de sécurité, classe ABC, ligne associée.
Lignes	Données dynamiques : vitesse maximale, OEE/TRS, état opérationnel.
Prévisions et Cartes Kanban	Cartes actives, statut coloré, priorité, horodatage.
Archives__Kanban	Historique des cartes clôturées avec motif de clôture.

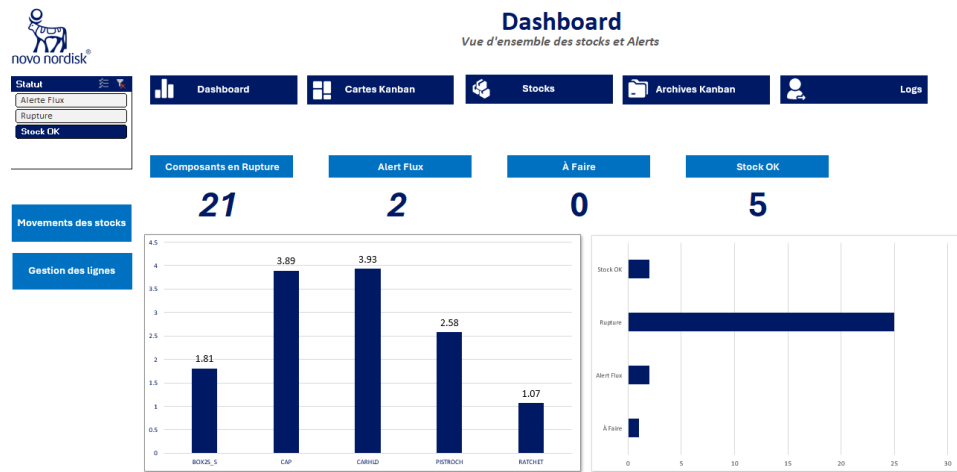


FIGURE 3.22 – Tableau de bord Kanban numérique. Réalisation personnelle.

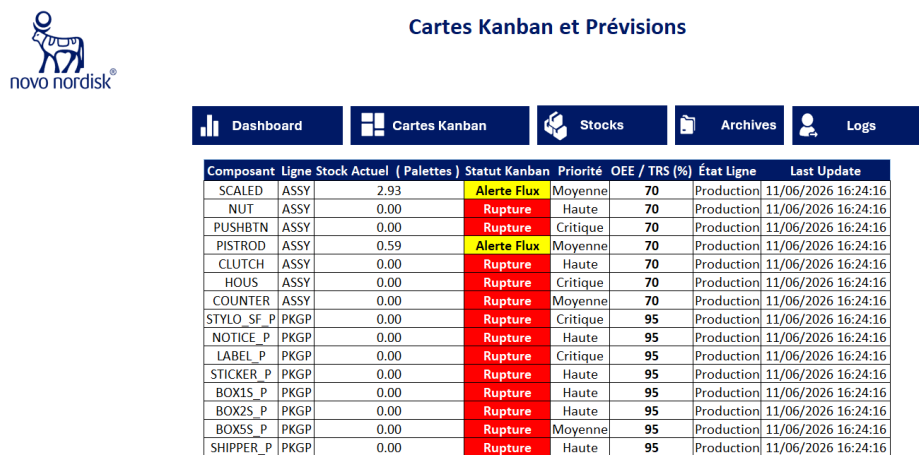


FIGURE 3.23 – Feuille Prévisions et Cartes Kanban — Statuts et stocks. Réalisation personnelle.

Algorithme de consommation prédictive : Le moteur de calcul repose sur un algorithme de consommation prédictive exécuté à chaque cycle de refresh. Il simule, à partir du dernier stock connu et des paramètres de production en cours, l'état probable du stock sans attendre une saisie manuelle.

1. Calcul de la consommation horaire maximale pour chaque composant i :

$$C_{\max,i} = \frac{V_{\max} \times OEE \times \frac{BOM_i}{1000}}{U_i} \quad [\text{pal/h}]$$

2. Modulation selon l'état opérationnel de la ligne :

$$C_{\text{réelle},i} = \begin{cases} C_{\max,i} & \text{PRODUCTION / ACTIF} \\ 0,5 \times C_{\max,i} & \text{BCO} \\ 0,05 \times C_{\max,i} & \text{MAINTENANCE} \\ 0 & \text{STOP} \end{cases}$$

3. Calcul du nombre d'heures avant atteinte du stock de sécurité SS_i :

$$H_{\text{avant } SS,i} = \frac{S_i(t) - SS_i}{C_{\text{réelle},i}}$$

4. Attribution des statuts Kanban selon les seuils :

TABLE 3.14 – Codification des statuts Kanban selon le niveau de stock. Réalisation personnelle.

Statut	Condition	Interprétation
Rupture	$S_i \leq 0$	Stock nul ou négatif; action immédiate requise.
À faire	$0 < S_i \leq SS_i$	Inférieur au stock de sécurité; traitement rapide.
Alerte flux	$SS_i < S_i \leq SS_i + 1$	Acceptable à court terme; surveillance renforcée.
Stock OK	$S_i > SS_i + 1$	Niveau suffisant, pas de risque immédiat.

5. Archivage automatique des cartes dont le statut est *Stock OK* vers la feuille *Archives_Kanban*.

Interfaces de saisie terrain : Deux formulaires VBA constituent le point d'entrée des opérateurs dans le système :

FIGURE 3.24 – Formulaire de saisie des réceptions et consommations. Réalisation personnelle.

FIGURE 3.25 – Formulaire de mise à jour du TRS et de l'état opérationnel des lignes. Réalisation personnelle.

Le formulaire `FRM_MOUVEMENTS_STOCK` gère les réceptions et consommations manuelles, avec mise à jour instantanée du stock et recalcul automatique des prévisions. Le formulaire `FRM_OEE_ETAT` permet au coordinateur SAP de renseigner le TRS et l'état opérationnel, influençant directement le calcul de la consommation prévisionnelle. Toutes les actions sont horodatées et archivées dans la feuille *Logs*.

TABLE 3.15 – Synthèse des gains apportés par l'outil Kanban numérique. Réalisation personnelle.

Axe de gain	Apport
Visibilité des stocks	Lecture claire et instantanée de la situation des composants.
Anticipation	Identification des situations critiques avant la rupture.
Réduction des urgences	Déclenchement précoce des actions de réapprovisionnement.
Allègement de la charge	Suppression des tâches manuelles répétitives.
Fiabilisation du pilotage	Décisions fondées sur une base de données cohérente.
Traçabilité	Historique complet des mouvements et des décisions.

L'Axe 2 a transformé le pilotage des approvisionnements d'une démarche exclusivement réactive détection manuelle, support papier, déclenchements verbaux en un système anticipatif et structuré. Le tableau de bord VBA centralise l'information, élimine les activités sans valeur ajoutée et fournit aux opérateurs une visibilité opérationnelle complète. Le Kanban numérique, couplé à son algorithme de consommation prédictive, formalise le déclenchement des orders de transfert et synchronise les flux avec les besoins réels des lignes de production. Ensemble, ces deux outils constituent une réponse directe au dysfonctionnement informationnel identifié et préparent le terrain pour le troisième axe, qui aborde la continuité de production à l'interface Assembly et Packaging.

2.3 Axe 3 : Flux Continu et Buffer SMF

Les deux axes précédents ont adressé l'organisation physique et le pilotage informationnel du Warehouse. L'Axe 3 aborde une problématique distincte et complémentaire : la vulnérabilité structurelle du flux de production à l'interface entre la ligne d'assemblage NOR12 et les lignes de Packaging. En configuration de flux continu, tout arrêt Assembly qu'il soit long ou résulte d'une accumulation d'arrêts courts se propage mécaniquement au Packaging, générant des pertes de production certaines et récurrentes.

Cet axe propose une réponse par le **risk management quantitatif** : dimensionner un stock tampon SMF dans le WH Cold et définir une politique de pilotage optimale de la deuxième ligne de Packaging, de sorte que la continuité de la production soit garantie avec un risque résiduel quantifié et maîtrisé. La démarche s'articule en trois temps : analyse statistique des perturbations réelles, construction et calibration d'un modèle de simulation stochastique, optimisation par grid search couplé à la simulation de Monte Carlo.

2.3.1 Analyse des Risques du Flux Continu Actuel

Données terrain et statistiques descriptives : L'analyse repose sur un historique exhaustif de **326 événements d'arrêt** enregistrés sur la ligne Assembly NOR12 entre avril et juin 2026, couvrant **71 jours** consécutifs. Le Tableau 3.16 présente les indicateurs statistiques de cette récolte de données.

TABLE 3.16 – Statistiques descriptives des arrêts Assembly NOR12 — Avril–Juin 2026.

Indicateur	Valeur	Unité
Nombre total d'événements	326	événements
Période d'observation	71	jours
Fréquence moyenne	4,6	évén./jour
Temps total d'arrêt	229,4	heures
Durée moyenne par événement	42,2	minutes
Durée médiane	20	minutes
Durée maximale observée	780	min (13 h)
Arrêts cumulés par semaine	22,6	h/semaine
Disponibilité Assembly	75,6	%

La Figure 3.26 présente la répartition des 326 événements. La lecture conjointe des deux panneaux révèle un phénomène fondamental : **83 % des arrêts durent moins d'une heure**, mais les arrêts longs concentrent la part la plus significative du temps perdu. Ce paradoxe *fréquence vs impact* justifie une approche probabiliste.

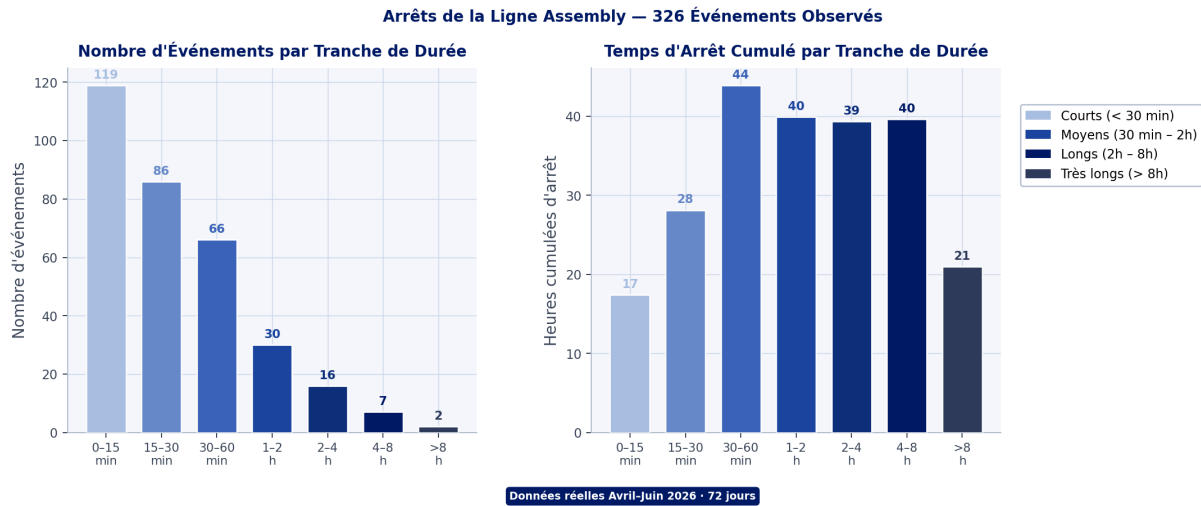


FIGURE 3.26 – Distribution des 326 arrêts Assembly par tranche de durée — Données terrain Avril–Juin 2026.

Mécanisme de propagation et seuil de vulnérabilité : En flux continu, les transferts s'effectuent par palettes entières ($P_{SMF} = 15\,552$ stylos). L'Assembly produit à une cadence effective de $Q_{assy} = 8\,000$ sty/h (OEE 60 %), complétant une palette toutes les $T_{pal} = 1,94$ h. Chaque ligne de Packaging traite une palette en :

$$T_{pack} = \frac{15\,552}{6\,000} = 2,59 \text{ h} \quad (3.6)$$

Lorsque Assembly s'arrête, la couverture résiduelle dépend de la quantité R restante dans la palette en cours :

$$T_{cov,res} = \frac{R}{Q_{pack}} \in [0 ; T_{pack}] \quad (3.7)$$

$T_{cov,FC} = 2,59$ h constitue une **borne supérieure** — le meilleur cas possible — et non un seuil de protection garanti. En moyenne, $T_{cov,res} \approx 1,3$ h. Deux cas distincts provoquent l'arrêt du Packaging :

- **Cas 1 — Arrêt unique.** Si $D > T_{cov,FC} = 2,59$ h : l'arrêt du Packaging est **inévitable**. Si $D \leq T_{cov,FC}$: il est possible mais non garanti, selon la quantité résiduelle R .
- **Cas 2 — Arrêts courts successifs.** Des arrêts de durée individuelle inférieure à $T_{cov,FC}$ peuvent provoquer l'arrêt du Packaging par **accumulation d'indisponibilité** : toute production partielle entre deux arrêts n'est pas immédiatement disponible pour le Packaging. Avec $\lambda = 4,6$ arrêts/jour, ce phénomène est **statistiquement fréquent**.

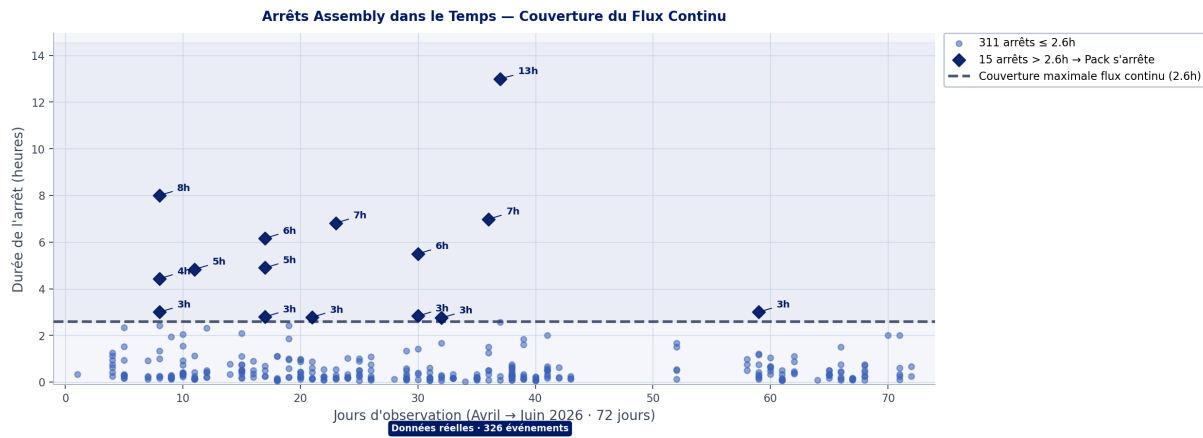


FIGURE 3.27 – Arrêts Assembly dans le temps — Confrontation au seuil de couverture du flux continu.

Sur les 326 arrêts, **15 événements (4,6 %)** dépassent $T_{\text{cov,FC}}$ (Cas 1 pur) : autant de ruptures de continuité du Packaging **garanties**. Le risque réel est structurellement supérieur, compte tenu du Cas 2. C'est précisément pour intégrer simultanément les deux cas que le modèle de simulation est conduit à **pas horaire** : à chaque heure, l'état du buffer reflète l'effet agrégé de l'ensemble des arrêts survenus.

Risques qualité IPC et ruptures de bulk : Les contrôles IPC peuvent déclencher des délimitations backward remontant jusqu'aux lots Assembly. La constitution d'un buffer formalisé crée un **point de découplage traçable** qui limite l'étendue des investigations. Les ruptures de bulk (cartouches) provoquent l'arrêt de l'Assembly ; un buffer correctement dimensionné les absorbe au même titre que les arrêts non planifiés.

2.3.2 Fondements de la Solution Buffer

Principe du buffer intermédiaire dans le WH Cold : La solution consiste à constituer et maintenir un **stock tampon de palettes SMF dans le WH Cold**, géré selon une politique à deux seuils. Lorsque l'Assembly est à l'arrêt, les lignes de Packaging continuent d'être approvisionnées depuis ce stock, maintenant leur continuité **indépendamment des aléas amont** — qu'il s'agisse d'un arrêt long isolé ou d'une accumulation d'arrêts courts. Les transferts restent intégralement réalisés par **palettes entières**.

Politique à deux seuils avec alternance S_B/S_H . Deux seuils règlent le pilotage :

- **Seuil haut S_H** : lorsque le buffer atteint S_H palettes, la deuxième ligne est activée. Les deux lignes drainent le buffer à une cadence nette de $2 \times 6\,000 - 8\,000 = 4\,000$ sty/h.
- **Seuil bas S_B** : lorsque le buffer descend à S_B palettes, la deuxième ligne est désactivée. Le buffer se reconstitue à $8\,000 - 6\,000 = 2\,000$ sty/h.

La couverture temporelle au seuil bas est :

$$T_{\text{cov}}(S_B) = \frac{S_B \times 15\,552}{6\,000} \quad (3.8)$$

Mécanisme d’alternance et équité d’utilisation : Afin d’équilibrer les charges, la ligne qui continue à produire seule alterne à chaque atteinte de S_B : premier cycle = L1 seule, deuxième cycle = L2 seule, troisième cycle = L1 seule, etc. L’écart $\Delta S = S_H - S_B \geq 6$ palettes constitue la bande d’hystérésis évitant le *chattering*.

2.3.3 Modélisation et Simulation Stochastique

TABLE 3.17 – Hypothèses du modèle de simulation. Réalisation personnelle.

#	Hypothèse	Valeur	Justification
H1	OEE Assembly par shift	$\mathcal{N}(60\%, 5\%)$	Valeur nominale ; variabilité inter-shift estimée
H2	Palette SMF indivisible	$P_{\text{SMF}} = 15\,552$ sty	Unité physique de transfert
H3	Cadence Pack par ligne	6 000 sty/h	Cadence nominale $6\,667 \times$ OEE 90 %
H4	Fréquence arrêts non planifiés	Poisson($\lambda = 4,6 \text{ j}^{-1}$)	Calibrée sur 326 événements / 71 jours
H5	Durées arrêts non planifiés	Distribution empirique	Bootstrap sur les 326 durées observées
H6	Maintenance préventive	24 h au Jour 35	Planification mensuelle site
H7	Demande Packaging	Infinie	Hypothèse conservatrice
H8	OEE Packaging	90 % stable	Hors périmètre de l’étude
H9	Arrêts Assembly	Indépendants	Hypothèse standard pour Monte Carlo

Moteur de simulation palette par palette : La simulation est conduite à **pas horaire** sur **60 jours** (1 440 heures). À chaque heure :

1. **Production Assembly** : cadence nulle en cas d’arrêt ; accumulation jusqu’à P_{SMF} , déclenchant l’ajout d’une palette entière au buffer.
2. **Pilotage L2** : $l_2 \leftarrow 1$ si $B \geq S_H$; $l_2 \leftarrow 0$ si $B \leq S_B$, avec alternance L1/L2.
3. **Conditionnement** : chaque ligne active consomme au maximum 6 000 sty/h depuis la palette en cours ; prélève une palette entière dans le buffer à épuisement.
4. **BCO** : arrêt de 30 min à chaque $L = 400\,000$ stylos produits.

Calibration : loi de Poisson et bootstrap empirique. La loi de Poisson est retenue pour modéliser la fréquence des arrêts, ses trois conditions étant vérifiées : stationnarité, indépendance et rareté dans un intervalle court. Le paramètre est estimé par maximum de vraisemblance :

$$\hat{\lambda} = \frac{326}{71} \approx 4,6 \text{ évén./jour} \quad (3.9)$$

Les durées sont tirées par **bootstrap** directement dans les 326 durées observées, préservant fidèlement la queue lourde et évitant toute distorsion paramétrique.

Pourquoi la simulation de Monte Carlo ? : Une simulation unique ne produit qu'un résultat conditionné à une séquence d'aléas particulière. La **méthode de Monte Carlo** répond à cette limite en répétant l'expérience N fois avec des aléas différents, permettant de passer de "la politique fonctionne" à "la politique fonctionne dans **96 % des scénarios possibles**" — garantie indispensable dans un contexte pharmaceutique.

À chaque simulation, deux sources d'aléas sont régénérées : la séquence d'OEE par shift et la chronologie des arrêts non planifiés. Les paramètres fixes restent : maintenance au Jour 35, cadences, horizon 60 jours et seuils (S_B, S_H) .

Formulation de l'optimisation :

$$(S_B^*, S_H^*) = \arg \max_{(S_B, S_H) \in \mathcal{G}} \mathbb{E}[PF(S_B, S_H)] \quad (3.10)$$

sous la contrainte de sécurité :

$$\hat{p}(S_B, S_H) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \mathbf{1} \left[\min_h B_s(h) > 0 \right] \geq p^* = 95 \% \quad (3.11)$$

La grille couvre **1 388 combinaisons** évaluées par $N = 50$ simulations chacune : **69 400 simulations** au total.

2.3.4 Résultats et Dimensionnement Optimal

Lecture des heatmaps d'optimisation : La Figure 3.28 présente les cartes d'optimisation. Le panneau gauche représente la production PF moyenne ; le panneau droit représente l'indice de sécurité. La frontière 95 % délimite la région admissible ; l'étoile identifie l'optimum.

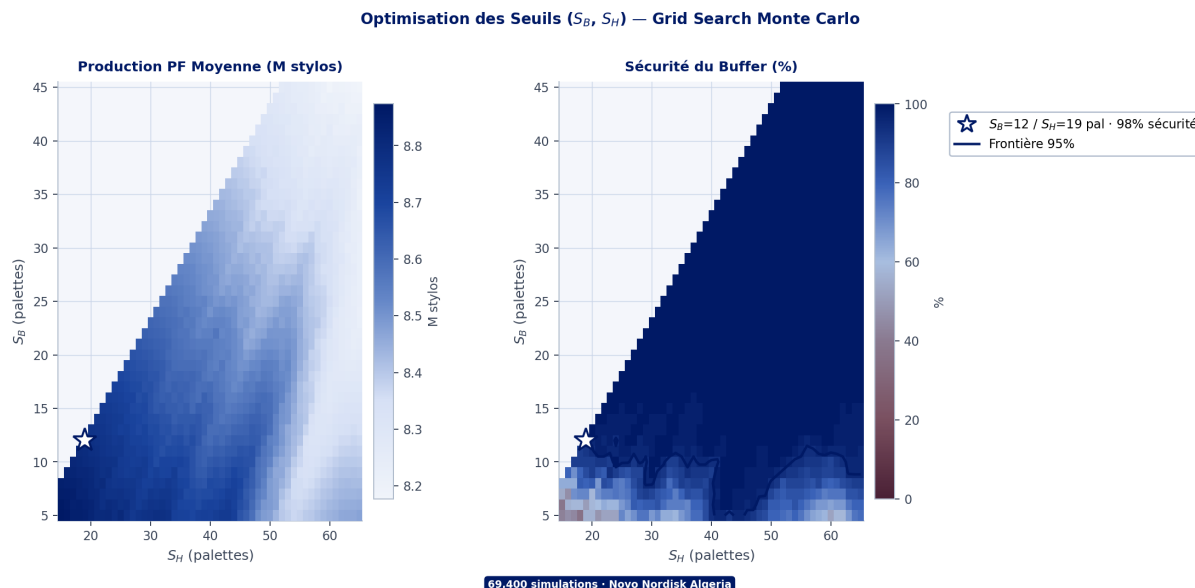


FIGURE 3.28 – Cartes d’optimisation des seuils (S_B, S_H) — 1 388 combinaisons $\times$ 50 simulations. Réalisation personnelle.

Seuils optimaux et interprétation physique.

$$\boxed{S_B^* = 12 \text{ palettes} \quad S_H^* = 19 \text{ palettes}} \quad (3.12)$$

TABLE 3.18 – Caractéristiques des seuils optimaux. Réalisation personnelle.

Caractéristique	$S_B^* = 12 \text{ pal}$	$S_H^* = 19 \text{ pal}$
Volume SMF	186 624 sty	295 488 sty
Couverture à 1 ligne Pack	31,1 h	49,2 h
Couverture à 2 lignes Pack	15,6 h	24,6 h
Arrêts historiques couverts	326/326 (100 %)	—
Bande d’hystérésis ΔS	7 palettes	

Courbe risque-buffer : La Figure 3.29 est la figure centrale du risk management. Le risque chute de **80 % à moins de 5 %** entre $S_B = 0$ et $S_B = 10$ palettes (coude caractéristique des systèmes à queue lourde). Pour $S_B^* = 12$ palettes, le risque résiduel est **inférieur à 4 %**.

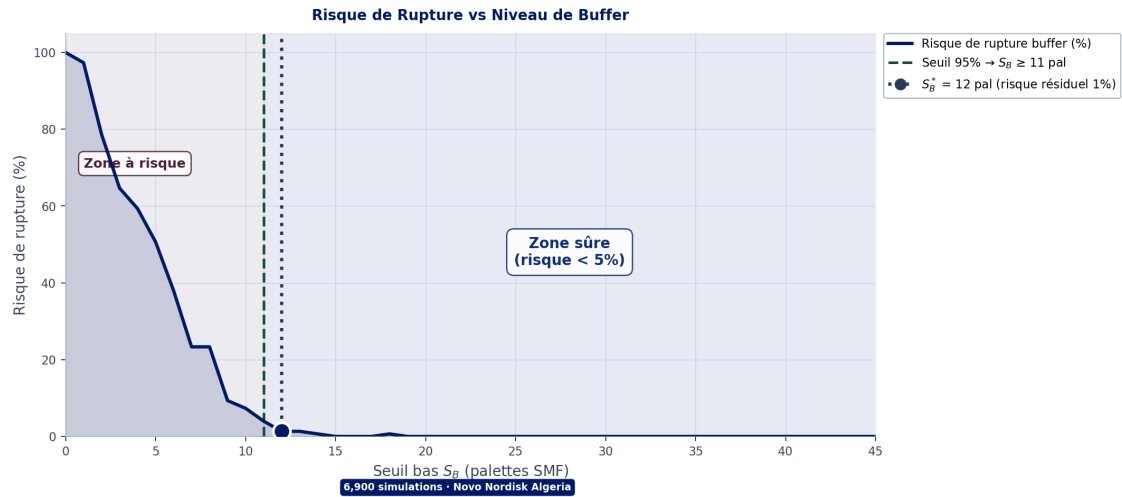


FIGURE 3.29 – Courbe Risque-Buffer — Probabilité de rupture du buffer en fonction de S_B (150 simulations par point).

Comportement du buffer sous politique optimale : La Figure 3.30 illustre l'évolution du buffer sur 60 jours. Trois comportements sont identifiables : (i) oscillation nominale entre S_B et S_H ; (ii) absorption de la maintenance de 24h avec un minimum de **6 palettes** — jamais nul ; (iii) reconstruction post-maintenance en dents de scie, physiquement cohérente et témoignant de la robustesse de la politique face à des sollicitations simultanées.

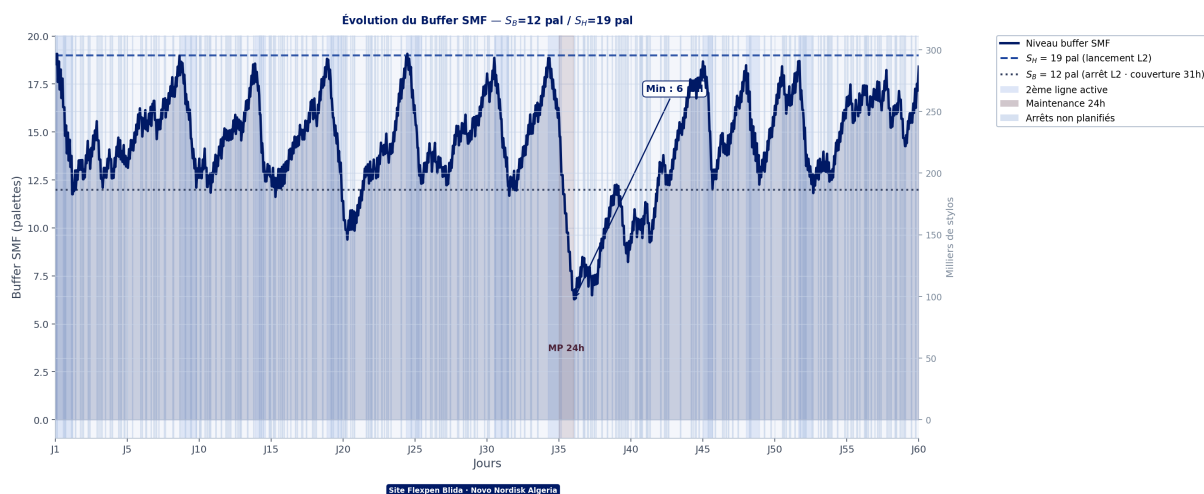


FIGURE 3.30 – Évolution du buffer SMF sur 60 jours — Politique optimale $S_B = 12/S_H = 19$ palettes. Réalisation personnelle.

Validation par simulation de Monte Carlo : Une validation indépendante sur **500 simulations** (seeds distincts de ceux utilisés en optimisation) confirme les performances. La métrique principale est $B_{\min,s} = \min_h B_s(h)$: si $B_{\min,s} > 0$, la continuité est garantie(Figure 3.31).

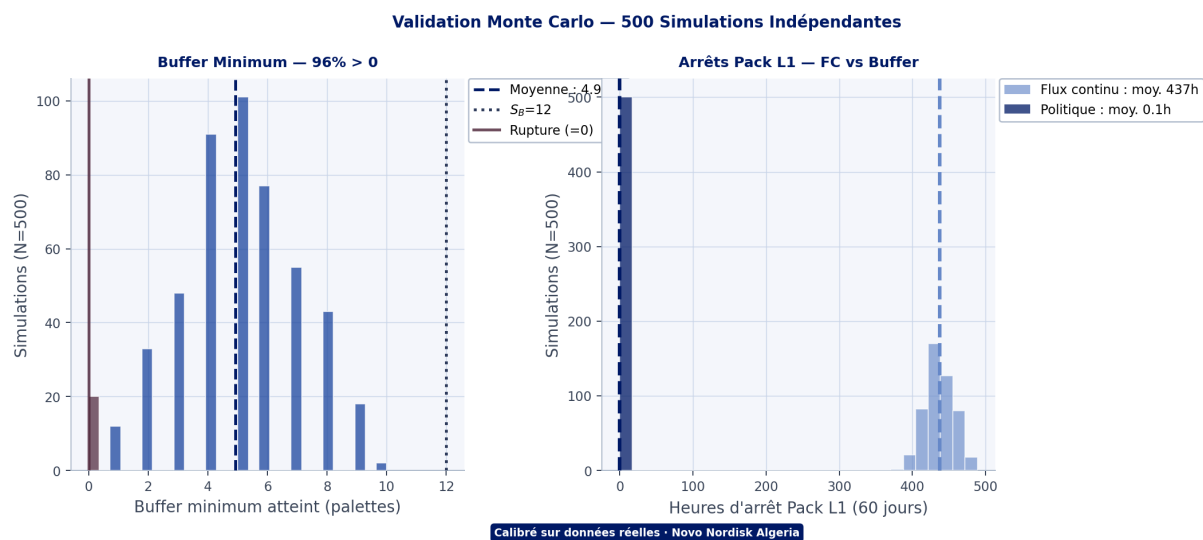


FIGURE 3.31 – Validation Monte Carlo — 500 simulations indépendantes — Buffer minimum (gauche) et arrêts Pack L1 comparés (droite).

TABLE 3.19 – Résultats de la validation Monte Carlo (500 simulations). Réalisation personnelle.

Indicateur	Valeur
Sécurité buffer (> 0 durant toute la simulation)	96,0 %
Continuité totale Pack L1 (0 h d'arrêt)	98,0 %
Buffer minimum moyen sur 60 jours	4,4 palettes
Buffer minimum P5 (pire scénario à 95 %)	2 palettes
Arrêts moyens Pack L1 — flux continu	437 h
Arrêts moyens Pack L1 — politique buffer	0,1 h
Réduction des heures perdues	99,98 %

2.3.5 Synthèse Comparative et Recommandations

TABLE 3.20 – Synthèse comparative — Flux continu vs politique buffer optimale. Réalisation personnelle.

Indicateur	Flux continu	Politique buffer
Disponibilité Pack L1	69,2 %	100,0 %
Heures d'arrêt L1 / 60 jours	443 h	0 h
Heures productives L1 / 60 jours	997 h	1 440 h
Arrêts Assembly couverts	311/326 (95,4 %)	326/326 (100 %)
Couverture maximale d'un arrêt	2,59 h	31,1 h
Risque de rupture Packaging (MC)	Non quantifié	< 4 %

Recommandations opérationnelles :

1. **Buffer initial.** Constituer un stock de **20 palettes SMF** en début de période.
2. **Pilotage.** Activer la 2^e ligne à $S_H^* = 19$ palettes ; la désactiver à $S_B^* = 12$ palettes en respectant l'alternance L1/L2.
3. **Indicateur temps réel.** Affichage du niveau WH Cold visible par les chefs de shift.
4. **Recalibration annuelle.** Actualiser les seuils à partir des nouvelles données d'arrêts Assembly.

Limites du modèle : Le modèle ne capture pas les changements de format entre produits, suppose l'OEE Packaging stable et ne prend pas en compte l'autocorrélation possible des pannes (hypothèse H9) ni les coûts de possession du buffer.

L'Axe 3 a démontré, par une approche de risk management quantitatif calibrée sur **326 arrêts réels** et validée par **69 400 simulations** d'optimisation et **500 simulations** de validation, qu'une politique buffer à deux seuils ($S_B^* = 12/S_H^* = 19$ palettes) garantit la continuité des lignes de Packaging dans **96 % des scénarios simulés**. La disponibilité de Pack L1 passe de **69,2 %** à **100,0 %**, pour une couverture temporelle de **31,1 h** supérieure au plus long arrêt observé historiquement (13h) et une réduction des heures perdues de **99,98 %**. Cette solution constitue une réponse directe, rigoureuse et statistiquement validée à la vulnérabilité structurelle du flux continu actuel.

Conclusion du Chapitre

Ce chapitre a présenté, déployé et validé trois axes de solutions complémentaires en réponse à la problématique de synchronisation des flux à l'interface Production–Warehouse du site Flexpen.

L'**Axe 1** a transformé l'organisation physique du Warehouse par une classification ABC, un adressage formalisé et un réaménagement du layout : le temps moyen par palette passe de **11,36 minutes** à **7,7 minutes**, soit **32,2 %** de gain global.

L'**Axe 2** a substitué le pilotage informel et réactif par un tableau de bord VBA intelligent et un Kanban numérique prédictif : les approvisionnements sont désormais anticipés, traçables et synchronisés avec les besoins réels des lignes.

L'**Axe 3** a éliminé la vulnérabilité structurelle du flux continu par une politique buffer $S_B^* = 12/S_H^* = 19$ garantissant **100 %** de disponibilité Pack L1 dans **96 %** des scénarios simulés, contre **69,2 %** en configuration actuelle.

Ensemble, ces trois axes adressent simultanément la dimension physique, la dimension informationnelle et la dimension opérationnelle de la continuité de production condition indispensable à la compétitivité et à la fiabilité du site Flexpen dans sa mission de production de médicaments antidiabétiques à destination du marché algérien et des marchés d'exportation.

TABLE 3.21 – Synthèse des solutions mises en place et des gains obtenus

Dysfonctionnement	Solution mise en place	Gain obtenu
Organisation physique peu structurée du Warehouse, temps de préparation élevé, déplacements inutiles	Classification ABC, adressage formalisé et réaménagement du layout	Temps moyen par palette réduit de 11,36 min à 7,7 min, soit 32,2 % de gain
Pilotage informel des approvisionnements, manque de visibilité et de traçabilité	Tableau de bord VBA intelligent et Kanban numérique prédictif	Approvisionnements anticipés, traçables et synchronisés avec les besoins réels des lignes
Vulnérabilité du flux continu et dépendance aux aléas de l'Assembly	Politique buffer avec seuils $S_B^* = 12$ et $S_H^* = 19$	100 % de disponibilité Pack L1 dans 96 % des scénarios simulés, contre 69,2 % actuellement

Conclusion générale

Le marché pharmaceutique en Algérie connaît une évolution importante, portée par une politique nationale de développement de la production locale et par une demande croissante en traitements essentiels. Dans ce contexte, un acteur majeur comme Novo Nordisk Algérie doit renforcer en permanence sa performance opérationnelle afin de garantir la fiabilité de son approvisionnement, la continuité de sa production et sa compétitivité sur le marché. C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet, dont l'objectif est d'optimiser les flux logistiques entre le Warehouse et les lignes de production, tout en améliorant la visibilité des stocks, le pilotage des flux et la continuité d'activité du site Flexpen à Blida.

Pour mieux cerner cette problématique, nous avons réalisé un diagnostic approfondi de l'interface Production–Warehouse, en nous appuyant sur des observations terrain, des entretiens avec les acteurs concernés et une évaluation structurée de la maturité logistique. Cette analyse a permis de mettre en évidence plusieurs limites majeures, notamment l'absence de zoning standardisé, la faible visibilité sur les stocks bord de ligne, le déclenchement informel des ordres de transfert, les saisies SAP différées et la dépendance fonctionnelle entre les différentes entités du site. Ces constats nous ont conduit à formuler la problématique centrale suivante : comment améliorer la performance globale de l'interface entre le Warehouse et les lignes de production du site Flexpen en optimisant simultanément l'organisation physique des flux, leur pilotage informationnel et la continuité des flux de production, afin de garantir un approvisionnement interne fiable, synchronisé et capable de soutenir les objectifs de performance industrielle du site ?

Pour répondre à cette problématique, une démarche méthodologique structurée a été mise en œuvre, combinant observations terrain, entretiens avec les différents acteurs, cartographie des flux, chronométrages, analyses quantitatives et qualitatives, ainsi que l'utilisation d'outils issus du Lean Management, de la Supply Chain et de la simulation. Cette approche a permis de réaliser un diagnostic approfondi de l'interface entre le Warehouse et les lignes de production et d'identifier les principaux facteurs limitant la performance globale du système logistique interne.

L'analyse a notamment mis en évidence plusieurs dysfonctionnements majeurs : une organisation physique du Warehouse générant des déplacements inutiles et des temps de préparation élevés, un pilotage des approvisionnements reposant largement sur des échanges informels et des déclenchements réactifs, ainsi qu'une forte dépendance du Packaging vis-à-vis des aléas de la ligne d'Assembly NOR12. Ces constats ont conduit à structurer le projet autour de trois axes d'amélioration complémentaires.

Le premier axe a porté sur l'optimisation physique et organisationnelle du Warehouse. La mise en œuvre d'une classification ABC des composants, associée à un réaménagement du layout, à un adressage structuré et à une réorganisation des zones de stockage, a permis de rationaliser les opérations de picking, de réduire les déplacements inutiles et d'améliorer l'efficacité des opérations logistiques.

Le deuxième axe s'est concentré sur le pilotage informationnel des flux. À cette fin, un système Kanban numérique couplé à un outil développé sous Excel VBA a été conçu afin de formaliser les ordres de transfert, d'améliorer la visibilité des stocks, d'anticiper les besoins des lignes de production et de réduire la dépendance aux communications informelles. En complément, une application de gestion du Warehouse a été développée afin de faciliter la localisation des composants, d'appliquer automatiquement la logique FEFO, d'assurer le suivi des péremptions et de renforcer la fiabilité des opérations quotidiennes.

Le troisième axe a concerné la continuité des flux de production. Une approche de gestion quantitative des risques a été proposée à travers le dimensionnement d'un stock tampon de palettes SMF alimentant le Packaging. Ce dimensionnement, fondé sur une simulation stochastique calibrée à partir des données réelles d'arrêts de la ligne NOR12, permet de réduire significativement la propagation des perturbations de l'Assembly vers le Packaging et d'améliorer la continuité des opérations de production.

Les résultats obtenus permettent ainsi de valider les trois hypothèses formulées au début de cette étude. L'optimisation de l'organisation physique améliore la performance des opérations logistiques, la digitalisation du pilotage renforce la synchronisation des flux entre le Warehouse et les lignes de production, tandis que le dimensionnement d'un buffer piloté par simulation contribue à sécuriser la continuité des opérations face aux aléas de production. Ensemble, ces trois leviers répondent de manière cohérente à la problématique et contribuent à améliorer durablement la performance de l'interface Warehouse-Production. Au-delà des améliorations opérationnelles proposées, ce travail apporte une contribution méthodologique en combinant plusieurs approches généralement étudiées séparément. Il montre l'intérêt d'intégrer les principes du Lean Management, les outils de digitalisation, les méthodes quantitatives d'analyse des données et la simulation stochastique au sein d'une même démarche d'amélioration des performances logistiques internes. Cette approche intégrée constitue l'une des principales contributions de ce projet.

Le projet présente également une forte valeur applicative. Les solutions proposées ont été développées à partir de données industrielles réelles, en tenant compte des contraintes spécifiques d'un environnement pharmaceutique soumis à des exigences élevées en matière de qualité, de traçabilité et de continuité de production. Les outils développés peuvent être directement déployés ou adaptés à d'autres lignes de production ou à d'autres sites industriels confrontés à des problématiques similaires.

Comme toute étude, ce travail présente néanmoins certaines limites. Les résultats obtenus reposent sur les données collectées durant la période d'étude ainsi que sur les hypothèses retenues pour la modélisation des aléas de production. Une période d'observation plus

longue permettrait de consolider les paramètres utilisés et d'évaluer les performances des solutions après leur déploiement complet. Par ailleurs, certaines améliorations proposées nécessitent des investissements organisationnels et technologiques qui devront être accompagnés d'une conduite du changement adaptée afin d'assurer leur appropriation par les équipes.

Enfin, plusieurs perspectives de développement peuvent être envisagées. L'intégration du système Kanban numérique au système SAP de l'entreprise, le développement d'une plateforme web de pilotage en temps réel, l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle pour la prévision dynamique des consommations, ainsi que la mise en œuvre d'un jumeau numérique du système logistique interne constitueraient des prolongements naturels de ce travail. De même, l'extension de cette démarche à l'ensemble des flux logistiques du site permettrait de construire un système de pilotage intégré, capable de soutenir durablement les ambitions de performance industrielle de Novo Nordisk Algérie.

Ce travail montre que la performance durable d'un système logistique interne ne résulte pas de l'optimisation isolée de ses composantes, mais de la maîtrise simultanée de l'organisation physique des flux, de leur pilotage informationnel et de la continuité des opérations. Dans un contexte pharmaceutique marqué par des exigences croissantes de qualité, de traçabilité et de disponibilité, cette approche intégrée constitue un levier stratégique pour renforcer durablement la compétitivité industrielle.

Annexes

Annexe A – Guide d’entretien

Thème	Objectif	Questions principales	Relances possibles
Présentation du répondant	Situer la personne dans le processus.	Pouvez-vous vous présenter et décrire votre poste ? Depuis combien de temps occupez-vous cette fonction ? Quelles sont vos principales responsabilités ?	Quel est votre périmètre exact ? Avec quels services travaillez-vous le plus ?
Description des activités	Comprendre le déroulement réel du travail.	Pouvez-vous décrire, étape par étape, vos opérations quotidiennes ? Quelles sont les tâches que vous réalisez le plus souvent ? Quelles tâches prennent le plus de temps ?	Pouvez-vous donner un exemple concret ? À quel moment cela se produit-il ?
Outils et supports utilisés	Comprendre les moyens de travail.	Quels outils ou supports utilisez-vous dans votre activité ? Comment les utilisez-vous au quotidien ? Sont-ils adaptés à vos besoins ?	Quels outils vous font gagner du temps ? Lesquels posent problème ?

TABLE 4.1 – Guide d’entretien semi-directif – partie 1

Thème	Objectif	Questions principales	Relances possibles
Rôle des parties prenantes	Identifier les acteurs et leurs interactions.	Qui intervient dans ce processus ? Quel est le rôle de chaque intervenant ? Comment se fait la coordination entre les acteurs ?	Qui valide quoi ? Comment circule l'information ? Où se trouvent les points de contact ?
Dysfonctionnements observés	Identifier les problèmes opérationnels.	Quelles difficultés rencontrez-vous le plus souvent ? Y a-t-il des retards, erreurs ou blocages récurrents ?	Pourquoi cela se produit-il ? À quelle fréquence ? Quelles conséquences cela entraîne-t-il ?
Causes des problèmes	Comprendre l'origine des dysfonctionnements	Selon vous, quelles sont les causes principales de ces difficultés ? S'agit-il d'un problème d'organisation, de communication, d'outil ou de méthode ?	Depuis quand existe ce problème ? Qui est concerné ? Qu'est-ce qui le déclenche ?
Impacts sur l'activité	Mesurer les effets des dysfonctionnements	Quel impact ces problèmes ont-ils sur votre travail ? Ont-ils des conséquences sur la qualité, les délais ou la charge de travail ?	Quelles tâches sont les plus touchées ? Quel est l'effet sur les autres services ?
Pistes d'amélioration	Faire émerger des solutions.	Selon vous, que faudrait-il améliorer en priorité ? Quelles solutions pourraient réduire les pertes de temps ou les erreurs ? Si vous pouviez changer une chose, laquelle serait-ce ?	Quelles actions seraient faciles à mettre en place ? Quelles améliorations auraient le plus d'impact ?
Validation finale	Vérifier et compléter les informations.	Ai-je bien compris votre situation ? Y a-t-il un point important que nous n'avons pas abordé ? Souhaitez-vous ajouter quelque chose ?	Pouvez-vous reformuler votre besoin principal ? Y a-t-il un élément à préciser ?

TABLE 4.2 – Guide d'entretien semi-directif – partie 2

Annexe B – Fichier d’audit utilisé

		Quality			
		Respect FEFO (%)	Taux de non conformité	Tracability MANDATORY	Taux de respect du plan de rangement MANDATORY
2	Senior	Procédure écrite, calcul mensuel du taux FEFO ; libération prioritaire des lots à date courte.	Calcul mensuel du taux NC ; fiche de décision claire (séparation, inscription, dérogation) avec validation QA.	Enregistrement immédiat dans SAP à chaque transfert ; SSCC unité ; Batch Records associés.	Fiches de contrôle claires (produits au sol, machines Clean) ; zoning documenté et connu de tous.
3	Advanced	Taux > 98% ; alertes SAP actives sur lots à échéance proche ; intégration aux ordres de transfert.	Points de contrôle définis par étape (jobalibis, date, bagges, etc.) ; conformité aux standards BGS BFs.	Enregistrement temps réel via terminaux mobiles au point de transfert ; scan code barre palette.	Audit hebdomadaire des emplacements ; KPI interne suivi mensuel ; plans d'action PDCA si objectif non atteint.
4	Expert	Contrôle automatique via WMS (Message de sortie si principe FEFO non respecté).	Workflow NC intégré WMS ; traçabilité numérique de la décision jusqu'à destruction.	rapacité SSCC (palette) et unitaire (boîte FlexPod) ; lecture automatique à chaque point de passage.	Zoning dynamique généré par WMS ; généralisation des palettes.
KPI (au fil du KPI results)		Taux FEFO-Nombre total de mouvements de sortie/Nombre de mouvements de sortie respectant le FEFO-100	Taux NC (%) = (Unités/palettes non conformes / Total unités/palettes contrôlées) x 100	Taux Traçabilité Produits (%) = (Palettes SSCC scannées dans SAP WMS / Total palettes transférées) x 100	Taux de Zoning (%) = (Emplacements conformes au plan de zoning / Total emplacements occupés) x 100
EVALUATION		Junior	Advanced	Senior	Beginner

FIGURE 4.1 – Fichier d’audit – observations terrain 1

		Quality		
		Tracability	Taux de zoning	Ecart inventaire (/MOIS)
Description	mes	Dans le contexte WH ↔ Production, ce critère couvre trois dimensions : (1) la traçabilité produite via le code SSCC (Serial Shipping Container Code) de chaque palette, (2) la traçabilité des actions via l'audit trail SAP (opérateur, heure, type de mouvement), et (3) la traçabilité des procédures via les Batch Records associés à chaque transfert.	Le pourcentage d'articles en stock correctement placés dans les zones désignées à l'intérieur de l'entrepôt, garantissant un stockage organisé et efficace.	L'écart d'inventaire mensuel, représentant la différence entre le comptage réel de l'inventaire et la valeur de l'inventaire enregistré.
Processus actuel	on des don le escence plans ante rme	Le magasinier assure une double traçabilité des produits en combinant les outils numériques du système SAP et des supports physiques (logbooks), garantissant ainsi un suivi rigoureux et auditable de chaque transaction.	En l'absence d'un système de zoning standardisé dans l'entrepôt, le magasinier s'appuie exclusivement sur le système SAP comme outil de référence pour identifier et localiser les emplacements des produits avant toute opération de manutention vers la production.	Pas de KPI tracker et il font l'inventaire avec une fréquence aléatoire
Méthode de calcul			Nombre d'éléments dans les bonnes zones / nombre total d'éléments	Inventaire système - inventaire réel
Dysfonctionnement	suivi	/	En l'absence de zoning standardisé, le magasinier effectue des parcours non optimisés dans l'entrepôt, ce qui allonge les temps de picking et compromet le respect du délai. Cette dépendance totale au SAP pour la localisation expose également le processus à des risques élevés en cas de panne du système, d'erreurs d'emplacement ou de congestion des flux, et complique l'intégration de tout nouvel opérateur.	L'absence de KPIs définis et d'une fréquence d'inventaire régulière prive le service magasin de tout indicateur objectif pour piloter sa performance. Les écarts de stock ne sont pas détectés en temps opportun, fragilisant la fiabilité des données SAP et exposant l'entrepôt à des risques de rupture ou de surstock non anticipés. Toute démarche d'amélioration continue basée sur des données réelles est ainsi rendue impossible.

FIGURE 4.2 – Fichier d’audit – observations terrain 2

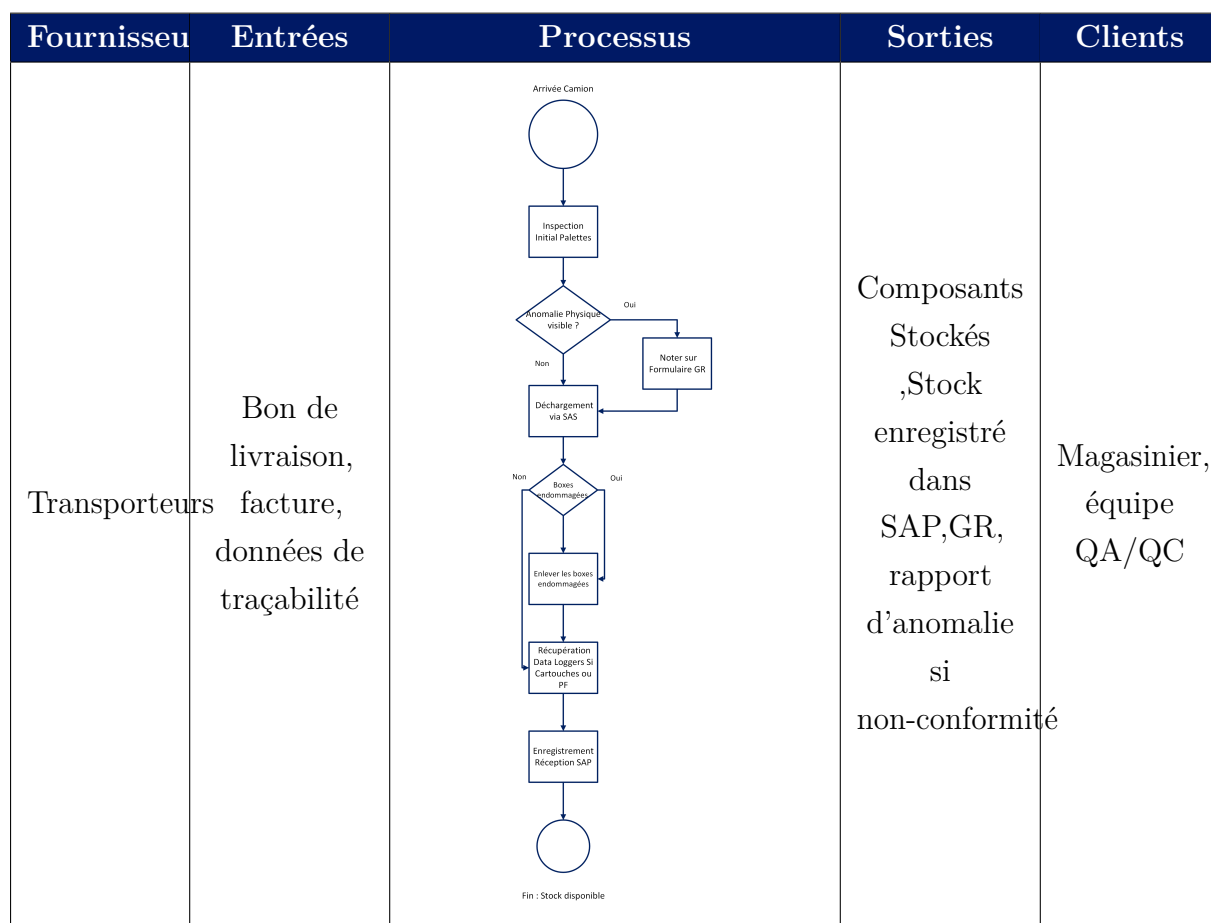
		Resultats Diagnostic			Conclusion Audit Logistique
Processus	Indicateurs de performance	Dysfonctionnements observés	Recommandations des actions	Description de la problématique	
Warehouse Efficiency	Taux de zoning	- Stockage sans logique de rotation (pas de classification ABC). - Dépendance totale au système SAP pour localiser les produits, sans repères visuels clairs. - Mouvements inutiles et parcours allongés pour les magasiniers lors du picking. - Risques d'erreurs d'affectation des matières lors des prélèvements.	- Reconfiguration du plan de stockage selon la méthode de classification ABC (fréquence de rotation). - Implémentation des scores bien calculés pour chaque emplacement	Évoluant sur un marché pharmaceutique en constante croissance et face à une forte demande nationale en traitements antidépresseurs, Novo Nordisk Algérie place la performance de son site Floupa au cœur de ses enjeux stratégiques. Guidés par une volonté d'excellence opérationnelle (Lean Strategy), l'entreprise doit garantir une disponibilité irréprochable des matières sur les lignes d'assemblage et de conditionnement, tout en respectant les normes strictes de l'industrie (BPF).	L'audit logistique mené au sein du site Floupa de Novo Nordisk Algérie met en évidence des dysfonctionnements majeurs en matière d'organisation physique de l'entrepôt et de pilotage des flux internes. Ces insuffisances entravent la performance opérationnelle du site et ne répondent pas aux exigences de réactivité et de conformité attendues dans un environnement pharmaceutique réglementé (BPF).
	Tracabilité	- En cas de sous-efficacité, la saisie est différée, créant un décalage entre stock physique et système.	Lean Warehousing - Déployer le 5S sur site - L'utilisation de l'outil Kanban pour suivre les mouvements de stocks	La problématique centrale qui oriente notre réflexion dans ce mémoire est la suivante : » Comment optimiser les flux logistiques entre l'entrepôt global et les lignes de production du site Floupa, afin de réduire les coûts, d'éliminer les désynchronisations et d'améliorer la réactivité opérationnelle ? » Pour répondre à cette question, nous avons structuré notre démarche autour de deux axes de résolution (sous-questions) : L'axe physique et organisationnel : Comment réorganiser physiquement l'entrepôt (zoning, adressage) pour optimiser les parcours de prélèvement et réduire les temps de préparation ? L'axe informationnel et pilotage : Comment fiabiliser le déclenchement des approvisionnements internes pour substituer la logique de flux poussé par un flux tiré par la demande réelle ?	En effet, l'absence de classification et de zonage structuré des matières, combinée à un mode de déclenchement des approvisionnements entièrement interne (flux poussé), donne lieu verbaux en part email, génère des gaspillages récurrents : temps de préparation dépassant l'objectif fixé, désynchronisation entre les besoins réels des lignes de production et les livraisons du Warehouse, et accumulation non maîtrisée d'écarts dans le Warehouse Cold. Ces dysfonctionnements se répercutent directement sur la disponibilité des lignes d'assemblage et de conditionnement, fragilisant ainsi la continuité de la production. Le Warehouse joue pourtant un rôle central de régulateur au sein du flux de production du site Floupa : il conditionne la disponibilité des composants plastiques, des articles de conditionnement (PPM) et des stylos assemblés à chaque étape de processus. Par conséquent, il est impératif de mettre en œuvre une démarche d'amélioration cohérente et structurée, s'appuyant sur les principes du Lean Logistics, afin d'optimiser l'organisation de l'entrepôt et de fiabiliser durablement l'approvisionnement interne des lignes de production.
	FEFO	- Le respect de FEFO repose uniquement sur l'initiative et la vigilance du magasinier. - Risque critique (lots que non conformes BPF et de préemption des composants).	- Automatisation des alertes de préemption dans SAP pour forcer le prélèvement FEFO.		
	Temps de préparation et Productivité	- L'objectif fixé à 10 min pour préparer un kit de production est régulièrement dépassé. - Absence de standardisation claire des tâches de préparation (picking). - Manque d'indicateurs visuels (Management Visuel) pour suivre les écarts de performance en temps réel.	Lean Warehousing - Standardisation des routines de préparation des commandes internes. - Mise en place d'un Management Visuel (suivi des temps de préparation, des anomalies et du taux de service par shift).		

FIGURE 4.3 – Fichier d’audit – observations terrain 3

Annexes du chapitre 3

Annexe C – SIPOC des flux logistiques

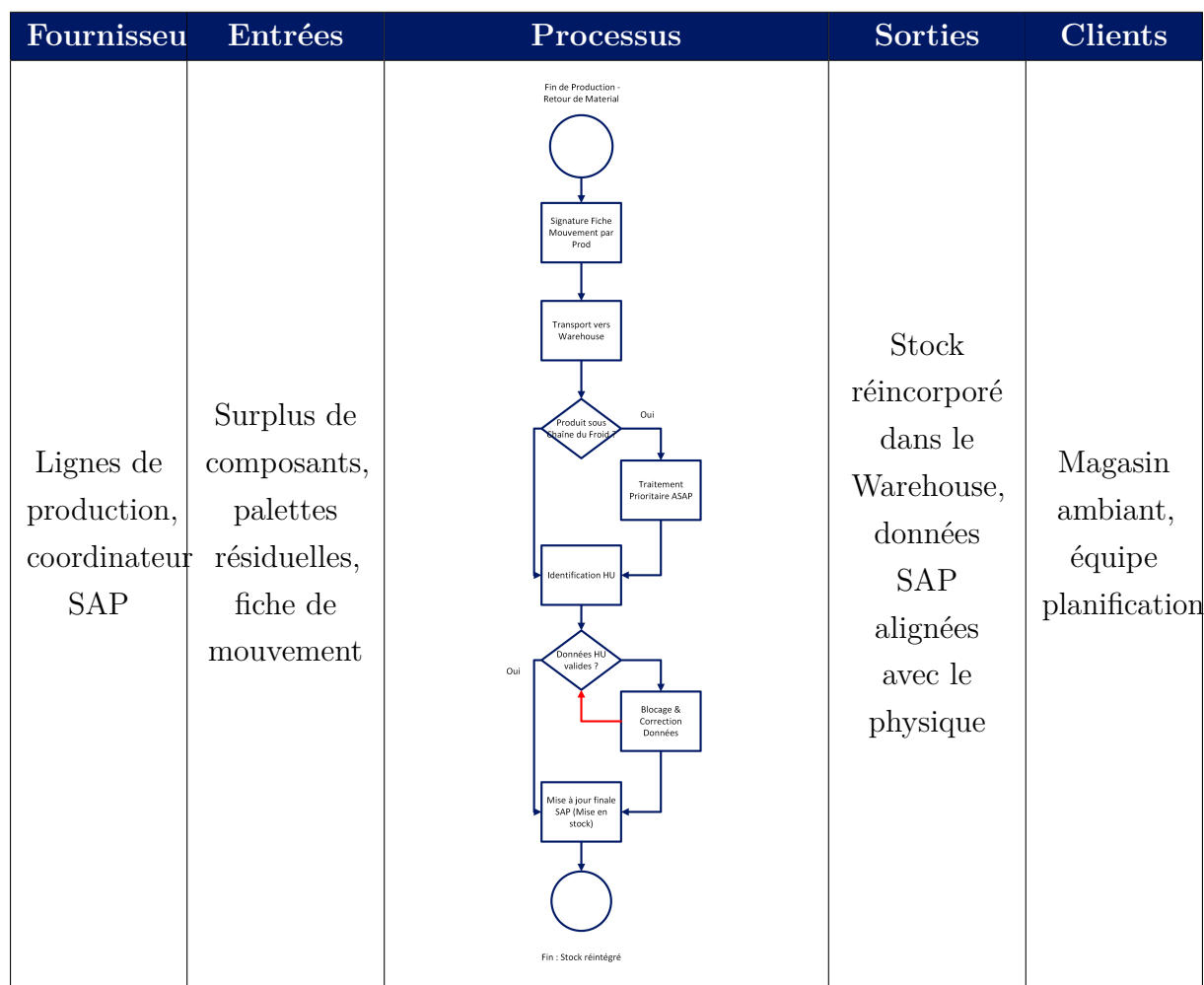
1. Réception des marchandises



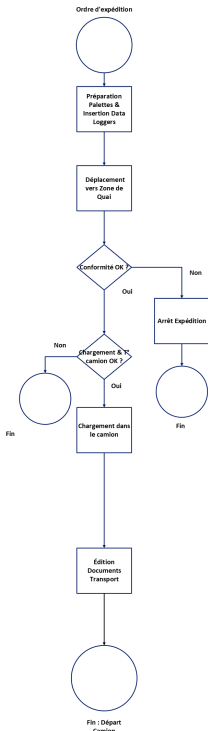
2. Transfert Warehouse vers Production

Fournisseur	Entrées	Processus	Sorties	Clients
Magasinier	Demande de transfert (request), stock disponible dans SAP, emplacement physique	<pre> graph TD Start((Demande de Prod reçue)) --> Step1[Vérification disponibilité SAP] Step1 --> Step2[Picking (Prélèvement) physique en stock] Step2 --> Decision1{Anomalie détectée ?} Decision1 -- Oui --> Step3[Informier QA] Decision1 -- Non --> Step4[Transfert informatique dans SAP] Step3 --> Decision2{Boîtes endommagées} Decision2 -- Oui --> Step5[Enlever les boîtes endommagées] Decision2 -- Non --> Step4 Step5 --> Step6[Modifier / corriger dans SAP] Step6 --> Step4 Step4 --> Step7[Livraison physique à la ligne de Prod] Step7 --> End((Fin : Consommation Prod)) </pre>	Composants livrés en ligne, inventaire SAP mis à jour, palettes tracées	Lignes de production (Assembly & Packaging)

3. Retour Production vers Warehouse



4. Expédition

Fournisseur	Entrées	Processus	Sorties	Clients
Warehouse, QC, Qualified Person (QP)	Ordre d'expédition SAP, produits finis, data loggers de température	 <pre> graph TD Start((Ordre d'expédition)) --> Prep[Préparation Palettes & Insertion Data Loggers] Prep --> Move[Déplacement vers Zone de Quai] Move --> Conform{Conformité OK?} Conform -- Non --> Stop[Arrêt Expédition] Conform -- Oui --> Load{Chargement & Y a-t-il un camion OK?} Load -- Non --> End1((Fin)) Load -- Oui --> LoadTruck[Chargement dans le camion] LoadTruck --> Edit[Edition Documents Transport] Edit --> End2((Fin / Départ Camion)) Stop --> End3((Fin)) </pre>	Produits expédiés avec traçabilité complète, documents signés et archivés	Transporteurs agréés, filiale Sahel

Annexe D – VSM

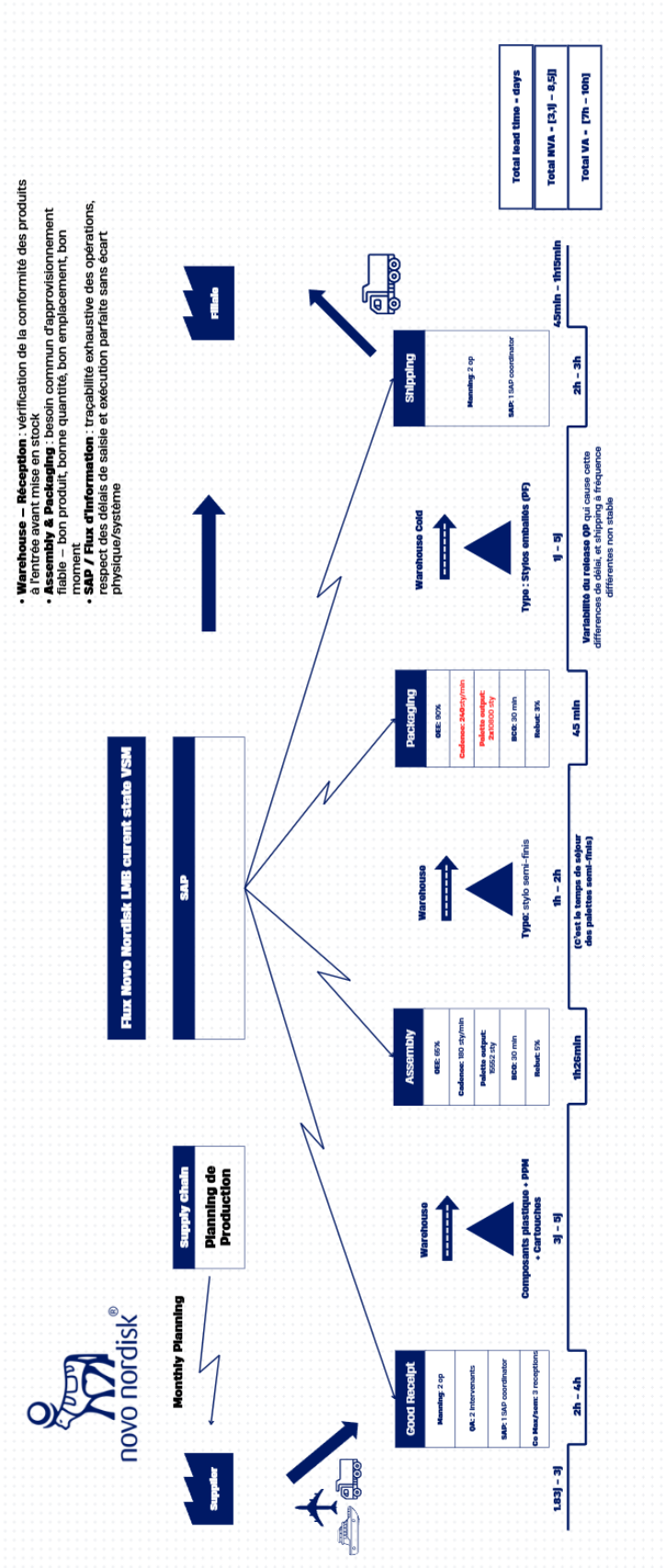


FIGURE 4.4 – VSM

Annexe E – Voix du client

Fonction / Processus	Vocation / Besoin associé
Warehouse	Réception, contrôle, stockage et mise à disposition des composants, avec une gestion fiable des flux physiques et des stocks.
Assembly & Packaging	Besoin commun d'approvisionnement fiable : bon produit, bonne quantité, bon emplacement et bon moment.
SAP / Flux d'information	Traçabilité exhaustive des opérations, respect des délais de saisie et cohérence entre le système et la réalité physique.

TABLE 4.3 – Voix du client

Annexe F – Charte de projet

Titre de Projet	Optimisation et Synchronisation des Flux Logistiques à l'Interface Production – Warehouse
Problématique	L'interface logistique entre le Warehouse et les lignes de production du site FlexPen de Novo Nordisk Algérie souffre de dysfonctionnements structurels qui pénalisent la performance globale du site. Un audit de maturité conduit sur 13 critères a révélé un score de 2,3/4, reflétant un pilotage essentiellement réactif et une standardisation insuffisante. Sur le plan physique, l'affectation des composants dans le magasin n'est pas alignée sur leur fréquence de rotation : la localisation des références dépend entièrement de SAP, les parcours de picking ne sont pas optimisés et les temps de préparation sont élevés et variables, engendrant un déséquilibre de charge entre les shifts. Sur le plan informationnel, l'absence de visibilité sur les stocks bord de ligne et le déclenchement informel des ordres de transfert par email ou verbalement, sans anticipation réelle, génèrent des commandes urgentes récurrentes et empêchent toute synchronisation proactive des flux avec les besoins réels des lignes de production. Sur le plan de la continuité de production, la dépendance fonctionnelle totale entre la ligne d'assemblage NOR12 et les deux lignes de conditionnement fait que tout arrêt en Assembly se propage mécaniquement au Packaging, fragilisant la chaîne du froid et compromettant la continuité de production.
Objectifs	L'objectif principal de ce projet est d'améliorer la performance et la synchronisation des flux logistiques entre le Warehouse et les lignes de production du site FlexPen de Novo Nordisk Algérie, à travers trois axes complémentaires. Le premier vise à réorganiser physiquement le magasin par une classification ABC et un adressage formalisé des emplacements, afin d'optimiser les parcours de picking et de lisser la charge de travail entre les shifts. Le deuxième consiste à remplacer le déclenchement informel des transferts par un système Kanban numérique sous Excel VBA, offrant une visibilité en temps réel sur les stocks et permettant d'anticiper les besoins des lignes avant toute rupture. Le troisième vise à découpler la ligne d'assemblage NOR12 des lignes de conditionnement via un stock tampon dimensionné par simulation Monte Carlo, afin de garantir la continuité du Packaging face aux aléas de l'Assembly.
Clients	1-Équipe Warehouse (WH) 2-Coordinateurs SAP 3-Équipe Production

FIGURE 4.5 – Charte de projet – partie 1

Besoins des clients	Exigences	Caractéristiques mesurables	Outils de mesures
1- Réduction et stabilisation du temps de picking. 2- Sécurisation absolue de la chaîne du froid (produits finis/semi-finis). 3- Identification visuelle immédiate des composants manquants. 4- Suppression des arrêts induits par les commandes urgentes. 5- Optimisation ergonomique des parcours des coordinateurs SAP. 6- Une stabilité de production	1- Réévaluation complète de la classification de stockage selon la rotation/fréquence. 2- Implémentation de règles du buffers entre les deux lignes. 3- Déploiement d'outils de management visuel en bord de ligne. 4- Respect rigoureux des Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF).	1- Temps moyen de préparation de commande. 2- Nombre de commandes urgentes (Cible = 0). 3- Taux d'occupation et de saturation du Cold Warehouse. 4- Écart de charge d'activité entre les différents shifts.	1- Chronométrages de terrain (Gemba) et diagrammes spaghetti. 2- Tableaux de bord de suivi du stock physique et du taux de saturation. 3- Audits réguliers de respect du standard de picking et des buffers. 4- Données historiques
Périmètre	Le périmètre de ce projet englobe l'ensemble des flux physiques et d'information à l'interface magasin-production (Warehouse ambiant et cold, préparation des commandes, retours de composants, et routines logistiques des coordinateurs SAP). Exclusion explicite : Sont strictement exclues du périmètre toutes les interventions techniques, le paramétrage des équipements et la maintenance de la ligne d'assemblage et de conditionnement.		
Contraintes	1- Respect impératif de la criticité de la chaîne du froid . 2- Maintien de la cadence nominale de production sans perturbation des lignes. 3- Disponibilité transversale des acteurs clés (WH, SAP, Prod) pour les ateliers de travail. 4- Adhérence stricte au calendrier projet validé par le chef de projet MENDOUS Nassim.		
Planification du projet			
Etape	Date de début	Date de fin	
Étude de contexte	15 Février	1 Mars	
Gemba Walks et collection des données	1 Mars	15 Mars	
Cartographie des flux (VSM , SIPOC	15 Mars	31 Mars	
Réorganisation du layout	31 Mars	20 Avril	
Conception du Kanban et l'outil de Vis	20 Avril	15 Mai	
Formation et simulations	15 Mai	30 Mai	
Standardisation	30 Mai	15 juin	

FIGURE 4.6 – Charte de projet – partie 2

Annexe G – Design team

Nom & Prénom	Initial	Rôle
Menous Nassim	NQXM	Chef de projet
Adnane Hireche	VCVD	Suivi du projet
Yacine Chenaoui	WYCI	Suivi du projet
Manager Warehouse	ZCEH	Validation des changements et suivi de l'avancement du projet
Directeur de production	MEI	Validation des changements et arbitrage des phases du projet
QA		Approbation des changements si nécessaire, support qualité
Opérateurs		Source d'inputs, exécution des changements et suggestions d'amélioration

TABLE 4.4 – Design team

Annexe H – Matrice R&R

Fonction	Rôle et Responsabilité (R&R)
Management	Validation du projet, arbitrage des priorités et suivi des jalons de validation à chaque phase.
Team projet	Pilotage opérationnel du projet, coordination des activités, mise en œuvre des actions d'amélioration et suivi des livrables.
Opérateurs	Remontée des besoins terrain, participation aux tests, application des changements et partage des retours d'expérience.
Directeur de production	Validation des changements impactant l'activité, appui à la mise en œuvre et suivi de l'avancement global.
QA et Process Support	Appui méthodologique, validation si nécessaire des changements liés à la qualité et aux processus.

TABLE 4.5 – Matrice R&R

Annexe I – Analyse de déroulement

Analyse de déroulement													
Fiche : 1 / 1		Entreprise : Novo Nordisk											
Processus : Préparation des commandes		Début : 14h : 35									Fin : 14h : 10		
N°	Étapes	Opérations	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Distances	Quantité	Temps	Sub-dépendance	Remarques	A Éliminer	Actions
1	Vérification des stocks dans la ligne							Request Complet	15 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile		
2	Déplacement vers le post des SAP							1	42 Seconds	1			
3	Request Sur Papier							1	1,3 Min	1			
4	Déplacement Vers le WH pour livrer le Request sur papier							1	1,6 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile ou mail imprimé pour la traçabilité		
5	Login sur PC							1	0,35 Seconds	1			
6	Vérifications des emplacement sur SAP							Request Complet	15 Min	1	Des Standards A respecter pour les emplacements		
7	Faire descendre les Palettes demandé							1	14, 6] 30 Min Total Pour les 7 palettes	1	Des déplacements inutile par rapport au mal emplacements des Palettes		
8	Nettoyage Des Palettes							1	12 Min	1 op = H Perfect			
9	Changement des palettes (Bois au Plastique)							1	20 Min	2 op = H Perfect	Il faut vérifier si on peut éliminer cette étapes avec les QA et l'équipe Production		
10	Saisie Sur système							/	/	/			
11	Livraison vers la ligne de production							/	/	/			

FIGURE 4.7 – Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (1)

Analyse de déroulement													
Fiche : 1 / 1		Entreprise : Novo Nordisk											
Processus : Préparation des commandes		Début : 15h : 07									Fin : 14h		
N°	Étapes	Opérations	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Distances	Quantité	Temps	Sub-dépendance	Remarques	A Éliminer	Actions
	Vérification des stocks dans la ligne							Request Complet	10 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile		
	Déplacement vers le post des SAP							1	1 Min	1			
	Request Sur Papier							1	1,3 Min	1			
	Déplacement Vers le WH pour livrer le Request sur papier							1	2 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile ou mail imprimé pour la traçabilité		
	Login sur PC							1	0,25 Seconds	1			
	Vérifications des emplacement sur SAP							Request Complet	20,5 Min	1	Des Standards A respecter pour les emplacements		
	Faire descendre les Palettes demandé							1	Temps Total pour les 5 palettes = 16,83	2	Des déplacements inutile par rapport au mal emplacements des Palettes		
	Nettoyage Des Palettes							1	2,7 Min	2			
	Changement des palettes (Bois au Plastique)							1	10 Min	2 op = H Perfect	Il faut vérifier si on peut éliminer cette étapes avec les QA et l'équipe Production		
	Saisie Sur système								Pas Faites	1			
	Livraison vers la ligne de production								Pas Faites	2			

FIGURE 4.8 – Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (2)

Folio : 1 / 1			Analyse de déroulement												
Entreprise : Novo Nordisk										Fin : 8h55h		8 Palettes Par l'équipe de AHWO, VAMB, LABS, MZBK			
Processus : Préparation des commandes										Début : 8h					
N°	Etapes	Opérations	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Déchargement	Quantité	Temps	Nb d'opérations	Remarques	A. Eliminer	A. Combiner	A. Rendre	A. Améliorer
	Vérification des stocks dans la ligne							Requête Complet	20 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile				
	Déplacement vers le post des SAP							1	1 Min	1					
	Requet Sur Papier							1	1,3 Min	1					
	Dépacement Vers le WH pour livrer le Requet sur papier							1	1,9 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile ou mail imprimé pour la traçabilité				
	Login sur PC							1	0,33 Secondes	1	Parfois le Pc est occupé				
	Vérifications des emplacement sur SAP							Requet Complet	/	1	Il ont fait cette opération en parallèle avec la préparation physique				
	Faire descendre les Palettes demandé							1	[1, 5, 30] Temps Total pour les 8 palettes = 20 Min	2	Des déplacement inutiles par rapport au mal emplacements des Palettes				
	Nettoyage Des Palettes							1	1,8 Min	2					
	Changement des palettes (Bois au Plastique)							1	1,9 Min	op = H Perf	Il faut vérifier si on peut éliminer cette étapes avec les QA et l'équipe Production				
	Salut Sur système								/	1	Il ont fait cette opération en parallèle Avec la préparation physique				
	Livraison vers la ligne de production							1	1,6 Min Temps Total de 1:07 Min pour les 8 palettes	2					

FIGURE 4.9 – Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (3)

Folio : 1 / 1			Analyse de déroulement																					
Entreprise : Novo Nordisk																								
Processus : Préparation des commandes													Début : 14h50h		Fin : 14h52h					8 Palettes Par l'équipe de AQQU, KIKKI, SWLF				
N°	Etapes	Opération	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Déchargement	Quantité	Temps	Nb d'opérations	Remarques	A. Eliminer	A. Combiner	A. Prévenir	A. Améliorer									
	Vérification des stocks dans la ligne							Requête Complet	10 Min	1 (Hors WH)	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile													
	Déplacement vers le post des SAP							1	1 Min	1 (Hors WH)														
	Requet Sur Papier							1	1 Min	1 (Hors WH)														
	Déplacement Vers le WH pour livrer le Requet sur papier							1	1,9 Min	1	Supprimer Par un Systeme Kanban Visuel Facile ou mail imprimé pour la traçabilité													
	Login sur PC							1	0,5 Seconds	1														
	Vérifications des emplacement sur SAP							Requête Complet	/	1	Il ont fait cette opération en parallèle avec la préparation physique													
	Faire descendre les Palettes demandé							1	[1, 4] Temps Total pour les 3 palettes = 10 Min	2														
	Nettoyage Des Palettes							1	2 Min	2														
	Changement des palettes (Bois au Plastique)							1	2 Min	2 op = H Perfect	Il faut vérifier si on peut éliminer cette étapes avec les QA et l'équipe Production													
	Salut Sur système								7 Min pour les 3 palettes	1														
	Livraison vers la ligne de production							1	4 Min. pour les 3 palettes	2														

FIGURE 4.10 – Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (4)

Folio : 1 / 1										Analyse de déroulement							
Entreprise : Novo Nordisk										Fin : 15h26		3 Palettes Par l'équipe de LABS, AHWOXAMB,MZBK					
Processus : Préparation des commandes										Début : 15h							
N°	Etapes	Opération	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Déchargement	Quantité	Temps	Nb d'opérations	Remarques	A. Eliminer	A. Combiner	A. Visiter	A. Améliorer		
	Vérification des stocks dans la ligne							/	/	/	/						
	Déplacement vers le post des SAP							/	/	/	/						
	Requête Sur Papier							/	/	/	/						
	Déplacement Vers le WH pour livrer le Requête sur papier							/	/	1	/						
	Login sur PC							1	0 Seconds	1							
	Vérifications des emplacement sur SAP							Requête Complet	11 Min	1	Il ont fait cette opération en parallèle avec la préparation physique						
	Faire descendre les Palettes demandé							1	11,1 Min	1	/						
	Nettoyage Des Palettes							1	/	/	/						
	Changement des palettes (Bois au Plastique)							/	/	/	/						
	Salut Sur système							1	/	1	Il ont fait cette opération en parallèle Avec la préparation physique						
	Livraison vers la ligne de production							1	3,7 Min. pour les 3 palettes	1							

FIGURE 4.11 – Analyse de déroulement – transfert WH vers Production (5)

Folio : 1 / 1			Analyse de déroulement												
Entreprise : Novo Nordisk										Date : 14/04/2026					
Processus : Préparation des commandes										Fin : 14h41					
Début : 14h : 25															
N°	Etapes	Operation	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Déchargement	Quantité	Temps	Nb d'opérateur	Remarques	A Eliminer	A Combiner	A Dynamiser	A Améliorer
	Inbound Delivery Form							1	4	1					
	Attente du magasinier							1	4,83	1					
	Signature et Vérifications des détails							1	1	1					
	Stockage dans le WH							1	2,8	2	Des déplacement inutiles par rapport au mal emplacements des Palettes				
	Saisie Systeme Par WH							1	2	2					

FIGURE 4.12 – Analyse de déroulement – retour Production vers WH (1)

Folio : 1 / 1		Analyse de déroulement													
Entreprise : Novo Nordisk										Date : 28/04/2026					
Processus : Transfert Stylo semi finis vers le cold (Warehouse POV)										Début : 11h 05 '		Fin : 11h 16 Par AHWO			
N°	Etapes	Opération	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Décharge	Quantité	Temps	Nb d'opérateur	Remarques	A Eliminer	A Combler	A Permettre	A Améliorer
	Inbound Dilivery Form							1	4	1					
	Déplacement de l'opérateur vers la production							1	2	1					
	Vérification							1	1	1 SAP et 1 op					
	déplacement de la palette vers le cold							1	3	1	Recherche d'emplacement vides dans le cold dans l'étage 1, donc déplacement et recherche inutile				
	Retour vers le WH et saisie sur SAP							1	1	1					
Remarque: Il peut arriver que lors du transfert entre la prod et le warehouse, l'opérateur profite du trajet aller pour acheminer des TPU vides vers l'assembly, cela permet d'éviter des aller retours inutiles (1min de plus)															

FIGURE 4.13 – Analyse de déroulement – retour Production vers WH (2)

Annexe J – Liste des requests observées

1 Temps du coordinateur SAP

TABLE 4.6 – Temps de traitement SAP par palette – avant/après équilibrage des charges

Nb palettes	Temps total SAP (min)	Avant (min/palette)	Après (min/palette)
7	16,0	2,286	1,714
5	12,0	2,400	1,800
8	18,0	2,250	1,875
3	9,0	3,000	2,000
4	11,0	2,750	1,750
Moyenne	–	2,537	1,828

2 Temps de prélèvement physique en warehouse

TABLE 4.7 – Temps de prélèvement physique par palette – avant/après équilibrage des charges

Nb palettes	Temps op. WH Man. (min)		Avant (min/palette)	Après (min/palette)
7	50,00	1	7,143	4,286
5	16,83	2	6,732	4,000
8	20,00	2	5,000	4,000
3	10,00	2	6,667	3,333
3	11,10	1	3,700	3,333
1	7,00	1	7,000	3,000
4	21,00	1	5,250	3,000
2	10,00	1	5,000	2,500
Moyenne	–	–	5,812	3,432

3 Temps de livraison physique en ligne

TABLE 4.8 – Temps de livraison physique par palette – avant/après réorganisation

Nb palettes	Man.	Temps total (min)	Avant (min/palette)	Après (min/palette)
8	2	24,0	3,000	2,410
5	2	15,2	3,040	2,360
6	1	18,0	3,000	2,370
4	1	11,6	2,900	2,350
7	2	21,1	3,010	2,370
Moyenne	–	–	2,990	2,372

Annexe K – Diagrammes spaghetti du coordinateur SAP

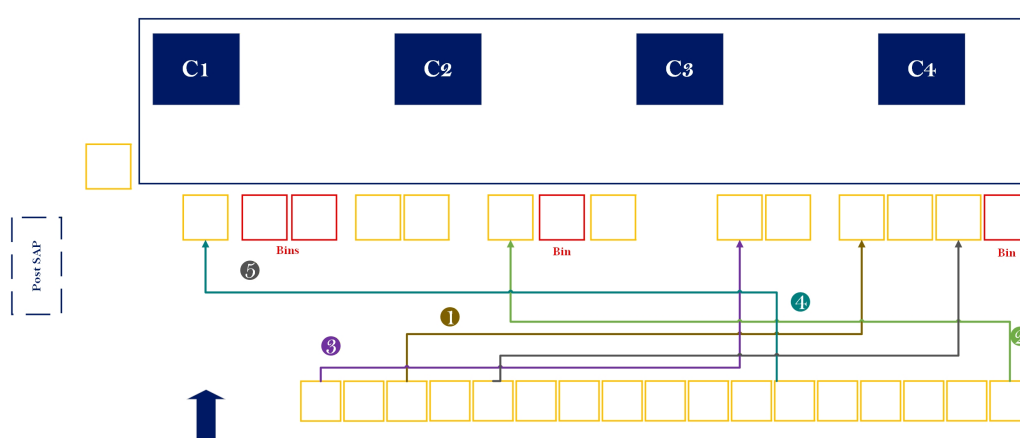


FIGURE 4.14 – Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État avant (1)

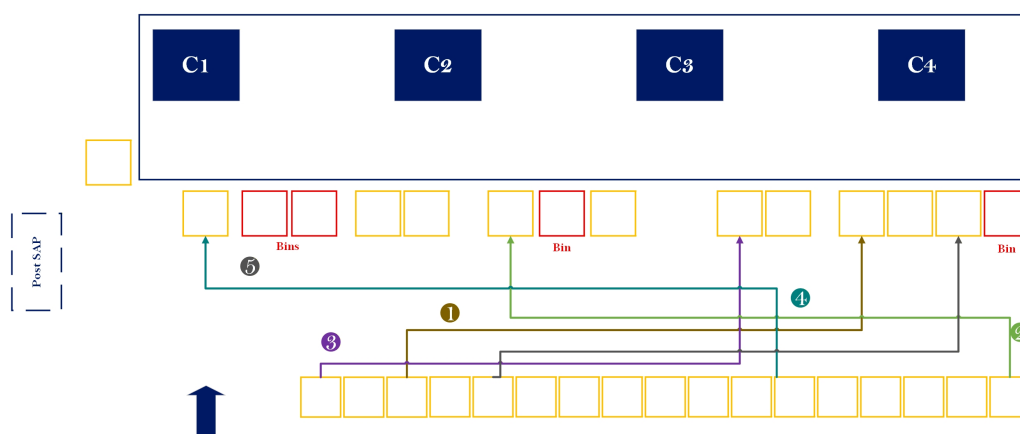


FIGURE 4.15 – Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État après (1)

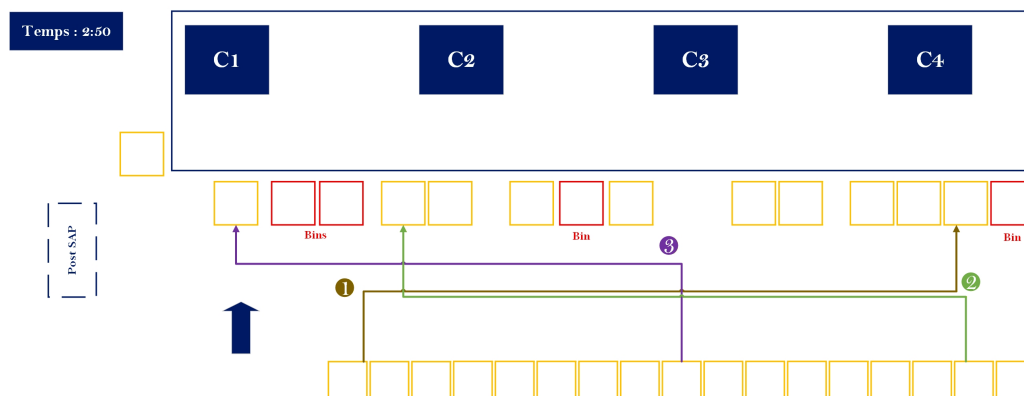


FIGURE 4.16 – Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État avant (2)

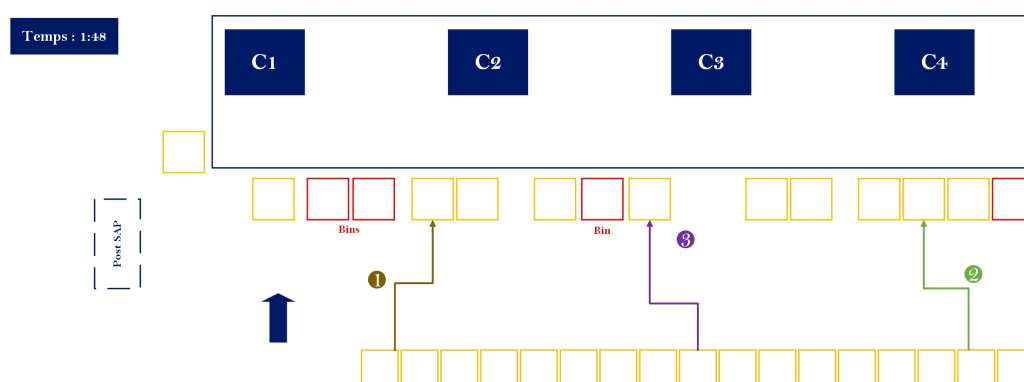


FIGURE 4.17 – Diagramme spaghetti du coordinateur SAP – État après (2)

Annexe L – Tableaux des temps d'observation pour l'estimation des gains

Activité	Avant (min/palette)	Après (min/palette)	Gain (%)
SAP coordinateur	2,54	1,83	28,0
Préparation physique	3,47	2,89	16,7
Livraison physique	3,00	2,37	20,7

TABLE 4.9 – Récapitulatif des temps d'observation pour l'estimation des gains

Annexe M – Code Python pour la classification ABC

Le code suivant implémente la classification ABC des composants du FlexPen® selon leur rotation horaire de palettes, en appliquant la méthode Pareto 80/95/100%.

```

1  #!/usr/bin/env python3
2  """
3  CLASSIFICATION ABC - ENTREPOT STYLOS FLEXPEN(r) (Novo Nordisk)
4  Objectif : Classer les composants selon leur rotation horaire
5             de palettes pour affecter les emplacements magasin.
6  Methode : Pareto 80 / 95 / 100% sur rotation = conso_horaire
7             / unites_palette
8  Exclusions:
9  - Printed Packaging Materials (boites, notices, etiquettes)
10 -> emplacements deja dedies/segregues (GMP pharmaceutique)
11 - Cartridges (cartouches)
12 -> zone refrigerree imposee (chaîne du froid 2-8 degres C)
13 """
14
15
16 import os
17 import pandas as pd
18 import plotly.graph_objects as go
19 import plotly.express as px
20 from plotly.subplots import make_subplots
21
22
23 os.makedirs("output", exist_ok=True)
24
25
26 #
27 # 1. PARAMETRES METIER
28 #
29 PRODUCTION_RATE = 8_000 # stylos / heure (1 composant par stylo)
30 WORKING_HOURS = 24 # heures de production / jour
31
32
33 components = {
34     0: ("Cartridge Holder", 57_600),
35     1: ("Housing", 41_088),
36     2: ("Cap", 36_288),
37     3: ("Connector Pipe", 147_456),
38     4: ("Scale Drom", 51_840),
39     5: ("Counter", 1_440_000),
40     6: ("Nut", 499_968),
41     7: ("Piston Rod", 239_616),
42     8: ("Ratchet", 239_616),
43     9: ("Piston Washer", 1_502_976),
44     10: ("Clutch", 374_880),
45     11: ("Push Button", 499_968),
46     # EXCLUSION : "Cartridge" -> zone refrigerree (2-8 C)
47 }
48
49
50 #
51 # 2. CALCUL DE LA ROTATION

```

```

52 #
53 rows = []
54 for idx, (name, units_per_pallet) in components.items():
55     conso_h = PRODUCTION_RATE
56     rot_h = conso_h / units_per_pallet
57     rot_day = rot_h * WORKING_HOURS
58     rows.append({
59         "ID" : idx,
60         "Composant" : name,
61         "Unites / Palette" : units_per_pallet,
62         "Consommation / h (u)" : conso_h,
63         "Rotation / h (pal)" : round(rot_h, 5),
64         "Rotation / jour (pal)" : round(rot_day, 3),
65     })
66
67
68 df = (pd.DataFrame(rows)
69     .sort_values("Rotation / h (pal)", ascending=False)
70     .reset_index(drop=True))
71
72
73 #
74 # 3. CLASSIFICATION ABC
75 #
76 total_rot = df["Rotation / h (pal)"].sum()
77 df["% Rotation"] = df["Rotation / h (pal)"] / total_rot * 100
78 df["% Cumule"] = df["% Rotation"].cumsum()
79
80
81 def classify(cumul: float) -> str:
82     if cumul <= 80: return "A"
83     if cumul <= 95: return "B"
84     return "C"
85
86
87 df["Classe ABC"] = df["% Cumule"].apply(classify)
88
89
90 zone_map = {
91     "A": "Zone 1 - Porte livraison (priorite MAX)",
92     "B": "Zone 2 - Mi-distance",
93     "C": "Zone 3 - Fond magasin",
94 }
95 df["Zone Recommandee"] = df["Classe ABC"].map(zone_map)
96
97
98 #
99 # 4. EXPORT CSV
100 #
101 csv_path = "output/abc_classification_flexpen.csv"
102 df.to_csv(csv_path, index=False, encoding="utf-8-sig")
103 print(f"CSV exporte -> {csv_path}")

```

Annexe N – Code Python pour le calcul des scores d’emplacement

Le code suivant génère et évalue l’ensemble des emplacements du magasin ambiant selon trois critères pondérés : distance à la porte, distance à la toopy et niveau de hauteur.

```

1  import pandas as pd
2
3
4  # =====
5  #  1. CONFIGURATION DU MAGASIN
6  # =====
7  racks_config = {
8      1: {"aisle_y": 2.5, "type_D": "PPM", "type_G": "Prod"},
9      2: {"aisle_y": 2.5, "type_D": "PPM", "type_G": "Prod"},
10     3: {"aisle_y": 6.5, "type_D": "PPM", "type_G": "Prod"},
11     4: {"aisle_y": 6.5, "type_D": "PPM", "type_G": "Prod"},
12     5: {"aisle_y": 11.0, "type_D": "Prod", "type_G": "Prod"},
13     6: {"aisle_y": 11.0, "type_D": "Prod", "type_G": "Prod"},
14     7: {"aisle_y": 15.5, "type_D": "Prod", "type_G": "Prod"},
15     8: {"aisle_y": 15.5, "type_D": "Prod", "type_G": "Prod"}
16 }
17
18
19 NB_DROITE      = 26
20 NB_GAUCHE      = 10
21 TOTAL_POSITIONS = NB_DROITE + NB_GAUCHE  # 36
22
23
24 # =====
25 #  2. REPERES LOGISTIQUES
26 # =====
27 X_COULOIR_CENTRAL = 11.0
28 PORTE_A = {"X": 11.0, "Y": 19.5}
29 TOPPY   = {"X": 9.5, "Y": 15.5}
30
31
32 # =====
33 #  3. PONDERATIONS
34 # =====
35 W_PORTE_A = 0.233
36 W_TOPPY   = 0.46
37 W_HEIGHT  = 0.4
38
39
40 HEIGHT_SCORES = {1: 100, 2: 80, 3: 60, 4: 0, 5: 30}
41
42
43 # =====
44 #  4. POSITIONS NON DISPONIBLES
45 # =====
46 positions_non_affectables = {
47     6: [27, 28],
48     7: [27, 28, 35, 36],
49     8: [1, 2, 3, 35, 36]
50 }
51

```

```

52
53 # =====
54 # 5. CALCUL DES DISTANCES
55 # =====
56 def calcul_distance_porte(x_coord, aisle_y):
57     return abs(PORTE_A["Y"] - aisle_y) + abs(PORTE_A["X"] - x_coord)
58
59
60 def calcul_distance_toppy(x_coord, aisle_y):
61     return (abs(TOPPY["X"] - X_COULOIR_CENTRAL) +
62            abs(TOPPY["Y"] - aisle_y) +
63            abs(X_COULOIR_CENTRAL - x_coord))
64
65
66 # =====
67 # 6. POSITION -> SECTION + COORDONNEE X
68 # =====
69 def position_to_section_x(ee):
70     if 1 <= ee <= 26:
71         return "D", 39.0 - (ee - 1)
72     elif 27 <= ee <= 36:
73         return "G", 10.0 - (ee - 26)
74     raise ValueError(f"Position invalide : {ee}")
75
76
77 # =====
78 # 7. GENERATION DES EMPLACEMENTS
79 # =====
80 def generer_emplacements():
81     emplacements = []
82     for r_num, info in racks_config.items():
83         for ee in range(1, TOTAL_POSITIONS + 1):
84             section, x_coord = position_to_section_x(ee)
85             is_ppm = (
86                 (section == "D" and info["type_D"] == "PPM") or
87                 (section == "G" and info["type_G"] == "PPM")
88             )
89             for level in [1, 2, 3, 4, 5]:
90                 code = f"001-{r_num:02d}-{ee:02d}-{level}"
91                 statut, raison = "Affectable", ""
92                 if level == 4:
93                     statut, raison = "Non Affectable", "Etage 4 exclu"
94                 elif (r_num in positions_non_affectables and
95                      ee in positions_non_affectables[r_num]):
96                     statut = "Non Affectable"
97                     raison = "Absence de rack / zone technique"
98                 elif level == 1 and r_num in [1,2,3,4,5] and ee in [1,2,3]:
99                     statut = "Non Affectable"
100                    raison = "Zone Issue de Secours"
101                 elif is_ppm:
102                     statut = "Non Affectable"
103                     raison = "Rack PPM (Conditionnement)"
104                 dist_a = calcul_distance_porte(x_coord, info["aisle_y"]) \
105                     if statut == "Affectable" else 0.0
106                 dist_t = calcul_distance_toppy(x_coord, info["aisle_y"]) \
107                     if statut == "Affectable" else 0.0

```

```

108         emplacements.append({
109             "Code": code, "Rack": f"R{r_num}",
110             "Section": section, "Position_EE": ee,
111             "Etagage": level, "X": x_coord,
112             "Y_Allee": info["aisle_y"],
113             "Dist_Porte_A": round(dist_a, 2),
114             "Dist_Toppy": round(dist_t, 2),
115             "Statut": statut, "Raison": raison
116         })
117     return pd.DataFrame(emplacements)
118
119
120 # =====
121 # 8. CALCUL DES SCORES
122 # =====
123 def calculer_scores_magasin():
124     df = generer_emplacements()
125     df_v = df[df["Statut"] == "Affectable"].copy()
126     max_a = df_v["Dist_Porte_A"].max()
127     max_t = df_v["Dist_Toppy"].max()
128     df["Score_Porte_A"] = df["Dist_Porte_A"].apply(
129         lambda d: max(0, 100 * (1 - d / max_a)) if max_a > 0 else 0)
130     df["Score_Toppy"] = df["Dist_Toppy"].apply(
131         lambda d: max(0, 100 * (1 - d / max_t)) if max_t > 0 else 0)
132     df["Score_Hauteur"] = df["Etagage"].map(HEIGHT_SCORES)
133     df["Score_Global"] = df.apply(
134         lambda row: round(
135             W_PORTE_A * row["Score_Porte_A"] +
136             W_TOPPY * row["Score_Toppy"] +
137             W_HEIGHT * row["Score_Hauteur"], 2
138         ) if row["Statut"] == "Affectable" else 0.0, axis=1)
139     return df.sort_values(
140         by=["Score_Global", "Rack", "Position_EE", "Etagage"],
141         ascending=[False, True, True, True]
142     ).reset_index(drop=True)
143
144
145 # =====
146 # 9. EXECUTION ET EXPORT
147 # =====
148 df_magasin = calculer_scores_magasin()
149 df_magasin.to_csv(
150     "scoring_emplacements_magasin_ambient_toppy.csv",
151     index=False, encoding="utf-8-sig"
152 )
153 print("Fichier exporte : scoring_emplacements_magasin_ambient_toppy.csv")

```

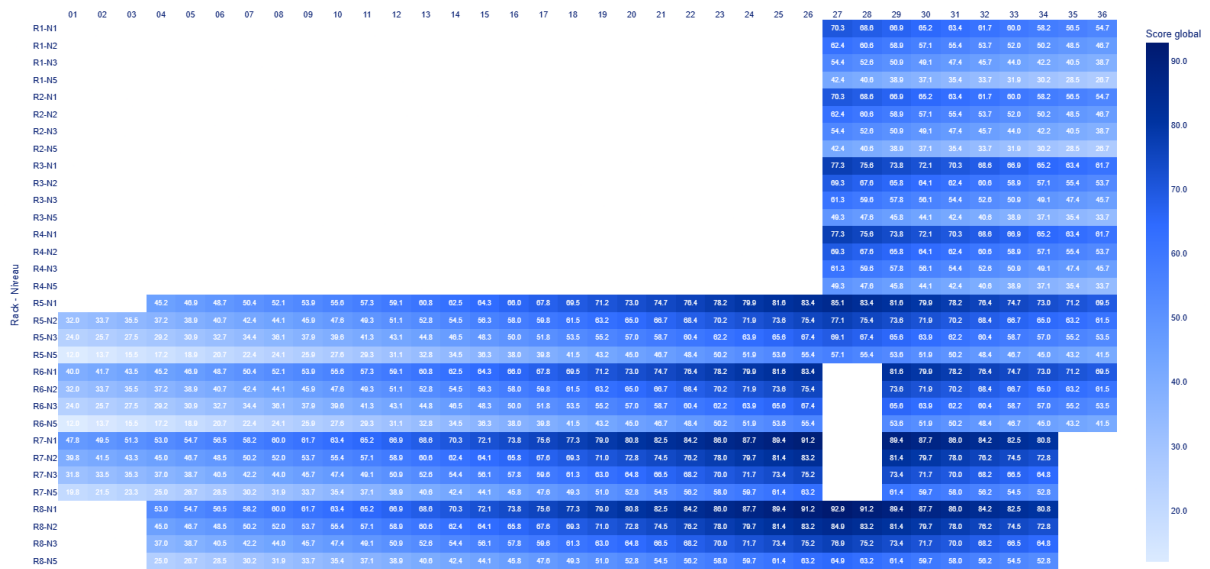


FIGURE 4.18 – HeatMap des scores

Références bibliographiques

- [1] IQVIA INSTITUTE. *The Global Use of Medicines 2024 : Outlook to 2028*. Consulté le 20 juin 2026. IQVIA, 2024. URL : <https://www.iqvia.com/>.
- [2] Pouya SAEEDI, Inga PETERSOHN, Peter SALPEA et al. « Global and regional diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045 : results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas ». In : *The Lancet Diabetes & Endocrinology* 11.12 (2023), p. xxx-xxx.
- [3] A. AZIB. *Importation des produits pharmaceutiques en Algérie*. Référence utilisée dans le mémoire. 2009.
- [4] APS. *Industrie pharmaceutique en Algérie : données sur le marché et l'importation de l'insuline*. Consulté le 20 juin 2026. 2022. URL : <https://www.aps.dz/>.
- [5] MINISTÈRE DE LA SANTÉ. *Données sur le marché pharmaceutique algérien*. Données institutionnelles. 2025.
- [6] ALGERIE INVEST. *Exportations pharmaceutiques algériennes par destination*. Consulté le 20 juin 2026. 2021. URL : <https://algeriainvest.com/>.
- [7] JEUNE AFRIQUE. *Novo Nordisk et le marché algérien du diabète*. Consulté le 20 juin 2026. 2018. URL : <https://www.jeuneafrique.com/>.
- [8] Taiichi OHNO. *Toyota Production System : Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon : Productivity Press, 1988.
- [9] Shigeo SHINGO. *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. Cambridge, Massachusetts : Productivity Press, 1989.
- [10] James P. WOMACK et Daniel T. JONES. *Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2nd. New York : Free Press, 2003.
- [11] Yasuhiro MONDEN. *Toyota Production System : An Integrated Approach to Just-In-Time*. 4th. Boca Raton, Florida : CRC Press, 2012.
- [12] Jeffrey K. LIKER. *The Toyota Way : 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York : McGraw-Hill, 2004.
- [13] Marc HELMOLD. *Lean Management, Kaizen, Kata and Keiretsu : Concepts, Tools and Methods for a Sustainable Competitive Advantage*. Cham, Switzerland : Springer, 2020.

- [14] Shigeo NAKAJIMA. *Introduction to TPM : Total Productive Maintenance*. Portland : Productivity Press, 1988.
- [15] ... WIEGAND. « Digitalisation and Lean Manufacturing in Industrial Systems ». In : *Journal ...* (2022).
- [16] ... BARIL. « Lean and Digital Transformation in Industry ». In : *Journal ...* (2023).
- [17] ... MENDES. « Low-code and Lean Operations in Industrial Contexts ». In : *Journal ...* (2024).
- [18] W. Edwards DEMING. *Out of the Crisis*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 1986.
- [19] Christian HOHMANN. *Lean Management : Outils, méthodes, retours d'expériences, questions/réponses*. Paris : Éditions Eyrolles, 2012.
- [20] Frank VOEHL et al. *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook : Tools and Methods for Process Acceleration*. Boca Raton, Florida : CRC Press, 2014.
- [21] Mike ROTHER et John SHOOK. *Learning to See : Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Cambridge, Massachusetts : Lean Enterprise Institute, 1998.
- [22] Mark A. NASH et Sheila R. POLING. *Mapping the Total Value Stream : A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes*. New York : Productivity Press, 2008.
- [23] James A. TOMPKINS et al. *Facilities Planning*. 4th. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2010.
- [24] Edward A. SILVER, David F. PYKE et Rein PETERSON. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3rd. New York : John Wiley & Sons, 1998.
- [25] Michael L. GEORGE et al. *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. New York : McGraw-Hill, 2004.
- [26] Robert TASSINARI. *Pratique de l'analyse fonctionnelle*. Paris : Dunod, 2006.
- [27] AFNOR. *Analyse fonctionnelle*. La Plaine Saint-Denis : AFNOR Éditions, 2013.
- [28] Edward H. FRAZELLE. *World-Class Warehousing and Material Handling*. New York : McGraw-Hill, 2002.
- [29] Alan RUSHTON, Phil CROUCHER et Peter BAKER. *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. 5th. London : Kogan Page, 2014.
- [30] Sunil CHOPRA et Peter MEINDL. *Supply Chain Management : Strategy, Planning, and Operation*. 6th. Hoboken, New Jersey : Pearson, 2016.
- [31] N. VISWANATHAN et R. M. BHAKHAR. *Manufacturing Resource Planning*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [32] Evangelos TRIANTAPHYLLOU. *Multi-Criteria Decision Making Methods : A Comparative Study*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000.

-
- [33] Kamelia HAMMACHI. « Analyse multicritère et aide à la décision dans un contexte industriel ». In : (2024).
 - [34] Jean-Charles de BORDA. *Mémoire sur les élections au scrutin*. Travail fondateur sur la méthode de Borda. 1781.
 - [35] Kenneth J. ARROW. *Social Choice and Individual Values*. New Haven : Yale University Press, 1963.
 - [36] Wallace J. HOPP et Mark L. SPEARMAN. *Factory Physics*. 3rd. Long Grove, Illinois : Waveland Press, 2011.
 - [37] Michel BAUDIN. *Lean Logistics : The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods*. New York : Productivity Press, 2004.
 - [38] Rick HARRIS, Chris HARRIS et Earl WILSON. *Making Materials Flow : A Lean Material-Handling Guide for Operations, Production-Control, and Engineering Professionals*. Cambridge, Massachusetts : Lean Enterprise Institute, 2003.
 - [39] John M. GROSS et Kenneth R. MCINNIS. *Kanban Made Simple : Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process*. New York : AMACOM, 2003.
 - [40] Art SMALLEY. *Creating Level Pull : A Lean Production-System Improvement Guide for Production-Control, Operations, and Engineering Professionals*. Cambridge, Massachusetts : Lean Enterprise Institute, 2004.
 - [41] Robert C. HANSEN. *Overall Equipment Effectiveness : A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits*. New York : Industrial Press, 2001.
 - [42] Paul H. ZIPKIN. *Foundations of Inventory Management*. Boston : McGraw-Hill, 2000.
 - [43] Averill M. LAW et W. David KELTON. *Simulation Modeling and Analysis*. 4^e éd. New York : McGraw-Hill, 2000.
 - [44] Reuven Y. RUBINSTEIN et Dirk P. KROESE. *Simulation and the Monte Carlo Method*. 3^e éd. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2016.
 - [45] B. EFRON. *Bootstrap Methods : Another Look at the Jackknife*. T. 7. 1979, p. 1-26.