

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

**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole 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**

---

Amélioration de la productivité en optimisant le temps de  
changement de série en suivant l'approche kata  
Application : Novo Nordisk Algérie, site Flexpen

---

**AGGOUN Mohamed Amine & MOSTEFA TOUNSI Younes**

Sous la direction de

**Mme BOUCHAFAA Bahia**

Encadrante

**Mme HAMMACHI Kamelia**

Co-encadrante

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2025)

**Composition du jury :**

|              |                      |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|
| Président :  | Mr. ZOUAGHI Iskander | ENP                  |
| Examineur :  | Mr. ABBACI Ayoub     | ENP                  |
| Promotrice : | Mme. BOUCHAFAA Bahia | ENP                  |
| Invité :     | Mr. MENOUS Nassim    | Novo Nordisk Algérie |

ENP 2025



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

---

Amélioration de la productivité en optimisant le temps de  
changement de série en suivant l'approche kata  
Application : Novo Nordisk Algérie, site Flexpen

---

**AGGOUN Mohamed Amine & MOSTEFA TOUNSI Younes**

Sous la direction de

**Mme BOUCHAFAA Bahia**

Encadrante

**Mme HAMMACHI Kamelia**

Co-encadrante

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2025)

**Composition du jury :**

|              |                      |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|
| Président :  | Mr. ZOUAGHI Iskander | ENP                  |
| Examineur :  | Mr. ABBACI Ayoub     | ENP                  |
| Promotrice : | Mme. BOUCHAFAA Bahia | ENP                  |
| Invité :     | Mr. MENOUS Nassim    | Novo Nordisk Algérie |

ENP 2025

# ملخص

هذا العمل، الذي تم إنجازه في إطار مشروع الصنجر، يهدف إلى المساهمة في زيادة القدرة الإنتاجية لشركة نوفو نورديسك من خلال تحسين عملية تغيير الدفعات في خط التغليف. مع تزايد عدد المصابين بداء السكري في الجزائر، أصبحت شركة نوفو نورديسك، بصفتها فاعلاً رئيسياً في القطاع، مطالبة برفع قدرتها الإنتاجية من أجل الحفاظ على تنافسيتها. وفي ظل هذا السياق، ومع تصاعد الضغوط الخارجية، أصبح من الضروري اتخاذ إجراءات داخلية فعّالة. يندرج هذا المشروع ضمن التحسين المستمر والتحول الصناعي، ويهدف إلى تحسين العمليات وتقليل الهدر. ولهذا الصدد، تم اعتماد منهجية كاتا.

الكلمات المفتاحية: كاتا - التسيير اللين - تحسين القدرة الإنتاجية - الخوارزميات الوراثية - المنصات ذات البرمجة المنخفضة أو بدون برمجة - الصناعة الدوائية.

## Abstract

This work, carried out as part of the end-of-studies project, aims to contribute to the increase of Novo Nordisk's production capacity by optimizing the Batch Change Over process in the packaging line.

In response to the growing number of people with diabetes in Algeria, Novo Nordisk, as a major player in the sector, must improve its production capacity to remain competitive. In this context, and faced with increasing external pressure, acting internally became essential. Our project is part of a continuous improvement and transformation approach, aimed at optimizing processes and reducing waste. To this end, we adopted the KATA approach.

**Keywords :** Kata – Lean management – Capacity improvement – Genetic algorithm – Low-code/No-code platform – Pharmaceutical industry

## Résumé

Ce travail, réalisé dans le cadre du projet de fin d'études, a pour objectif de contribuer à l'augmentation de la capacité de production de Novo Nordisk en optimisant le processus de Batch Change Over sur la ligne de conditionnement.

Face à l'augmentation du nombre de personnes atteintes de diabète en Algérie, Novo Nordisk, en tant qu'acteur majeur du secteur, doit améliorer sa capacité de production pour rester compétitif. Dans ce contexte, et face à une pression externe croissante, agir en interne devenait primordial. Notre projet s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue et de transformation, visant à optimiser les processus et à réduire les gaspillages. Pour cela, nous avons adopté l'approche KATA.

**Mots clés :** Kata - Lean management - Amélioration de la capacité - Algorithme génétique - Plateforme Lowcode/Nocode - Industrie pharmaceutique.

## Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre encadrante, Mme. BOUCHAFAA Bahia, pour ses conseils précieux et ses recommandations qui ont considérablement enrichi nos réflexions. Nous apprécions particulièrement sa disponibilité et son ouverture à nos propositions tout au long de ce projet.

Nous remercions également Mme. HAMMACHI Kamelia, notre co-encadrante, pour ses précieux conseils et ses recommandations, ainsi que pour sa contribution énorme à la réussite de ce travail.

Nous tenons à remercier aussi notre encadrant à l'entreprise Novo Nordisk, Mr MENOUS Nassim , pour son sens d'écoute, sa motivation et son encouragement tout au long de cette période.

Nous remercions également toute l'équipe Kata Packaging pour leur implication, leur ouverture d'esprit et leur collaboration, qui nous ont énormément facilité le travail.

Nous remercions également toute personne ayant contribué à notre formation et développement, notamment tous les professeurs du département Génie Industriel.

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

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

Merci.

*Younes et Amine*

## Dédicaces

Louanges dans le monde, qui combine l'existence de ces innombrables bénédictions.

Je dédie ce travail

À ma famille, qui a toujours cru en moi, m'a porté dans les moments difficiles, et n'a jamais cessé de me soutenir, même quand je doutais moi-même.

À mon frère Younes, pour son soutien, sa patience, son implication sans faille et pour cette belle expérience vécue ensemble, qui restera gravée dans ma mémoire.

Aux Chabibas : Oussama Académique, Salah Amumu, Hicham Confidentiel, Younes Della et Nas Dergana Omar & Rayan.

Aux membres du comité IEC 2024.

Aux membres du club IEC et aux formidables équipes derrière IEC Case Competition (ICC 4.0) et Algeria Data Cup (ADC 3.0), pour leur passion, leur professionnalisme et l'inspiration qu'ils m'ont apportée.

À l'équipe C-lean Anais, Melissa, Mohamed et Yacine.

À Notion évidemment.

À tous ceux à qui je dois dédier ce travail.

*Amine AGG*

## Dédicaces

Je dédie ce travail

À ma mère, mon père et mes trois frères. Si j'en suis là aujourd'hui, c'est grâce à vous. Merci pour vos efforts, votre patience et votre soutien dans les moments difficiles. C'est pour vous.

À mon binôme AGG, après deux années de travail ensemble, j'ai gagné bien plus qu'un collègue : un frère. Ta résilience, ton engagement et ta compréhension seront, incha'Allah, récompensés. Rebi ywafqak.

À mes proches de Polytech & Bouraoui, pour les cinq ans, merci pour tous les moments passés ensemble.

À mes proches : Alae, Kader, Ramzi, Zaki & Yanil.

À Khalil & Mehdi.

Aux membres du club IEC & à tous les membres IT.

À l'équipe C-lean Nassim, Anais, Melissa, Mohamed, Yacine, Kaouther & Makhoulouf.

Aux opérateurs de la ligne pack, coordinateurs shopfloor et toute l'équipe Flexpen.

Et à tous ceux que j'aime.

*Younes*

# Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

Liste des acronymes

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introduction générale</b>                                     | <b>16</b> |
| <b>1 Etat des lieux</b>  | <b>18</b> |
| 1.1 Introduction . . . . .                                       | 18        |
| 1.2 L'industrie pharmaceutique . . . . .                         | 18        |
| 1.2.1 L'industrie pharmaceutique en Algérie . . . . .            | 21        |
| 1.2.2 Le diabète en Algérie . . . . .                            | 24        |
| 1.3 Présentation de l'entreprise Novo Nordisk . . . . .          | 25        |
| 1.3.1 La division commerciale . . . . .                          | 26        |
| 1.3.2 La division de production : Product Supply (PS) . . . . .  | 27        |
| 1.4 Novo Nordisk Algérie . . . . .                               | 29        |
| 1.4.1 Organisation interne Local Manufacturing Algeria . . . . . | 31        |
| 1.5 Diagnostic stratégique . . . . .                             | 39        |
| 1.5.1 SWOT . . . . .   | 39        |
| 1.6 Diagnostic fonctionnelle . . . . .                           | 41        |
| 1.6.1 Analyse de la demande . . . . .                            | 41        |
| 1.6.2 La Supply chain . . . . .                                  | 41        |
| 1.6.3 Production . . . . .                                       | 43        |
| 1.7 Énoncé de la problématique . . . . .                         | 54        |
| <b>2 Etat de l'art</b>   | <b>55</b> |

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.1      | Introduction . . . . .                             | 55        |
| 2.2      | Le lean . . . . .                                  | 55        |
| 2.2.1    | Définition . . . . .                               | 55        |
| 2.2.2    | Lean thinking . . . . .                            | 56        |
| 2.2.3    | TPS . . . . .                                      | 56        |
| 2.2.4    | Types de gaspillages . . . . .                     | 56        |
| 2.2.5    | Digitalisation en Lean . . . . .                   | 57        |
| 2.3      | Les outils de Lean . . . . .                       | 58        |
| 2.3.1    | PDCA . . . . .                                     | 58        |
| 2.3.2    | Hoshin kanri . . . . .                             | 59        |
| 2.3.3    | Gemba . . . . .                                    | 59        |
| 2.3.4    | SIPOC . . . . .                                    | 60        |
| 2.3.5    | Ishikiawa . . . . .                                | 60        |
| 2.3.6    | Pareto . . . . .                                   | 60        |
| 2.3.7    | QOOQCCP . . . . .                                  | 61        |
| 2.3.8    | Smed . . . . .                                     | 61        |
| 2.3.9    | Yamazumi . . . . .                                 | 62        |
| 2.3.10   | Outils qualité . . . . .                           | 62        |
| 2.4      | L'approche Kata . . . . .                          | 63        |
| 2.4.1    | Définition . . . . .                               | 63        |
| 2.4.2    | Les étapes kata . . . . .                          | 63        |
| 2.5      | l'algorithme génétique . . . . .                   | 67        |
| 2.5.1    | Définition . . . . .                               | 67        |
| 2.5.2    | Fonctionnement de l'algorithme génétique . . . . . | 67        |
| 2.6      | Conclusion . . . . .                               | 70        |
| <b>3</b> | <b>Solutions apportées à la problématique</b>      | <b>71</b> |
| 3.1      | Introduction . . . . .                             | 71        |
| 3.2      | Pilotage de la problématique . . . . .             | 71        |
| 3.2.1    | Préparation pré-projet . . . . .                   | 71        |
| 3.2.2    | Lancement du projet . . . . .                      | 73        |

---

|       |   |            |
|-------|---|------------|
| 3.3   | Kata d'amélioration . . . . .   | 74         |
| 3.3.1 | Etap 01 : Connaître et comprendre la vision ou le défi à relever . . . . .        | 74         |
| 3.3.2 | Etap 02 : Saisir la condition actuelle . . . . .                                  | 75         |
| 3.3.3 | Etap 03 : Établir la condition cible suivante . . . . .                           | 77         |
| 3.3.4 | Etap 04 : Expérimenter en fonction de la condition cible suivante . . . . .       | 78         |
| 3.3.5 | Estimation des gains . . . . .  | 88         |
| 3.4   | Ordonnancement du BCO via algorithme génétique . . . . .                          | 89         |
| 3.4.1 | Fonctionnement d'algorithme . . . . .   | 89         |
| 3.4.2 | Résultats . . . . .   | 90         |
| 3.4.3 | Analyse comparative . . . . .   | 92         |
| 3.5   | Durabilité . . . . .  | 93         |
| 3.5.1 | Analyse fonctionnelle . . . . .   | 93         |
| 3.5.2 | La solution . . . . .   | 94         |
| 3.6   | Perspective future . . . . .  | 97         |
| 3.6.1 | Améliorer l'algorithme génétique . . . . .  | 97         |
| 3.6.2 | Déploiement de la culture Kata . . . . .  | 98         |
| 3.7   | Conclusion . . . . .  | 100        |
|       | <b>Conclusion générale</b>  | <b>101</b> |
|       | <b>Bibliographie</b>  | <b>103</b> |
|       | <b>4 Annexes</b>  | <b>105</b> |
|       | <b>Annexes</b>  | <b>105</b> |
| 4.1   | Annexe 01 : Le modèle en cascade NN . . . . .                                     | 106        |
| 4.2   | Annexe 02 : Les différents KPIs – modèle de cascade . . . . .                     | 106        |
| 4.3   | Annexe 03 : Les facteurs influençant la performance – modèle de cascade . . . . . | 107        |
| 4.4   | Annexe 04 : Définition des indicateurs de performance . . . . .                   | 108        |
| 4.5   | Annexe 05 : Power BI dashbaord BCO . . . . .                                      | 109        |
| 4.6   | Annexe 06 : Les phases du SMED . . . . .  | 110        |
| 4.7   | Annexe 07 : Yamazumi . . . . .  | 110        |
| 4.8   | Annexe 08 : Indice de Capabilité Potentielle . . . . .                            | 111        |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.9  | Annexe 09 : Indice de Capabilité Réelle (centrée)              | 112 |
| 4.10 | Annexe 10 : Croisement 1 point                                 | 112 |
| 4.11 | Annexe 11 : Croisement 2 points                                | 113 |
| 4.12 | Annexe 12 : Mutation   | 113 |
| 4.13 | Annexe 13 : A1A7   | 114 |
| 4.14 | Annexe 14 : SIPOC  | 114 |
| 4.15 | Annexe 15 : Charte de projet                                   | 115 |
| 4.16 | Annexe 16 : BPMN   | 117 |
| 4.17 | Annexe 17 : Matrice R&R  | 118 |
| 4.18 | Annexe 18 : Codification des post-it utilisés mapping du BCO   | 118 |
| 4.19 | Annexe 19 : Tâche de chaque opérateur avec sa durée            | 119 |
| 4.20 | Annexe 20 : Synthèse sur l'état actuel du processus BCO        | 122 |
| 4.21 | Annexe 21 : Standard Role card                                 | 123 |
| 4.22 | Annexe 22 : Fonctionnement de l'algorithme                     | 124 |
| 4.23 | Annexe 23 : Inputs data de l'algorithme                        | 125 |
| 4.24 | Annexe 24 : Outputs de l'algorithme                            | 126 |
| 4.25 | Annexe 25 : Modèle conceptuel                                  | 127 |
| 4.26 | Annexe 26 : Interpretation du modèle conceptuel                | 128 |
| 4.27 | Annexe 27 : Description des tables de la base de données       | 129 |
| 4.28 | Annexe 28 : Les interfaces et les fonctionnalités du prototype | 130 |

# Liste des tableaux

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 1.1  | Estimation du nombre de cas de diabète en 2021 [1]                              | 24  |
| 1.2  | Fiche des informations clés de l'entreprise Novo Nordisk A/S                    | 26  |
| 1.3  | Les produits assemblés au niveau du site Flexpen Novo Nordisk                   | 30  |
| 1.4  | Description des zones de production et leur correspondance                      | 35  |
| 1.5  | Les inputs de la ligne de conditionnement                                       | 37  |
| 1.6  | Lead time des composants livrés à LMA flexpen                                   | 42  |
| 3.1  | QQOQCCP   | 72  |
| 3.2  | Les 05 pourquoi   | 73  |
| 3.3  | Tableau récapitulatif des problèmes détectés                                    | 79  |
| 3.4  | Tableau récapitulatif des problèmes détectés après la première simulation       | 83  |
| 3.5  | Tableau récapitulatif des problèmes détectés après la deuxième simulation       | 84  |
| 3.6  | Tableau récapitulatif des problèmes détectés après la troisième simulation      | 86  |
| 3.7  | Évolution des durées avant et après ajustements par action                      | 87  |
| 3.8  | Paramètres utilisés dans l'algorithme génétique                                 | 90  |
| 3.9  | Comparaison entre les deux approches  | 92  |
| 3.10 | Les 10 principes du modèle Shingo   | 98  |
| 4.1  | Tableau récapitulatif des indicateurs OEE                                       | 108 |
| 4.2  | Matrice R&R   | 118 |
| 4.3  | Code de couleur des post-it utilisés lors de l'analyse des tâches par opérateur | 118 |
| 4.4  | Analyse des obstacles impactant le processus de BCO                             | 122 |
| 4.5  | Description MCD   | 128 |

# Table des figures

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Schéma de cadre du 1 <sup>er</sup> chapitre . . . . .   | 18 |
| 1.2  | Prévisions des dépenses mondiales en médicaments (hors vaccins COVID), de 2019 à 2028 en milliards de dollars [2] . . . . .                       | 19 |
| 1.3  | Estimation des 20 aires thérapeutiques principales en 2028 [2] . . . . .  | 20 |
| 1.4  | Prévisions du marché pharmaceutique mondial à l’horizon 2028 – Répartition régionale et perspectives de croissance (CAGR 2023–2028) [3] . . . . . | 21 |
| 1.5  | Évolution des importations de l’industrie pharmaceutique algérienne - 2001-2020 [4] . . . . .   | 22 |
| 1.6  | Parts des importations de produits pharmaceutiques par origine en 2017 [5] . . . . .  | 22 |
| 1.7  | Evolution des exportation des produits pharmaceutiques en Algérie (2001-2020) [4] . . . . .   | 23 |
| 1.8  | Parts des exportations de produits pharmaceutiques par destination en 2017 [5] . . . . .  | 23 |
| 1.9  | Production de médicaments en volume 2010-2016 [4] . . . . .   | 24 |
| 1.10 | Prévalence du diabète (% de la population âgée de 20 à 79 ans) en Algérie 2010-2024 [1] . . . . .   | 25 |
| 1.11 | Responsabilités de product supply (document interne à Novo Nordisk) . . . . .   | 27 |
| 1.12 | Le réseau mondial de la division Product Supply (Document interne à Novo Nordisk) . . . . .   | 27 |
| 1.13 | les sites de fabrication locaux de NN à travers le monde : Local manufacturing footprint (Document interne à Novo Nordisk) . . . . .              | 29 |
| 1.14 | Nomenclature des matières premières de LMA flexpen et leurs fabricants . . . . .  | 30 |
| 1.15 | les composants du Flexpen . . . . .   | 31 |
| 1.16 | L’organigramme de Local Manufacturing Algerian . . . . .  | 31 |
| 1.17 | Supply Chain Network de LMA flexpen (Document interne à l’entreprise) . . . . .   | 32 |
| 1.18 | Flux Logistique des Fournisseurs NN vers le Site LMA flexpen . . . . .  | 33 |
| 1.19 | Les étapes clés du processus d’assemblage au niveau du site Flexpen . . . . .   | 33 |
| 1.20 | Les différentes cellules de la ligne d’assemblage NOR12 . . . . .   | 34 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.21 | Disposition des zones cLean et BPF au niveau de la ligne d'assemblage des Flexpen® et Pen Injector . . . . .           | 34 |
| 1.22 | Les étapes clés du processus de conditionnement au niveau du site Flexpen . . . . .                                    | 35 |
| 1.23 | Disposition des zones cLean et BPF au niveau des deux lignes de conditionnement des Flexpen® et Pen Injector . . . . . | 36 |
| 1.24 | la machine du conditionnement au niveau du site Flexpen . . . . .  | 38 |
| 1.25 | Les stations de la machine du conditionnement au niveau du site Flexpen . . . . .                                      | 38 |
| 1.26 | Liste des modules de la machine du conditionnement au niveau du site Flexpen . . . . .                                 | 39 |
| 1.27 | Évolution de la demande en stylos entre 2023 et 2025 (information interne de Novo Nordisk) . . . . .                   | 41 |
| 1.28 | Écart entre Quantité Prévisionnelle et Réelle par Mois en 2024 . . . . .   | 43 |
| 1.29 | La mesure de l'efficacité (document interne à Novo Nordisk) . . . . .  | 44 |
| 1.30 | Indicateurs de performance OEE – Ligne d'assemblage . . . . .  | 45 |
| 1.31 | Évolution de l'OEE1 – ligne d'assemblage . . . . .   | 45 |
| 1.32 | Pertes de performance : ligne d'assemblage . . . . .   | 46 |
| 1.33 | Impact du projet sur l'OEE 1 - Ligne d'assemblage . . . . .  | 46 |
| 1.34 | Processus du changement de lot BCO . . . . .   | 47 |
| 1.35 | Indicateurs de performance OEE – Ligne de conditionnement S . . . . .  | 51 |
| 1.36 | Indicateurs de performance OEE – Ligne de conditionnement P . . . . .  | 51 |
| 1.37 | Carte de contrôle de process BCO . . . . .   | 52 |
| 1.38 | Historique des projets d'optimisation du BCO . . . . .   | 53 |
| 2.1  | Schéma de cadre du 2 <sup>ème</sup> chapitre . . . . .   | 55 |
| 2.2  | La roue PDCA . . . . .   | 59 |
| 2.3  | Diagramme Ishikawa [6] . . . . .   | 60 |
| 2.4  | Carte $\bar{X}$ [7] . . . . .  | 62 |
| 2.5  | Carte R [7] . . . . .  | 63 |
| 2.6  | Les 4 étapes du kata d'amélioration . . . . .  | 64 |
| 2.7  | 1 <sup>re</sup> Etape de processus kata . . . . .  | 64 |
| 2.8  | 2 <sup>ème</sup> Etape de processus kata . . . . .   | 65 |
| 2.9  | 3 <sup>ème</sup> Etape de processus kata . . . . .   | 65 |
| 2.10 | 4 <sup>ème</sup> Etape de processus kata . . . . .   | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.11 Parc des obstacles de processus kata . . . . .  | 67  |
| 2.12 Fonctionnement général de l'algorithme génétique . . . . .  | 68  |
| 3.1 Schéma de cadre du 3 <sup>ème</sup> chapitre . . . . .   | 71  |
| 3.2 Matrice Hoshin Kanri – Alignement Stratégique et Déploiement des Objectifs . .   | 74  |
| 3.3 Mapping d'état actuel du processus BCO . . . . .   | 76  |
| 3.4 Diagramme d'Ishikawa . . . . .   | 77  |
| 3.5 Les actions kata . . . . .   | 78  |
| 3.6 Diagramme de spaghetti : Cleaning et soufflage . . . . .   | 80  |
| 3.7 Format d'une role card . . . . .   | 81  |
| 3.8 Tableau physique de suivi . . . . .  | 81  |
| 3.9 Diagramme de spaghetti : flux des 2 operateurs . . . . .   | 82  |
| 3.10 Solution proposée pour le BPR . . . . .   | 85  |
| 3.11 Etat optimal du processus . . . . .   | 87  |
| 3.12 Évolution du temps de bco . . . . .   | 88  |
| 3.13 L'entrée de nombre d'opérateurs . . . . .   | 91  |
| 3.14 Ordonnancement des tâches de bco . . . . .  | 91  |
| 3.15 Évolution du Makespan au fil des générations . . . . .  | 92  |
| 3.16 Identification du besoin – Diagramme de la Bête à corne . . . . .   | 93  |
| 3.17 L'interface de la solution . . . . .  | 96  |
| 4.1 Le modèle en cascade montrant les noms des regroupements d'activités (document interne à Novo Nordisk) . . . . .   | 106 |
| 4.2 Le modèle en cascade montrant les facteurs influençant les quatre indicateurs de performance (KPI) d'efficacité standardisés et imbriqués utilisés dans PS (document interne à Novo Nordisk) . . . . .   | 106 |
| 4.3 Le modèle en cascade montrant les facteurs influençant les six indicateurs de performance (KPI) d'efficacité standardisés et multiplicatifs utilisés dans PS (document interne à Novo Nordisk) . . . . . | 107 |
| 4.4 BCO dashboard . . . . .  | 109 |
| 4.5 Les phases du SMED - Exemple : changement d'outillage . . . . .  | 110 |
| 4.6 Diagramme Yamazumi . . . . .   | 111 |
| 4.7 CP . . . . .   | 111 |
| 4.8 CPK . . . . .  | 112 |

---

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.9  | Croisement en 1-point de deux chromosomes . . . . .  | 112 |
| 4.10 | Croisement en 2-points de deux chromosomes . . . . . | 113 |
| 4.11 | Mutation : opérateur d'insertion . . . . .           | 113 |
| 4.12 | Process BCO selon A1A7 . . . . .                     | 114 |
| 4.13 | SIPOC . . . . .                                      | 114 |
| 4.14 | Charte du projet (page 1) . . . . .                  | 115 |
| 4.15 | Charte du projet (page 2) . . . . .                  | 116 |
| 4.16 | BPMN . . . . .                                       | 117 |
| 4.17 | Role 01 . . . . .                                    | 119 |
| 4.18 | Role 02 . . . . .                                    | 120 |
| 4.19 | Role 03 . . . . .                                    | 121 |
| 4.20 | Standard R01 . . . . .                               | 123 |
| 4.21 | Standard R02 . . . . .                               | 123 |
| 4.22 | Standard R03 . . . . .                               | 123 |
| 4.23 | Data input . . . . .                                 | 125 |
| 4.24 | Output . . . . .                                     | 126 |
| 4.25 | MCD . . . . .  | 127 |
| 4.26 | Modèle de Shingo pour la culture Kata . . . . .      | 136 |

# Liste des acronymes

- **AAMEO** : Afrique, Asie, Moyen-Orient et Océanie.
- **API** : Application Programming Interface.
- **A/S** : Aktieselskab (en danois), société par actions.
- **BCO** : Batch Change Over.
- **BPMN** : Business Process Model and Notation.
- **BPR** : Batch Production Record.
- **BtB** : Back to Back.
- **Clean** : Équipe current lean.
- **DMAIC** : Define, Measure, Analyze, Improve, and Control.
- **HMI** : Human Machine Interface.
- **KPI** : Key Performance Indicator.
- **LCL** : Limite de Contrôle Inférieure.
- **LMA** : Local Manufacturing Algeria.
- **LSL** : Limite Inférieure de Spécification.
- **MSP** : Maîtrise Statistique des Processus.
- **MENA** : Middle East and North Africa.
- **NN** : Novo Nordisk.
- **NVA** : Non-Valeur Ajoutée.
- **OEE** : Efficacité Globale de l'Équipement.
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.
- **PDCA** : Plan, Do, Check, Act.
- **PPM** : Printed Packaging Material.
- **QA** : Quality Assurance.
- **QC** : Quality Control.
- **SIPOC** : Supplier, Input, Process, Output, Customer.
- **SMED** : Single Minute Exchange of Die.
- **SOP** : Standard Operating Procedure.
- **TPS** : Toyota Production System.
- **TRS** : Taux de Rendement Synthétique.
- **TPU** : Unité de Palette de Plateau (Tray Pallet Unit).
- **UCL** : Limite de Contrôle Supérieure.
- **USD** : United States Dollar.
- **USL** : Limite Supérieure de Spécification.
- **VOC** : Voice of the Customer.

# Introduction générale

L'industrie pharmaceutique se caractérise aujourd'hui par une croissance soutenue et un rôle stratégique de premier plan, tant sur le plan économique que sanitaire. En Algérie, cette dynamique est alimentée par une convergence entre les priorités économiques nationales et les orientations politiques, traduite par un engagement fort de l'État en faveur du développement et de l'investissement dans ce secteur clé. Cette stratégie ambitieuse a permis au pays de s'affirmer comme l'un des leaders africains de la production de médicaments. En 2024, la production pharmaceutique nationale est estimée à près de 4 milliards de dollars [8], répartie sur environ 300 unités de production, dont 213 usines recensées début 2025. Cette infrastructure assure 75 % des besoins du marché local, avec un objectif d'autosuffisance compris entre 80 et 85 %. Par ailleurs, les exportations devraient atteindre 80 millions de dollars, renforçant le positionnement de l'Algérie sur la scène continentale.

Dans ce contexte favorable, Novo Nordisk Algérie fait face à un défi stratégique : augmenter la capacité de production de ses stylos d'insuline afin de répondre à une demande croissante en traitements contre le diabète, tout en consolidant sa position de leader sur le marché algérien et en développant une capacité de distribution fiable à l'échelle africaine. Pour accompagner cette ambition industrielle, un diagnostic global a été réalisé en collaboration avec l'équipe Clean, dans le but d'identifier les principaux leviers d'optimisation tout au long de la chaîne logistique. L'analyse a porté sur les maillons amont, notamment l'approvisionnement, le sourcing et la gestion des stocks. Bien que le stock de sécurité ait été jugé optimal, des contraintes externes, notamment réglementaires, liées aux décisions gouvernementales, ont été identifiées comme des limites difficilement contournables à ce niveau.

L'attention s'est ensuite portée sur le processus de production, où deux zones critiques ont été mises en évidence. D'abord, un problème de disponibilité machine a été identifié sur la ligne d'assemblage. Un chantier de maintenance a été lancé et, au vu des résultats encourageants, nous avons entrepris d'agir sur la ligne de conditionnement. La problématique du temps de changement de série (Batch Change Over) demeure un frein majeur à la performance. Bien que deux projets d'amélioration aient été menés — l'un basé sur la méthode SMED, l'autre sur l'approche Yamazumi pour la réduction des gaspillages de mouvement — les résultats obtenus sont restés instables, avec un retour fréquent à la situation initiale, compromettant ainsi la pérennité des gains. Cette situation a mis en lumière un manque de standardisation et une faible capacité d'adaptation du système aux variations de personnel et aux aléas quotidiens.

Ces constats ont conduit à la nécessité de repenser en profondeur le processus de changement de série. Dans cette optique, l'approche Kata a été choisie comme cadre méthodologique. Contrairement aux démarches classiques d'amélioration ponctuelle, le Kata repose sur une logique d'apprentissage quotidien, visant à instaurer une culture d'amélioration continue durable et structurée. Cette méthode commence par la définition d'une vision à long terme à atteindre, puis par une analyse précise et factuelle de la situation actuelle. Elle conduit ensuite à la fixation d'un objectif à court terme, appelé état cible, qui représente une étape intermédiaire vers la vision. Enfin, des cycles rapides d'expérimentation sont mis en place selon une logique PDCA

(Plan-Do-Check-Act), afin de tester, apprendre et surmonter les obstacles un à un, cette approche vise à améliorer la productivité du site, à garantir l'atteinte des objectifs stratégiques de Novo Nordisk, et à positionner durablement le site de boufarik comme un acteur clé dans la production et la distribution de stylos d'insuline à l'échelle africaine.

# Chapitre 1

## Etat des lieux

### 1.1 Introduction

Ce premier chapitre est consacré à la présentation du groupe Novo Nordisk A/S, ainsi que de sa filiale Novo Nordisk Algérie, cadre de réalisation du projet étudié. Nous commencerons par situer l'industrie pharmaceutique dans son contexte mondial, avant de nous concentrer sur le marché algérien, où Novo Nordisk occupe une position stratégique. Ensuite, un diagnostic interne sera mené selon une approche top-down, débutant par l'analyse de la supply chain globale, incluant l'approvisionnement, la planification et la gestion de stock, pour aboutir à l'étude du processus de production, en particulier les deux lignes concernées (Assemblage et conditionnement). Cette démarche vise à identifier et agir sur le principal goulot d'étranglement, tout en justifiant le choix méthodologique de l'approche Kata, retenue pour conduire une amélioration continue durable et ciblée.

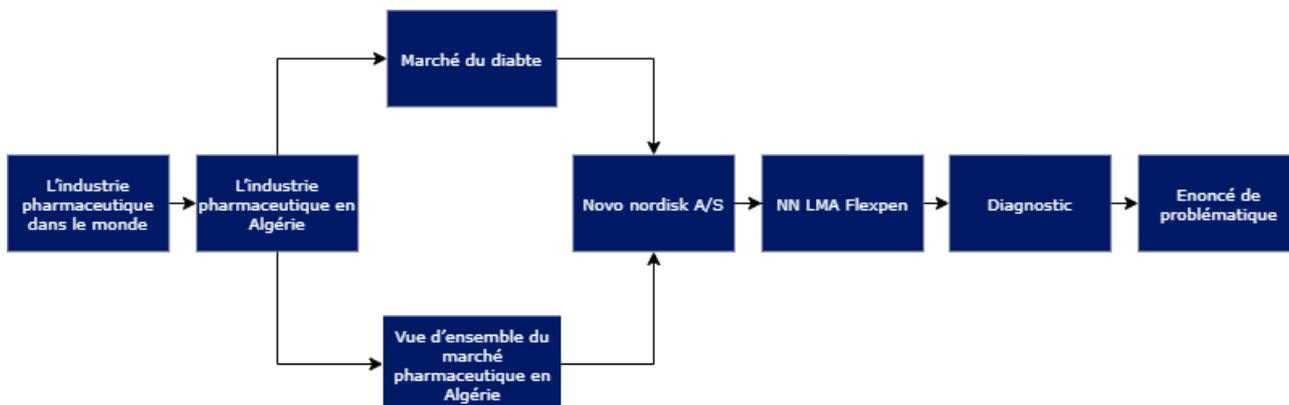


FIGURE 1.1 – Schéma de cadre du 1<sup>er</sup> chapitre

### 1.2 L'industrie pharmaceutique

Avant la fin du XIX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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

marque un rebond en 2023, en atteignant 1 607 milliards de dollars de chiffre d'affaires (+8,2 % par rapport à 2022). Selon les estimations d'IQVIA, le marché mondial du médicament devrait dépasser 2 200 milliards de dollars d'ici 2028, propulsé principalement par les médicaments déjà existants des dix plus gros marchés mondiaux [2].

### 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 1.2 – Prévisions des dépenses mondiales en médicaments (hors vaccins COVID), de 2019 à 2028 en milliards de dollars [2]

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 traitements pour les maladies cardiovasculaires [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

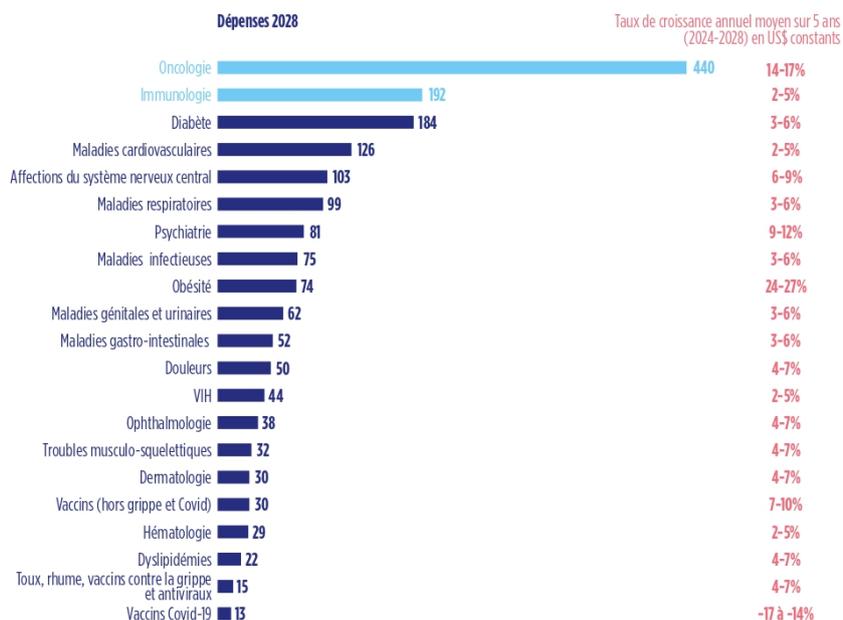


FIGURE 1.3 – Estimation des 20 aires thérapeutiques principales en 2028 [2]

L'arrivée continue d'innovations en oncologie devrait notamment induire une croissance de cette aire thérapeutique de l'ordre de 14 à 17 % d'ici 2028. En immunologie, la croissance devrait être freinée par la pénétration de médicaments biosimilaires sur le marché.

Enfin, le diabète devrait devenir le troisième plus grand domaine thérapeutique au niveau mondial, avec une croissance estimée entre 3 et 6 % au cours des cinq prochaines années, du fait d'une explosion du nombre de patients diabétiques dans le monde. Multiplié par quatre en trente ans selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le nombre de diabétiques devrait ainsi drastiquement augmenter d'ici 2050 pour toucher 1,3 milliard de personnes (contre 529 millions en 2021 selon une étude publiée par The Lancet en juin 2023) [3].

## By 2028, Global pharma business is expected to reach US\$ 2.27 T; Middle East & Africa pharma business collectively to be US\$ 63.3 B

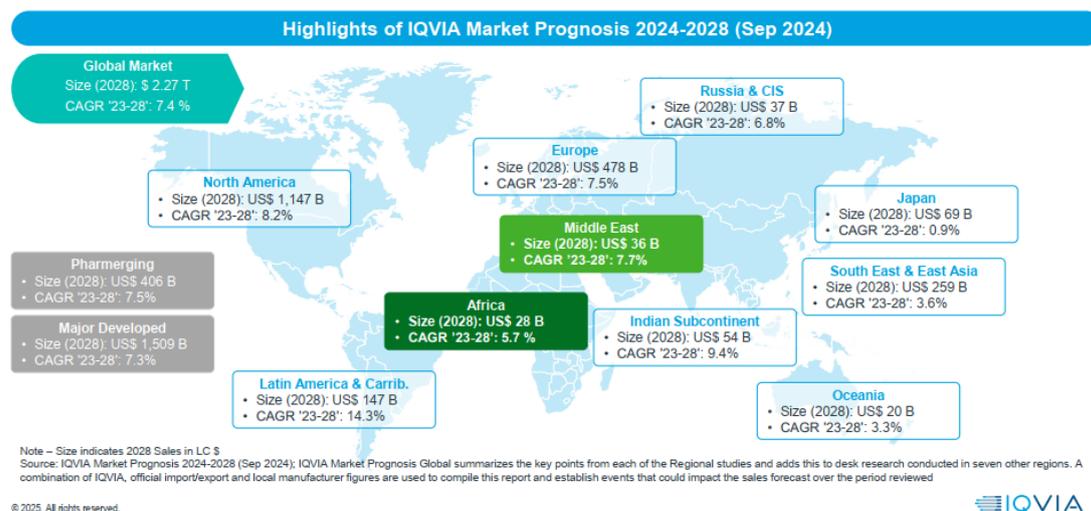


FIGURE 1.4 – Prévisions du marché pharmaceutique mondial à l’horizon 2028 – Répartition régionale et perspectives de croissance (CAGR 2023–2028) [3]

### 1.2.1 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, un chiffre jugé inquiétant par le gouvernement qui souhaite 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 [9].



FIGURE 1.5 – Évolution des importations de l'industrie pharmaceutique algérienne - 2001-2020 [4]

En 2017, l'Algérie importait majoritairement ses produits pharmaceutiques de l'Union européenne (EU27), 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.

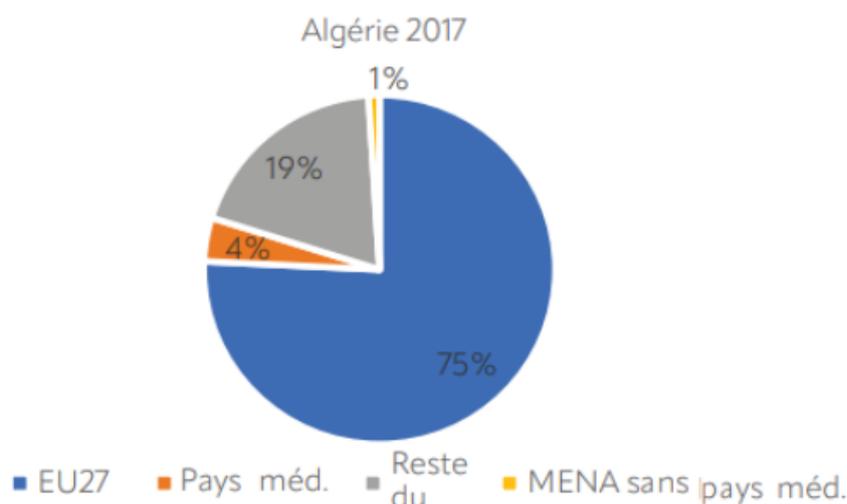


FIGURE 1.6 – Parts des importations de produits pharmaceutiques par origine en 2017 [5]

### L'exportation des produits pharmaceutiques

Pour ce qui des exportations de médicaments, nous constatons une légère contradiction avec les importations : baisse des chiffres en 2011, en 2014 puis de 2015 à 2020, nous constatons une baisse des valeurs de l'importation et une forte augmentation des exportations de médicaments,

ce qui pourrait refléter une plus importante couverture du marché national par la production locale de médicament.

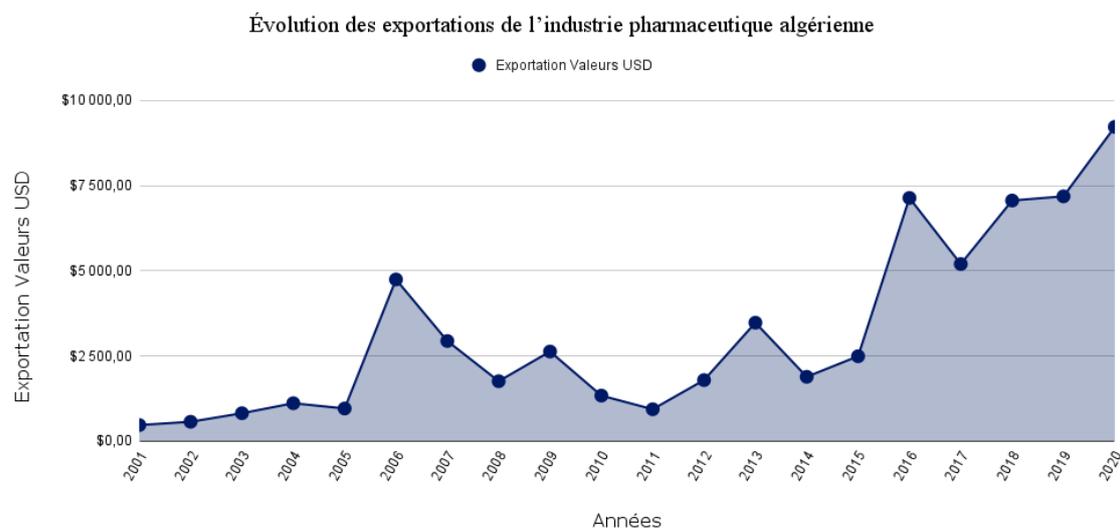


FIGURE 1.7 – Evolution des exportation des produits pharmaceutiques en Algérie (2001-2020) [4]

En 2017, les exportations de médicaments depuis l'Algérie étaient principalement destinées à l'Union européenne (58 %), suivie par le reste du monde (20 %). Les pays de la région MENA hors pays méditerranéens représentaient 17 %, tandis que les pays méditerranéens ne recevaient que 5 % des exportations. Cela montre une forte dépendance vis-à-vis du marché européen, malgré une diversification vers d'autres régions.

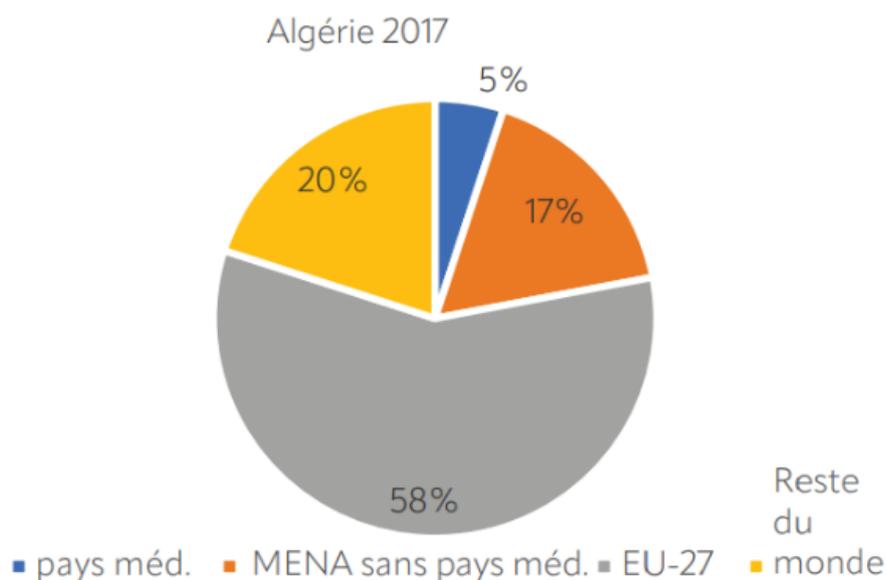


FIGURE 1.8 – Parts des exportations de produits pharmaceutiques par destination en 2017 [5]

## 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 qui visent à favoriser la production locale. En effet, 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. Ainsi, cette dynamique soutient une intégration plus poussée des activités industrielles.

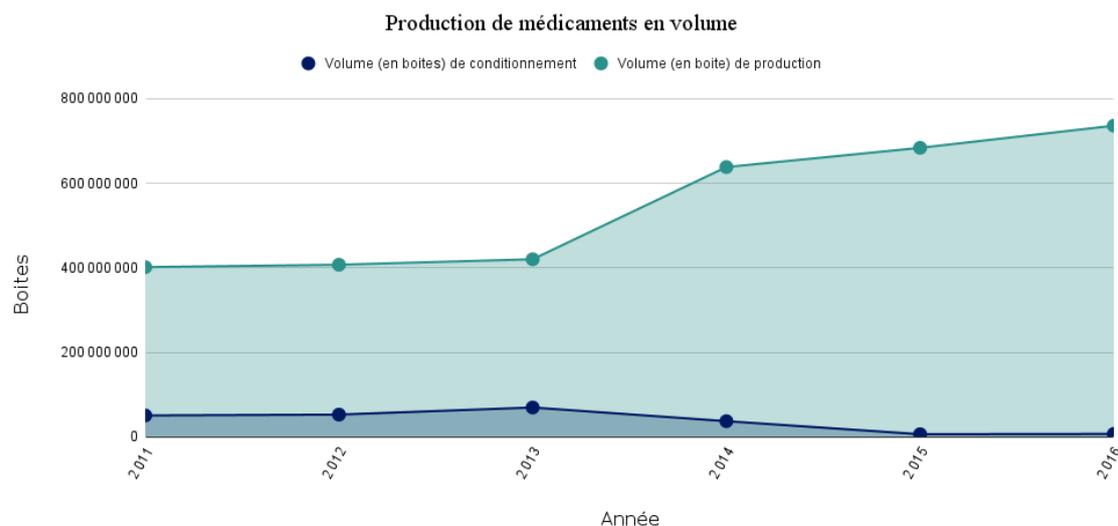


FIGURE 1.9 – Production de médicaments en volume 2010-2016 [4]

### 1.2.2 Le diabète en Algérie

Une enquête réalisée en 2016-2017 par le ministère de la Santé, avec l'OMS, a révélé que plus de 14% des Algériens âgés de 18 ans à 69 ans souffrent de diabète, contre 8% il y a quinze ans. Toujours selon l'IDF, avec 42500 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 [10].

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

|  |            |
|--|------------|
| <b>Total de la population adulte</b>                   | 28,219,300 |
| <b>Prévalence du diabète chez les adultes</b>          | 17.5%      |
| <b>Nombre total de cas de diabète chez les adultes</b> | 4,761,800  |

TABLE 1.1 – Estimation du nombre de cas de diabète en 2021 [1]

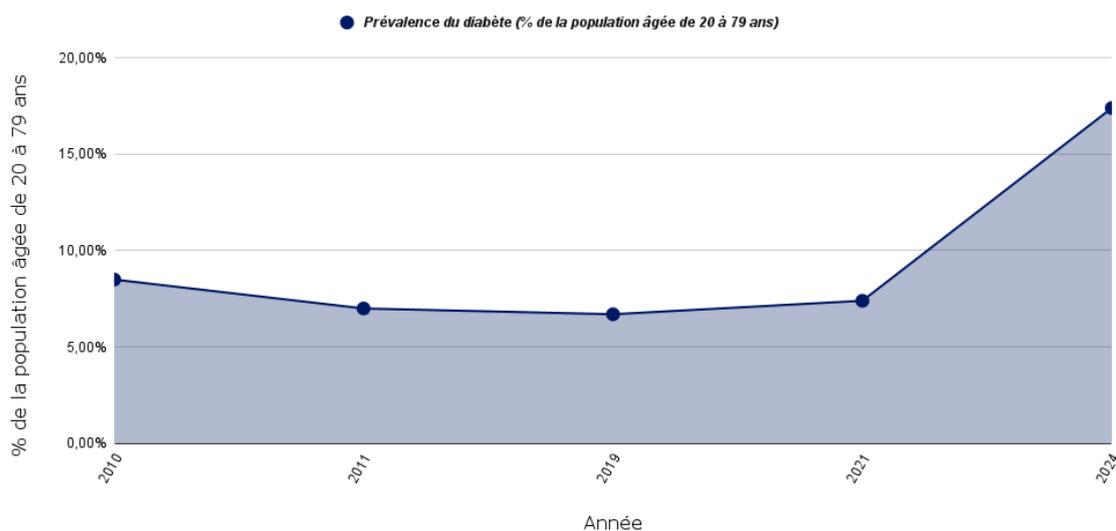


FIGURE 1.10 – Prévalence du diabète (% de la population âgée de 20 à 79 ans) en Algérie 2010-2024 [1]

### 1.3 Présentation de l'entreprise Novo Nordisk

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

Novo Nordisk est le leader mondial du traitement du diabète avec une part de marché de 31,9 %. Elle est également le principal producteur de l'insuline au monde avec une part de marché de 44,6%.

Elle opère dans 170 pays à travers le monde, à savoir 16 sites de production répartis dans neuf pays (Algérie, Brésil, Chine, Danemark, France, Japon, Russie, Royaume-Uni et États-Unis) et plusieurs sites de distribution dans 80 pays et emploie environ 55 200 personnes. Ils desservent un nombre record de près de 40 millions de patients à l'échelle mondiale.[11] . Ci-dessous se trouve une fiche résumant les informations clés de l'entreprise :

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Logo</b>               |  |
| <b>Nom</b>                | Novo Nordisk   |
| <b>Date de création</b>   | 1923   |
| <b>Fondateurs</b>         | Hans Christian Hagedorn, August Krogh, Marie Krogh et August Kongsted              |
| <b>Forme juridique</b>    | SPA  |
| <b>Siège social</b>       | Bagsværd, Danemark   |
| <b>Secteur d'activité</b> | Pharmaceutique   |

TABLE 1.2 – Fiche des informations clés de l'entreprise Novo Nordisk A/S

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, des maladies cardiovasculaires (MCV), sans alcool stéatohépatite (NASH), la néphropathie chronique (MRC) et la maladie d'Alzheimer (MA).

L'activité de Novo Nordisk est répartie sur deux divisions principales : International Operations (IO) et Product Supply (PS), permettant de gérer ses opérations commerciales dans le monde entier tout en garantissant un approvisionnement en produits de qualité à tous ses clients et partenaires commerciaux.

### 1.3.1 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, une date à laquelle la première insuline a été expédiée au pays. Après l'ouverture économique du pays, la société a établi un bureau de représentation en 1992, suivi d'une entité légale nommée ALDAPH (Algérie Danemark Pharmaceutiques) en 1994, impliquée dans l'importation et la commercialisation des médicaments. Le siège social de la filiale IO de NN se

situé à HYDRA. Elle possède un entrepôt central dans la région d'Alger à SAHEL, ainsi que deux entrepôts régionaux à Oran et Constantine. La filiale distribue les produits NN à partir de ses 3 entrepôts à 5 catégories de clients :

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

### 1.3.2 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 1.11 – Responsabilités de product supply (document interne à Novo Nordisk)

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



FIGURE 1.12 – Le réseau mondial de la division Product Supply (Document interne à Novo Nordisk)

**Product Supply Active Pharmaceutical Ingredients (PS API)** : Elle est chargée de produire et de fournir les principes actifs. Ses principaux processus sont la fermentation, la récupération et la purification des ingrédients.

**Product Supply Injectable Finished Products (PS IFP)** : Ce département comprend 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, ainsi que l'assemblage et le conditionnement de stylos d'insuline. Le département IFP est à la fois fournisseur de matière première (cartouches) pour les sites dédiés à la production locale (Local Manufacturing Sites - LM sites), et producteur de produits finis (FlexPen) destinés à l'exportation.

**Product Supply Biotech & Rare Disease (PS BRD)** : Cette entité se concentre sur la production de traitements pour les maladies rares, en gérant l'ensemble de la chaîne de valeur. Elle est présente au Danemark et aux États-Unis.

**Product Supply Emerging Technologies (PS ET)** : Cette entité assure la production de comprimés, leur conditionnement, ainsi que leur distribution. Les différentes zones de production collaborent étroitement pour garantir que les produits pharmaceutiques soient fabriqués, distribués et livrés aux patients dans le monde entier.

**Product Supply Contract Manufacturing & Sourcing, Devices & Sustainability (PS CSDS)** : Cette entité est impliquée dans la fabrication locale de produits finis liés au diabète et à l'obésité. Elle se charge de l'approvisionnement en matières premières et en composants auprès des sites de production stratégiques des départements mentionnés précédemment. Elle comporte à son tour plusieurs 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. Elle couvre divers processus, y compris le moulage, l'assemblage, le conditionnement, l'essai des dispositifs et le transport.
- Device Manufacturing & Sourcing (DMS) : gère la chaîne d'approvisionnement mondiale de composants de haute qualité pour la production d'appareils de Novo Nordisk.
- Global Contract Manufacturing (GCM) : GCM est responsable de la fabrication sous contrat, y compris la surveillance, le contrôle et le développement de la production gérée par les OCM à l'échelle mondiale.
- Local Manufacturing (LM) : responsable de produire les produits de Novo Nordisk pour les marchés locaux. Elle possède deux sites de production en Algérie : *Local Manufacturing Tizi Ouzou*, qui produit un générique du Glucofage, et *Local Manufacturing Blida*, dont la Supply Chain fait l'objet du présent projet. Elle possède également d'autres sites à travers le monde.

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



FIGURE 1.13 – les sites de fabrication locaux de NN à travers le monde : Local manufacturing footprint (Document interne à Novo Nordisk)

- **Needle Manufacturing & Sourcing (NMS)** : assume la responsabilité globale de la chaîne d'approvisionnement mondiale pour les aiguilles de stylo Novo Nordisk, y compris la production interne et externe, l'assurance de la qualité et le développement de la fabrication.
- **Environmental and Social Sustainability (ESS)** : est responsable de stimuler les efforts en matière de durabilité sociale et environnementale à l'échelle de Product Supply Quality & IT.
- **Sourcing Operations (SoOp)** : gère la chaîne d'approvisionnement mondiale de PPM pour la production et les essais cliniques.
- **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.

## 1.4 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. NN 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 illustré dans la table suivante :

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

TABLE 1.3 – Les produits assemblés au niveau du site Flexpen Novo Nordisk

Le site de production est composé principalement d'une unité d'assemblage, de conditionnement, de contrôle qualité, d'assurance qualité, de stockage et de la direction technique. Nous illustrons dans la figure suivante la nomenclature des produits, et les fournisseurs des différents composants.

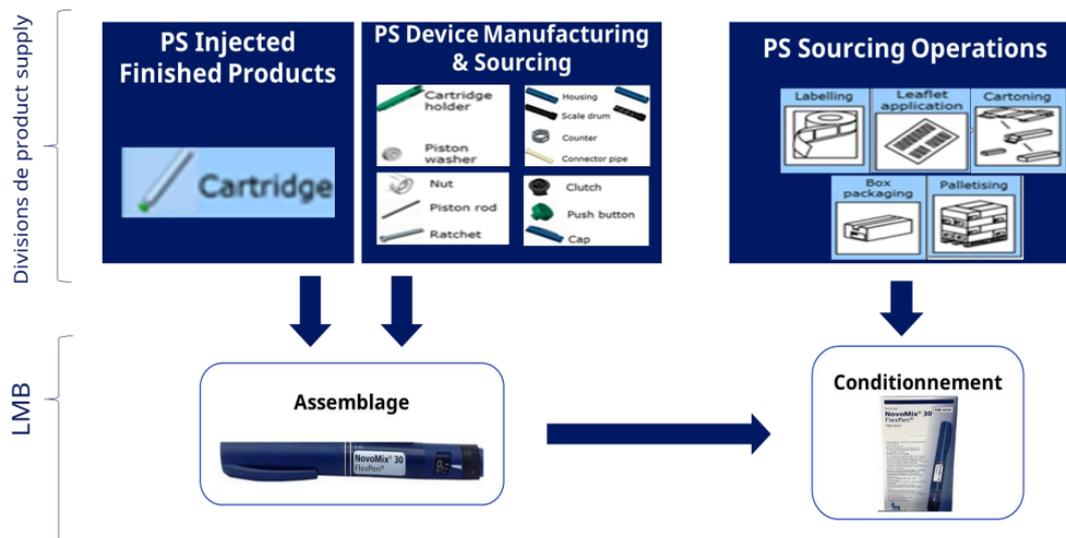


FIGURE 1.14 – Nomenclature des matières premières de LMA flexpen et leurs fabricants

les composants du Flexpen sont illustrés dans la figure suivante :

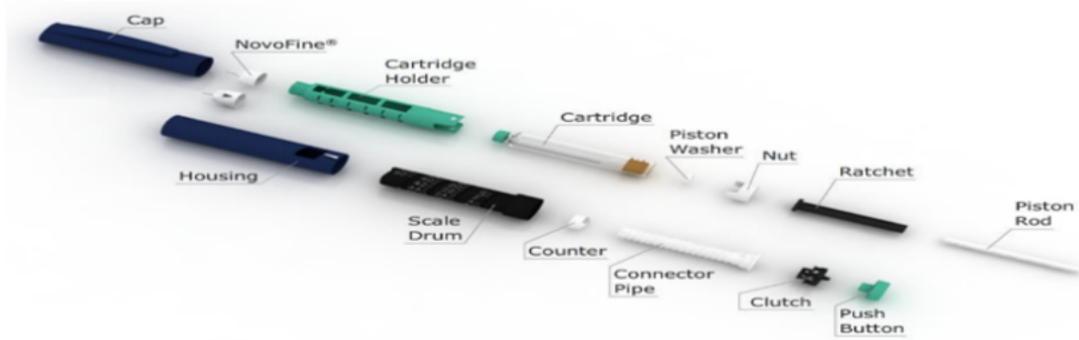


FIGURE 1.15 – les composants du Flexpen

- Cap
- NovoFine
- Cartridge
- Housing
- Scale Drum
- Piston washer
- Counter
- Nut
- Connector Pipe
- Clutch
- Ratchet
- Piston Rod
- Push Button

### 1.4.1 Organisation interne Local Manufacturing Algeria

#### Organigramme :

L'organisation du Local Manufacturing Algeria est répartie selon l'organigramme présenté dans la figure 1.15, qui regroupe les deux sites Flexpen, Tablet ainsi que leurs différentes activités

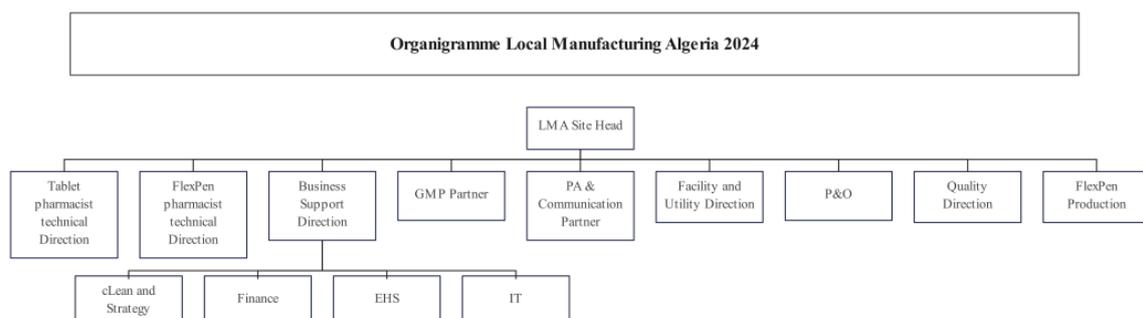


FIGURE 1.16 – L'organigramme de Local Manufacturing Algerian

## La Supply Chain chez LMA flexpen

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

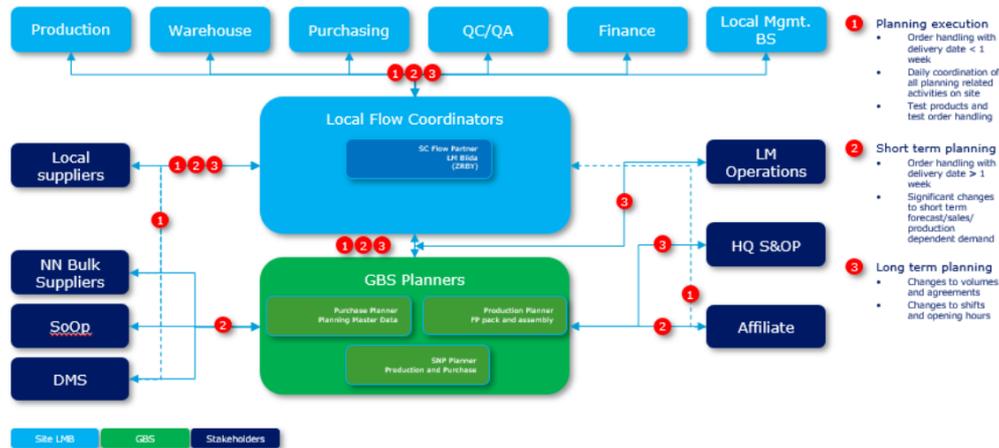


FIGURE 1.17 – Supply Chain Network de LMA flexpen (Document interne à l'entreprise)

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

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

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

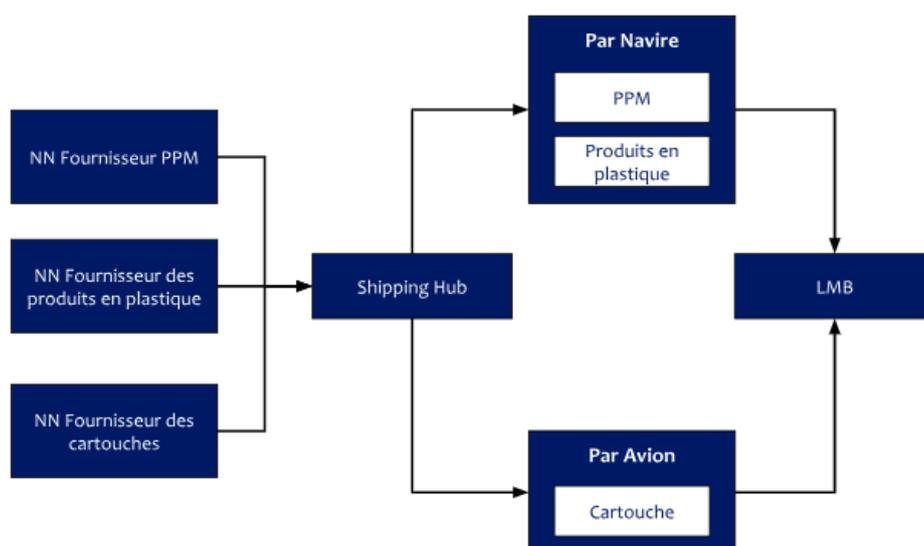


FIGURE 1.18 – Flux Logistique des Fournisseurs NN vers le Site LMA flexpen

## Flexpen production :

### 1. Assemblage :

L'unité d'assemblage représente l'espace où est installée la ligne d'assemblage du Flexpen® et du Pen Injector, appelée NOR 12. 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 1.19 – Les étapes clés du processus d'assemblage au niveau du site Flexpen

Le processus d'assemblage est initié par un ordre de production émis sur SAP. Un dossier de lot est constitué juste après l'émission de cet ordre de production. En parallèle, un changement de lot est effectué. Il consiste à faire des activités qui permettent le passage d'un lot de produit à un autre selon une approche d'assurance qualité basée sur les BPF qui garantit la sécurité du patient. Ensuite, l'assemblage s'effectue sur la ligne NOR 12 de capacité théorique de 180 stylos par minute. En même temps, la ligne prélève des échantillons dont la taille dépend de la taille du lot, puis les place dans une zone dédiée spécifique. Ces échantillons sont envoyés juste après l'assemblage de la dernière unité au laboratoire de contrôle qualité. Toutes les étapes introduites sont documentées sur le dossier de lot, tout comme la consommation des matières premières, ainsi que les informations relatives à la chaîne de froid et sa corrélation avec son temps de conservation. 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. La figure suivante montre les différentes cellules de la ligne d'assemblage NOR12 :

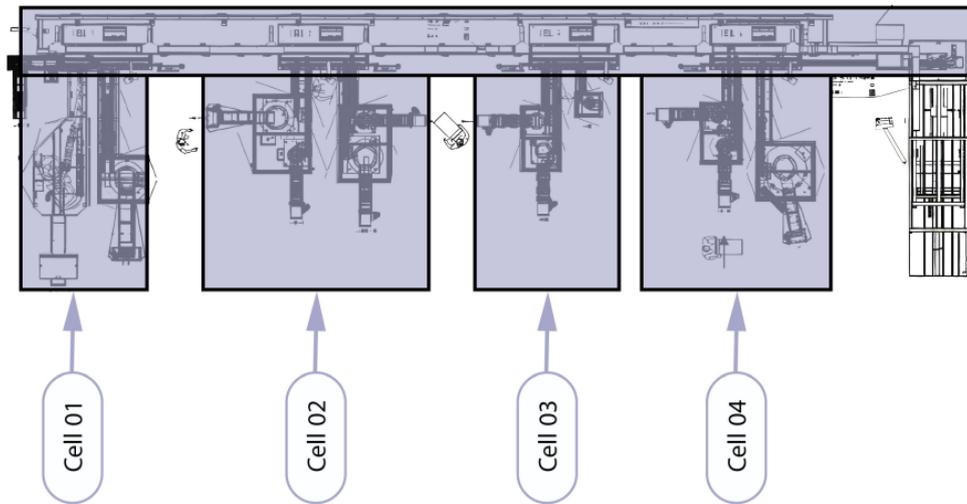


FIGURE 1.20 – Les différentes cellules de la ligne d'assemblage NOR12

L'unité d'assemblage suit une disposition définie grâce à la réglementation d'une part et des chantier menés par le département cLean comme le montre la figure :

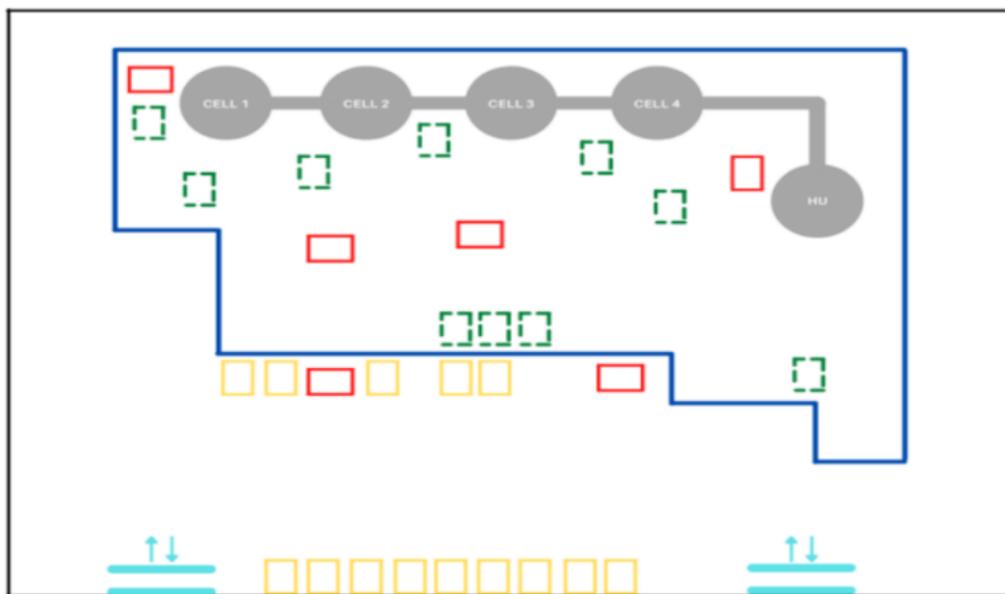


FIGURE 1.21 – Disposition des zones cLean et BPF au niveau de la ligne d'assemblage des Flexpen® et Pen Injector

Cette disposition est le résultat d'un chantier 5S inauguré par le département cLean au niveau de la ligne d'assemblage. Elle permet d'identifier la zone de production avec la ligne bleue comme l'exigent les BPF, la zone pour le stockage de la matière première hors production avec les rectangles en jaune, la zone des déchets en rouge, les autres zones en pointillé bleu, blanc et vert représentent les zones pour stocker les équipements de la ligne, pour la remise du matériel non consommé et pour le stockage du matériel dans la zone de production, le tableau suivant synthétise cette disposition :

| Zone            | Correspondance                            | Remarque         |
|-----------------|---|------------------|
| Zone bleue      | La ligne relative à la 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  |

TABLE 1.4 – Description des zones de production et leur correspondance

## 2. Conditionnement :

Le conditionnement représente l'ensemble des opérations utilisées pour conditionner le produit en vrac, comme les stylos, précédemment fabriqué dans le but de les 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. C'est cette partie de la production qui est au cœur de notre projet.



FIGURE 1.22 – Les étapes clés du processus de conditionnement au niveau du site Flexpen

L'unité de conditionnement est l'espace dédié où la ligne de conditionnement est installée. Dans notre cas, cette unité est destinée à l'emballage de deux types de produits : le Flexpen® et le Pen Injector. Cette unité est soigneusement délimitée par des zones spécifiques dédiées aux matériaux d'emballage, qui sont distincts en fonction de leur usage.

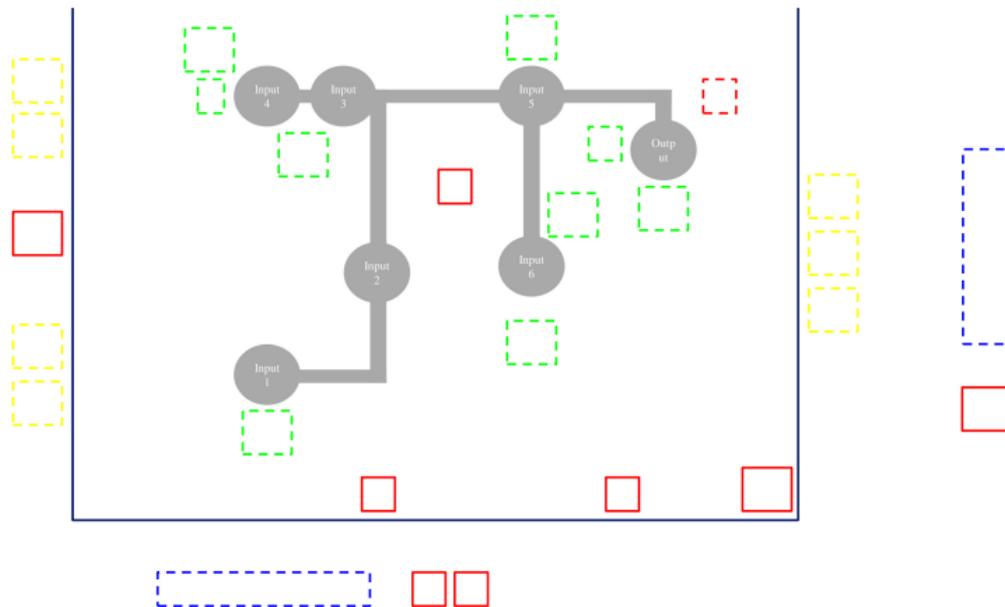


FIGURE 1.23 – Disposition des zones cLean et BPF au niveau des deux lignes de conditionnement des Flexpen® et Pen Injector

Cette figure permet d'identifier clairement les différentes zones conformément aux exigences des BPF. 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. Voici ce tableau qui présente les composantes qui vont être implémenter à chaque input à chaque input :

| Input          | Photo de Matière   |
|----------------|--|
| Pens           |    |
| Leaflet        |    |
| Label          |   |
| Boite          |  |
| Price Stickers |  |
| Shipper box    |  |

TABLE 1.5 – Les inputs de la ligne de conditionnement

Au cœur de cette unité se trouve la machine de conditionnement, un équipement sophistiqué et central à notre processus.

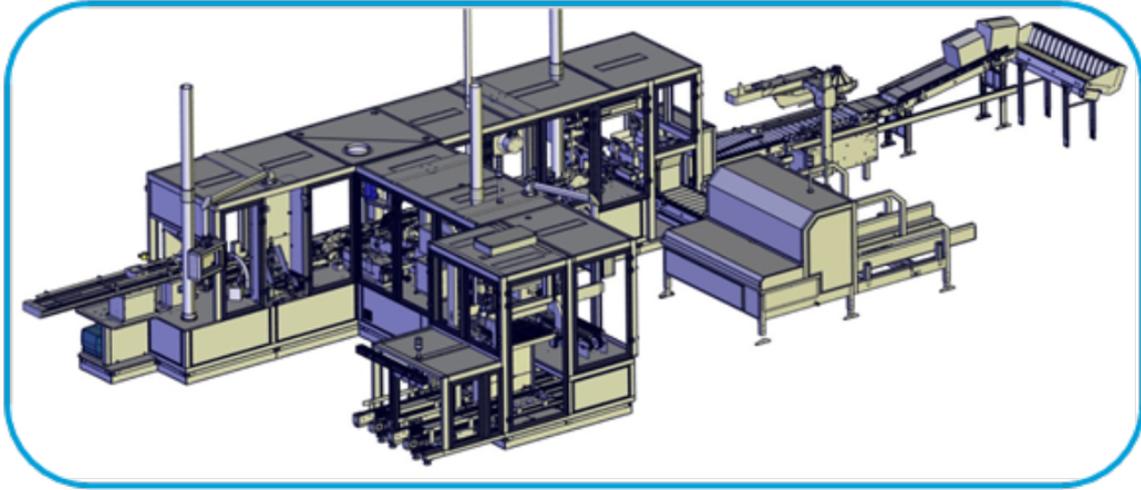


FIGURE 1.24 – la machine du conditionnement au niveau du site Flexpen

Cette machine est stratégiquement placée au milieu de la ligne et elle est divisée en plusieurs modules d'équipements, chacun ayant des fonctions spécifiques dans le processus d'emballage. Ces modules travaillent en synergie pour garantir que chaque étape de l'emballage est réalisée avec précision et efficacité.

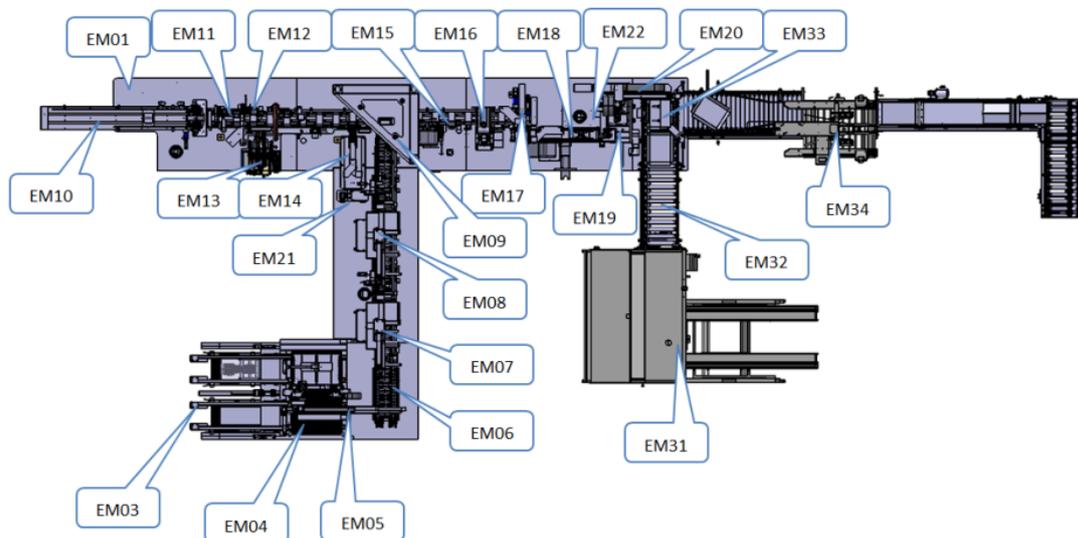


FIGURE 1.25 – Les stations de la machine du conditionnement au niveau du site Flexpen

La nomination de chaque module est donnée par la figure suivante :

| EM... | Module name           | EM... | Module name       |
|-------|-----------------------|-------|-------------------|
| EM01  | Base frame            | EM14  | Insertion         |
| EM02  | Top frame             | EM15  | Carton closer 2   |
| EM03  | TPU handling          | EM16  | Carton print      |
| EM04  | Tray handling for pen | EM17  | Transfer & weight |
| EM05  | P&P Pen module        | EM18  | Outlet conveyor   |
| EM06  | Pen conveyor          | EM19  | Carton formation  |
| EM07  | Pen labeller 1        | EM20  | PPU to shipper    |
| EM08  | Pen labeller 2        | EM21  | Check for button  |
| EM09  | PPU pen to insertion  | EM22  | Sticker module    |
| EM10  | Carton erector        | EM31  | Case erector      |
| EM11  | Carton conveyor       | EM32  | Case conveyor     |
| EM12  | Carton closer 1       | EM33  | Case fixation     |
| EM13  | Leaflet handling      | EM34  | Case sealing      |

FIGURE 1.26 – Liste des modules de la machine du conditionnement au niveau du site Flexpen

## 1.5 Diagnostic stratégique

Afin de mener à bien cette étape, nous avons structuré notre diagnostic selon la méthode SWOT, en deux volets. Tout d’abord, une analyse interne a été réalisée afin d’identifier les forces et les faiblesses de Novo Nordisk Algérie. Ensuite, une analyse externe a été effectuée pour évaluer les opportunités à saisir ainsi que les menaces à anticiper auxquelles l’entreprise pourrait être confrontée.

### 1.5.1 SWOT

#### Diagnostic interne

- Forces (Strengths)
  - o Leader mondial : Novo Nordisk bénéficie d’une forte notoriété et d’une grande expertise dans son domaine.
  - o Durabilité – Circular for Zero : LMA s’inscrit dans une démarche environnementale sérieuse, en lien avec les objectifs du groupe.
  - o Proximité géographique avec des marchés stratégiques : L’Algérie est bien placée pour desservir les marchés africains et européens.
  - o Centralisation de flux d’information dans le groupe : L’accès aux outils du groupe (par ex : Visibilité de LMA sur LM chartres) permet une meilleure visibilité et coordination.
- Faiblesses (Weaknesses)
  - o Dépendance aux importations et à la logistique internationale : Notamment pour les matières premières critiques (ex : aseptique).
  - o Contraintes marché et gouvernance : Les procédures réglementaires peuvent ralentir les décisions.
  - o Volatilité considérable de la supply chain : Les délais de livraison et la disponibilité des composants sont parfois imprévisibles.

## Diagnostic externe

- Opportunités (Opportunities)
  - o Croissance du nombre de diabétiques en Algérie : Ce qui ouvre des perspectives d'élargissement du marché.
  - o Possibilité de devenir un hub régional nord-africain et politique locale orientée exportation : Le contexte encourage le développement à l'international depuis l'Algérie.
- Menaces (Threats)
  - o Réglementation pharmaceutique complexe en Algérie : Ce qui freine parfois les projets ou les importations.
  - o Risque géopolitique et instabilité des devises : Cela peut impacter les coûts et la planification.
  - o Concurrence locale croissante : De nouveaux acteurs entrent sur le marché, ce qui augmente la compétition.

## Matrice SWOT

Afin de synthétiser l'analyse présentée ci-dessus, nous l'avons résumé dans la matrice SWOT comme suit :

| DIAGNOSTIC INTERNE   |   |
|--|---|
| Forces (Strengths)   | Faiblesses (Weaknesses)   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leader mondial : Solide notoriété et maturité et expertise</li> <li>• Durabilité : Circular for zero</li> <li>• Proximité géographique avec des marchés stratégiques ( d'Afrique et europe )</li> <li>• Centralisation de flux d'information dans le groupe ( Par ex : Visibilité de LMA sur LM chartres )</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépendance aux importations et à la logistique internationale (Aseptique : MP)</li> <li>• Contraintes marché et gouvernance</li> <li>• Volatilité considérable de la supply chain</li> </ul> |
| DIAGNOSTIC EXTERNE   |   |
| Opportunités (Opportunities)   | Menaces (Threats)   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance du nombre de diabétiques en Algérie (l'expansion du marché)</li> <li>• Possibilité de devenir un hub régional nord-africain et politique local orienté exportation</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réglementation pharmaceutique complexe en Algérie</li> <li>• Risque géopolitique et instabilité des devises</li> <li>• Concurrence locale croissante</li> </ul>                              |

Le diagnostic met en évidence la nécessité pour le site Flexpen Boufarik de renforcer sa productivité afin de tirer pleinement parti des opportunités du marché. Une amélioration significative de la performance permettrait également de surpasser certaines menaces externes, telles que les réglementations gouvernementales contraignantes.

## 1.6 Diagnostic fonctionnelle

### 1.6.1 Analyse de la demande

L'analyse de la demande du marché est essentielle pour anticiper les besoins des consommateurs et adapter la stratégie de production en conséquence. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution de la demande en stylos sur la période 2023-2025

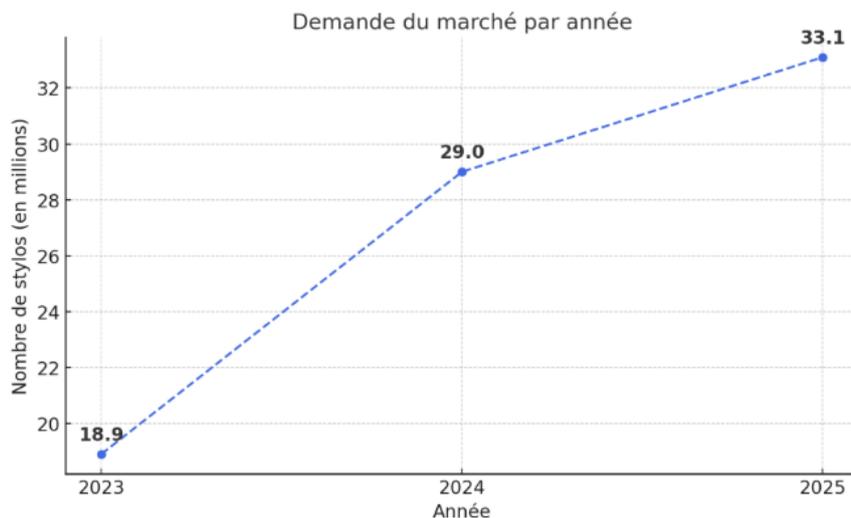


FIGURE 1.27 – Évolution de la demande en stylos entre 2023 et 2025 (information interne de Novo Nordisk)

On observe une croissance significative de la demande, passant de 18,9 millions de stylos en 2023 à 29 millions en 2024, puis atteignant 33,1 millions en 2025. Cette tendance indique une augmentation constante de la consommation, ce qui reflète une meilleure pénétration du marché par l'entreprise. Dans ce contexte, il devient impératif pour l'entreprise d'optimiser sa gestion de la productivité afin de répondre efficacement à cette demande croissante, tout en maintenant la qualité et la compétitivité.

### 1.6.2 La Supply chain

#### Approvisionnement

La supply chain de Novo Nordisk est intégrée verticalement ; les fournisseurs de LMA sont des sites du groupe spécialisés :

- **Les cartouches** : elles sont fournies par le département *Product Supply Injectable Finished Products (PS IFP)*, précisément par son site de production à Chartres (en France) pour les cartouches Flexpen®, et de Bagsværd pour les cartouches du GLP-1. La durée de ce processus est de 130 jours, mais elle peut varier selon la demande provenant des autres sites de production ou de distribution dans différents pays, qui sont parfois plus prioritaires que LMA flexpen.
- **Les composants en plastique** : ils sont fournis par DMS, qui gère les relations avec les partenaires producteurs basés au Danemark. Ce fournisseur adopte une approche de production sur stock (*Make To Stock*) et le lead time de ce processus est de 38 jours.

- **Les articles de conditionnement (PPM)** : Ils sont fournis par SoOp, et sont produits par des sous-traitants de Novo Nordisk basés au Danemark. Ces articles sont personnalisés pour chaque site de production, ce qui leur nécessite une approche de production sur commande (*Make To Order*). En conséquence, le lead time de ce processus est un peu plus long, soit 67 jours.

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

| Composants                            | Lead Time |
|---------------------------------------|-----------|
| Les cartouches                        | 130 jours |
| Les composants en plastique           | 38 jours  |
| Les articles de conditionnement (PPM) | 67 jours  |

TABLE 1.6 – Lead time des composants livrés à LMA flexpen

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

La durée de chaque processus dépend de plusieurs paramètres, notamment la disponibilité des matières premières. 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.

## Stock

Afin de sécuriser leur chaîne d'approvisionnement, LMA flexpen adopte une stratégie de constitution de stock de sécurité équivalent à deux mois de consommation. Cette approche permet de réduire considérablement les risques liés aux aléas d'approvisionnement, aux fluctuations de la demande et aux éventuels retards logistiques. Grâce à cette politique de stock de sécurité, LMA flexpen assure la continuité de sa production et améliore sa capacité à répondre efficacement aux besoins du marché, tout en limitant les interruptions potentielles d'activité.

## Planification

Pour cette partie, nous avons analysé les quantités planifiées (prévisionnelles) et les quantités réellement produites mois par mois durant l'année 2024. Le graphique ci-dessous met en évidence les écarts entre la planification et la réalité de la production.

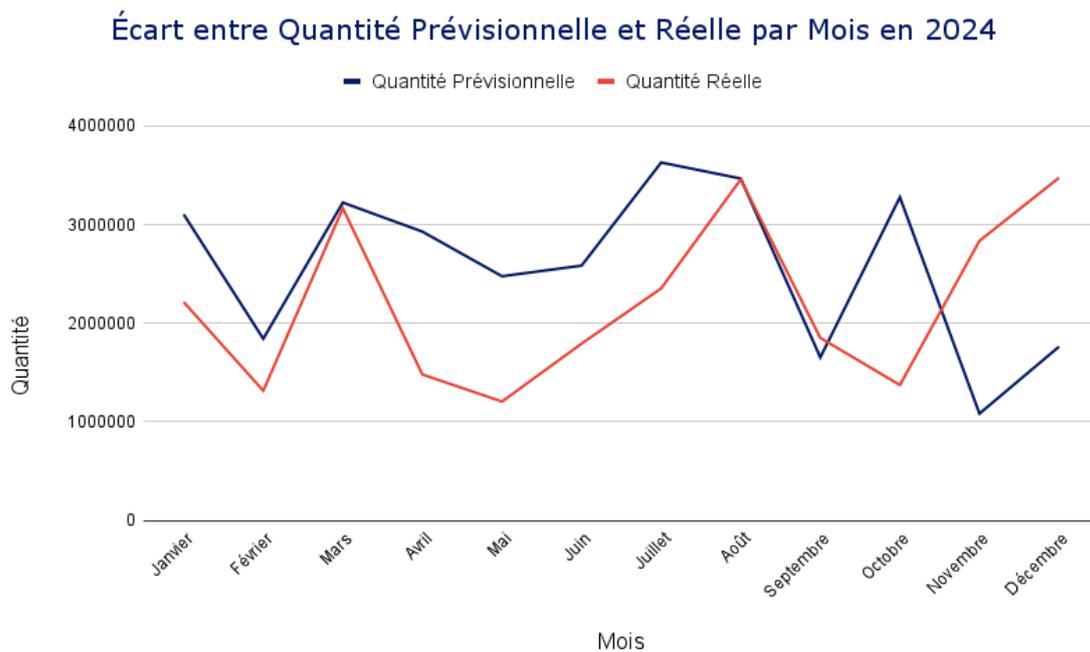


FIGURE 1.28 – Écart entre Quantité Prévisionnelle et Réelle par Mois en 2024

On remarque que la production réelle est généralement inférieure à la prévision, sauf en septembre, novembre et décembre où elle la dépasse. L'écart entre les deux valeurs varie selon les mois, traduisant une certaine fluctuation entre la planification et l'exécution. Afin de mieux comprendre l'origine de ces écarts, nous avons poursuivi l'analyse en nous concentrant sur le processus de production.

### 1.6.3 Production

#### Mesure de performance

L'indicateur OEE (Overall Equipment Efficiency) trouve ses racines dans la stratégie TPM (Maintenance Productive Totale), développée par Nakajima en 1988. Cette méthode a pour objectif d'atteindre un fonctionnement sans défaillance ni défaut au niveau des équipements de production. En intervenant sur ces facteurs, l'entreprise peut accroître son rythme opérationnel, réduire ses coûts et ses stocks, tout en consolidant la productivité globale de ses équipes. L'efficacité des machines, particulièrement dans des environnements hautement automatisés, est donc essentielle.

#### Indicateurs clés de performance (KPI)

Les indicateurs OEE (Overall Equipment Effectiveness) sont simplement des expressions de l'efficacité d'une ligne de production. Ils indiquent combien de valeur est créée sur la ligne par rapport à son potentiel maximal, lorsqu'un certain niveau de ressources est utilisé.



FIGURE 1.29 – La mesure de l’efficacité (document interne à Novo Nordisk)

L’efficacité et la productivité sont deux indicateurs clés de performance (KPI) différents :

- La productivité mesure la production par employé.
- L’efficacité mesure dans quelle mesure l’équipement fonctionne réellement par rapport à son rendement théorique maximal.

### Waterfall model en Novo nordisk

Le modèle waterfall permet de visualiser toutes les pertes d’efficacité des équipements sur une période donnée. Toutes les activités qui réduisent le temps de production à valeur ajoutée (c’est-à-dire les pertes) peuvent être catégorisées dans ce modèle. Ces activités sont regroupées en fonction de leur nature globale. (Voir figure 4.1 en Annexe)

Novo Nordisk utilise deux ensembles d’indicateurs clés de performance (KPI) standardisés pour définir l’efficacité : Un ensemble correspond aux KPI OEE imbriqués (nested OEE KPIs), et l’autre aux KPI OEE multiplicatifs (multiplicative OEE KPIs). Il existe quatre KPI OEE imbriqués, appelés OEE1, OEE2, OEE3 et TCU. Selon l’objectif des différentes activités chronophages sur la ligne, ces activités sont regroupées en quatre catégories différentes. La différence entre les KPI réside simplement dans les catégories prises en compte lors du calcul de l’efficacité. Pour visualiser ces différences entre les KPI, un modèle waterfall est utilisé. (Voir figure 4.2 en Annexe)

Il existe six KPI OEE multiplicatifs. Chaque KPI OEE multiplicatif mesure uniquement les activités chronophages appartenant à un thème spécifique. (Voir figure 4.3 en Annexe)

Les éléments qui composent le modèle en cascade (waterfall model) ainsi que l’ordre de décomposition sont standardisés et doivent être respectés sur chaque ligne mesurant et analysant l’OEE. Les OEE’s ainsi que les valeurs associées sont calculés comme indiqué dans le Tableau 4.1 en annexe.

## 1.Ligne d’assemblage

Dans le cadre de l’amélioration continue des performances industrielles, un projet de maintenance est actuellement en cours de réalisation, avec pour objectif principal l’augmentation de l’OEE (Overall Equipment Effectiveness). Ce projet vise à réduire au maximum les problèmes techniques et les interruptions de production, afin de garantir une meilleure disponibilité des équipements. L’amélioration de l’OEE contribue directement à l’augmentation de la productivité, un enjeu stratégique majeur pour l’entreprise dans un contexte de demande croissante.

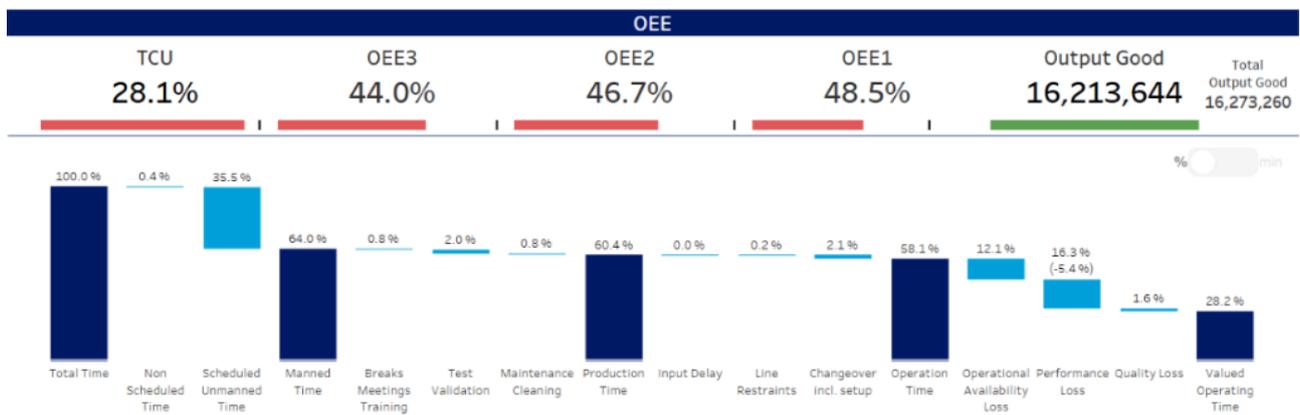


FIGURE 1.30 – Indicateurs de performance OEE – Ligne d'assemblage

Agir sur l'OEE1 (48,5 %) est primordial car il représente la performance réelle du temps d'opération sans les pertes liées à la disponibilité, la performance et la qualité. Une amélioration de cet indicateur permettrait d'augmenter directement le temps de production valorisé (actuellement à seulement 28,2 %) et donc de maximiser la productivité globale.

### Analyse de OEE 1

La figure représente une carte de contrôle des valeurs individuelles de l'OEE (Overall Equipment Effectiveness) pour l'équipement OEE 01, sur la période allant de janvier à août (semaines W03 à W31).

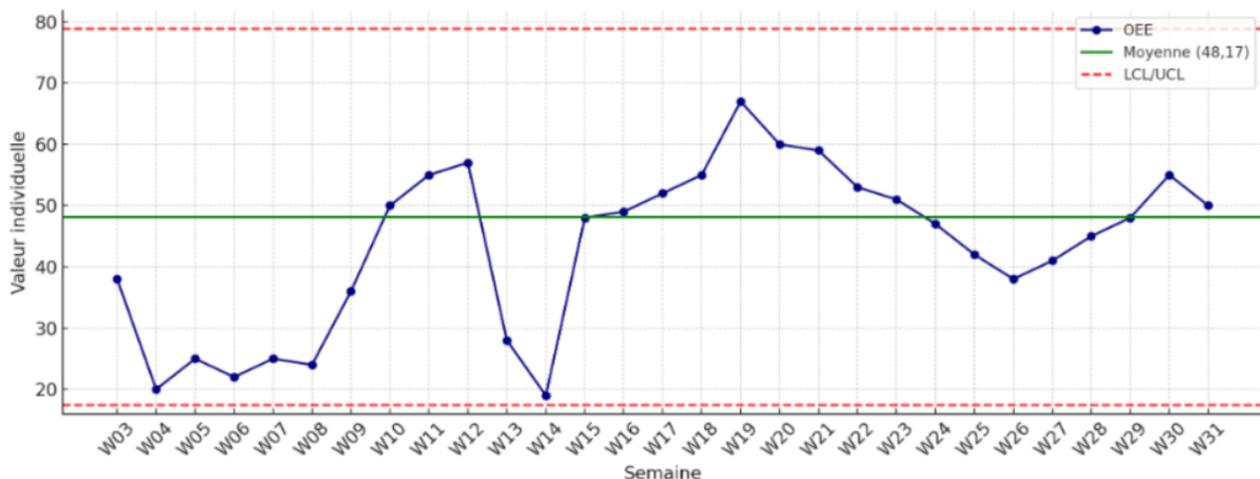


FIGURE 1.31 – Évolution de l'OEE1 – ligne d'assemblage

- L'axe horizontal indique les semaines de l'année, tandis que l'axe vertical correspond aux valeurs individuelles de l'indicateur OEE. Les points bleus reliés par une ligne représentent les valeurs hebdomadaires observées. La ligne verte horizontale correspond à la moyenne du processus, estimée à 48,17 %. Les lignes rouges pointillées représentent les limites de contrôle supérieure (UCL) et inférieure (LCL), définies selon une méthode statistique (MSP).
- Entre les semaines W03 et W31, l'OEE moyen est de 48,17 %, bien en dessous du seuil optimal de 85 %, révélant un fort potentiel d'amélioration. Une chute critique est observée en W14 (proche de la LCL), suggérant un incident à analyser. En revanche, les semaines

W17 à W23 montrent une nette amélioration grâce aux audits fournisseurs et réglages, offrant des pistes de bonnes pratiques à exploiter.

- L'analyse montre un écart croissant entre la demande, en forte hausse (+75 % entre 2023 et 2025), et une performance de production insuffisante (OEE moyen à 48,17 %). Cette instabilité met en danger la capacité à suivre la croissance du marché. Pour y remédier, un plan d'amélioration ciblant **la disponibilité**, la **performance** et **la qualité** est essentiel afin d'augmenter la productivité et sécuriser l'approvisionnement.



FIGURE 1.32 – Pertes de performance : ligne d'assemblage

Entre janvier et août 2024, sur 3018 heures de production disponibles, seulement 1464 heures ont été effectivement valorisées, soit une efficacité globale de 49 %. Les pertes — dues à des arrêts non planifiés (620 h), des inefficacités (844 h) et des non-conformités qualité (82 h) — représentent 51 % du temps. Cette sous-utilisation critique des ressources, dans un contexte de forte demande, menace la capacité de l'entreprise à répondre au marché et nuit à sa compétitivité et sa rentabilité.

## Evolution de projet

Ce projet vise à améliorer le TRS de la ligne NOR 12 en agissant sur l'axe de la disponibilité, principalement via l'optimisation des pratiques de maintenance. L'objectif est de réduire les arrêts non planifiés, fiabiliser les équipements et renforcer l'autonomie des équipes. Ces mesures ont permis une amélioration significative du TRS, confirmée par l'évolution des indicateurs de performance.

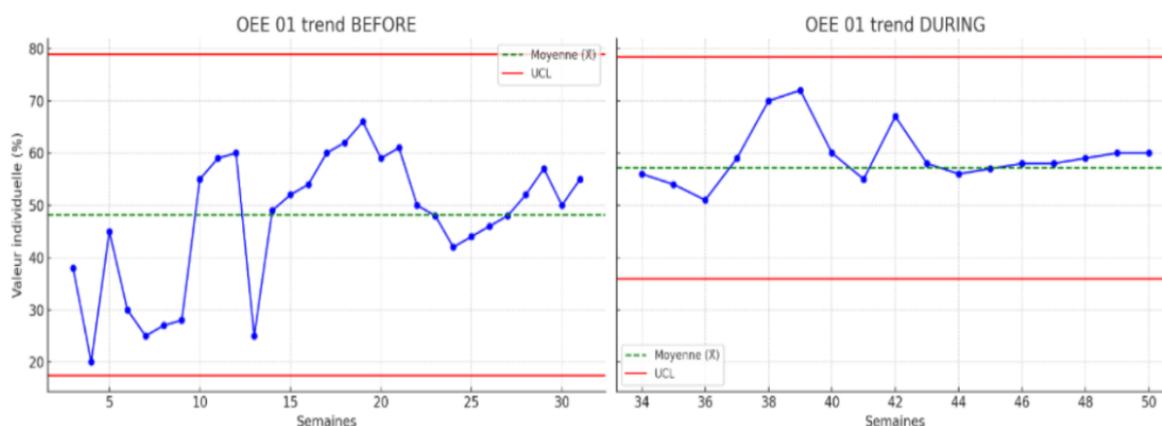


FIGURE 1.33 – Impact du projet sur l'OEE 1 - Ligne d'assemblage

- Avant : L'OEE était très variable, avec une moyenne autour de 48,17 % et des fluctuations importantes en dessous de la limite inférieure de contrôle (LCL = 17,45), témoignant d'un processus instable et peu maîtrisé.
- Pendant : Une nette amélioration est visible, avec une moyenne augmentée à 57,18 % et une stabilité renforcée — les points restent proches de la moyenne, bien au-dessus de la limite inférieure (LCL = 35,99).

La mise en œuvre du projet démontre une efficacité notable et une rentabilité mesurable, notamment par l'amélioration significative de l'OEE, la réduction des pertes de temps productif et la stabilisation des performances. Ces résultats confirment la pertinence des actions engagées et leur impact positif sur la productivité globale.

## 2.Ligne de conditionnement

### Changement de lot (BCO)

Le changement de lot se décompose en deux étapes principales : BCO End et BCO Start. La phase BCO End débute avec l'arrêt de la machine, qui correspond à la sortie du dernier produit conforme du lot en cours, et se termine une fois le dossier de lot clôturé. La phase BCO Start commence avec l'ouverture du nouveau dossier de lot et s'achève au redémarrage de la machine, marqué par la production du premier produit conforme du nouveau lot.

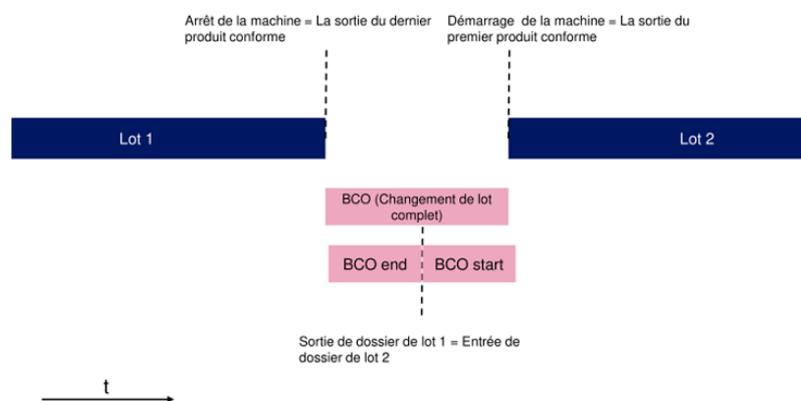


FIGURE 1.34 – Processus du changement de lot BCO

- **BCO End** : Il est composé d'une succession d'étapes qui sont résumés ici
  1. Empty line : La première étape du processus consiste à retirer toutes les matières premières restantes dans la machine, en vérifiant la condition suivante : si la quantité est inférieure à un seuil minimal spécifié, elle doit être jetée ; en revanche, si elle est suffisante, elle doit être transférée vers l'entrepôt. Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources et d'éviter le gaspillage. Une fois les matières premières retirées, les différents éléments de conditionnement doivent être enlevés, puis généralement jetés. Le label, bien que difficile à retirer, doit être enlevé et jeté. Le shipper box, le leaflet et le carton, plus faciles à retirer, doivent également être retirés et jetés. Les price stickers, dont le retrait est également délicat, doivent être enlevés avec soin, et leur quantité calculée afin d'assurer une gestion précise des stocks et des coûts.

2. Retour de tous les PPM (Label, Leaflet, Carton, Shipper box, Price stickers) : Après le retrait des matières de la machine et des éléments de conditionnement, il est nécessaire de retirer les matières restantes sur l'ensemble de la ligne de production. Il est essentiel de calculer avec précision la quantité totale à transférer vers l'entrepôt, en tenant compte à la fois des matières présentes dans la machine et de celles situées sur la ligne. Cette étape garantit une gestion rigoureuse des inventaires et une comptabilisation exacte de l'ensemble des matières.
3. Double check Retour de tous les PPM : Une fois les matières retirées de la ligne, une double vérification du retour des éléments doit être réalisée. Cette étape consiste à recalculer les quantités afin de s'assurer de leur exactitude.
4. Palette Build-Up : La construction de la dernière palette nécessite la documentation de sa configuration ainsi qu'un calcul précis de la quantité de produits qu'elle contient. Cette précision permet de garantir que toutes les unités sont correctement comptées et enregistrées.
5. Réconciliation : La réconciliation constitue une étape essentielle, durant laquelle deux formules distinctes sont utilisées pour vérifier que les quantités de matières premières et de produits consommées correspondent aux quantités initialement introduites dans la machine. Une formule spécifique est appliquée aux stylos, et une autre aux price stickers. L'opérateur doit comparer les données issues de la machine avec celles consignées dans le dossier de lot. Pour les stylos, cette étape inclut également une vérification complémentaire.
6. Double Check Réconciliation : Après la réconciliation initiale, une seconde vérification est indispensable pour garantir la précision des calculs. Reprendre l'ensemble des calculs permet de confirmer que toutes les quantités sont correctes et que la réconciliation est exhaustive. Cette étape est essentielle pour assurer l'exactitude des données et la conformité du processus.
7. Cleaning : Le nettoyage des composants internes de la machine est une étape critique pour garantir la propreté et le bon fonctionnement de l'équipement. L'utilisation d'alcool et de matériaux spécifiques permet d'éliminer efficacement tous les résidus. Ce nettoyage est indispensable pour maintenir la qualité des produits.
8. Line Clearance : Le line clearance consiste en une inspection minutieuse des zones difficiles d'accès de la machine à l'aide d'une torche, afin de s'assurer qu'aucun déchet ne subsiste. Cette étape est cruciale pour confirmer que la machine est entièrement propre et prête pour le prochain lot de production. Le line clearance doit être consigné dans le dossier de lot pour garantir la traçabilité.
9. Double Check Line Clearance : Comme le line clearance est réalisé par deux opérateurs, chacun doit vérifier le travail de l'autre. Cette double vérification assure que tous les déchets ont bien été retirés et que la machine est parfaitement propre. Chaque opérateur documente sa vérification, renforçant ainsi la rigueur et la fiabilité du processus.
10. Finalisation du Dossier de Lot : La finalisation du dossier de lot consiste à organiser l'ensemble des documents et à confirmer que le dossier est complet.

11. Logbook (documentation liée à la machine) : Il est essentiel de consigner dans le logbook toutes les opérations de nettoyage et les événements liés à la machine. Cela inclut les interventions mécaniques, les ajustements et toute autre activité ayant un impact sur la machine pendant le BCO. Cette documentation permet de suivre précisément l'historique d'utilisation de l'équipement.
12. Batch Log Event (documentation liée au lot) : Tous les événements relatifs au lot doivent être consignés dans le batch log event. Cela comprend le début et la fin du lot, les ruptures de matière, les démarrages anticipés et les fermetures tardives. Une documentation détaillée garantit une traçabilité complète du lot, facilitant les audits et améliorant la gestion de la production.

- **BCO Start** : De même le BCO Start est composé des étapes suivantes

1. Collect BPR : La première étape du processus de début de lot consiste à collecter le nouveau dossier de lot imprimé par le coordinateur SAP. Il est essentiel de vérifier que le dossier est complet, en s'assurant que toutes les pages et sections nécessaires sont bien présentes. Cette vérification garantit que toutes les informations requises pour la production sont disponibles et correctement organisées dès le départ.
2. Organisation BPR : Une fois le dossier de lot collecté, il doit être organisé dans un tableau dédié. Ce tableau comporte des cases spécifiques pour chaque partie du dossier, facilitant ainsi l'accès rapide aux différentes sections durant la production. Une organisation claire du BPR permet d'éviter les erreurs et rend le travail plus efficace pour les opérateurs.
3. Cleaning, Line Clearance et Double Check Line Clearance : Ces opérations sont effectuées de la même manière que dans la phase BCO End, sauf dans les cas de BtB (Back to Back), où les opérateurs ne quittent pas la machine.
4. Entry Control All PPM : Avant le démarrage de la production, il est important de vérifier que les quantités de leaflets, labels, cartons, shipper boxes et price stickers entrées dans la ligne correspondent à celles demandées. Cela implique de comparer la quantité indiquée dans le bon de commande à la quantité réellement introduite. Cette vérification garantit que les matériaux nécessaires sont disponibles en quantité suffisante
5. Second Entry Control All PPM : Une seconde vérification des quantités de toutes les matières premières doit être réalisée. Ce double contrôle permet de s'assurer que toutes les matières sont bien comptabilisées et disponibles, évitant ainsi toute interruption en cours de production.
6. First Enter Data : Les données relatives à la recette, ainsi que les informations à imprimer sur les labels et les price stickers (prix, date, références produit), doivent être saisies dans le système. Cette saisie initiale configure la machine pour la production et garantit que les produits seront correctement étiquetés.
7. Second Enter Data : Pour garantir l'exactitude des données, un second opérateur doit entrer à nouveau les mêmes informations dans le système. Cette redondance permet de vérifier et valider les données, minimisant les risques d'erreurs d'impression.

sion.

8. Infeed All PPM : Les matières premières doivent être introduites dans la machine. Les labels, bien que difficiles à insérer, doivent être manipulés avec soin. Les shipper boxes, leaflets, cartons et price stickers, plus faciles à insérer, doivent également être alimentés correctement.
9. Entry Control Stylos (Pens) : Un contrôle d'entrée des stylos est requis pour vérifier que la quantité introduite correspond à celle demandée sur le bon de commande. Cette vérification assure la disponibilité du nombre de stylos nécessaires à la production.
10. Second Entry Control Stylos : Une seconde vérification de la quantité de stylos est nécessaire pour garantir l'exactitude. Ce double contrôle évite les interruptions liées à un mauvais comptage.
11. Infeed Stylos : Les stylos doivent ensuite être introduits dans la machine. Cette opération, généralement simple, doit être réalisée correctement afin d'assurer la continuité de la production sans interruption.
12. Archive Sample : Un échantillon de produit doit être archivé à des fins de documentation et de contrôle qualité. Cet échantillon constitue une référence pour d'éventuels audits ou vérifications de conformité. Sa conservation assure une traçabilité complète du lot produit.

Il existe trois types de changement de lot sur les lignes de production, chacun ayant des caractéristiques spécifiques et des implications distinctes pour les opérateurs et les processus :

- **Changement de lot avec le même produit** : Ce type de changement de lot se produit lorsque nous passons d'un lot de production d'un produit A à un autre lot du même produit A. Pour ce type de changement, nous distinguons deux cas :
  1. Back to back : dans ce cas, au moins un opérateur reste sur la ligne entre la fin du lot en cours (BCO End) et le début du nouveau lot (BCO Start).
  2. Not back to back : ici, tous les opérateurs quittent la ligne entre le BCO End et le BCO Start.
- **Changement de lot avec un changement de produit** : Ce type de changement intervient lorsque nous passons d'un lot de production d'un produit A à un lot d'un autre produit B.
- **Changement de lot avec un changement de format** : Sur ce site de production, ils travaillent avec deux formats différents : 5 pièces par boîte et 2 pièces par boîte. Le passage d'un lot de production d'un format à un autre est considéré comme un changement de lot avec un changement de format.



FIGURE 1.35 – Indicateurs de performance OEE – Ligne de conditionnement S



FIGURE 1.36 – Indicateurs de performance OEE – Ligne de conditionnement P

Le temps de changement de lot représente 1,5 % du temps total pour la ligne S et 1,3 % pour la ligne P, ce qui en fait un levier d'amélioration commun et pertinent. Étant une activité planifiée, il est possible de l'optimiser sans perturber la production, et sa réduction permettrait d'augmenter le temps d'opération disponible, contribuant directement à l'amélioration de l'OEE sur les deux lignes.

## Analyse du BCO

### 1. Analyse historique de BCO :

Un tableau de bord a été élaboré afin de fournir une vision d'ensemble sur les durées de batch change over (BCO) enregistrées entre mai 2023 et décembre 2024. Ce tableau met en évidence une forte variabilité des durées observées, révélatrice d'un manque de standardisation du processus. Une telle dispersion peut avoir des conséquences importantes sur l'organisation de la production, la planification des ressources et, plus globalement, sur la performance opérationnelle de l'entreprise. (Voir figure 4.4 en Annexe)

D'après les données analysées via le dashboard, la durée moyenne des batch changes over (BCO) observée sur la période de mai 2023 à décembre 2024 est de 46,02 minutes. Toutefois, cette moyenne masque une variabilité notable, avec une durée minimale enregistrée à 11,00 minutes et une durée maximale atteignant 119,70 minutes. Cette large plage de variation reflète un manque de stabilité dans l'exécution des changements de lot, ce qui renforce l'idée d'une absence de standardisation du processus

Pour évaluer l'impact des temps de changement de série (BCO) sur l'entreprise, une analyse supplémentaire a été menée sur les pertes de revenu et de pénalité associées à ces variations. D'après les résultats, sur un total de 145 BCO observés, il a été estimé qu'un gaspillage de 743 050 stylos a eu lieu. Cela montre clairement l'impact que ces changements de série peuvent avoir sur les résultats financiers de l'entreprise. Il devient donc essentiel de réduire ces écarts pour améliorer la rentabilité et la compétitivité.

## 2. la carte de contrôle du processus BCO :

La carte de contrôle ci-dessus retrace l'évolution de la durée des BCO (en minutes) entre mai 2023 et décembre 2024. La moyenne du processus est de 45,51 minutes, avec une limite supérieure de contrôle à 96,74 minutes et une limite inférieure fixée à 0

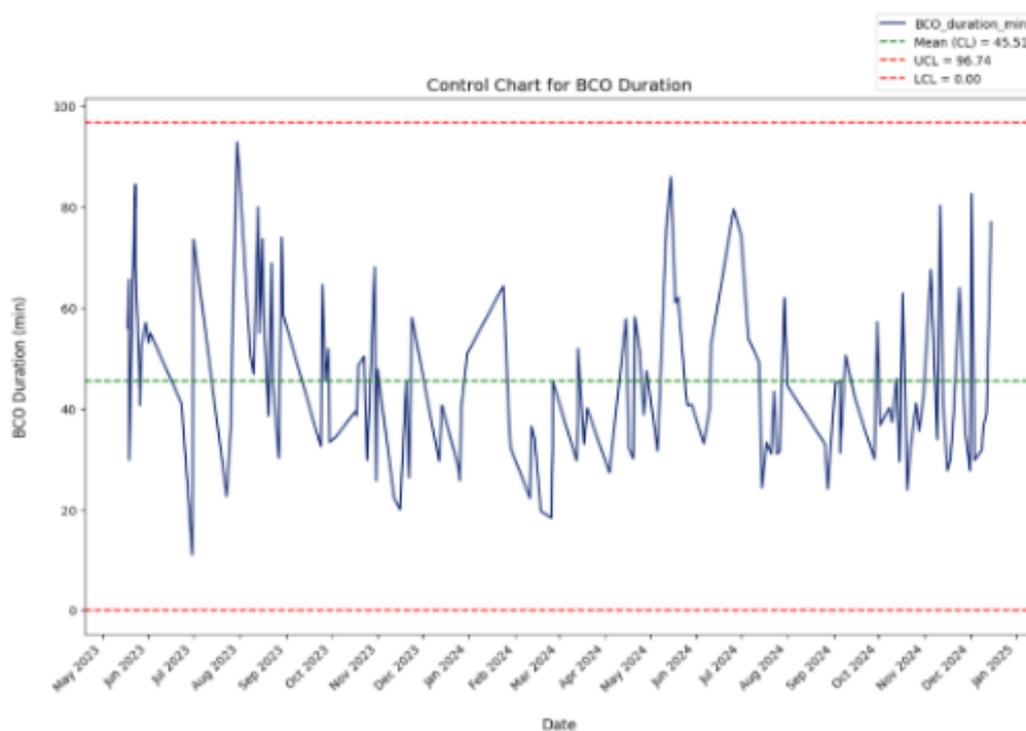


FIGURE 1.37 – Carte de contrôle de process BCO

Tous les points de la carte de contrôle restent dans les limites statistiques fixées, ce qui indique un processus sous contrôle apparent. Toutefois, une forte variabilité est observée, avec des durées allant de moins de 10 minutes à plus de 90 minutes. Cette fluctuation traduit une instabilité du processus, notamment marquée entre mai et septembre 2023, ainsi qu'à la fin de 2024. En revanche, la période de janvier à juillet 2024 se révèle plus stable, avec des valeurs plus proches de la moyenne.

Bien que les données restent dans les bornes, cela ne signifie pas que le processus est stable : l'alternance irrégulière entre pics et creux suggère des perturbations ponctuelles ou des influences extérieures. En conséquence, une surveillance continue est nécessaire.

Face à cette variabilité, il est pertinent d'évaluer la capacité du processus à l'aide des indicateurs Cp et Cpk, pour vérifier sa capacité à répondre aux spécifications attendues.

## 3. Analyse de la capacité du processus BCO :

Après l'analyse de la carte de contrôle, qui montre une variabilité notable bien que contenue dans les limites de contrôle, il est pertinent d'évaluer la capacité du processus. Les

indicateurs  $C_p$  et  $C_{pk}$  permettent de déterminer si le processus est capable de produire des résultats conformes aux spécifications définies. (USL = 40 minutes, LSL = 20 minutes)

$$\mu = 45,51 \text{ minutes} \quad \sigma = 17,08$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \approx 0,195$$

**Note bien :**  $C_p$  mesure la capacité potentielle du processus, c'est-à-dire sa largeur par rapport à la plage de tolérance, sans tenir compte de son centrage.

$$C_{pk} = \min \left( \frac{USL - \mu}{3\sigma} ; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) = -0,1075$$

**Note bien :**  $C_{pk}$  prend en compte à la fois la variabilité et le centrage du processus par rapport aux limites spécifiées.

Les indices de capabilité révèlent une performance très insuffisante du processus. L'indice  $C_p \approx 0,195$  indique une dispersion trop importante par rapport aux tolérances spécifiées. De plus, l'indice  $C_{pk} \approx -0,11$  montre que le processus est mal centré, avec une moyenne située au-delà de la limite supérieure.

Ainsi, même si la carte de contrôle ne présente aucun point hors des limites statistiques, les indices de capabilité révèlent clairement que le processus BCO, dans son état actuel, n'est pas en mesure de satisfaire les exigences de performance.

### Historique des initiatives Lean chez Novo Nordisk : optimisation du BCO par les méthodes SMED et Yamazumi

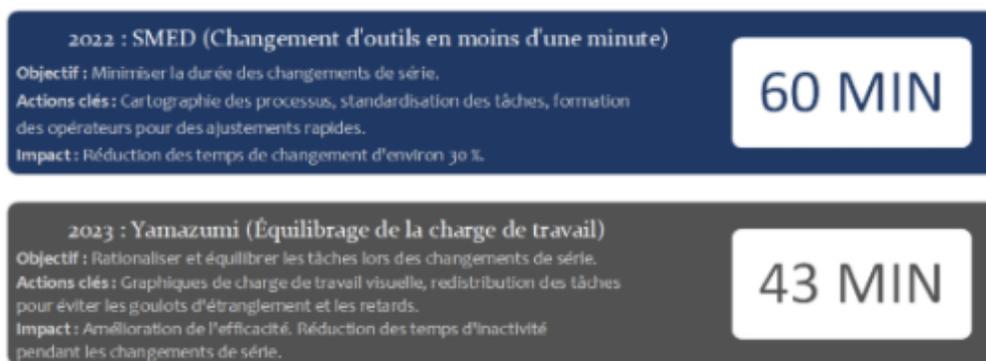


FIGURE 1.38 – Historique des projets d'optimisation du BCO

#### 1. Projet SMED :

Le projet a permis de réduire significativement le temps de changement de lot (BCO) sur la ligne de conditionnement secondaire chez Novo Nordisk LMA flexpen grâce à l'application de la méthode SMED. En analysant 7 cas réels, les opérations ont été réorganisées pour transférer un maximum d'activités internes vers l'externe, éliminer celles sans valeur ajoutée et standardiser les pratiques.

Le temps moyen de BCO est ainsi passé de 84 à 60 minutes, soit une réduction de 24 minutes (28,6 %). Cette amélioration a entraîné une hausse de 21 % de la disponibilité des lignes, une diminution des gaspillages, une meilleure flexibilité de production, une qualité accrue des transitions et une réduction du stress des opérateurs.

## 2. **Projet Yamazumi :**

Le projet mené au sein du site Flexpen de Novo Nordisk Algérie a consisté en l'optimisation du processus de changement de lot (batch change over) sur les lignes de conditionnement, par l'application méthodique du diagramme Yamazumi. Cette démarche a permis une analyse fine des déséquilibres de charge et des gaspillages temporels, aboutissant à une redistribution optimisée des tâches et à la standardisation des pratiques opérationnelles. À l'issue de la mise en œuvre des actions correctives, le temps moyen de changement de lot a été réduit de 51 minutes à 43 minutes, soit un gain de 8 minutes par opération. Cette amélioration s'est traduite par une augmentation significative de la capacité de production, estimée à environ 970 stylos supplémentaires par changement de lot, renforçant ainsi l'efficacité et la compétitivité du site.

## 3. **Pourquoi l'approche Kata ? :**

Dans notre situation, l'approche Kata est particulièrement appropriée, car le processus est maîtrisé et présente peu de variabilité. Cette constance facilite l'élaboration d'un processus d'amélioration continue de façon agile et épurée, où les équipes ont la possibilité de répéter rapidement et de tester pour combler les écarts de façon autonome.

Malgré la pertinence du DMAIC pour des processus plus complexes avec une variabilité accrue, dans notre cas où la variabilité est minime et le processus maîtrisé, Kata s'avère être une méthode plus souple et moins onéreuse à appliquer.

# 1.7 Énoncé de la problématique

Suite au diagnostic effectué sur l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur, une analyse approfondie des deux lignes de production — assemblage et conditionnement — a mis en évidence un goulot d'étranglement au niveau du processus de changement de lot. La problématique se décline alors en deux volets :

- Comment optimiser ce processus de manière efficace afin d'améliorer la productivité du site LMA FlexPen ?
- Comment pérenniser les gains obtenus et éviter un retour aux performances initiales ?

La réponse à ces deux questions fera l'objet principal de notre travail.

# Chapitre 2

## Etat de l'art

### 2.1 Introduction

Ce chapitre pose les bases théoriques nécessaires à la compréhension de la problématique abordée dans ce travail. Il s'ouvre sur une présentation des principes fondamentaux du Lean Management, en mettant en lumière les principaux outils utilisés dans cette démarche, ainsi que les apports de la digitalisation dans un contexte Lean. Ensuite, l'accent sera mis sur la méthodologie adoptée, notamment à travers l'approche Kata, qui guide l'amélioration continue au sein des processus. Enfin, nous introduirons les concepts clés liés aux algorithmes génétiques, lesquels constituent un pilier méthodologique important dans le cadre de ce projet.

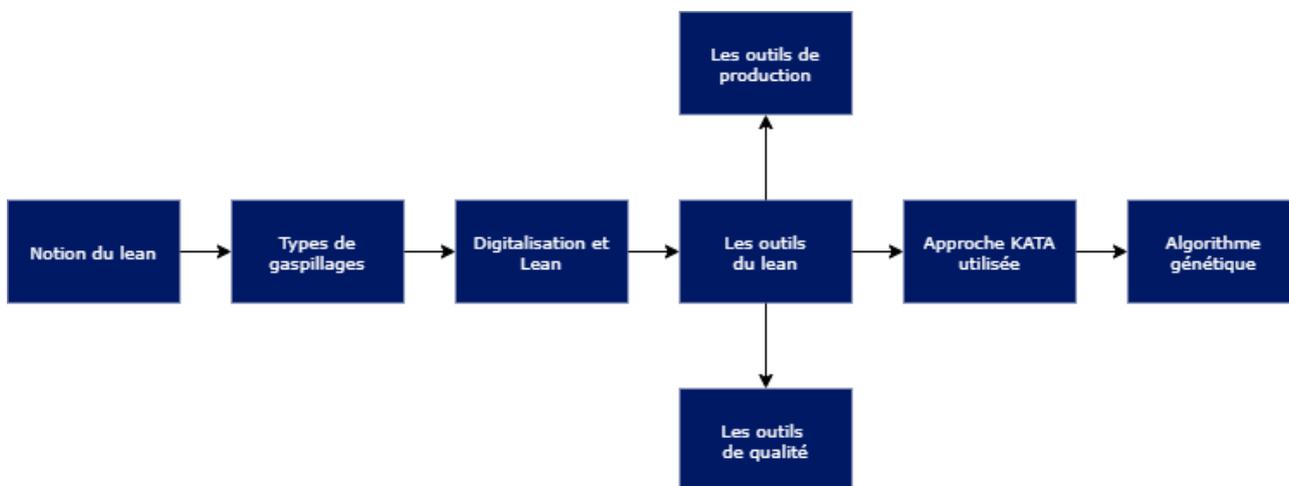


FIGURE 2.1 – Schéma de cadre du 2<sup>ème</sup> chapitre

### 2.2 Le lean

#### 2.2.1 Définition

Le Lean manufacturing est une initiative basée sur l'élimination de toutes les sources de gaspillages dans les processus de fabrication [12]. Cette production allégée se différencie de la production de masse par son utilisation réduite de ressources humaines, matérielles et financières. Le Lean est axé sur deux principes fondamentaux : la satisfaction du client et le respect

des employés [13].

### 2.2.2 Lean thinking

Le Lean Thinking repose sur cinq principes d'axes visant à optimiser la performance et à éliminer les gaspillages tout en maximisant la valeur client. Tout d'abord, la valeur doit être définie principalement aux **attentes client (VOC)**, en identifiant ses véritables attentes et en proposant des solutions adaptées tout en minimisant les coûts et l'effort. Ensuite, il est essentiel de **cartographier la chaîne de valeur** afin de distinguer les activités génératrices des pertes. Ces dernières doivent être éliminées, soit optimisées si elles sont nécessaires mais inefficaces. mettre en place **un flux de production tiré**, en réduisant les temps d'attente, les stocks intermédiaires et les interruptions, pour garantir une production plus fluide et performante. Enfin, **l'amélioration continue** constitue un pilier central du Lean Thinking, incitant les entreprises à rechercher constamment des opportunités d'optimisation et d'innovation pour tendre vers l'excellence opérationnelle [14].

### 2.2.3 TPS

Le Toyota Production System (TPS) repose sur deux piliers visant à éliminer les gaspillages et à optimiser l'efficacité. Le premier pilier, Just-in-Time (JIT), repose sur la production de la quantité exacte de biens, au bon moment et au bon endroit, en minimisant les niveaux de stocks et les investissements nécessaires à la fabrication. Développé par Kiichiro Toyoda, ce concept permet de synchroniser les processus de production en assurant un flux continu et en réduisant les délais de livraison. Le second pilier, Jidoka, traduit par « automatisation avec une touche humaine », garantit la détection immédiate des anomalies, permettant ainsi d'arrêter les machines ou la ligne de production afin d'éviter la propagation des défauts et d'améliorer la qualité en amont. Ce principe, inspiré des métiers à tisser automatiques de Toyoda, repose sur l'intégration de l'intelligence humaine aux machines afin d'optimiser la productivité [15].

### 2.2.4 Types de gaspillages

#### Muda

Le terme japonais Muda signifie littéralement "gaspillage", "inutilité" ou "futilité". Il désigne toutes les activités qui ne génèrent pas de valeur pour le client et qui doivent être réduites ou éliminées. Dans le cadre du Lean Management, Muda est divisé en deux types : Muda Type 1, qui regroupe les activités non productives mais nécessaires dans les conditions actuelles du processus, et Muda Type 2, qui concerne les activités totalement inutiles et à éliminer immédiatement [6]. Selon Taiicho Ohno, il existe huit types de Muda qui nuisent à la performance industrielle :

1. **Les défauts** : Ils entraînent des coûts supplémentaires liés à la reprise, au rebut ou aux plaintes clients. Une documentation rigoureuse, le contrôle qualité et la standardisation des processus permettent de réduire ce gaspillage.
2. **Le surtraitement** : Ce gaspillage résulte d'un processus mal conçu nécessitant des actions inutiles, comme des étapes de production redondantes ou un excès de formalités administratives.

3. **La surproduction** : Produire plus que la demande entraîne une accumulation de stocks inutiles et un gaspillage de ressources. L'approche Juste-à-temps et les systèmes pull comme le Kanban permettent de contrôler ce phénomène.
4. **L'attente** : Les temps d'attente des opérateurs ou des machines génèrent des pertes de productivité. L'optimisation des flux de production et une planification efficace minimisent ce gaspillage.
5. **Les stocks excessifs** : Un excès de matières premières, d'en-cours ou de produits finis augmente les coûts de stockage et masque d'éventuelles inefficacités du processus.
6. **Le transport inutile** : Des déplacements excessifs des produits ou des composants augmentent les coûts et les risques de détérioration. Une disposition optimisée des postes de travail réduit ce gaspillage.
7. **Les mouvements inutiles** : Ils concernent les déplacements superflus des opérateurs pour accéder aux outils ou aux matériaux. Une bonne ergonomie des postes de travail améliore l'efficacité.
8. **Talents** : L'ignorance des compétences et des idées des employés représente un gaspillage. L'implication des équipes dans l'amélioration continue favorise l'innovation et l'efficacité.

## Muri

Muri signifie "surcharge", "excès" ou "irrationalité". Ce concept désigne une charge de travail excessive imposée aux opérateurs ou aux machines, au-delà de leurs capacités. Muri peut être causé par une planification inadéquate des ressources, une réduction excessive du Muda sans prise en compte des capacités réelles des opérateurs et des équipements, ou encore une pression excessive pour atteindre des objectifs de productivité non réalistes [6].

## Mura

Mura désigne l'irrégularité ou le manque d'uniformité dans les processus de production. Cette variabilité entraîne une fluctuation des charges de travail et des capacités de production, générant des inefficacités dans le flux global. Par exemple, dans une ligne de production, si certaines stations fonctionnent plus rapidement que d'autres, des files d'attente et des goulots d'étranglement peuvent apparaître, conduisant à du Muda sous forme de surproduction et d'attente [6].

### 2.2.5 Digitalisation en Lean

Le Lean Manufacturing vise à éliminer les gaspillages, améliorer l'efficacité et créer de la valeur pour les clients. À l'ère numérique, il évolue vers plus d'agilité grâce aux technologies. Les plateformes low-code s'inscrivent dans cette transformation en facilitant la résolution rapide des problèmes opérationnels et en rendant l'amélioration continue plus accessible à tous les niveaux de l'organisation. La question centrale devient alors comment intégrer efficacement le low-code dans une démarche Lean, et non plus s'il faut l'adopter.[16]

Le low-code permet aux employés de concevoir facilement des applications pour gérer des processus industriels (stocks, inspections, etc.), sans avoir besoin de développeurs spécialisés. Cette approche favorise l'adoption du Lean Manufacturing à moindre coût. En cas de changements sur le marché, les applications peuvent être mises à jour rapidement, et les données peuvent

être collectées sur tout type d'appareil mobile grâce à des solutions low-code ou no-code.[17]

l'apport des Low-code plateformes sur le lean manufacturing :

1. **Amélioration continue** : Les plateformes low-code améliorent la transparence et le suivi des opérations, permettant d'optimiser la productivité et la performance des entreprises.
2. **Agilité** : Le low-code permet de développer rapidement des applications mobiles, facilitant une livraison rapide et efficace des produits et services, avec des modifications simples et rapides.
3. **Industrie 4.0** : les plateformes low-code permettent d'accéder aux données en temps réel, de prévoir la maintenance, de connecter les systèmes et de consolider les données. Elles favorisent l'émergence des usines intelligentes en améliorant l'efficacité et la prédiction des demandes.
4. **Automatisation** : Une solution low-code automatise les tâches clés (instructions, affectations, consignes) et centralise le suivi de la chaîne de production, permettant aux responsables de rester informés en temps réel.
5. **Réduction des coûts** : Les plateformes low-code/no-code permettent de créer des applications rapidement et à moindre coût, même sans expertise technique, ce qui réduit les dépenses informatiques et accélère la mise en œuvre.
6. **Optimiser les processus** : Les plateformes low-code et no-code révolutionnent la production industrielle en permettant de créer rapidement des applications sur mesure. Par exemple :
  - Suivi en temps réel des indicateurs de production pour une meilleure prise de décision.
  - Gestion automatisée des stocks, limitant les ruptures ou surplus.

Ces outils améliorent l'efficacité opérationnelle, réduisent les erreurs et transforment les processus métiers.

## 2.3 Les outils de Lean

### 2.3.1 PDCA

La roue de Deming, appelée aussi PDCA, est une théorie organisationnelle utilisée dans de nombreux domaines : sciences, management, qualité, etc. C'est un cycle vertueux composé de quatre étapes [18] :

- **Plan (Planifier)** : Dans cette étape, il s'agit de définir les objectifs à atteindre et de planifier la mise en œuvre d'actions. Préparer ce qui va être réalisé en identifiant les problèmes, en définissant les causes et en établissant un planning.
- **Do (Mettre en place)** : Dans cette étape, il s'agit de la mise en œuvre des actions correctives, c'est-à-dire réaliser les actions planifiées en respectant les dispositions définies dans la première étape.

- **Check (Contrôler)** : Cette phase consiste à étudier les résultats en utilisant les indicateurs de performance et de vérifier l'atteinte des objectifs fixés lors de la première étape "Plan".
- **Act (Agir)** : Cette dernière étape consiste à standardiser ce qui a été mis en place et, en fonction des résultats de la phase précédente, prendre des mesures préventives.

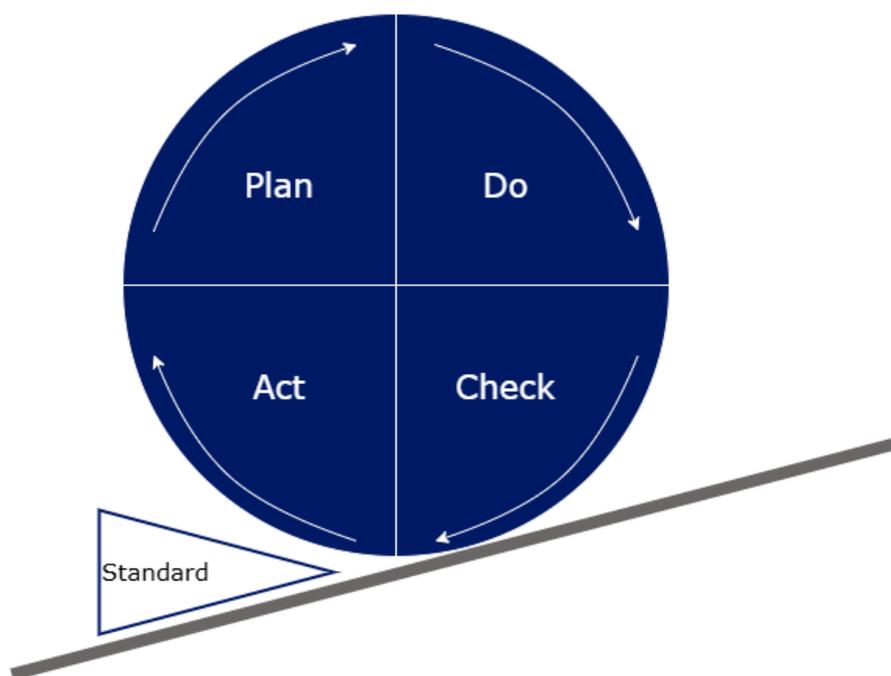


FIGURE 2.2 – La roue PDCA

### 2.3.2 Hoshin kanri

Le Hoshin Kanri, ou déploiement de la politique, est une méthode de gestion stratégique visant à aligner l'ensemble des actions de l'entreprise sur ses objectifs à long terme. En partant d'une vision claire formulée par la direction, elle permet de définir des objectifs majeurs qui créent un avantage concurrentiel et nécessitent l'implication de tous les employés. Ces objectifs sont ensuite traduits en plans annuels par le management intermédiaire, puis en actions concrètes au niveau opérationnel. L'approche garantit ainsi cohérence, engagement collectif et élimination des gaspillages liés au manque de communication ou à des orientations contradictoires [19].

### 2.3.3 Gemba

Gemba est la place la plus importante dans l'entreprise. C'est là que toute la valeur est créée pour les clients. Ce concept était si important aux yeux de Soichiro Honda, fondateur de Honda Motor Company, qu'il n'avait pas de bureau de président. Il a toujours été trouvé quelque part à Gemba. Gemba signifie le lieu réel, ou l'endroit où se déroule l'action. Lorsqu'un problème survient, c'est la première place où il faut se rendre afin de chercher et résoudre les problèmes en profondeur. Gembutsu signifie : évaluer toutes les informations pertinentes en Gemba qui entourent le problème. Interviewer plusieurs employés et poser des questions sur ce qui se passait lorsque le problème est survenu. Il s'agit d'une recherche des faits de ce qui s'est passé [20].

### 2.3.4 SIPOC

Le SIPOC est un outil d'analyse utilisé pour obtenir une vue d'ensemble d'un processus que l'on souhaite stabiliser, analyser ou améliorer. Il se base sur cinq éléments clés : Suppliers (fournisseurs), Inputs (entrées), Process (processus), Outputs (sorties) et Customers (clients), en tenant compte de leur VOC (Voix de client).

- Voix de client : est une démarche visant à recueillir et analyser les besoins, attentes et préférences des clients afin de les traduire en exigences concrètes pour le produit ou le service. Elle permet aux entreprises d'aligner leurs offres avec les priorités des clients pour améliorer la satisfaction et la performance globale [21].

### 2.3.5 Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa a été élaboré par Kaoru Ishikawa comme un outil visuel destiné à l'analyse des causes d'un problème. On l'utilise fréquemment dans les domaines de la qualité, de la production, de la chaîne d'approvisionnement et de la gestion de projet.

Il illustre le problème sous l'aspect d'un « diagramme en arêtes de poisson », où les causes principales sont généralement classées selon la technique des 5M :

1. **Main-d'œuvre** : personnes impliquées dans le processus
2. **Moyens** : machines, outils utilisés
3. **Méthodes** : processus et procédures appliqués
4. **Matières** : matériaux, composants utilisés
5. **Milieu** : environnement de travail (température, bruit, etc.)

Ce diagramme est simple et efficace. Il permet de visualiser rapidement les causes possibles, d'identifier celles qui sont récurrentes, et de faciliter la prise de décision ainsi que les échanges avec les parties prenantes.

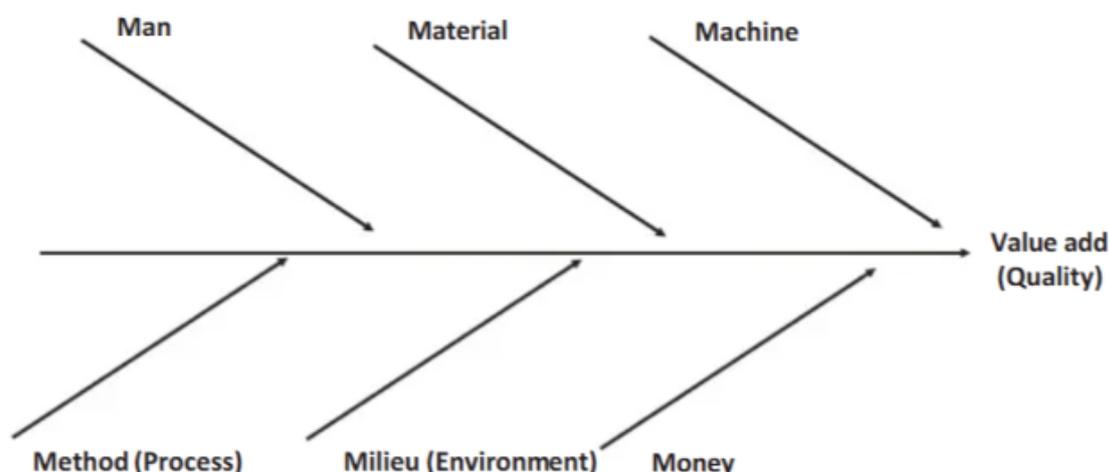


FIGURE 2.3 – Diagramme Ishikawa [6]

### 2.3.6 Pareto

L'outil d'analyse visuelle qu'est le diagramme de Pareto, habituellement représenté sous forme d'histogramme, illustre les causes d'un phénomène sur l'axe des abscisses [22]. Cela permet

d'identifier rapidement les causes les plus importantes, ce qui facilite la détermination des actions à entreprendre pour optimiser les résultats avec le moins d'efforts possible.

Il repose sur le principe de Pareto, ou loi du 80/20, selon lequel 20 % des causes sont responsables de 80 % des effets [23]. À partir de ce principe, le diagramme offre :

1. Ciblage des causes prioritaires afin de maximiser l'impact des actions sur le problème étudié.
2. Classement visuel des problèmes par ordre d'importance pour mieux hiérarchiser les efforts.
3. Orientation des actions d'amélioration vers les leviers les plus stratégiques et rentables.

### 2.3.7 QQQQCCP

C'est un outil qui cherche à rendre factuelle et exhaustive la description d'un problème. Il est simple et compréhensible de tous et permet sur toutes les dimensions du problème d'analyser une activité, de décrire une situation en adoptant une attitude interrogative systématique en posant les questions : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Chaque réponse à chacune de ces questions peut être soumise à l'interrogation supplémentaire. Pourquoi ? Ces questions élémentaires sont très commodes pour mettre de l'ordre dans les idées. Elles sont utilisées à différents moments dans la démarche de résolution de problème [24].

1. Quoi ? Décrire précisément le problème ou la situation observée.
2. Qui ? Identifier les parties prenantes impliquées (acteurs) et celles impactées.
3. Où ? Localiser le lieu où le problème ou l'action se produit.
4. Quand ? Spécifier le moment d'occurrence, la durée et la fréquence.
5. Comment ? Analyser les procédures, pratiques ou méthodes en place.
6. Combien ? Décrire les moyens et ressources engagées (humaines, matérielles, financières, etc.).
7. Pourquoi ? Identifier et analyser les causes sous-jacentes ou racines du problème.

### 2.3.8 Smed

Pour répondre rapidement aux exigences fluctuantes du marché tout en maintenant une rentabilité économique, les producteurs doivent faire preuve d'une grande flexibilité. Il n'est désormais plus réaliste – ni économiquement viable – de satisfaire la demande uniquement à partir d'un stock de produits finis, car cela engendrerait des coûts élevés et un risque important d'inadéquation avec les besoins réels. La diversification croissante des produits et la réduction des tailles de lots imposent une fréquence accrue des changements de série. Dans ce contexte, la méthode SMED (Single-Minute Exchange of Die) offre une démarche structurée visant à réduire au strict nécessaire le temps de changement, afin de renforcer l'agilité et la performance des systèmes de production [25].

Les 4 principes phases de l'approche SMED : (Voir Figure 4.5 en Annexe)

1. Distinguer les opérations internes (à l'arrêt) et externes (en marche).
2. Convertir un maximum d'opérations internes en opérations externes.
3. Simplifier, standardiser et paralléliser les tâches restantes.
4. Préparer les outils et matériaux à l'avance avec une organisation rigoureuse.

### 2.3.9 Yamazumi

Le graphique Yamazumi est une représentation en barres empilées qui permet d'évaluer l'équilibre des postes en illustrant les durées de cycle de chaque activité. Il se base sur une analyse minutieuse du temps, intégrant les déplacements et les anticipations des opérateurs. Les activités sont classées par un système de code couleur : vert pour les tâches à valeur ajoutée (VA), orange pour les indispensables sans VA, rouge pour les sans valeur ajoutée (NVA), jaune pour les tâches optionnelles, et bleu pour les actions qui varient en fonction du produit [26]. (Voir Figure 4.6 en Annexe)

### 2.3.10 Outils qualité

#### Maîtrise Statistique des Processus (MSP)

1. Un process : est un ensemble de conditions et de ressources (hommes, machines, matières, méthodes. . .) interagissant pour produire un résultat mesurable. Dans un environnement industriel, il transforme des entrées en sorties avec une valeur ajoutée.
2. Carte de controle : utilisé pour surveiller la stabilité d'un processus dans le temps. Elle permet de distinguer les variations normales, liées au fonctionnement habituel, des variations spéciales dues à des causes anormales. Lorsqu'une variation inhabituelle est détectée, elle alerte sur une possible dérive du processus, permettant d'agir rapidement pour éviter la non-conformité. Il existe deux type de carte :
  - **Carte  $\bar{X}$**  : est l'une des plus simples et courantes. Elle comporte une ligne centrale, des limites de surveillance et d'action. Elle permet de suivre les écarts des valeurs autour d'une cible, en tenant compte des effets aléatoires et systématiques, à partir de mesures individuelles ou de moyennes.

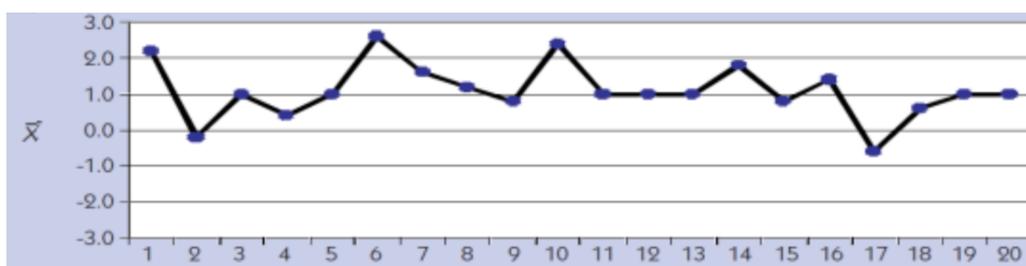


FIGURE 2.4 – Carte  $\bar{X}$  [7]

- **Carte R** : permet de contrôler la répétabilité d'un processus en suivant l'écart entre les valeurs extrêmes d'un échantillon. Elle comporte une ligne centrale ainsi que des limites de surveillance et d'action. Contrairement à la carte X, qui suit la stabilité des moyennes, la carte R s'intéresse à la variation interne des données.

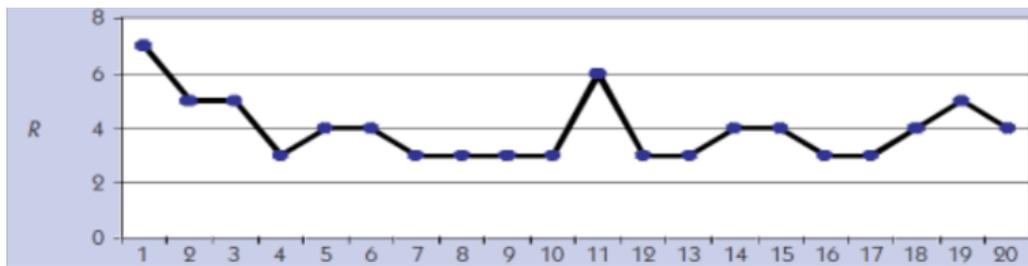


FIGURE 2.5 – Carte R [7]

- Pour évaluer la stabilité et la capacité du processus de changement de lot, l'indicateur  $C_p$  est utilisé. Il permet de mesurer si les variations du temps de changement respectent les tolérances spécifiées. (Voir figure 4.7 en Annexe)
- L'indice  $C_{pk}$  est utilisé pour juger non seulement la variabilité du processus, mais également son positionnement par rapport aux spécifications. Il offre une perspective plus exhaustive sur la capacité effective du processus à produire dans les marges autorisées. (Voir figure 4.8 en Annexe)

## 2.4 L'approche Kata

### 2.4.1 Définition

Le Kata est une méthode de management et d'amélioration continue inspirée de Toyota, fondée sur des routines structurées d'expérimentation et de coaching (Improvement Kata et Coaching Kata). Elle vise à instaurer une culture d'apprentissage quotidien, où managers et employés développent des habitudes de résolution de problèmes, au-delà des outils Lean classiques.

Plutôt que d'être portée uniquement par une équipe Lean, l'amélioration devient l'affaire de tous, alignée sur les objectifs stratégiques. En s'appuyant sur les neurosciences, le Kata permet d'ancrer des pratiques durables, notamment dans des secteurs comme la santé, en améliorant les processus tout en renforçant la résilience organisationnelle.

### 2.4.2 Les étapes kata

Le kata d'amélioration est un modèle en quatre étapes que vous pratiquez pour que l'effort créatif, scientifique et systématique devienne une habitude qui vous rend plus efficace pour atteindre les objectifs

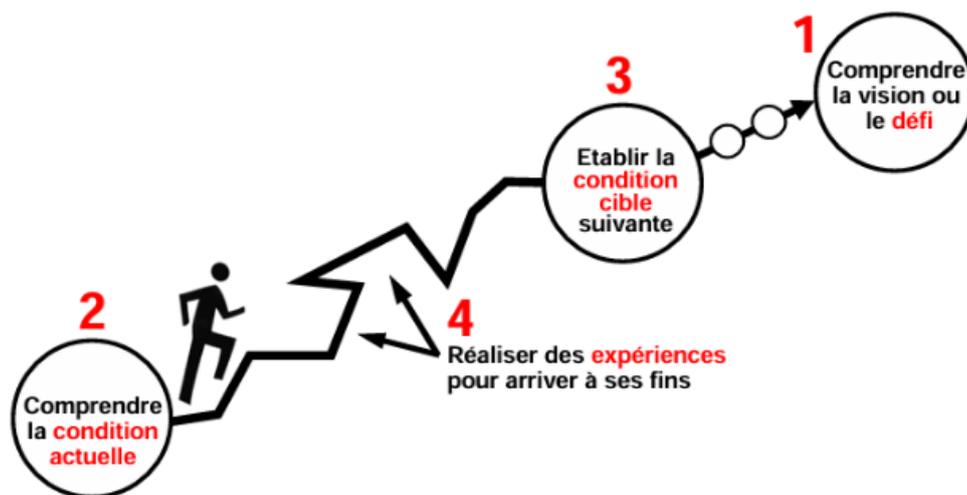


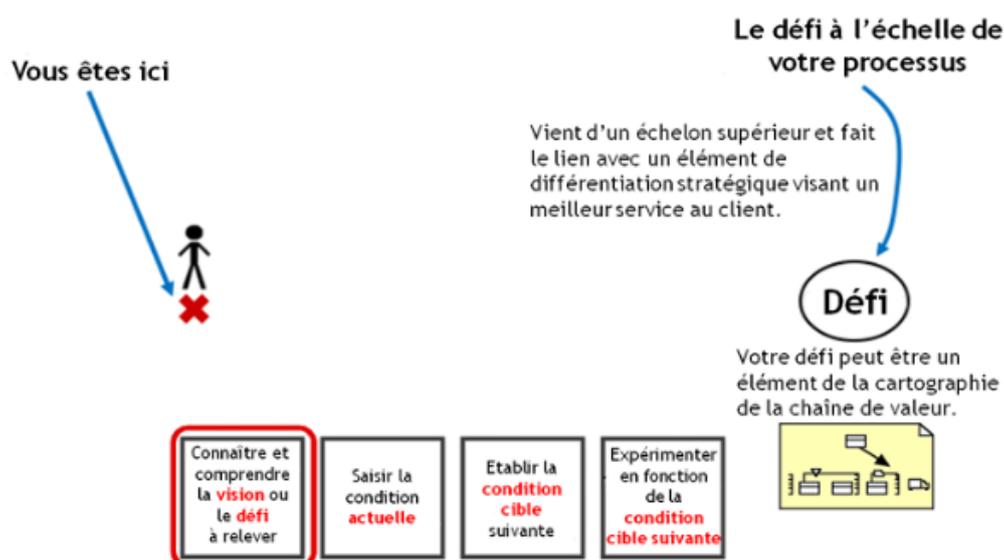
FIGURE 2.6 – Les 4 étapes du kata d'amélioration

Le kata d'amélioration comprend quatre étapes réparties en deux phases : planification et exécution. La phase de planification, souvent négligée, va bien au-delà d'un simple plan d'action ; elle vise à comprendre en profondeur la situation avant d'agir

## La phase de planification

### 1. Connaître et comprendre la vision ou le défi à relever :

Dans une démarche d'amélioration continue, il est crucial de définir un défi stratégique global aligné sur la chaîne de valeur, afin d'améliorer la satisfaction client. Ce défi, issu de la vision future, guide et coordonne les efforts d'amélioration. Il est ensuite décliné en objectifs opérationnels à chaque niveau, assurant la cohérence et l'alignement des actions dans toute l'organisation.

FIGURE 2.7 – 1<sup>re</sup> Etape de processus kata

### 2. Saisir la condition actuelle :

Une fois la vision clairement définie, il est essentiel d'examiner de manière objective la situation actuelle du processus en suivant les étapes de l'analyse kata. Cette analyse fournit une base factuelle pour définir la prochaine condition cible et mieux comprendre les écarts à combler.

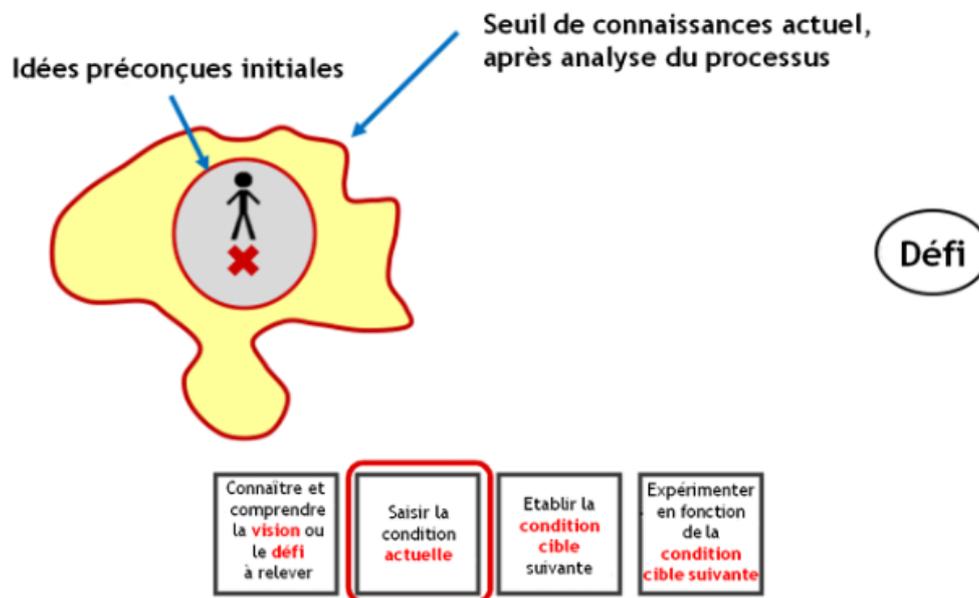


FIGURE 2.8 – 2<sup>ème</sup> Etape de processus kata

### 3. Établir la condition cible suivante :

L'analyse de la condition actuelle permet de définir une condition cible claire, mesurable et alignée avec le défi fixé. Cette cible, à atteindre dans un délai d'une semaine à trois mois, décrit précisément le fonctionnement attendu du processus. Elle sert ensuite de base pour identifier les obstacles à surmonter, consignés dans un parc à obstacles afin de guider les actions d'amélioration.

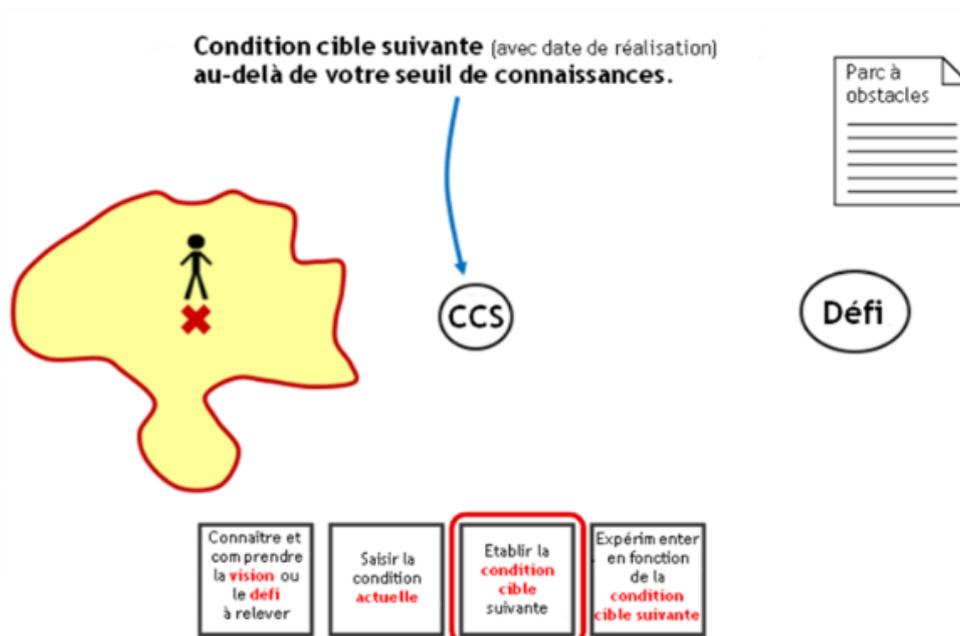


FIGURE 2.9 – 3<sup>ème</sup> Etape de processus kata

## La phase d'exécution

À ce stade, l'approche pour atteindre la condition cible à la date prévue reste partiellement indéterminée. Cet espace d'incertitude constitue une opportunité d'apprentissage et d'adaptation, permettant d'identifier progressivement les solutions les plus adaptées.

### 4. Expérimenter en fonction de la condition cible suivante :

Cette étape s'appuie sur deux axes : le kata PDCA mené par l'apprenant et le kata de coaching encadré par un coach. Face aux obstacles imprévus, l'équipe avance de manière itérative, en traitant un obstacle à la fois. Chaque expérimentation enrichit les connaissances, permettant d'ajuster les actions et de progresser progressivement vers la condition cible.

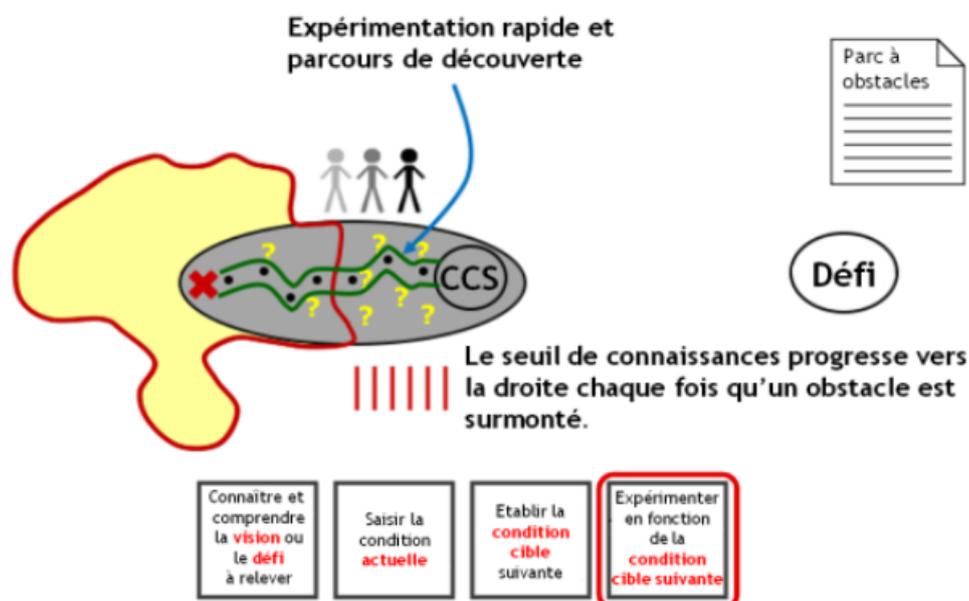


FIGURE 2.10 – 4<sup>ème</sup> Etape de processus kata

### Parc des obstacles :

L'amélioration continue se concentre sur les obstacles prioritaires, ceux qui freinent réellement l'atteinte de la condition cible. Résoudre tous les obstacles à la fois serait inefficace. Chaque expérimentation apporte des données utiles pour ajuster le processus, dans une logique d'apprentissage progressif. Le parc des obstacles est constamment mis à jour, enrichissant la compréhension du processus et guidant les actions correctives de manière plus ciblée. [27]

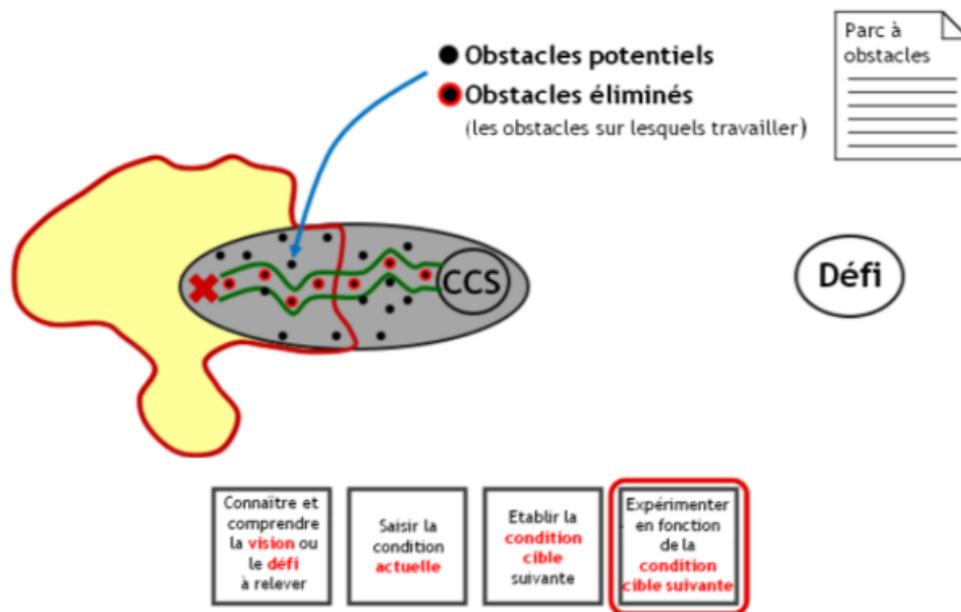


FIGURE 2.11 – Parc des obstacles de processus kata

## 2.5 l'algorithme génétique

### 2.5.1 Définition

L'algorithme génétique débute par la création d'une population initiale d'individus. Chaque individu est évalué selon une fonction de fitness. Une sélection est ensuite opérée pour choisir les meilleurs individus, suivie d'un croisement (avec une probabilité  $P_{\text{cross}}$ ) et d'une mutation (avec une probabilité  $P_{\text{mut}}$ ). Ces opérations produisent une nouvelle population potentiellement plus performante. Après évaluation, une méthode d'insertion est utilisée pour constituer la nouvelle génération. Le processus se répète jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint, améliorant progressivement la qualité des solutions au fil des générations.

### 2.5.2 Fonctionnement de l'algorithme génétique

Les algorithmes génétiques sont des méthodes d'optimisation inspirées du processus de sélection naturelle. Ils évoluent une population de solutions potentielles au fil des générations, dans le but de converger vers une solution optimale ou satisfaisante. Le fonctionnement général de l'algorithme suit plusieurs étapes clés, décrites ci-dessous

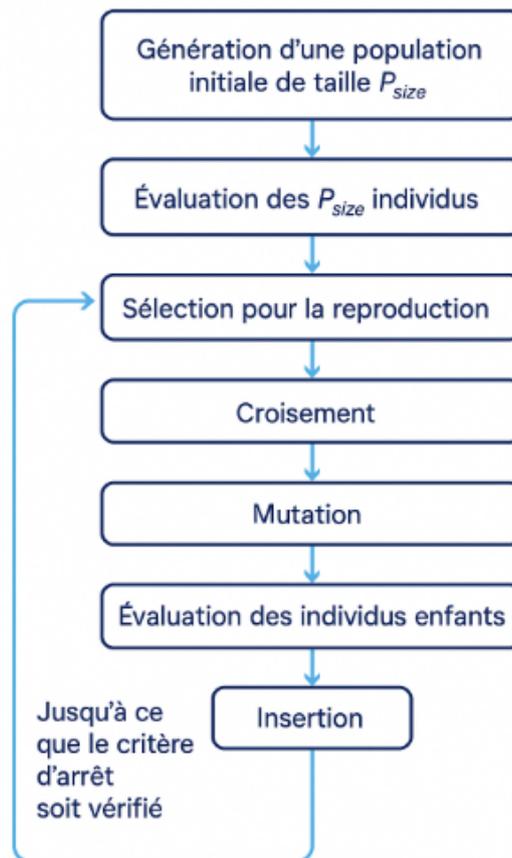


FIGURE 2.12 – Fonctionnement général de l'algorithme génétique

## Codage

L'implantation d'un algorithme génétique commence par la création d'une population initiale, composée de chromosomes représentant des solutions potentielles. L'efficacité de l'algorithme dépend du type de codage utilisé : direct, si le chromosome représente directement la solution, ou indirect, si la solution est obtenue après transformation (Guillaume et al., 2001).

Traditionnellement, les chromosomes sont codés en binaire (0-1), mais pour les problèmes d'ordonnancement, un codage entier est préféré, car il améliore la performance de l'algorithme.

## Génération de la population initiale

Plusieurs mécanismes de génération de la population initiale sont utilisés dans la littérature (Caux et al., 1995). Le problème principal dans cette étape est le choix de la taille de la population. Si la taille de la population est trop grande, le temps de calcul augmente et demande un espace mémoire important. Par contre, une population de taille très petite, la solution obtenue n'est pas satisfaisante. Il faut donc trouver le bon compromis.

## Evaluation : fitness

Une fonction d'évaluation est utilisée pour mesurer les performances de chaque individu, qui correspond à une solution donnée du problème à résoudre. Cette fonction permet d'évaluer la

capacité d'un individu à survivre en lui affectant un poids appelé fitness. La force de chaque chromosome de la population est calculée afin que les plus forts soient retenus dans la phase de sélection, puis modifiés dans la phase de croisement et mutation. La fonction d'évaluation dépend d'un problème à un autre. Par exemple, dans le cas des problèmes d'ordonnancement, cette fonction peut prendre différents critères (makespan, retard, etc.)

## Sélection

La sélection vise à choisir les individus aptes à être croisés. Plusieurs méthodes sont couramment utilisées :

- **Par rang** : les individus sont triés selon leur fitness.
- **Par roulette** : chaque individu a une chance de sélection proportionnelle à sa performance.
- **Aléatoire** : les individus sont sélectionnés de façon uniforme, sans considération de leur fitness.
- **Par tournoi** : un sous-groupe d'individus est tiré au sort, et le meilleur est retenu, selon une probabilité donnée.

## Croisement

Le croisement permet de créer de nouveaux individus en combinant les gènes de deux parents, selon une probabilité  $P_{\text{cross}}$ . Il est appliqué si un nombre aléatoire  $\alpha \in [0, 1]$  est inférieur ou égal à cette probabilité. Parmi les opérateurs les plus utilisés :

- **Croisement en 1-point** : consiste à diviser chacun des deux parents en deux parties à la même position, choisie au hasard et à recopier la partie inférieure du parent à l'enfant et à compléter les gènes manquants de l'enfant à partir de l'autre parent en maintenant l'ordre des gènes. (Voir figure 4.9 en Annexe)
- **Croisement en 2-points** : deux points de coupure créent trois segments; les extrémités sont échangées entre les parents, et les segments centraux sont complétés à partir de l'autre parent sans doublon. (Voir figure 4.10 en Annexe)

## Mutation

La mutation introduit de l'aléa dans l'algorithme pour éviter les optimums locaux et mieux explorer l'espace de recherche. Elle est appliquée avec une probabilité  $P_{\text{mut}}$ , si un nombre aléatoire  $\beta$  est inférieur à cette valeur. Parmi les opérateurs de mutation les plus utilisés :

- **Inversion simple** : inversion de l'ordre des gènes entre deux points choisis aléatoirement.
- **Insertion** : déplacement d'un gène à une nouvelle position dans le chromosome. (Voir figure 4.11 en Annexe)
- **Échange réciproque** : échange de position entre deux gènes.

## Insertion

L'insertion permet de former la nouvelle génération après les phases de croisement et de mutation. Trois stratégies principales sont utilisées :

- **Remplacement total** : seuls les enfants générés remplacent intégralement les parents.
- **Remplacement partiel** : les meilleurs individus parmi les parents et les enfants sont sélectionnés pour former la nouvelle population.
- **Élitisme** : les meilleurs individus sont conservés d'une génération à l'autre pour garantir que les solutions de qualité ne soient pas perdues.

### Critère d'arrêt

Le test d'arrêt détermine quand mettre fin à l'exécution de l'algorithme génétique. Deux critères sont généralement utilisés :

- **Nombre fixe de générations** : l'algorithme s'arrête après un nombre prédéfini d'itérations.
- **Stagnation de la population** : l'arrêt se produit lorsque les individus n'évoluent plus significativement.

Les algorithmes génétiques ont démontré leur efficacité pour résoudre des problèmes réels, notamment dans le cadre de l'ordonnancement robuste, comme celui des blocs opératoires.[28]

## 2.6 Conclusion

Ce chapitre a ainsi consolidé notre compréhension des fondements théoriques en lien avec la problématique étudiée. L'exploration des principes du Lean, des outils associés, de la digitalisation, ainsi que l'approche Kata et les algorithmes génétiques, nous a permis de construire un cadre méthodologique solide pour la suite de ce travail. Le chapitre suivant portera sur la mise en application concrète de ces concepts, afin d'analyser le processus actuel, identifier les points de blocage et initier une dynamique d'amélioration continue.

# Chapitre 3

## Solutions apportées à la problématique

### 3.1 Introduction

Ce chapitre met l'accent sur notre contribution, en s'appuyant sur les quatre phases de l'approche Kata ainsi que sur la mise en place d'une formation dédiée. Il traite également de l'automatisation de l'ordonnancement des BCO et propose une solution ergonomique et facile à déployer, permettant à l'entreprise de pérenniser les résultats obtenus.

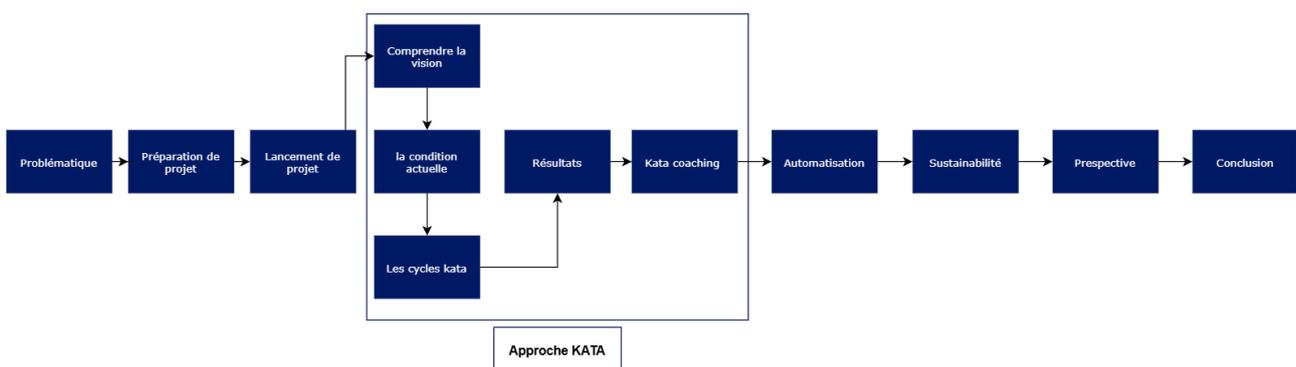


FIGURE 3.1 – Schéma de cadre du 3<sup>ème</sup> chapitre

### 3.2 Pilotage de la problématique

#### 3.2.1 Préparation pré-projet

##### Formation SOP

Dans le cadre de notre intégration au sein de l'équipe, nous avons suivi une formation dédiée aux SOP (Standard Operating Procedures), visant à nous familiariser en profondeur avec le processus sur lequel nous allons intervenir, ainsi qu'à en assurer une analyse rigoureuse.

Cette formation s'est déroulée en deux volets complémentaires :

- **Formation théorique** : elle nous a permis de comprendre en détail l'ensemble du processus lié au BCO (nom complet à préciser si nécessaire), à travers l'étude des SOPs. Ces documents standardisés décrivent de manière précise chaque étape du processus, les

tâches associées ainsi que les instructions nécessaires à leur réalisation conforme. (**Voir Figure 4.12 en Annexe**)

- **Formation pratique** : cette phase nous a offert l'opportunité de mettre en application les connaissances acquises sur le terrain en intégrant les opérateurs. Cela nous a permis d'observer et de participer concrètement à l'exécution des différentes tâches, tout en consolidant notre compréhension du processus opérationnel.

## Identification du projet

### QQOQCCP

Une première identification du projet a été réalisée en utilisant le questionnaire QQOQCCP, qui est présenté dans le tableau 3.1

| Questions   | Réponses  |
|---|---|
| Qui sont les personnes concernées par ce projet ? | Les opérateurs de la ligne de conditionnement ainsi que l'équipe cLean.   |
| De quoi s'agit-il ?                               | Amélioration et standardisation du temps de changement de lot.  |
| Où cela se passe-t-il ?                           | Au niveau des deux lignes de conditionnement S et P au sein du site Flexpen Novo Nordisk Algérie.                 |
| Quand le problème a-t-il été identifié ?          | Après que Novo Nordisk a décidé de réduire le temps de changement de lot dans les deux lignes de conditionnement. |
| Comment le problème a-t-il été identifié ?        | Il a été remarqué lors des différents BCO que le temps diffère d'un changement de lot à un autre.                 |
| Pourquoi ?  | Pour améliorer le fonctionnement de la ligne et, par conséquent, la cadence de production.                        |

TABLE 3.1 – QQOQCCP

### Les 05 pourquoi

Une deuxième étape d'identification a été réalisée grâce au questionnement avec l'outil des 5 Pourquoi, comme illustré dans le tableau 3.2

| Questions  | Réponses   |
|------------|--|
| Pourquoi ? | L'objectif fixé par la stratégie n'est pas atteint.                    |
| Pourquoi ? | La productivité des deux lignes de conditionnement n'est pas optimale. |
| Pourquoi ? | Le temps total d'arrêts entre les lots est long.                       |
| Pourquoi ? | La méthode d'exécution du changement de lot n'est pas standardisée.    |
| Pourquoi ? | Aucun projet de standardisation n'a été mis en place.                  |

TABLE 3.2 – Les 05 pourquoi

## SIPOC

Après avoir identifié les clients, le SIPOC nous permet d'avoir une vue holistique afin de nous familiariser avec le processus. Le SIPOC réalisé est présenté en annexe. (Voir figure 4.13 en Annexe)

## Charte de projet

La charte de projet résume les principales conclusions du préprojet et constitue un document essentiel pour initier et orienter le projet. Elle définit précisément le problème ou l'opportunité d'amélioration, identifie les caractéristiques critiques pour les clients, établit l'état actuel et l'état souhaité, et met en place le groupe de travail chargé de la mise en œuvre. La charte sert de référence pour le suivi, l'évaluation et la communication du projet, et peut être révisée au besoin afin de garantir l'atteinte des objectifs dans les délais prévus. (Voir figure 4.15 en Annexe)

## Design team

Le choix des membres du groupe projet a été fait en fonction des besoins identifiés. Nous avons veillé à sélectionner des profils complémentaires pour couvrir l'ensemble du processus, de la supervision jusqu'à l'exécution terrain. Afin de bien définir les rôles et responsabilités de chacun, nous avons utilisé une matrice des rôles et responsabilités. Cela nous a permis de mieux cadrer le travail de l'équipe dès le départ. (Voir tableau 4.2 en Annexe)

### 3.2.2 Lancement du projet

Le lancement du projet s'est fait à travers une présentation où nous avons présenté l'équipe projet, les objectifs, ainsi que la valeur ajoutée du projet sur la manière de travailler des opérateurs et son impact sur la productivité de l'entreprise.

Nous avons ensuite expliqué l'approche que nous allons suivre : l'approche KATA, qui se base sur des étapes simples et organisées pour trouver et mettre en place des solutions efficaces. Cette méthode permet d'avancer pas à pas, en impliquant les équipes et en assurant une amélioration



### 3.3.2 Etap 02 : Saisir la condition actuelle

Dans le cadre de l'approche KATA, il est important d'étudier en détail le processus actuel. Cette analyse permet de voir comment les choses se passent réellement sur le terrain, sans se baser sur des idées préconçues. Elle sert de point de départ pour mieux connaître le processus, repérer les écarts avec la situation idéale, et identifier les pistes d'amélioration.

#### Gemba walk

une visite directe sur le terrain, à l'endroit même où les activités se déroulent. Cette démarche permet d'observer les opérations en temps réel, d'échanger avec les opérateurs, de poser des questions sur leurs méthodes de travail, et de mieux comprendre les difficultés rencontrées.

Pour structurer les échanges, on a préparé un ensemble de questions types, telles que :

- Que faites-vous actuellement ?
- Quelle est la prochaine étape après cette tâche ?
- Ce travail suit-il une procédure standard ? Où est-elle documentée ?
- Pouvez-vous me décrire le processus de A à Z ?
- Y a-t-il des étapes qui n'ajoutent pas de valeur selon vous ?
- Y a-t-il des tâches qui pourraient être automatisées ou simplifiées ?
- Quelles sont les obstacles que vous rencontrez régulièrement ?
- Avez-vous des idées pour améliorer cette étape ?

#### Vidéo filmée

Pour mieux comprendre le processus réel sur le terrain, nous avons filmé un BCO impliquant trois rôles distincts. Une première vidéo générale de 57 minutes offre une vue d'ensemble complète du déroulement. Trois autres vidéos ciblées permettent d'analyser en détail les tâches spécifiques à chaque rôle. Cet enregistrement vise à cartographier le processus, identifier les gaspillages éventuels et évaluer la répartition des tâches entre les opérateurs.

#### BPMN

Le processus de changement de lot est cartographié de manière globale à travers un modèle illustrant les interactions entre les divers intervenants impliqués dans ce processus. Les parties prenantes incluent :

- Les 3 opérateurs impliqués dans le changement de lot.
- Les techniciens et l'ingénieur IT.
- Le coordinateur SAP.

Le BPMN du processus de changement de lot est représenté. (Voir figure 4.16 en Annexe)

#### Workshop avec l'équipe de projet

Un atelier d'une journée a été organisé avec l'équipe projet pour cartographier l'état actuel du processus à partir des vidéos analysées, puis identifier des pistes d'amélioration en vue de

concevoir une version cible optimisée du processus.

Le déroulement s'est articulé autour des étapes suivantes :

### Introduction et alignement

L'atelier a débuté par une introduction permettant de faire un point sur l'état d'avancement du projet, de rappeler les objectifs, et de présenter les prochaines étapes. Cette phase visait à aligner tous les membres de l'équipe sur la vision globale et les attendus de la session.

### Analyse des vidéos filmées

Nous avons ensuite analysé ensemble les vidéos captées lors de l'observation terrain. Chaque participant a noté les différentes étapes effectuées par chaque rôle, ainsi que les goulots d'étranglement identifiés au cours du processus.

### Cartographie de l'état actuel

Dans une dynamique d'amélioration continue, l'équipe a reconstitué le processus actuel à l'aide de post-its représentant les tâches par rôle (Voir tableau 4.3 en Annexe) et leur durée. Cette visualisation a permis d'identifier les enchaînements, les interactions, ainsi que les blocages et pertes de valeur.

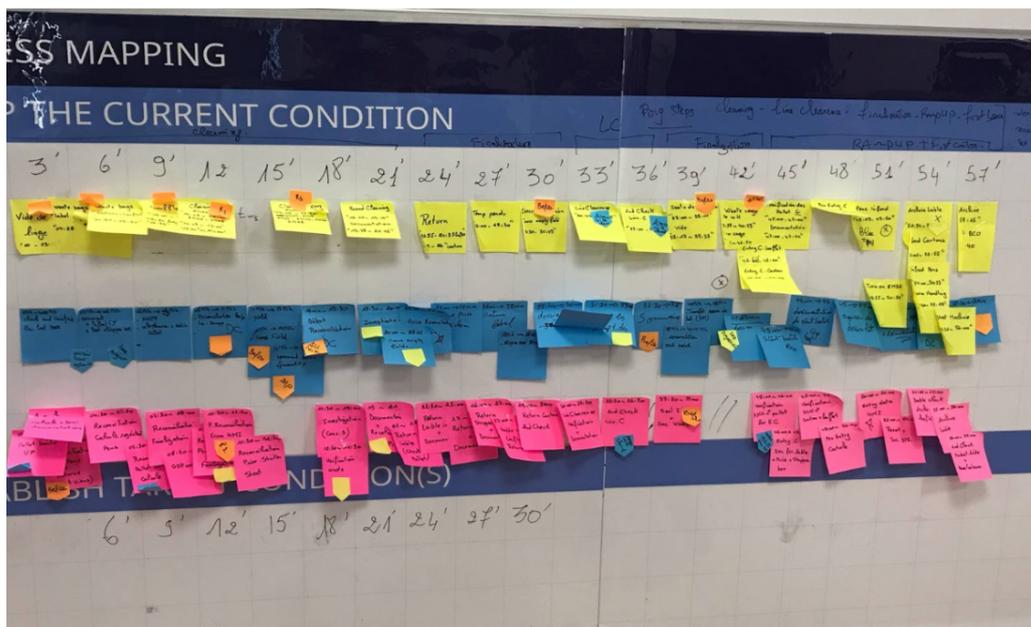


FIGURE 3.3 – Mapping d'état actuel du processus BCO

Nous avons également collecté l'ensemble des tâches réalisées par chaque opérateur, ainsi que leur durée respective, à partir de l'analyse vidéo. Cette démarche nous a permis de distinguer les tâches à valeur ajoutée de celles sans valeur ajoutée, en vue d'identifier les pistes d'amélioration. (Voir figures 4.17, 4.18, 4.19 en Annexe)

### Synthèse sur l'état actuel du processus

Afin d'identifier les leviers d'amélioration du processus de BCO, une analyse détaillée a été réalisée à partir des observations terrain et des vidéos. synthétise les principaux constats relevés,

ainsi que leurs impacts sur le déroulement global du processus.

Nous avons pu nous référer au diagramme d'Ishikawa ci-dessous afin de nous interroger de manière globale sur les causes affectant la performance de la ligne

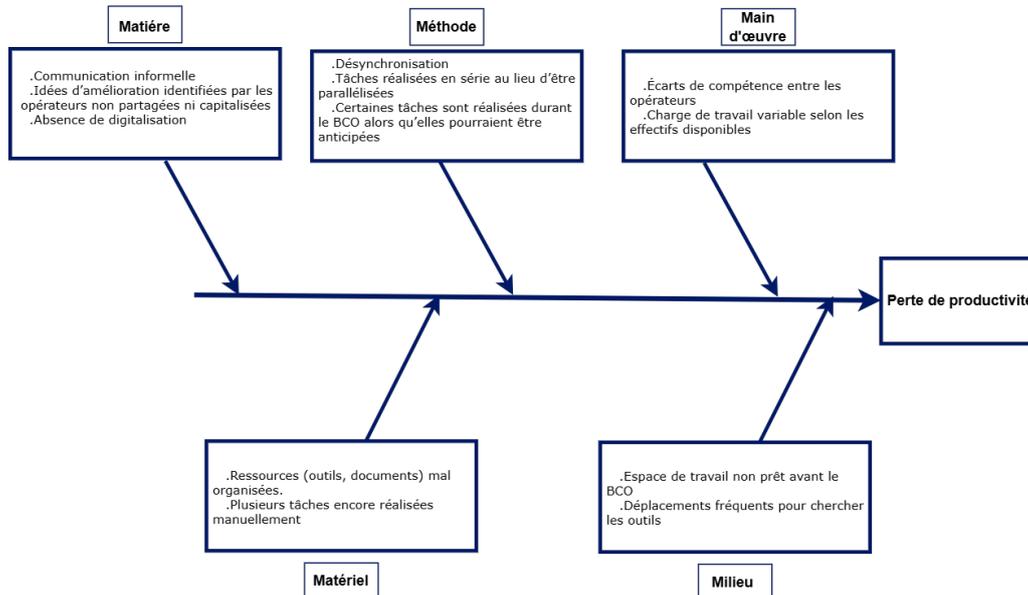


FIGURE 3.4 – Diagramme d'Ishikawa

L'analyse de ces causes est détaillée dans un tableau qui évalue leur impact direct sur le processus de changement de lot (BCO). (Voir tableau 4.4 en Annexe)

### 3.3.3 Etap 03 : Établir la condition cible suivante

À partir de la cartographie As-IT's, nous avons engagé une réflexion collective pour proposer des améliorations selon trois types d'actions :

- Réarranger (réorganiser) : redéfinir l'ordre ou la répartition des tâches entre les rôles afin de fluidifier le processus, équilibrer les charges de travail, ou externaliser certaines tâches hors du BCO si cela s'avère pertinent.
- Éliminer : supprimer les étapes sans valeur ajoutée ou redondantes, dans une logique de réduction des gaspillages (muda) et d'optimisation du processus.
- Ajuster : modifier certaines tâches ou pratiques (outil, méthode) afin de les rendre plus efficaces, plus fiables ou plus simples à réaliser.

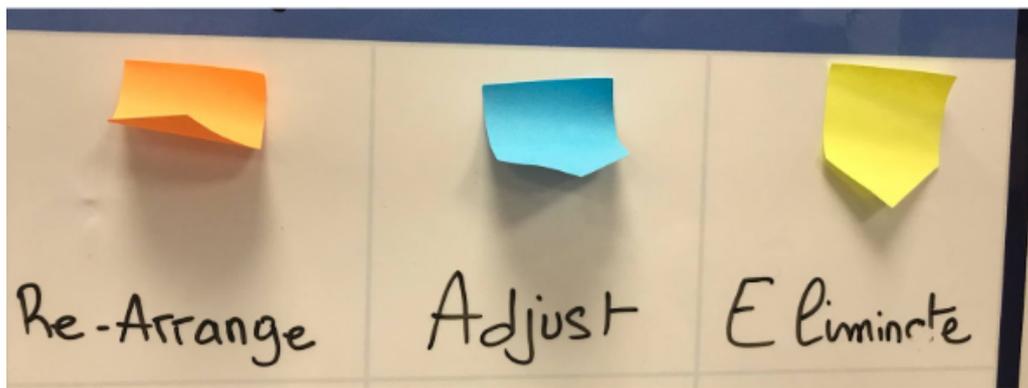


FIGURE 3.5 – Les actions kata

L'objectif c'est de simplifier le process , le fluidifier et le maintenir a 30 min

### 3.3.4 Etap 04 : Expérimenter en fonction de la condition cible suivante

#### Kata Coaching

Lors des phases d'expérimentation et de simulation, nous avons appliqué les principes du Kata Coaching afin d'atteindre notre objectif. Cette approche nous a permis d'avancer de manière structurée et itérative, en suivant les cinq questions fondamentales du Kata Coaching,

Les cinq questions que nous avons utilisées sont les suivantes :

- What is your target condition ?
- What is the current condition ?
- What obstacles are preventing you from reaching the target condition ?
- What is your next step ?
- When can we go and see what we have learned from taking that step ?

## Expérimentation et simulation

Après plusieurs Gemba (analyses des BCO) et un workshop, nous avons pu identifier les problèmes suivants :

| Problèmes détectés                                     | Rôle       | Type de muda                       | Action     |
|--|------------|------------------------------------|------------|
| P1 - Redondance dans l'ouverture/fermeture des portes  | R1         | Mouvement inutile                  | Ajuster    |
| P2 - Charge importante sur le soufflage et le cleaning | R1         | Mouvement inutile                  | Réarranger |
| P3 - Charge importante sur le line clearance           | R1         | Mouvement inutile                  | Réarranger |
| P4 - Temps morts dus aux vérifications                 | R1, R3     | Attente                            | Réarranger |
| P5 - Mauvaise communication                            | R1, R2, R3 | Attente, Défaut, Mouvement inutile | Éliminer   |
| P6 - Incertitude liée à l'absence de standard          | R1, R2, R3 | Surtraitement, Compétence          | Ajuster    |
| P7 - Non-traçabilité de la disponibilité des outils    | R1         | Attente, Mouvement inutile         | Éliminer   |

TABLE 3.3 – Tableau récapitulatif des problèmes détectés

### Interprétation

Afin d'interpréter les problématiques et l'action corrective, On questionne **l'existence, La raison de changement et l'apport probable de changement** .

1. **Redondance d'ouverture des portes** : L'opérateur R1 ouvre d'abord toutes les portes de la machine pour effectuer le soufflage, les referme, puis les rouvre pour nettoyer les stations, avant de les refermer définitivement.
  - Ajuster : L'opérateur ouvre toutes les portes de la machine pour réaliser le soufflage puis le cleaning des stations, puis les referme.
  - Pourquoi ? : Ouvrir les portes est une tâche nécessaire, mais le process est mal pris !
  - L'apport ? : L'ajustement va éliminer les mouvements inutiles.
2. **Charges importantes sur le soufflage et le cleaning des stations de la machine** : Les deux tâches nécessitent de nombreux déplacements, l'opérateur rencontre des obstacles liés au zonage, et les processus débutent de manière aléatoire selon les zones. Voici un diagramme spaghetti illustrant les déplacements de l'opérateur au cours de l'exécution de ses tâches.

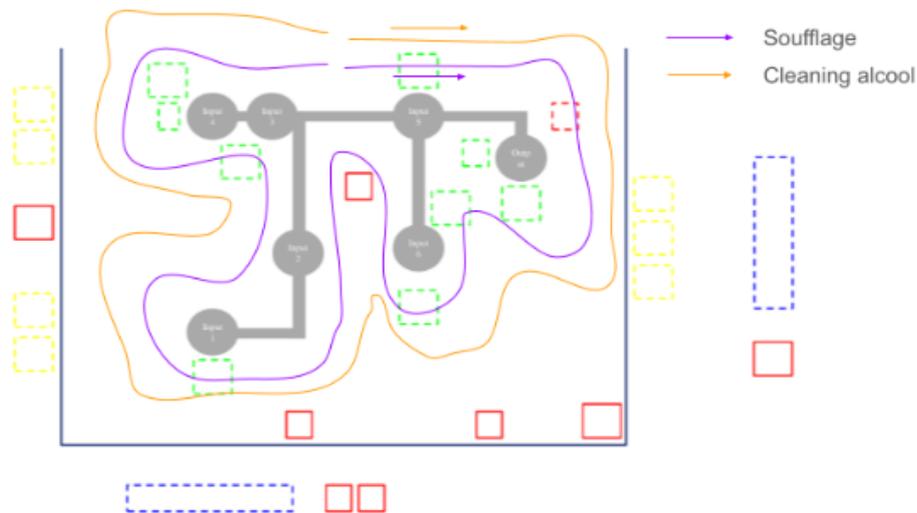


FIGURE 3.6 – Diagramme de spaghetti : Cleaning et soufflage

3. **Charges importantes sur le line clearance** : Identique au cleaning et soufflage
4. **Temps morts importants dus aux vérifications** : Le rôle 3 reste inactif (temps mort important) en attendant la fin du cleaning, du line clearance et soufflage pour pouvoir commencer la vérification.
  - Réarranger : les 3 tâches liées au P2,P3 et P4 vont être affecté a 2 roles differentes.
  - Pourquoi ? : les 3 processus nécessitent un mouvement et effort important, et en parallèle un temps d'attente (temps à NVA).
  - L'apport ? : fusionner deux tâches clés du BCO en une seule réalisée en parallèle par deux opérateurs, afin d'optimiser les mouvements inutiles, d'équilibrer les charges et de réduire le temps d'attente.
5. **La non traçabilité sur la disponibilité des outils** : Par exemple, pour les bouteilles d'alcool, il arrive que l'alcool soit indisponible, non préparé ou en quantité insuffisante pour répondre au besoin.
  - Adjuster : L'opérateur doit préparer l'alcool avant le BCO, avec des supports placés près des zones de cleaning.
  - Pourquoi ? : En ajustant, on evite le mouvement vers la case des outils qui est hors la zone de bco.
  - L'apport ? : Eliminer les mouvements inutiles et gagner en temps.

Après avoir défini les actions d'amélioration, nous nous appuyerons sur un pré-standard détaillant les processus, sous-processus et dépendances entre tâches et opérateurs. À chaque simulation, des cartes de rôles seront attribuées et ajustées jusqu'à l'atteinte de l'objectif. Une fois l'objectif atteint, la role card finale constituera le standard optimal.

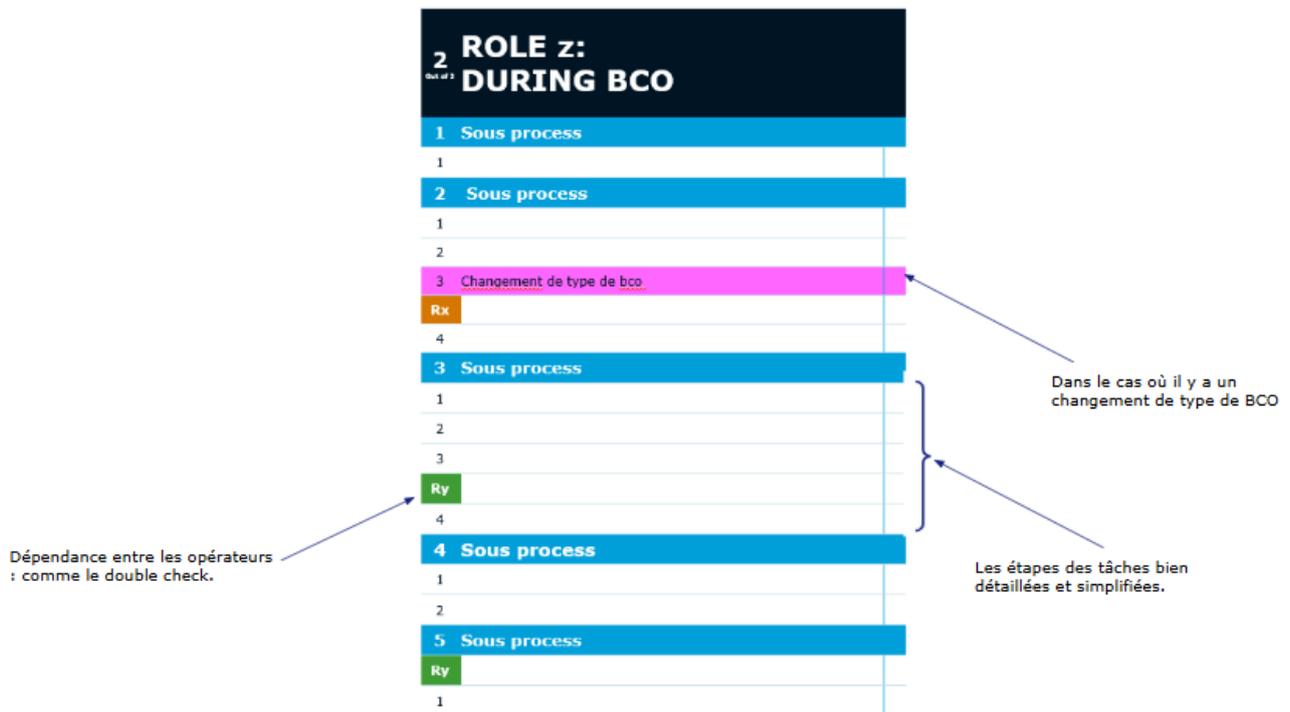


FIGURE 3.7 – Format d'une role card

Pour le suivi de la métrique du temps (temps de bco), un tableau de bord physique est mis en place, où sont consignés les résultats des expérimentations, permettant ainsi de visualiser l'évolution des performances obtenues après chaque simulation.

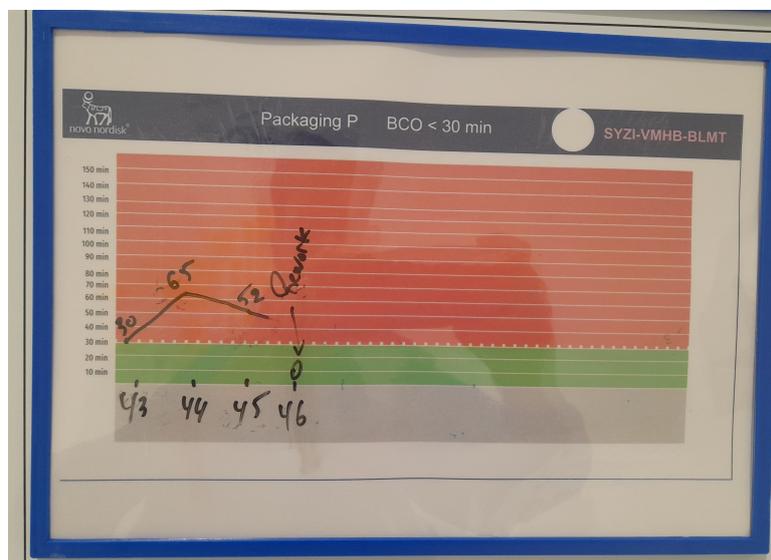


FIGURE 3.8 – Tableau physique de suivi

## Simulation N°01

Nous avons simulé et analysé en détail deux BCO, en chronométrant les tâches ciblées par les actions proposées afin d'évaluer leur impact. Il en ressort que ces actions d'amélioration visent principalement à optimiser deux étapes clés du BCO : le line clearance et cleaning.

1. Les actions proposées visent à résoudre les problèmes P1, P2, P3 et P4.

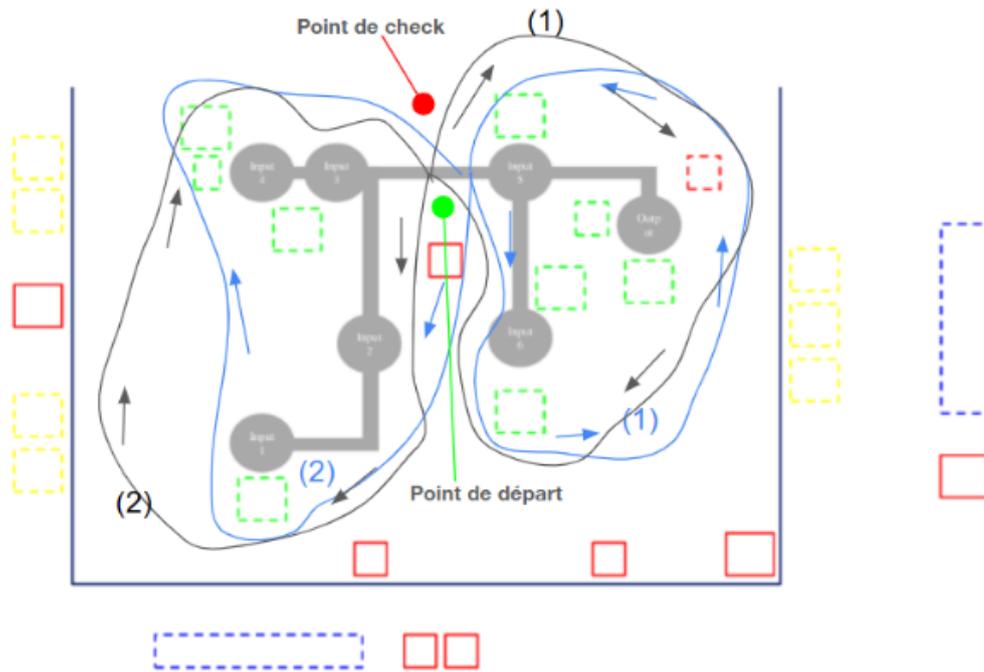


FIGURE 3.9 – Diagramme de spaghetti : flux des 2 operateurs

- Point de départ : Les opérateurs commenceront à ce point et réaliseront le cleaning et le line clearance en parallèle, dans un sens inverse selon les zones des stations.
- Point de check : les opérateurs se réunissent à ce point et inversent les stations pour réaliser la vérification.

2. L'action proposée pour le P7 vient d'optimiser **1 min** du temps de bco observé sur l'état actuel du process.

### Résultats N°01

Avant :

$$BCO_{\text{avant}} = 57 \text{ min}, \quad \text{Line Clearance} = 10 \text{ min}, \quad \text{Cleaning} = 21 \text{ min}$$

Après : Le cleaning et le line clearance sont réalisés en parallèle

$$BCO_{\text{Sim01}} = 49 \text{ min}, \quad \text{Line Clearance} + \text{Cleaning} = 24 \text{ min}$$

$$BCO_{\text{Sim02}} = 47 \text{ min}, \quad \text{Line Clearance} + \text{Cleaning} = 22 \text{ min}$$

Cependant, d'autres problèmes liés à la documentation ont été identifiés lors de la simulation, comme le montre le tableau ci-dessous.

### Interprétation

Afin d'interpréter les problèmes et l'action corrective, on questionne l'existence, la raison de changement et l'apport probable de changement.

| Problèmes détectés                                       | Rôle | Type de muda  | Action     |
|--|------|---------------|------------|
| P8 - Documenter et coucher les cases vides               | R1   | Surtraitement | Réarranger |
| P9 - Documenter seal ID                                  | R1   | Surtraitement | Réarranger |
| P10 - Documenter les commentaires pour la dernière boîte | R2   | Surtraitement | Réarranger |
| P11 - Documenter et coucher les cases vides              | R2   | Surtraitement | Réarranger |
| P12 - Établir le sommaire de dossier de lot              | R2   | Surtraitement | Réarranger |
| P13 - Documenter le seal ID et le déchet                 | R3   | Surtraitement | Réarranger |
| P14 - Documenter la quantité de lot                      | R2   | Surtraitement | Eliminer   |

TABLE 3.4 – Tableau récapitulatif des problèmes détectés apres la premiere simulation

- Les tâches liées aux P1, P2, P3, P4, P5 et P6 sont directement liées à la documentation, notamment au dossier de lot et au logbook.
  - Réarranger : Sortir les tâches hors le process bco (avant le bco).
  - Pourquoi ? : En étant des tâches externes (NVA) dans le processus de bco on peut les externaliser.
  - L'apport ? : Minimiser les tâches au nva dans le process et réduire le surprocessing.
L'externalisation de ces tâches avant le BCO a pu optimiser entre **08 et 09 min**
- La tâche P14 concerne la documentation d'une information particulièrement critique : la quantité de lot, qui doit être calculée, vérifiée, puis enregistrée dans le dossier de lot.
  - Eliminer : Le coordinateur SAP va noter la quantité de lot sur le BPR , et éviter le calcul et la vérification d'opérateur.
  - Pourquoi ? : Elle représente un surprocessing sur l'opérateur R2 , un temps perdu et un mouvement inutile. du calcul et de la vérification .
  - L'apport ? : Minimiser les process a NVA.
L'élimination de cette tâche a permis de gagner 2 minutes.

### Simulation et Résultats N°02

En déployant les actions précédemment citées et en les simulant sur deux BCO, nous obtenons les résultats suivants :

$$BCO_{Sim03} = 39 \text{ min}, \quad BCO_{Sim04} = 38 \text{ min}$$

Malgré cette amélioration notable, l'objectif fixé n'a pas été atteint. D'autres problèmes ont été identifiés et doivent être traités afin de permettre l'atteinte de la cible.

### Interprétation

- Réorganisation des sacs** : l'opérateur R1 organise les leaflets, les étiquettes, les cartons et les price stickers sur des sacs spécifiques pour les faire sortir hors de la zone de bco (zone bleue).

| Problèmes détectés  | Rôle | Type de muda                      | Action     |
|---|------|-----------------------------------|------------|
| P15 - Réorganiser les sacs contenant les étiquettes, les brochures, les cartons et les étiquettes de prix | R1   | Mouvement inutile, Sur-traitement | Réarranger |
| P16 - Arranger les déchets dans la cage et préparer la nouvelle cage                                      | R1   | Mouvement inutile, Sur-traitement | Réarranger |
| P17 - Dossier de lot  | R2   | Mouvement inutile                 | Éliminer   |
| P18 - Vérification du nombre de palettes pour le contrôle d'entrée  | R3   | Mouvement inutile                 | Ajuster    |

TABLE 3.5 – Tableau récapitulatif des problèmes détectés après la deuxième simulation

- Réarranger : réaliser cette tâche Pendant le cleaning par les 2 opérateurs R1, R2.
- Pourquoi ? : Les sacs sont placés à proximité des stations dédiées au cleaning de ces déchets, afin de réduire les allers-retours.
- Apport ? : Minimiser les mouvements et réaliser un maximum de tâches quand les opérateurs sont près de la machine.

Cette action sur la tâche P1 peut générer un gain d'**une minute**.

2. **Arranger les déchets dans la cage et préparer la nouvelle cage** : L'opérateur R1 regroupe tous les déchets dans la cage prévue à cet effet, puis prépare une nouvelle cage.

- Réarranger : La tâche sera externalisée et réalisée en dehors du processus BCO.
- Pourquoi ? : Étant une tâche NVA dans le processus BCO, elle peut être effectuée en dehors de celui-ci (après le BCO).
- Apport ? : Optimiser les efforts, le temps et les mouvements, tout en minimisant les tâches sans valeur ajoutée.

Cette action sur la tâche P2 permet de gagner 2 minutes.

3. **Dossier de lot** : L'opérateur R2 doit se déplacer pour retrouver le coordinateur SAP et récupérer le nouveau dossier de lot.

- Éliminer : Cette tâche sera entièrement éliminée et transférée au coordinateur SAP, avec un support dédié pour le nouveau dossier de lot ainsi que pour le dossier actuel, disponible dans la zone bleue.
- Pourquoi ? : Tâche générant d'importantes pertes et créant du désordre au sein de l'équipe pendant le BCO.
- Apport ? : Eliminer le surprocessing.



FIGURE 3.10 – Solution proposée pour le BPR

Cette action va apporter un gain de **1 min**

4. **Vérification du nombre de palettes pour le contrôle d'entrée** : L'opérateur R3 doit se rendre aux palettes, les vérifier et noter leur nombre.
- Adjuster : Une copie de ce nombre sera faite directement dans le dossier de lot
  - Pourquoi ? : La tâche n'est pas exécutée de façon optimale.
  - Apport ? : Limiter les déplacements inutiles.

Cette action permettra un gain d'**une minute**.

### **Simulation et Résultats N°03**

En réalisant une seule simulation intégrant l'ensemble des actions correctives, nous avons obtenu le résultat suivant :

$$BCO_{Sim05} = 33 \text{ min}$$

Nous avons constaté une amélioration considérable dans le BCO, le processus est désormais plus fluide pour les opérateurs. Néanmoins, certains points restent perfectibles. L'objectif n'ayant pas encore été atteint, un réajustement s'avère nécessaire.

| Problèmes détectés  | Rôle | Type de muda      | Action     |
|---|------|-------------------|------------|
| P22 - Sac bin   | R2   | Mouvement inutile | Réarranger |
| P23 - Réconciliation des documents des stylos et retour               | R3   | Mouvement inutile | Réarranger |
| P24 - Réconciliation de la palette build-up et calcul de vérification | R3   | Surtraitement     | Ajuster    |
| P25 - Réconciliation des stylos à partir de l'HMI                     | R3   | Mouvement inutile | Ajuster    |

TABLE 3.6 – Tableau récapitulatif des problèmes détectés après la troisième simulation

### Interprétation

1. **Sac bin** : Préparation des nouveaux sacs pour le prochain BCO
  - Réarranger : Cette tâche sera réalisée après la finalisation du BCO.
  - Pourquoi ? : Tache a NVA dans le process bco.
  - Apport ? : Optimiser l'effort fournis dans la finalisation du bco.

Cette action apporte **une minute** comme gain.
2. **Réconciliation des documents des stylos et retour** : Cette tâche étant externe, elle sera réalisée avant le début du BCO. et elle va apporter **2min** en gain.
3. **Réconciliation de la palette build-up et calcul de vérification** : Au lieu de réaliser systématiquement cette tâche, elle n'est effectuée que pour les palettes partielles, afin d'éviter le surprocessing. en terme de gain on a **2min** pour cette action .
4. **Réconciliation des stylos à partir de l'HMI** : Elle sera affectée à l'opérateur R2, puisqu'il saisira les données du prochain BCO, ce qui permet d'éviter les mouvements inutiles liés aux changements de tâches.

Elle optimise **2 min**.

### Simulation et Résultats N°04

$$BCO_{Sim06} = 28 \text{ min}$$

### Résultats finaux

Après quatre simulations et ajustements, nous avons constaté que l'objectif ciblé a été atteint. Donc, nous avons mapper l'état futur optimal

- Etat final du standard :

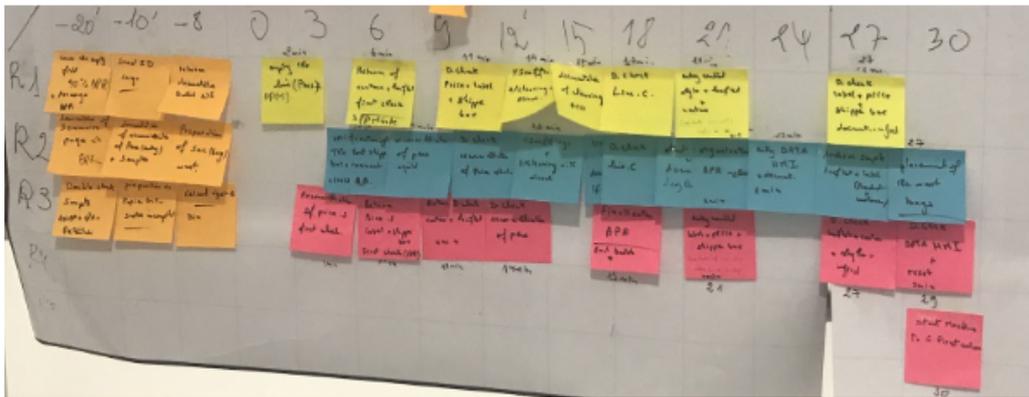


FIGURE 3.11 – Etat optimal du processus

À partir de cela, il convient d'établir un standard simple, pouvant servir de référence pour l'exécution du processus. Ce standard sera présenté sous forme de "Roles Cards", structurées en trois étapes : avant le BCO (20 minutes avant le démarrage), pendant le BCO et lors de la finalisation du BCO. (Voir figures 4.20, 4.21, 4.22 en Annexe)

- Synthèse des résultats :

Les résultats sont globalement positifs sur l'ensemble du BCO. L'impact des améliorations déployées est présenté dans le tableau 3.7.

**NB** : Les durées indiquées ne représentent pas des temps nets ; elles incluent également des tâches réalisées en parallèle.

| SIM | Tâches                    | Avant (min)   | Après (min)   |
|-----|---------------------------|---|---|
| 1   | Line clearance & cleaning | $Lc = 10$<br>$Cl = 21$                                    | $Lc + Cl = 22$  |
| 2   | Documentation             | $Doc = 31$<br>$Lc + Cl = 22$                              | $Doc = 21$<br>$Lc + Cl = 22$                              |
| 3   | Gestion des déchets       | $Waste = 11$<br>$Doc = 21$<br>$Lc + Cl = 22$              | $Waste = 8$<br>$Doc = 20$<br>$Lc + Cl = 22$               |
| 4   | Réconciliation            | $Rec = 21$<br>$Waste = 8$<br>$Doc = 20$<br>$Lc + Cl = 22$ | $Rec = 15$<br>$Waste = 8$<br>$Doc = 20$<br>$Lc + Cl = 22$ |

TABLE 3.7 – Évolution des durées avant et après ajustements par action

### Cross train les opérateurs

Après avoir atteint l'objectif clairement défini dès le départ, nous entamons désormais la phase de formation et de maîtrise du standard, en adoptant une approche de mentorat basée sur le coaching Kata :

- Design team :

Il est essentiel de garantir que l'équipe avec laquelle nous avons travaillé à l'élaboration du standard en devienne experte et en maîtrise parfaitement l'application. Pour éviter une

dépendance à certains opérateurs uniquement, nous adoptons une culture de polyvalence (cross-training), reposant sur des réaffectations progressives une fois chaque rôle maîtrisé. Ainsi, l'ensemble de l'équipe acquiert progressivement une expertise sur l'ensemble des rôles.

- Les autres opérateurs :

Une fois la formation en cross-training finalisée, l'équipe de conception (design team) assurera le coaching des autres opérateurs et partagera son expertise, afin de garantir un même niveau de polyvalence à l'échelle de l'ensemble du site.

### 3.3.5 Estimation des gains

#### 1. Temps

Le BCO initial était de 57 minutes, marqué par d'importantes pertes de temps liées à une multitude de petits dysfonctionnements. Ces détails cumulés constituaient un frein majeur à l'atteinte de la stratégie définie ainsi qu'aux objectifs opérationnels visés, tout en générant un certain désordre pour les opérateurs sur le terrain.

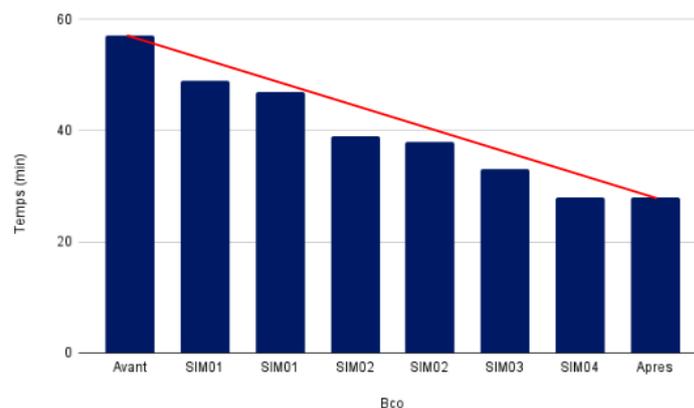


FIGURE 3.12 – Évolution du temps de bco

Grâce aux actions d'amélioration mises en œuvre, la durée du BCO a été réduite à 28 minutes. Ce résultat, particulièrement impressionnant, démontre le potentiel de la démarche engagée. Avec une meilleure appropriation des standards déployés et une montée en maturité des équipes, il est raisonnable de penser que ces performances pourront non seulement être consolidées, mais aussi dépassées à l'avenir.

#### 2. Produits

Le BCO initial entraînait une perte estimée à près de 6 500 stylos par bco, soit environ 600 000 stylos par an. Ce gaspillage impactait directement la capacité à atteindre l'objectif global, à savoir répondre efficacement à la demande tout en restant compétitif sur le marché.

À l'issue de ce projet, le BCO a été optimisé à 28 minutes, permettant d'atteindre une production de 350 000 stylos par an. Ce gain substantiel révèle des «capacités cachées» jusque-là inexploitées, et met en lumière un potentiel d'amélioration opérationnelle important.

## 3.4 Ordonnancement du BCO via algorithme génétique

Nous avons identifié plusieurs limites concernant la mise en place des rôles cards :

- Le processus de création est particulièrement long et demandeux en temps.
- Il implique un effort important de coordination et mobilise plusieurs ressources, en particulier les opérateurs.
- Les rôles cards sont définis uniquement pour une configuration standard de trois opérateurs.
- Cette rigidité rend leur application peu flexible dans des contextes où la configuration opérationnelle varie (absences, imprévus, etc.).

Afin de répondre à ces problématiques, nous avons proposé une solution permettant de digitaliser et d'optimiser l'ordonnancement des tâches à l'aide d'un algorithme génétique. Cette approche vise à générer automatiquement une répartition optimale des tâches en fonction du contexte réel et des contraintes identifiées.

### 3.4.1 Fonctionnement d'algorithme

L'algorithme génétique développé dans notre solution repose sur plusieurs fonctionnalités clés qui permettent d'optimiser l'affectation et l'ordonnancement des tâches entre opérateurs.

- **Codage** des solutions sous forme de séquences de tâches attribuées aux opérateurs.
- **Génération aléatoire** de la population initiale pour assurer la diversité.
- **Sélection élitiste** combinée à une sélection parmi les meilleurs individus.
- **Croisement** basé sur l'ordre, respectant les contraintes de précédence.
- **Mutation** par échange de deux tâches, avec vérification de la validité.
- **Évaluation** des solutions via le *makespan* ( $C_{\max}$ ) à minimiser.
- **Critère d'arrêt** défini par un nombre fixe de générations.

Ce fonctionnement respecte les points suivants :

- Le nombre d'opérateurs actifs dans une solution n'est pas fixe. Il dépend de la disponibilité des opérateurs et de la stratégie d'affectation adoptée.
- Les tâches sont affectées aux opérateurs disponibles selon la règle FOM (First available Operator), c'est-à-dire que chaque tâche est affectée à l'opérateur libre le plus tôt possible.
- Chaque tâche est affectée à un seul opérateur.
- L'ordre des tâches dans chaque liste détermine leur exécution séquentielle sur cet opérateur.
- Dépendance entre les tâches :
  - o Certaines tâches, comme le *double check* de la *line clearance*, ne doivent pas être effectuées par l'opérateur ayant réalisé le premier check.
  - o Les tâches de *cleaning* et de *line clearance* doivent être réalisées par deux opérateurs en même temps, selon l'amélioration mise en place.

Les étapes de cet algorithme sont présentées dans l'algorithme **1** en Annexe.

### 3.4.2 Résultats

Nous avons testé l'algorithme sur le processus de BCO après avoir réalisé l'amélioration et construit les cartes de rôles, afin de fiabiliser les données d'entrée. En effet, le résultat dépend entièrement de la qualité des inputs fournis.

#### Choix des paramètres :

Afin d'assurer un bon compromis entre qualité des solutions et efficacité de calcul, plusieurs paramètres ont été définis pour guider l'algorithme génétique. Ces paramètres influencent directement la performance, la stabilité et la capacité de l'algorithme à converger vers une solution optimale.

| Paramètre               | Valeur |
|-------------------------|--------|
| Taille de la population | 80     |
| Nombre de générations   | 100    |
| Taux de croisement      | 0,8    |
| Taux de mutation        | 0,1    |
| Taille de l'élite       | 2      |

TABLE 3.8 – Paramètres utilisés dans l'algorithme génétique

- **Taille de la population (80 individus)** : Ce choix permet de maintenir une diversité suffisante au sein de chaque génération, tout en assurant un temps de calcul raisonnable. Une population plus grande favoriserait une exploration plus riche de l'espace des solutions, mais au détriment de la rapidité.
- **Nombre de générations (100)** : Ce paramètre correspond au nombre d'itérations de l'algorithme. Cent générations offrent une durée d'évolution suffisante pour permettre aux solutions de s'améliorer progressivement et de converger vers un planning optimisé.
- **Taux de croisement (0,8)** : Un taux élevé permet de générer efficacement de nouvelles solutions en combinant les meilleurs individus. Le croisement constitue ici le principal moteur d'évolution, favorisant une convergence rapide vers des solutions de qualité.
- **Taux de mutation (0,1)** : Ce taux modéré introduit une diversité génétique nécessaire pour éviter la stagnation prématurée dans un minimum local. Il permet d'explorer de nouvelles pistes tout en conservant les bonnes solutions déjà identifiées.
- **Taille de l'élite (2 individus)** : La conservation des deux meilleurs individus de chaque génération garantit que les solutions les plus performantes ne sont pas perdues. Cela contribue à accélérer la convergence et à stabiliser les performances globales de l'algorithme.

#### Inputs

Voici les données nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de l'algorithme :

1. Fichier Excel contenant les colonnes suivantes : (Voir figure ?? en Annexe)
  - ID de la tâche : Identifiant unique de chaque tâche.

- Description de la tâche : Brève explication de l'action à réaliser.
- Durée de la tâche : Temps estimé nécessaire pour accomplir la tâche (en minutes).
- Dépendances : Tâches qui doivent être terminées avant celle-ci.
- Lien du QR code : Lien associé à un QR code, redirigeant vers une vidéo explicative de la tâche correspondante.

2. **Le nombre des opérateurs disponibles** : Saisi lors de l'exécution de code pour répartir les tâches.

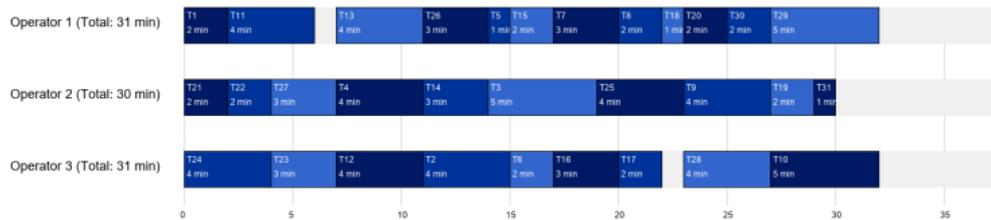
```
PS C:\Users\IT DOCTOR\Desktop\Stage Novo\Algorithm> & "C:/Users/IT DOCTOR/AppData/Local/Programs/Python/Python313/python.exe" "c:/Users/IT DOCTOR/Desktop/Stage Novo/Algorithm/test.py"
Enter the number of operators: 3
```

FIGURE 3.13 – L'entrée de nombre d'opérateurs

## Outputs

L'algorithme génère un fichier PDF contenant :

1. Diagramme de gantt : Ce diagramme illustre comment les tâches sont réparties entre les opérateurs, selon l'ordre d'exécution, dans le cadre du BCO, Avec une petite conclusion sous le diagramme sur les résultats obtenus



### Summary

- Total BCO Duration: 32 min
- Operator 1: 31 min, 12 tasks
- Operator 2: 30 min, 10 tasks
- Operator 3: 31 min, 9 tasks

FIGURE 3.14 – Ordonnancement des tâches de bco

2. Le tableau des tâches : Pour respecter le principe des cartes de rôle, l'algorithme génère un tableau de tâches pour chaque opérateur, selon l'ordre d'exécution. (Voir figure 4.24 en Annexe). Ce tableau contient les éléments suivants :

- ID de la tâche
- Description de la tâche
- QR code : Généré automatiquement à partir du lien fourni dans le fichier Excel, il redirige vers une vidéo explicative de la tâche.

## Évolution

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du makespan (Cmax) au fil des générations lors de l'exécution de l'algorithme génétique.

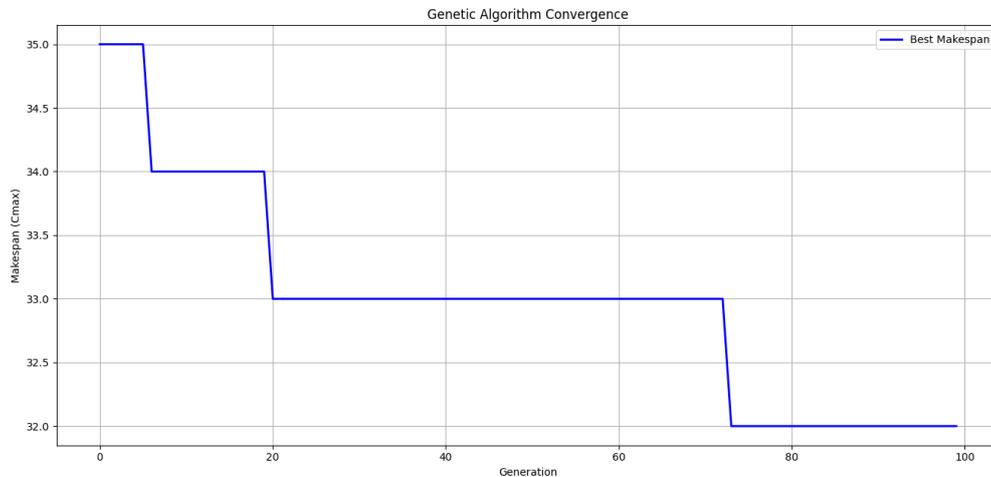


FIGURE 3.15 – Évolution du Makespan au fil des générations

On observe une diminution progressive du makespan, ce qui reflète l'amélioration des solutions au fur et à mesure des itérations. L'algorithme parvient à converger vers une solution optimale ou quasi-optimale après un certain nombre de générations.

Cela confirme son efficacité dans la répartition des tâches et l'optimisation de l'ordonnancement pour le processus BCO.

### 3.4.3 Analyse comparative

| Approche                           | Résultat     | Avantages   | Limites   |
|------------------------------------|--------------|---|---|
| Role Card classique                | BCO = 28 min | Simple à mettre en œuvre, basé sur l'expertise des opérateurs | Moins précis, dépend de l'observateur, temps de simulations considérable.   |
| Role Card par algorithme génétique | BCO = 32 min | Optimisation du temps de simulation et flexibilité            | Dépend des inputs et ne prend pas en considération les contraintes humaines |

TABLE 3.9 – Comparaison entre les deux approches

L'approche classique, bien que fondée sur l'expertise terrain, reste chronophage et difficilement reproductible. En revanche, l'utilisation d'un algorithme génétique permet une optimisation plus rapide et flexible du processus. Ces deux approches ne sont pas opposées, mais complémentaires : la méthode classique apporte la dimension humaine et contextuelle, tandis que l'algorithme fournit un appui analytique et reproductible. Le choix ou la combinaison de ces approches dépendra du contexte opérationnel.

## 3.5 Durabilité

Suite aux deux projets réalisés, le SMED (ayant permis une amélioration significative de la performance du BCO) et le Yamazumi (ayant optimisé les mouvements des opérateurs durant le process) (Voir page 46). Le projet actuel s'est principalement orienté sur le processus, c'est-à-dire la manière de faire, pourquoi le faire, et comment bien le faire. malgré les gains obtenus dans les deux premiers projets, on constate souvent un recul des résultats. Dès lors, un besoin crucial émerge :

**Comment rendre les résultats obtenus dans le projet actuel durables, simples à maintenir, et surtout résilients face au temps ?**

Et au-delà de la durabilité :

**Comment instaurer une dynamique continue de remise en question, de progression et d'auto-amélioration, tout en gardant l'équipe engagée et challengée ?**

### 3.5.1 Analyse fonctionnelle

#### Identification du besoin

Pour identifier le besoin, nous nous sommes posés les questions suivantes :

- A qui le produit rend-il service ?
- Dans quel but ?
- Sur quoi le produit agit-il ?

Les réponses à ces questions seront illustrées par le diagramme de "Bêtes à cornes" qui va présenter les différentes interactions entre elles.

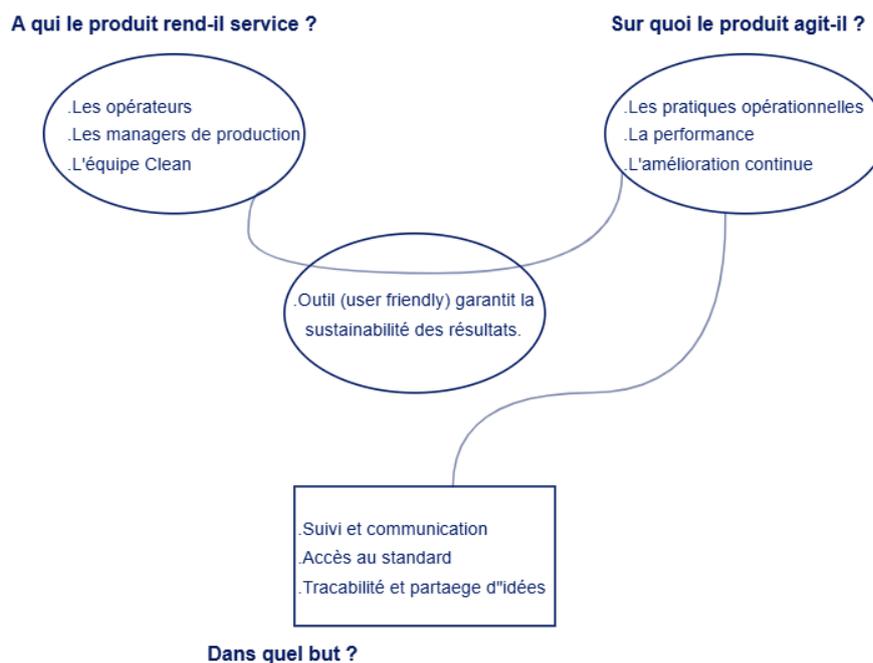


FIGURE 3.16 – Identification du besoin – Diagramme de la Bête à corne

## Validation du besoin

### - Pourquoi ce besoin existe-t-il ?

1. Après chaque amélioration, les résultats ne sont pas maintenus et la roue du PDCA s'effondre.
2. Les résultats des projets d'amélioration (SMED, Yamazumi) ne sont pas pérennes sans un système de suivi structuré.
3. Les standards ne sont pas toujours visibles, compris ou appliqués sur le terrain.
4. Les opérateurs et managers ont besoin d'un outil simple et quotidien pour maintenir l'engagement, suivre les écarts et encourager l'amélioration continue.

### - Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?

1. L'arrivée de nouvelles méthodes ou outils Lean plus performants.
2. Une évolution de la culture d'entreprise vers plus d'autonomie et de responsabilisation.
3. L'intégration de l'IA ou de l'IoT dans les processus industriels pour automatiser le suivi des standards.

### - Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?

1. Une autonomie complète des équipes, avec des pratiques d'amélioration profondément ancrées.
2. L'existence d'un outil centralisé (ERP, MES, DDP, plateforme digitale) couvrant déjà toutes les fonctions visées.
3. L'automatisation totale des processus, ne nécessitant plus d'interventions humaines ou d'amélioration manuelle.

## 3.5.2 La solution

Pour répondre aux besoins exprimés et expliqués, la solution proposée prend la forme d'une application digitale développée pour assurer la standardisation et la pérennisation des bonnes pratiques mises en place à l'issue du projet actuel. Cette application ne se limite pas à l'atteinte d'un objectif fixé (comme un BCO à 30 minutes), mais encourage une dynamique de dépassement en incitant les équipes à challenger continuellement cet objectif, afin de renforcer la compétitivité et d'ancrer durablement une culture d'amélioration continue.

## Fonctionnalité

### 1. La communication :

La communication entre le manager et les opérateurs est un facteur clé tout au long du processus de production, en particulier lors des phases de changement de lot où la coordination devient essentielle. De plus, la communication avec l'ingénieur SAP représente également un point de friction : il arrive que des opérateurs doivent quitter leur poste pour le chercher. Ces pertes de temps répétées impactent directement la productivité et soulignent la nécessité d'un outil de communication fluide et centralisé.

### 2. Suivi des kpis :

Chaque étape du processus BCO (Cleaning et Line Clearance, Finalisation et Ramp-up) sera suivie à la fois en termes d'avancement et de durée. Les sous-processus seront chronométrés afin de vérifier leur conformité par rapport aux standards définis. L'ensemble de ces résultats sera collecté et visualisé dans un tableau de bord BCO Performance. Les metrics sont les suivantes

- Taux d'application de standard
- Temps de BCO
- Temps de line clearance + cleaning
- Temps de rampup
- Temps de finalisation

Si des écarts sont constatés par rapport à l'objectif préalablement fixé, l'opérateur concerné initiera un commentaire expliquant l'écart observé. Les commentaires seront centralisés dans un fichier Excel, puis exportés et envoyés au clean coordinateur. Ce dernier sera chargé de traiter les causes racines, c'est pour optimiser le temps dédié aux réunions.

### 3. Disponibilité des items et dossier de lot :

Elle permettra également de signaler par l'opérateur l'indisponibilité des outils nécessaires, mais aussi de formuler des commentaires pour proposer des améliorations liées à ces outils ou partager des bonnes pratiques d'utilisation.

Par ailleurs, la partie documentation représente une part importante du temps dédié au BCO. Afin de limiter les vérifications redondantes et les pertes de temps associées, l'application intégrera un système de suivi d'avancement des dossiers, basé sur la validation progressive des différentes étapes documentaires, assurant ainsi une meilleure traçabilité.

### 4. Boîte à idées :

Les opérateurs seront invités à laisser un retour d'expérience (feedback) à l'issue de chaque BCO. En cas de performance supérieure au standard, ce retour permettra d'identifier ce qui a bien fonctionné afin de capitaliser sur les bonnes pratiques. En cas contraire, il servira à mieux comprendre les points de blocage. Les opérateurs auront également la possibilité de partager des idées, ainsi que de proposer des demandes de changement (change requests) adressées à l'AQ Afin d'améliorer le process.

### 5. Accès aux standards :

Une vidéo descriptive sera associée à chaque tâche, permettant à l'opérateur de se former de manière autonome en cas d'oubli ou de non-respect du standard, ou même pour les nouveaux opérateurs.

## Prototype et déploiement

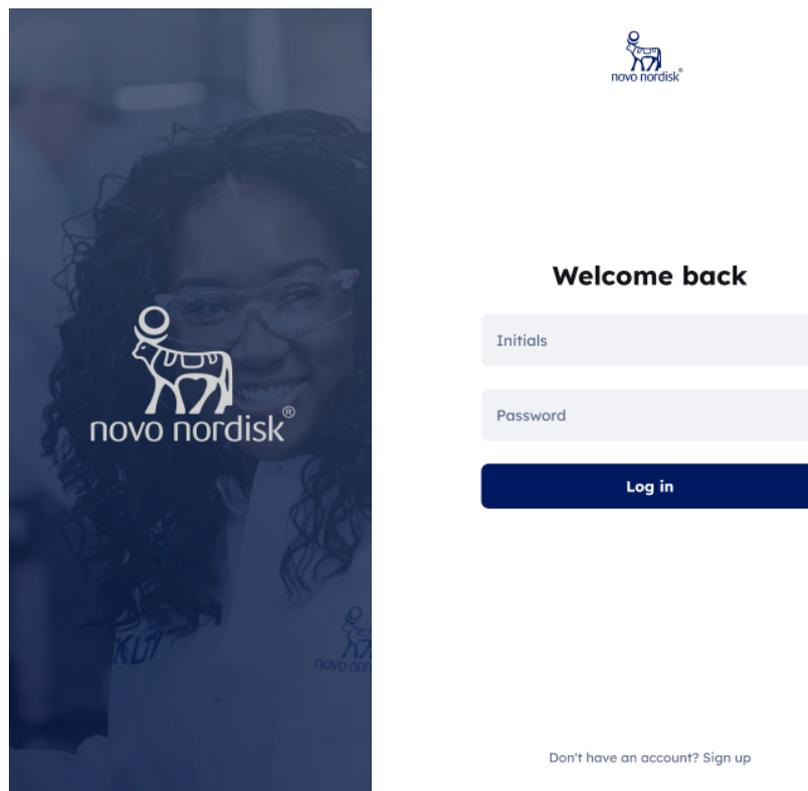


FIGURE 3.17 – L’interface de la solution

1. Un prototype simplifié a été développé à l’aide de Figma, traduisant les besoins et les fonctions principales en une première version concrète du solution, destinée à être validée par l’AQ puis déployée ultérieurement.
2. La technologie utilisée est Microsoft Power Apps , déjà utilisée chez LMA flexpen, où les opérateurs sont familiarisés avec cette plateforme.
3. Le déploiement de l’application repose sur deux axes principaux : d’une part, la mise en place de la partie front-end (prototype) via l’accès à l’application Canvas sur Power Apps ; d’autre part, l’intégration de la base de données, qui se concentre sur la liaison des données sous forme de tableaux Excel.

### Les atouts de la solution

1. Garantir un cycle efficace de la roue de Deming pour améliorer la performance du process BCO.
2. Optimisation du temps dédié au traitement des causes racines et des problématiques : Plutôt que d’organiser des réunions hebdomadaires, L’application collectera les données (commentaires, signalements et feedbacks).
3. Apporter un plus pour le dossier de lot et éviter les déviations par une simple tracabilité.
4. Suivi et visibilité : Un dashboard qui sera dédié au suivi de la performance.
5. Accessibilité au standard et formation continue : Des vidéos explicatives de chaque tâche de BCO.

## 3.6 Perspective future

### 3.6.1 Améliorer l'algorithme génétique

#### Apprentissage à partir des Solutions Générées :

Afin de renforcer l'efficacité de notre algorithme d'ordonnancement, une perspective d'évolution consiste à intégrer un modèle de Machine Learning. Ce dernier pourrait apprendre à partir des données historiques (durées des tâches, écarts observés, aléas) mais aussi à partir des solutions optimisées générées par l'algorithme génétique. Ainsi, à chaque exécution, les plannings produits constitueraient des exemples d'ordonnancement efficaces, servant à entraîner le modèle. À terme, ce modèle prédictif serait capable de proposer rapidement des solutions proches de l'optimum, en anticipant les contraintes et en tenant compte du contexte. Cette approche hybride, combinant l'exploration d'un algorithme évolutif et l'apprentissage automatique, permettrait d'accélérer le processus de planification tout en améliorant la pertinence.

#### Optimisation Dynamique des Paramètres

Plusieurs techniques permettent d'ajuster dynamiquement les paramètres de l'algorithme génétique afin d'améliorer la qualité des solutions [29] :

- **Ajustement adaptatif de la mutation** : Le taux de mutation est modifié en cours d'exécution : il augmente en cas de convergence rapide (déséquilibre génétique) pour stimuler la diversification, et diminue lorsqu'un bon équilibre a été atteint pour affiner les solutions.
- **Stratégie à deux objectifs** : Le système peut alterner entre deux fonctions d'évaluation, l'une centrée sur la minimisation du temps de traitement, l'autre sur l'équilibrage des charges entre opérateurs. Les paramètres sont alors adaptés selon l'objectif prioritaire.
- **Méta-optimisation automatisée** : Des méthodes telles que la recherche bayésienne ou la recherche aléatoire peuvent être utilisées en amont pour identifier automatiquement les configurations optimales des paramètres (taille de la population, taux de croisement, mutation, élitisme, etc.).

### 3.6.2 Déploiement de la culture Kata

Dans le cadre de notre projet, l'utilisation de l'approche KATA a démontré son efficacité en produisant des résultats remarquables. caractérisée par la simplicité, la structure et l'accessibilité à l'ensemble des employés, quel que soit leur niveau hiérarchique. En effet, elle représente un levier pertinent pour favoriser l'amélioration continue au sein de l'organisation. Ces constats nous ont conduits à proposer un plan de déploiement visant à ancrer durablement la culture KATA dans l'entreprise en suivant le modèle de Shingo.

## Modèle de Shingo

Le modèle de Shingo est un cadre de référence développé par le *Shingo Institute*[30] pour aider les organisations à atteindre l'excellence opérationnelle de manière durable.

Il repose sur l'idée que les résultats exceptionnels ne peuvent être atteints que si les *principes*, les *systèmes* et les *comportements* sont alignés.

Ce modèle identifie dix principes directeurs, regroupés en quatre dimensions fondamentales :

- Catalyseurs culturels
- Amélioration continue
- Alignement organisationnel
- Résultats

L'objectif est de transformer la culture d'entreprise en ancrant des comportements cohérents avec des principes universels, afin de créer un système d'excellence durable.

| Principe du modèle Shingo                                | Dimension associée         |
|--|----------------------------|
| Principe 1 : Respecter chaque individu                   | Catalyseurs culturels      |
| Principe 2 : Diriger avec humilité                       |                            |
| Principe 3 : Rechercher la perfection                    | Amélioration continue      |
| Principe 4 : Adopter la pensée scientifique              |                            |
| Principe 5 : Se concentrer sur le processus              |                            |
| Principe 6 : Assurer la qualité à la source              |                            |
| Principe 7 : Favoriser le flux et le tirage de la valeur | Alignement organisationnel |
| Principe 8 : Penser de manière systémique                |                            |
| Principe 9 : Créer de la constance dans les objectifs    | Résultats                  |
| Principe 10 : Créer de la valeur pour le client          |                            |

TABLE 3.10 – Les 10 principes du modèle Shingo

## Modèle Proposé

Nous avons structuré notre démarche selon les quatre dimensions du modèle de Shingo, afin de guider le déploiement de la culture Kata dans entreprise. (Voir figure 4.26 en Annexe)

### Catalyseurs culturels

Le déploiement de la culture Kata commence par :

La formation des managers et des team leaders, dont l'engagement est essentiel à la réussite. L'équipe Lean les forme à l'approche Kata afin qu'ils puissent ensuite coacher leurs équipes. Les échanges réguliers entre les leaders et leurs équipes renforcent la communication, encouragent le changement de comportement et motivent les collaborateurs à adhérer à la culture Kata.

Pour intégrer les employés de manière progressive, trois niveaux d'implication sont prévus :

- Des améliorations à travers de grands projets
- Des ateliers et activités participatives
- La pratique de katas quotidiens, intégrés comme une routine ou un rituel d'amélioration continue

### Amélioration continue

Dans cette dimension, nous avons appliqué l'approche Kata utilisée dans notre projet, qui se décline en deux volets complémentaires :

1. **Kata d'amélioration** : cette pratique repose sur le cycle PDCA et vise à structurer les efforts d'amélioration. Pour faciliter son appropriation par les employés, un modèle simplifié du storyboard Kata a été proposé, permettant une utilisation concrète et accessible sur le terrain.
2. **Kata Coaching** : pour mieux diffuser la culture Kata, il est important de former les employés à l'aide de coachs disposant d'une certaine expertise ou compréhension de la culture et du réflexe Kata. Le coaching est basé sur les cinq questions du Kata coaching, permettant de guider les équipes étape par étape. Ce rituel est pratiqué quotidiennement lors des briefings et des Gemba afin de renforcer l'accompagnement et ancrer les réflexes du Kata.

### Alignement organisationnel :

Dans cette dimension, nous avons d'abord identifié les systèmes principaux de l'entreprise, à savoir : la supply chain, les opérations, la production, ainsi que les départements qualité (QA) et contrôle qualité (QC).

Le département C-Lean joue un rôle central dans ce déploiement : il est positionné comme acteur clé pour assurer l'alignement des systèmes avec la culture Kata.

Par ailleurs, afin de garantir une cohérence entre la stratégie globale et les actions opérationnelles, et de partager des objectifs clairs et visibles avec l'ensemble des employés, l'outil *Hoshin*

*Kanri* (matrice X) a été retenu comme méthode de pilotage. Il permet de traduire la vision stratégique en plans d'action concrets, tout en assurant une transparence à tous les niveaux de l'organisation.

## Résultat :

Cette dimension vise à créer et capter de la valeur pour le client.

Dans ce cadre, nous avons présenté l'état du processus avant et après la réalisation de notre projet BCO, afin de mettre en lumière les améliorations concrètes obtenues.

Cette mise en évidence permet de valoriser l'approche Kata utilisée, en montrant les effets positifs générés à travers le projet, tant sur le plan organisationnel qu'opérationnel.

## 3.7 Conclusion

Ce dernier chapitre présente les solutions proposées pour améliorer la performance globale du processus BCO. Le travail a porté sur la minimisation du temps et la standardisation du processus, dans le but d'augmenter la capacité de production et de réduire la variabilité en suivant l'approche KATA, en instaurant une routine d'amélioration continue et structurée, impliquant les opérateurs dans la stabilisation du processus. Afin de faciliter et d'optimiser l'exécution des tâches, un algorithme génétique a été développé pour automatiser l'ordonnancement. Enfin, pour assurer la durabilité et la digitalisation du système, une application dédiée a été proposée, permettant un pilotage en temps réel et une centralisation des informations opérationnelles. tout en ouvrant la voie à des évolutions futures

# Conclusion générale

Le marché du diabète en Algérie est en constante augmentation, avec une prévalence croissante de la maladie qui impose aux structures de santé et aux industries pharmaceutiques une exigence accrue en matière d'efficacité, de qualité et de réactivité. Dans ce contexte, il devient essentiel pour un acteur majeur comme Novo Nordisk de rester compétitif et agile, en optimisant ses processus internes afin de répondre efficacement à la demande croissante et de renforcer sa position sur le marché.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet, qui vise à augmenter la capacité de production en minimisant le temps de changement de série et en standardisant le processus de Batch Change Over (BCO), le tout en suivant une démarche structurée basée sur l'approche KATA. Pour mieux comprendre la situation, nous avons réalisé un diagnostic interne sur les fonctions principales de l'entreprise afin de trouver et cadrer la problématique à traiter. Cette étape nous a permis d'avoir une vision globale du fonctionnement de l'organisation et d'orienter notre projet vers un enjeu prioritaire à améliorer. Pour mener ce projet à bien, nous avons suivi les quatre étapes de l'approche KATA, qui nous ont permis d'avancer de manière structurée et progressive vers notre objectif.

Nous avons commencé par définir clairement le défi à relever, en lien direct avec la stratégie de l'entreprise : augmenter la capacité de production en réduisant le temps de changement de lot.

Ensuite, nous avons pris le temps de comprendre la situation actuelle sur le terrain, en identifiant les pertes, les mouvements inutiles et les tâches sans valeur ajoutée.

Sur cette base, nous avons fixé une condition cible réaliste à atteindre, traduite par un standard clair et des rôles cards bien définis.

Enfin, grâce à des petits cycles d'expérimentation, nous avons testé, mesuré et ajusté nos solutions jusqu'à atteindre les résultats attendus. Cette approche a permis d'impliquer les opérateurs dans le processus d'amélioration et de stabiliser durablement les bonnes pratiques.

Lors de notre démarche d'amélioration, nous avons mis en place des rôles cards afin de répartir les tâches entre les opérateurs de manière standardisée. Cependant, nous avons constaté que la création de ces rôles cards demande beaucoup de temps, de coordination et reste rigide, surtout lorsqu'il y a des changements d'effectif ou des imprévus. Pour répondre à cette limite, nous avons développé une solution digitale basée sur un algorithme génétique, permettant de générer automatiquement une planification optimisée des tâches selon les contraintes du processus BCO et le nombre d'opérateurs disponibles. Cette solution rend le système plus flexible, rapide à ajuster, et durable, tout en respectant les règles d'exécution définies dans le standard.

Enfin, afin de garantir la pérennité des résultats obtenus et ancrer une culture d'amélioration continue, une application digitale a été proposée. Elle permet le suivi en temps réel des indicateurs BCO, facilite la communication entre opérateurs et managers, assure la traçabilité

des outils et documents, et donne accès aux standards via des vidéos explicatives. Cette solution simple, intuitive et connectée favorise l'engagement des équipes, le partage des bonnes pratiques, et renforce la résilience du processus face aux aléas du terrain.

En parallèle, une proposition managériale et stratégique a été formulée pour assurer la durabilité des résultats. Elle repose sur l'intégration de la culture KATA à travers le modèle de Shingo, qui aligne principes, comportements et systèmes. Cette approche favorise un changement profond et cohérent, en impliquant tous les niveaux de l'organisation, de la direction aux opérateurs. Elle permet d'ancrer une dynamique d'amélioration continue, structurée, simple et accessible, tout en créant de la valeur durable pour l'entreprise.

# Bibliographie

- [1] International Diabetes Federation. Members – algeria (middle east & north africa region). <https://www.idf.org/our-network/regions-and-members/middle-east-and-north-africa/members/algeria/>, June 2025.
- [2] Les Entreprises du médicament (Leem). Le marché pharmaceutique. <https://www.leem.org/le-marche-pharmaceutique>, March 2025.
- [3] IQVIA Middle East Africa. Middle east africa quarterly pharmaceutical market insights. <https://www.iqvia.com/locations/middle-east-and-africa/library/publications/middle-east-and-africa-quarterly-pharmaceutical-market-insights>, April 2025. Publié il y a environ 2 mois au 11 juin 2025.
- [4] Ouardia Djelouat and Chérif Lahlou. L'évolution de l'industrie pharmaceutique en algérie, entre stratégie d'industrialisation et stratégie d'exportations hors hydrocarbures. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 10(3) :535–555, 2024.
- [5] Nations Unies. Commission économique pour l'Afrique, Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord. Libérer le potentiel des chaînes de valeur régionales en afrique du nord : focus sur le secteur des industries pharmaceutiques, March 2022.
- [6] Marc Helmold. *Lean Management, Kaizen, Kata and Keiretsu : Concepts, Tools and Methods for a Sustainable Competitive Advantage*. Springer, Cham, Switzerland, 2020.
- [7] Maurice Pillet. *Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC)*. Éditions d'Organisation, Paris, 4 edition, 2005.
- [8] APS. Production pharmaceutique : perspectives d'une production atteignant 4 milliards de dollars en 2024, 2024.
- [9] Samira Azib and Karima Touati. Les investissements directs étrangers et le commerce extérieur des produits pharmaceutiques en algérie foreign direct investment and foreign trade in pharmaceutical products in algeria. *Revue Abaad Iktissadia Vol*, 12(01) :284–306, 2022.
- [10] Jeune Afrique. Santé : des opportunités pour le secteur privé. *Jeune Afrique*, June 2025.
- [11] Novo Nordisk. Novo nordisk official website. <https://www.novonordisk.com>, 2025. Accessed April 10, 2025.
- [12] John Earley. *The lean book of lean : A concise guide to lean management for life and business*. John Wiley & Sons, 2016.
- [13] Natalie J Sayer and Bruce Williams. *Lean for dummies*. John Wiley & Sons, 2012.
- [14] Wevalgo. *Lean management : Introduction au lean thinking*, 2024.
- [15] GM Anoop and Vivekanand S Muhammed. A brief overview on toyota production system (tps). *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(5) :2505–2509, 2020.
- [16] Lean Enterprise Academy. Using ai and low-code to kaizen your lean journey. <https://www.leanuk.org/using-ai-and-low-code-to-kaizen-your-lean-journey/>, 2024. Accessed on Mai 20, 2025.
- [17] IoT-Now. Why should you choose low-code platform for lean manufacturing? *IoT-Now*, October 2022. Consulté le 25 mai 2025.

- 
- [18] Piloter.org. Roue de deming (pdca). <https://www.piloter.org/methodologie/roue-deming.htm>, n.d. Consulté le 30 mai 2024.
- [19] Marc Helmold, Ayşe Küçük Yılmaz, Triant Flouris, Thomas Winner, Violeta Cvetkoska, and Tracy Dathe. *Policy Deployment and Hoshin Kanri Strategy ()*, pages 61–72. Springer International Publishing, Cham, 2022.
- [20] Frank Voehl, H. James Harrington, Chuck Mignosa, and Rich Charron. *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook : Tools and Methods for Process Acceleration*. McGraw-Hill Professional, New York, 2005.
- [21] Abbie Griffin. *Voice of the Customer : Capture and Analysis*. Center for Quality of Management, 2005.
- [22] Michael L George, John Maxey, David T Rowlands, and Malcolm Upton. *Lean six sigma pocket toolbox*. McGraw-Hill Professional Publishing New York, NY, USA, 2004.
- [23] Fanny Olivier. L’approche lean : méthodes et outils appliqués aux ateliers de production pharmaceutique. 2009.
- [24] Christian Hohmann. *Lean Management : Outils, méthodes, retours d’expériences, questions/réponses*. Editions Eyrolles, 2012.
- [25] Le smed, méthode de minimisation des temps de changement d’outils. <https://www.portail-logistique.com/smed-changement-outils>, 2020. Portail Logistique, Transport et Supply Chain, [Cité le 23 mai 2020].
- [26] Kawtar Maftah. 2.05 – Équilibrage de ligne. <https://fr.scribd.com/document/463868108/2-05-Equilibrage-de-ligne>, 2020. Transféré sur Scribd il y a environ 5ans.
- [27] Rother Mike. Toyota kata managing people for improvment, adaptiveness and supeior resolts, 2010.
- [28] Tarek Chaari. *Un algorithme génétique pour l’ordonnancement robuste : application au problème du flow shop hybride*. Thèse de doctorat en co-tutelle, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis & Faculté des Sciences Économiques et de Gestion de Sfax, Valenciennes, France et Sfax, Tunisie, March 2010. Discipline : Automatique, Génie Informatique et Méthodes Quantitatives.
- [29] Fatma A. Omara and Mona M. Arafa. Genetic algorithms for task scheduling problem. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 73(9) :1117–1123, 2013.
- [30] Shingo Institute. The shingo model, 2024. Accessed : 2025-06-27.
- [31] Fatma Pakdil and Karen Moustafa Leonard. Implementing and sustaining lean processes : the dilemma of societal culture effects. *International Journal of Production Research*, 55(3) :700–717, 2017.

# Chapitre 4

## Annexes

# Annexes chapitre 01

## 4.1 Annexe 01 : Le modèle en cascade NN

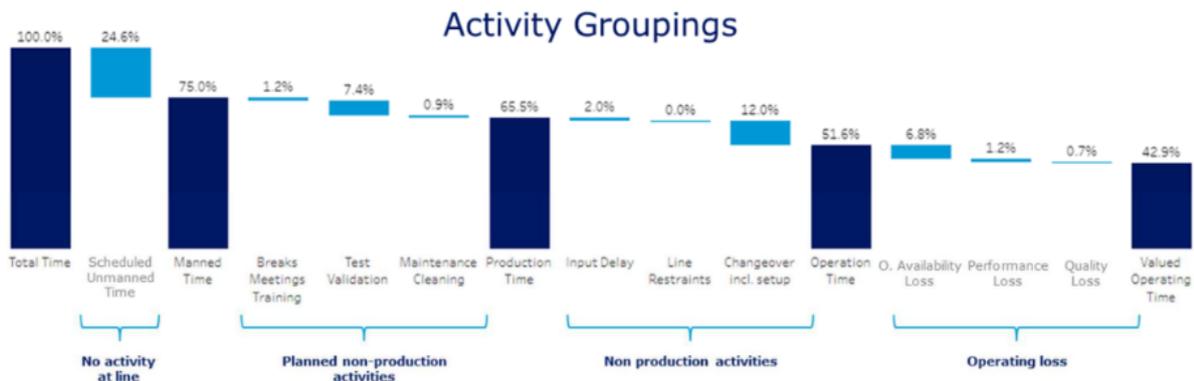


FIGURE 4.1 – Le modèle en cascade montrant les noms des regroupements d’activités (document interne à Novo Nordisk)

## 4.2 Annexe 02 : Les différents KPIs – modèle de cascade

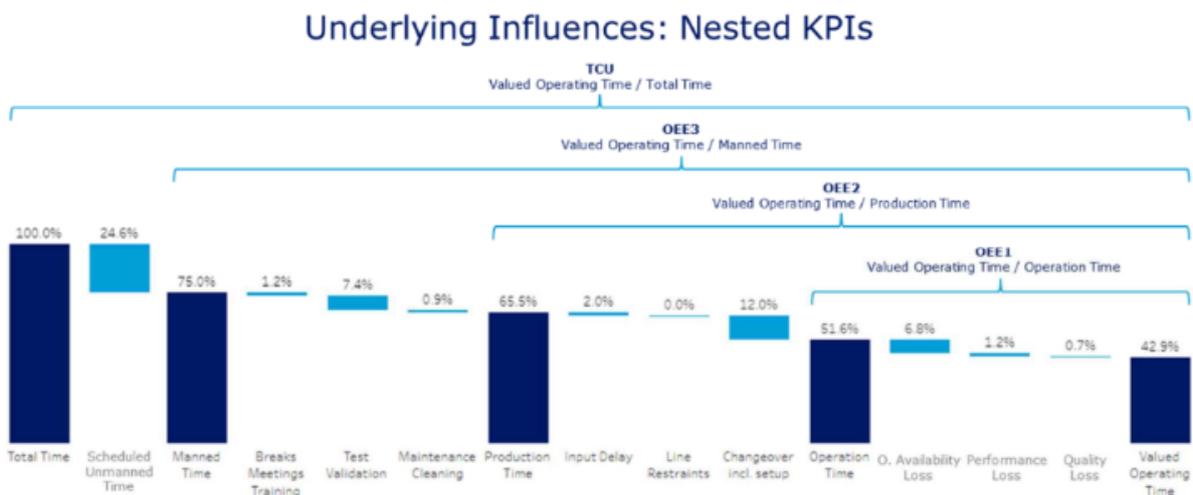


FIGURE 4.2 – Le modèle en cascade montrant les facteurs influençant les quatre indicateurs de performance (KPI) d’efficacité standardisés et imbriqués utilisés dans PS (document interne à Novo Nordisk)

### 4.3 Annexe 03 : Les facteurs influençant la performance – modèle de cascade

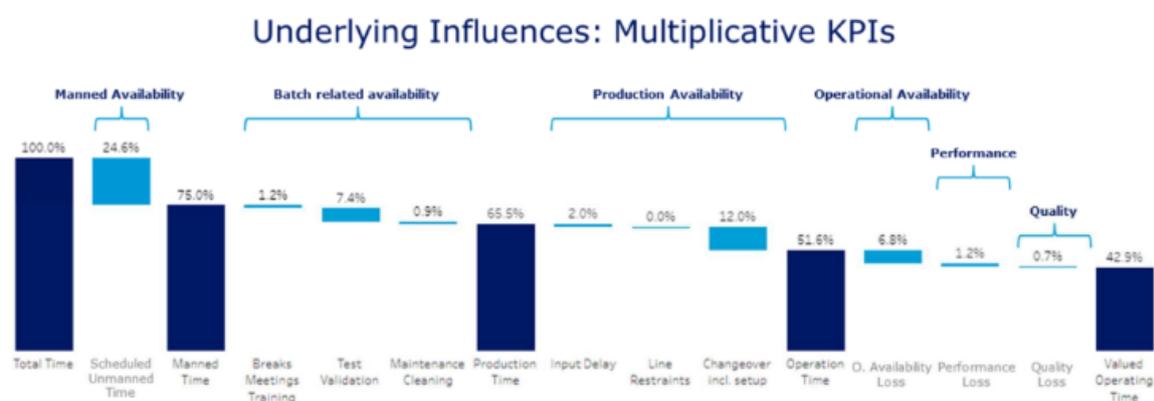


FIGURE 4.3 – Le modèle en cascade montrant les facteurs influençant les six indicateurs de performance (KPI) d'efficacité standardisés et multiplicatifs utilisés dans PS (document interne à Novo Nordisk)

## 4.4 Annexe 04 : Définition des indicateurs de performance

| Indicateur                                   | Description  | Formule  |
|--|--|--|
| <b>TCU</b>                                   | Utilisation de la ligne sur la durée totale de mesure. | $TCU = \frac{\text{Temps de fonctionnement valorisé}}{\text{Temps total}}$                       |
| <b>OEE3</b>                                  | Utilisation avec présence humaine.                     | $OEE3 = \frac{\text{Temps de fonctionnement valorisé}}{\text{Temps avec opérateur}}$             |
| <b>OEE2</b>                                  | Utilisation sur activités liées au lot.                | $OEE2 = \frac{\text{Temps de fonctionnement valorisé}}{\text{Temps lié au lot}}$                 |
| <b>OEE1</b>                                  | Utilisation durant la production effective.            | $OEE1 = \frac{\text{Temps de fonctionnement valorisé}}{\text{Temps de production}}$              |
| <b>Disponibilité Humaine</b>                 | Présence humaine sur la ligne.                         | $\text{Disponibilité Humaine} = \frac{\text{Temps avec opérateur}}{\text{Temps total}}$          |
| <b>Disponibilité liée au lot</b>             | Temps lié au lot sur temps avec opérateur.             | $\text{Disponibilité liée au lot} = \frac{\text{Temps lié au lot}}{\text{Temps avec opérateur}}$ |
| <b>Disponibilité pour la production</b>      | Temps de production sur temps lié au lot.              | $\text{Disponibilité prod.} = \frac{\text{Temps de production}}{\text{Temps lié au lot}}$        |
| <b>Disponibilité opérationnelle</b>          | Temps non en panne sur temps de production.            | $\text{Disponibilité op.} = \frac{\text{Temps sans panne}}{\text{Temps de production}}$          |
| <b>Performance</b>                           | Quantité produite vs capacité théorique.               | $\text{Performance} = \frac{\text{Production réelle}}{\text{Production théorique}}$              |
| <b>Qualité</b>                               | Pièces bonnes / total produit.                         | $\text{Qualité} = \frac{\text{Pièces bonnes}}{\text{Total pièces produites}}$                    |
| <b>Perte de Disponibilité Opérationnelle</b> | Temps perdu à cause de pannes.                         | $\text{Perte dispo. op.} = \text{Durée totale des pannes}$                                       |
| <b>Perte de Performance</b>                  | Temps perdu à cause de lenteur ou arrêts courts.       | $\text{Perte perf.} = \text{Temps dispo.} - \text{Perte qualité} - \text{Temps valorisé}$        |
| <b>Perte de Qualité</b>                      | Temps équivalent pièces rebutées.                      | $\text{Perte qualité} = \sum_i \frac{\text{Pièces rebutées}_i}{\text{Vitesse validée}_i}$        |
| <b>Temps de Fonctionnement Valorisé</b>      | Temps min. théorique pour bonnes pièces.               | $\text{TFV} = \sum_i \frac{\text{Pièces conformes}_i}{\text{Vitesse validée}_i}$                 |

TABLE 4.1 – Tableau récapitulatif des indicateurs OEE

## 4.5 Annexe 05 : Power BI dashbaord BCO

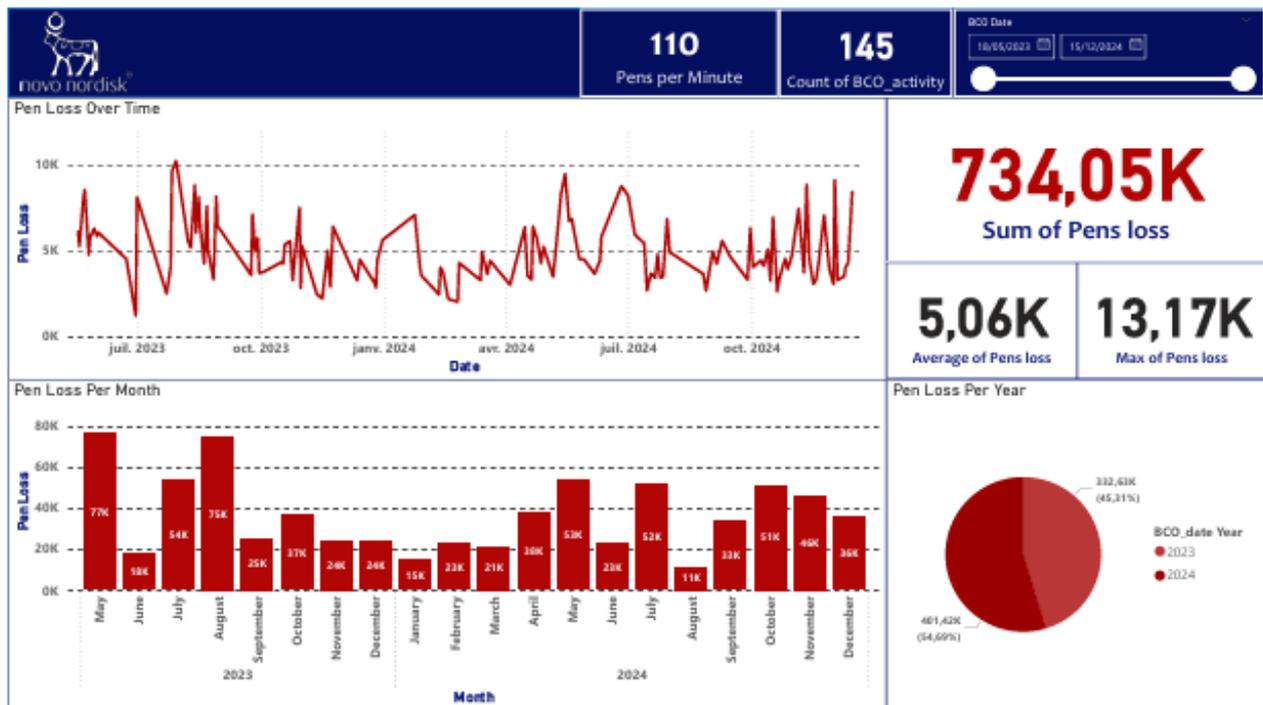
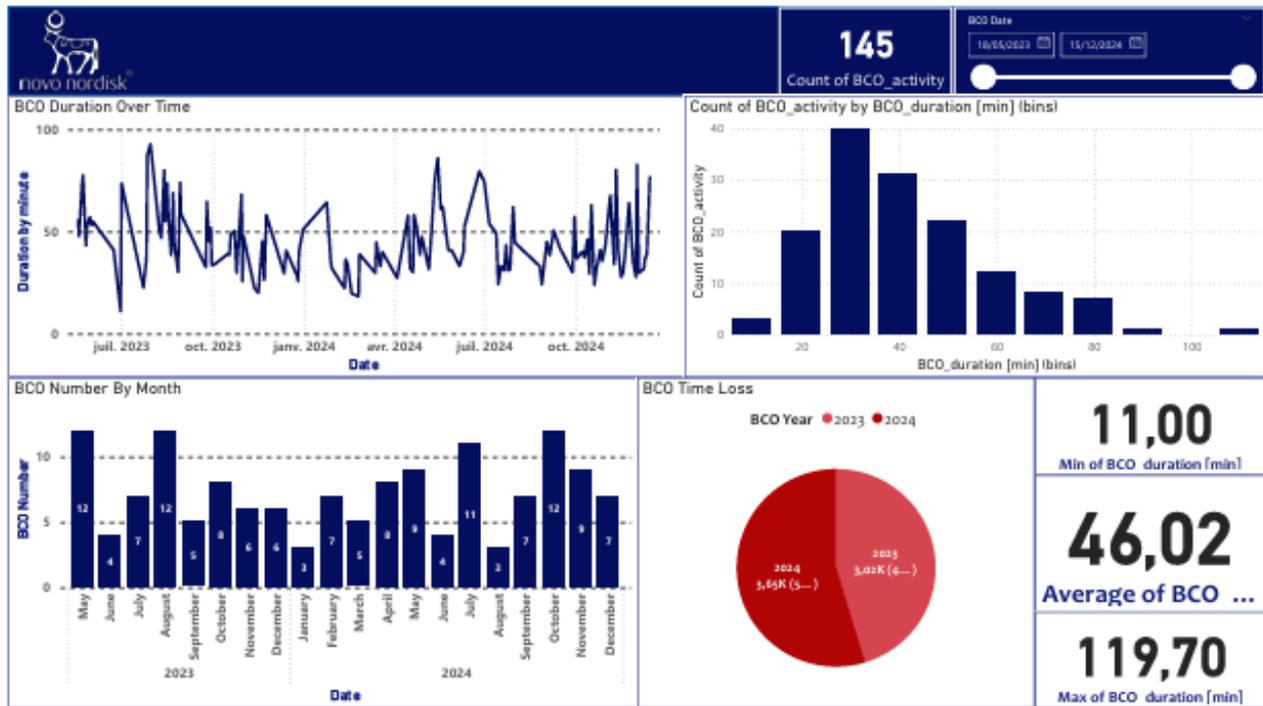


FIGURE 4.4 – BCO dashboard

# Annexes chapitre 02

## 4.6 Annexe 06 : Les phases du SMED

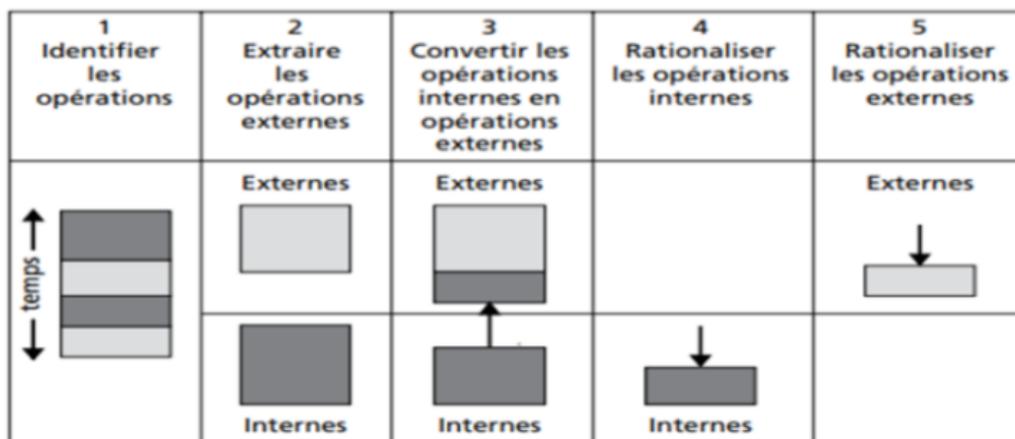


FIGURE 4.5 – Les phases du SMED - Exemple : changement d'outillage

## 4.7 Annexe 07 : Yamazumi

Le diagramme Yamazumi permet d'analyser les gaspillages et d'optimiser l'équilibrage des lignes en rapprochant les temps de cycle du Takt time. Il facilite la répartition des tâches entre postes pour améliorer productivité et efficacité. L'équilibrage peut se faire par ajustement du temps, du contenu ou du flux. Il faut éviter les tâches trop courtes ou trop longues sur un seul poste, tout en respectant les contraintes de précedence. [31]

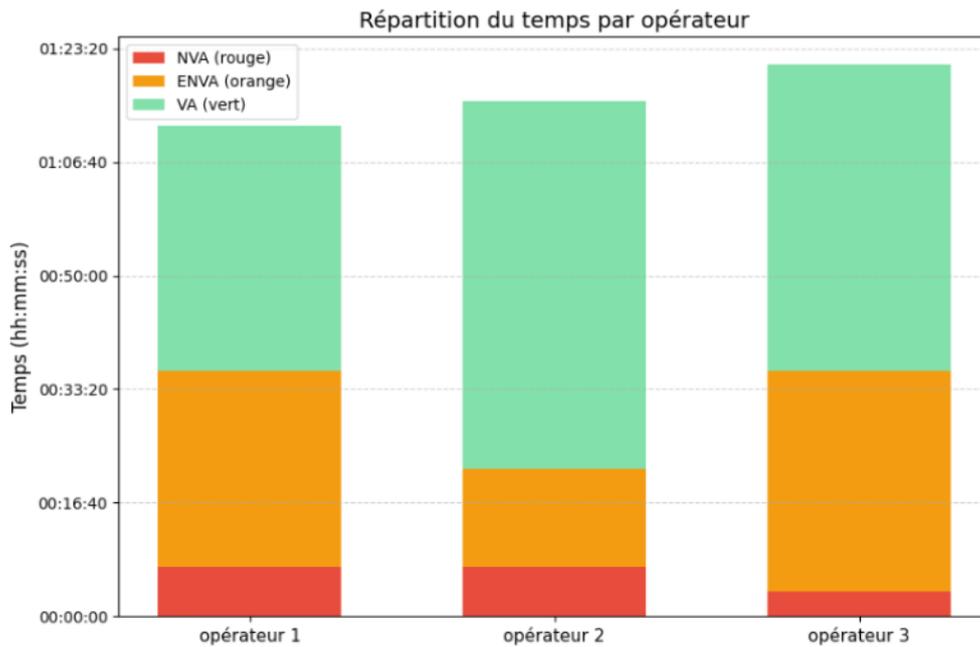


FIGURE 4.6 – Diagramme Yamazumi

## 4.8 Annexe 08 : Indice de Capacité Potentielle

| <b>CP</b>      |  |  |
|----------------|--|--|
| Valeur de Cp   | Interprétation   | Situation du processus (temps de BCO)  |
| <b>CP=1</b>    | Le temps de changement de lot est exactement dans les limites de tolérance.                            | Le processus de changement de lot est stable, mais critique pour toute variation.                                    |
| <b>CP&gt;1</b> | Le temps de changement de lot est contrôlé avec une variation bien inférieure à la plage de tolérance. | Le processus est bien maîtrisé avec des délais de changement de lot dans les spécifications et une faible variation. |
| <b>CP&lt;1</b> | Le temps de changement de lot varie trop par rapport aux spécifications.                               | Le temps de changement de lot est trop instable, il faut ajuster le processus pour réduire la variation.             |

FIGURE 4.7 – CP

## 4.9 Annexe 09 : Indice de Capabilité Réelle (centrée)

| CPk           |  |   |
|---------------|--|---|
| Valeur de Cpk | Interprétation   | Situation du processus (temps de BCO)   |
| Cpk=1         | Le temps de changement de lot est bien centré dans les limites de tolérance, mais avec une variation critique.             | Le processus de changement de lot est stable, mais à la limite des spécifications.                                |
| Cpk>1         | Le temps de changement de lot est bien centré dans les limites de tolérance avec une faible variation.                     | Le temps de changement de lot est bien maîtrisé avec un bon centrage dans la plage des tolérances.                |
| Cpk<1         | Le temps de changement de lot n'est pas centré dans les spécifications, ce qui peut entraîner un risque de non-conformité. | Le processus présente un mauvais centrage, avec des risques de non-conformité dans le temps de changement de lot. |

FIGURE 4.8 – CPK

## 4.10 Annexe 10 : Croisement 1 point

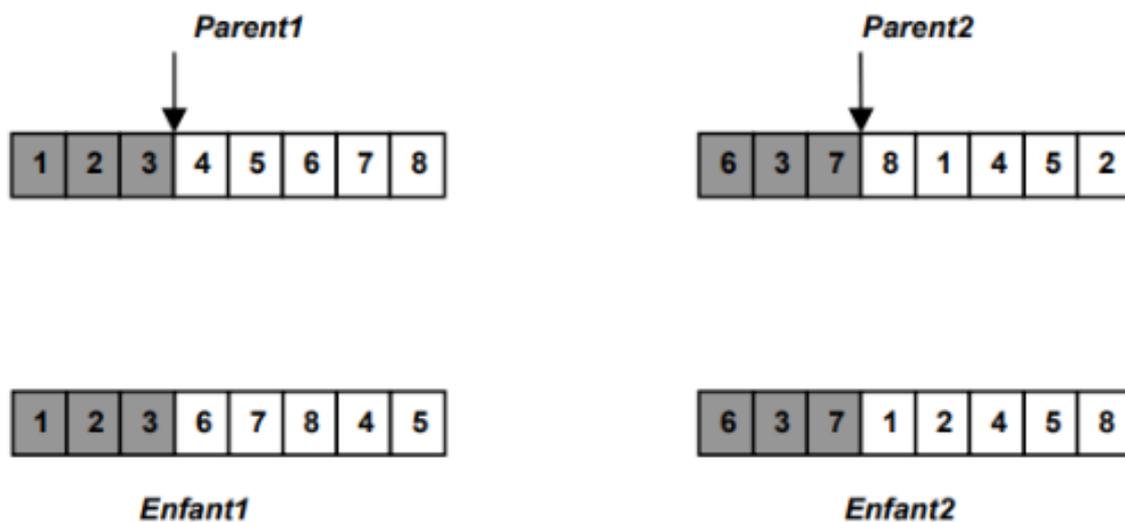


FIGURE 4.9 – Croisement en 1-point de deux chromosomes

## 4.11 Annexe 11 : Croisement 2 points

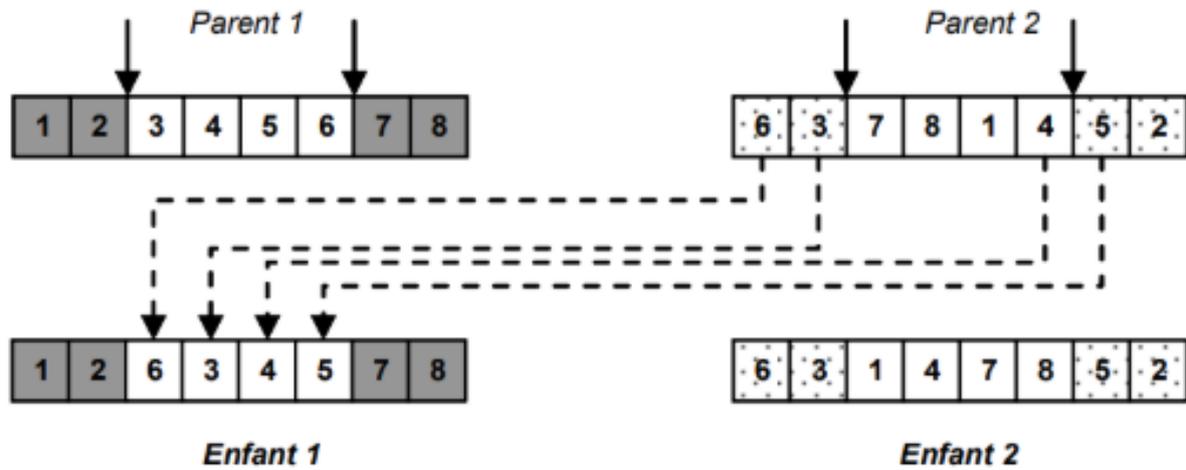


FIGURE 4.10 – Croisement en 2-points de deux chromosomes

## 4.12 Annexe 12 : Mutation

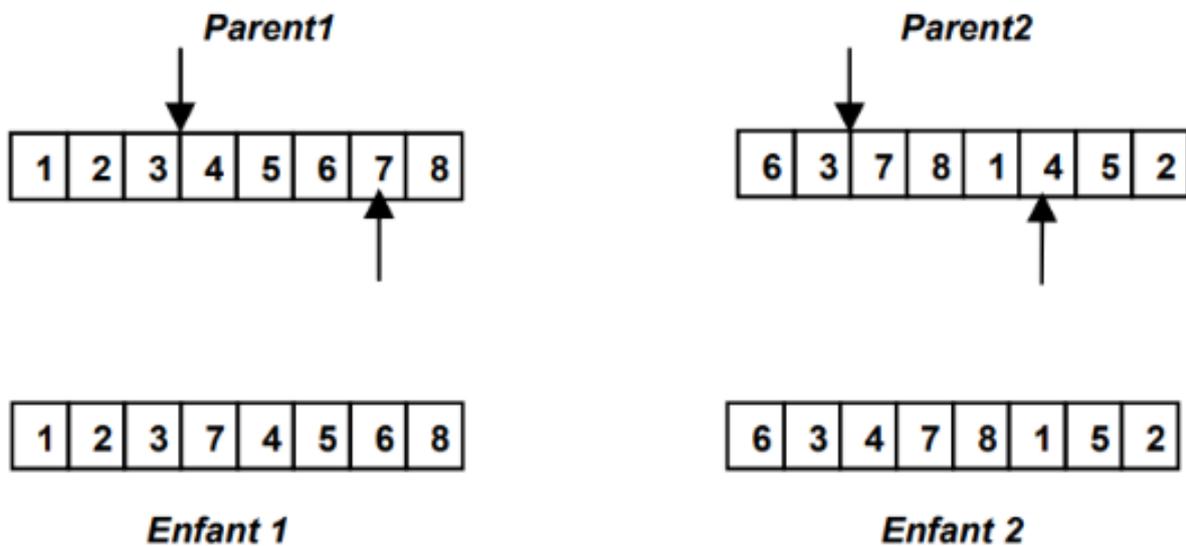


FIGURE 4.11 – Mutation : opérateur d'insertion

# Annexes chapitre 03

## 4.13 Annexe 13 : A1A7

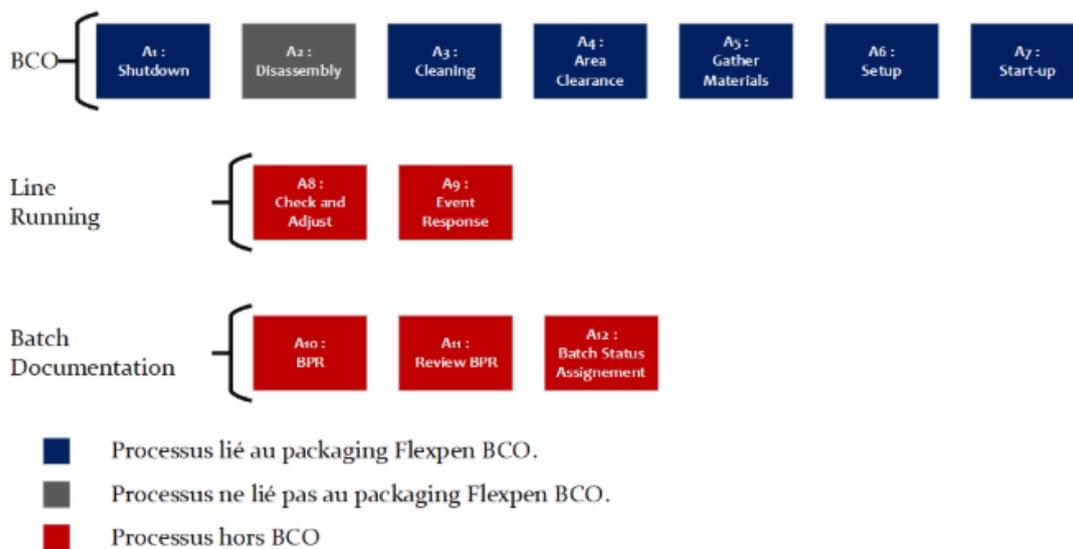


FIGURE 4.12 – Process BCO selon A1A7

## 4.14 Annexe 14 : SIPOC

|  <b>SIPOC</b> <span style="float: right;">Processus de conditionnement</span> |                                      |                               |                      |                    |
|--|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Supplier   | Input                                | Process                       | Output               | Client             |
| - Coordinateur SAP   | - PPM                                | - Shutdown                    | - BPR                | - Coordinateur SAP |
| - WH   | - Batch data                         | - Cleaning and line clearance | - Produit fini (lot) | - WH               |
| - Team leader  | - BPR                                | - Finaliser le shutdown       | - PPM                | - QC               |
| - Planification de production  | - Stylos                             | - Gather material             | - Déchet             |                    |
| - Maintenance  | - PDP                                | - Setup                       | - Pens               |                    |
|  | - Spécifications techniques, EHS ... | - Start up                    | - Kpis               |                    |

FIGURE 4.13 – SIPOC

## 4.15 Annexe 15 : Charte de projet

| Charte de projet  |             |  |  |
|---|-------------|--|--|
| Titre de projet : Amélioration de la capacité de production   |             |  |  |
| La problématique  |             |  |  |
| <p>Le site NN FlexPen est confronté à une disparité majeure entre les volumes de production projetés et sa capacité de production réelle, ce qui entrave sa compétitivité et limite ses opportunités d'exportation vers les marchés du nord de l'Afrique. Dans un souci d'amélioration constante et de performance industrielle, le site vise à augmenter sa productivité et son approche proactive. Suite à une étude détaillée des possibilités d'optimisation, l'amélioration de la procédure de changement de lot (Batch Change Over) a été repérée comme un levier stratégique important. En diminuant les intervalles entre les séries, cette approche favoriserait l'accroissement de la disponibilité des matériels, l'optimisation des procédures de production et, en fin de compte, une réponse plus appropriée aux besoins du marché tout en assurant un niveau élevé de contentement client.</p> |             |  |  |
| Objectives  |             |  |  |
| <p>L'objectif de notre projet, mené selon l'approche Kata, est d'optimiser l'opération de changement de lot en réduisant les déplacements inutiles des opérateurs, notamment ceux liés à la vérification de la disponibilité des outils nécessaires. À travers des itérations courtes et structurées, nous cherchons à identifier les étapes qui consomment le plus de temps ou génèrent des inefficacités, afin de réduire les gaspillages, améliorer la fluidité du processus et renforcer la performance globale. L'approche Kata nous permet de fixer une condition cible claire, d'expérimenter des solutions concrètes sur le terrain et d'ancrer une culture d'amélioration continue dans l'équipe, avec un suivi régulier des résultats pour garantir un progrès durable vers l'excellence opérationnelle.</p>  |             |  |  |
| Clients   |             |  |  |
| Clients Aval : Processus BCO ligne packaging  |             |  |  |
| CTQ   |             |  |  |
| Besoins   | Exigences   | Mésures  |  |
| Amélioration et l'optimisation de processus BCO - conditionement  | Qualité     | taux Conformité aux exigences                          |  |
|   | Temps       | KPIs (Bco time)  |  |
|   | Flexibilité | Polyvalence et competences acquises par les operateurs |  |
| Design team   |             |  |  |
| Nom & Prenom  | Email       | Initial  | Role   |
| Menouss Nassim  |             | Nqxm   | Chef de projet   |
| ANAIS   |             | /  | Support  |
| Mostefa Tounsi Younes   |             | YNMW   | Suivi et implementation  |
| Aggoune amine   |             | QVWX   | Suivi et implementation  |
| QA  |             | /  | Approuver les changements si nécessaire                                |
| Team leader   |             | /  | Approuver les changements et assurer l'avancement des phases du projet |
| Les operateurs (ligne conditionement)   |             | /  | Source d'inputs, exécutants et suggestions d'amélioration              |

FIGURE 4.14 – Charte du projet (page 1)

| Planification de projet               |   |            |            |
|---------------------------------------|---|------------|------------|
| Phase                                 | Sub phase                                     | Start date | End date   |
| Préparation de projet                 | Définir les objectives                        | 10\03\2025 | 20\03\2025 |
|                                       | Design team                                   | 22\03\2025 | 30\03\2025 |
|                                       | Preparation et                                | 02\04\2025 | 05\04\2025 |
| Diagnostiaque et analyse de processus | Data collection                               | 05\04\2025 | 25\04\2025 |
|                                       | Process mapping workshop et proposer des JG's | 10\05\2025 | 18\05\2025 |
|                                       | Preparation et execution                      | 22\05\2025 | 25\05\2025 |
| Kata tests et évaluation              | Amelioration du standard                      | 25\05\2025 | 02\06\2025 |
|                                       | Optimisation ( Tests )                        | 02\05\2025 | 03\06\2025 |
|                                       | Adjustement de JG's                           | 02\05\2025 | 03\06\2025 |
|                                       | Kata tests ( stanrdiser les JG's)             | 03\06\2025 | 18\06\2025 |
| Stanrdidasation des simulations       | Finalisation des simulations                  | 20\03\2025 | 22\06\2025 |
|                                       | Cross simulations ( Les 4P's)                 |            |            |
|                                       | Phase d'implementation                        |            |            |
| Suivi et Amélioration continue        | Implementation suivi de performance board     |            |            |
|                                       | PDCA's, GLS pour l'ameliotion continue        |            |            |
|                                       | Automatisation                                |            |            |

FIGURE 4.15 – Charte du projet (page 2)



## 4.17 Annexe 17 : Matrice R&R

| Fonction                     | Rôle et Responsabilité (R&R)   |
|------------------------------|--|
| Management                   | L'approbation du projet – checkpoints session (challenge selon l'état d'avancement des phases de projet)         |
| Département cLEAN            | Le support du projet (sur toutes les phases : déploiement, formation du personnel, pilotage des workshops, etc.) |
| Nous, les stagiaires         | L'implémentation et le suivi du projet   |
| Opérateurs                   | Suggestion d'amélioration, exécution des changements en appliquant les rôles cards prédéfinis                    |
| Responsable de la production | Approuver les changements et assurer l'avancement des phases du projet   |
| QA et Process Support        | Approuver les changements si nécessaire  |

TABLE 4.2 – Matrice R&amp;R

## 4.18 Annexe 18 : Codification des post-it utilisés mapping du BCO

| Post-it couleur   | Identification  |
|---|---|
|  | Présente toutes les tâches durant le BCO de l'opérateur $R_1$ |
|  | Présente toutes les tâches durant le BCO de l'opérateur $R_2$ |
|  | Présente toutes les tâches durant le BCO de l'opérateur $R_3$ |

TABLE 4.3 – Code de couleur des post-it utilisés lors de l'analyse des tâches par opérateur

## 4.19 Annexe 19 : Tâche de chaque opérateur avec sa durée

| Tâche  | Temps dans la vidéo | Durée (mm:ss) |
|--|---------------------|---------------|
| T1 – Line emptying   | 00:00 → 03:00       | 03:00         |
| T2 – Waste bags: label and price sticker                     | 04:28 → 04:50       | 00:22         |
| T3 – Open doors  | 04:50 → 05:50       | 01:00         |
| T4 – Waste bags carton and leaflet                           | 04:51 → 05:51       | 01:00         |
| T5 – Blowing (air cleaning)                                  | 06:00 → 09:40       | 03:40         |
| T6 – Alcohol cleaning: EM 22, EM 5                           | 10:05 → 13:00       | 02:55         |
| T7 – Alcohol cleaning: EM 7, EM 8, EM 4, EM 13, EM 10, EM 22 | 13:15 → 18:30       | 05:15         |
| T8 – Documentation   | 19:38 → 21:46       | 02:08         |
| T9 – Returns   | 21:55 → 26:00       | 04:05         |
| Idle time  | 26:00 → 28:30       | 02:30         |
| T10 – Documentation: cross empty fields                      | 28:30 → 30:09       | 01:39         |
| T11 – Line clearance   | 30:45 → 33:48       | 03:03         |
| T12 – Second line clearance check                            | 33:00 → 36:00       | 03:00         |
| T13 – Seal ID documentation                                  | 37:00 → 38:17       | 01:17         |
| Idle time  | 38:17 → 39:37       | 01:20         |
| T14 – Waste cage removal and new cage setup                  | 39:37 → 43:00       | 03:23         |
| T15 – Cartons and leaflet entry control                      | 43:00 → 44:00       | 01:00         |
| Idle time  | 44:00 → 45:00       | 01:00         |
| T16 – Pallet verification                                    | 45:00 → 47:00       | 02:00         |
| T17 – Documentation  | 47:00 → 47:44       | 00:44         |
| T18 – Pen entry control                                      | 48:20 → 49:09       | 00:49         |
| T19 – Pens infeed  | 49:09 → 49:50       | 00:41         |
| T20 – Turn on EM 32  | 49:55 → 50:30       | 00:35         |
| T21 – Archive label  | 51:54 → 53:00       | 01:06         |
| T22 – Infeed cartons   | 53:00 → 53:55       | 00:55         |
| T23 – Infeed pens  | 54:00 → 54:33       | 00:33         |
| T24 – Alarm handling   | 54:40 → 55:29       | 00:49         |
| T25 – Start machine  | 55:31 → 56:00       | 00:29         |
| T26 – Archive label  | 56:00 → 57:15       | 01:15         |

FIGURE 4.17 – Role 01

| Tâche  | Temps dans la vidéo | Durée (mm:ss) |
|--|---------------------|---------------|
| T1 – Check and verify the last box             | 00:00 → 03:00       | 03:00         |
| T2 – Comment (last shipper box – final pallet) | 03:00 → 06:00       | 03:00         |
| T3 – ANPP – cellophane – remove the pallet     | 06:00 → 08:00       | 02:00         |
| T4 – Pen reconciliation – double check         | 08:00 → 11:00       | 03:00         |
| T5 – Yield calculation                         | 11:00 → 13:00       | 02:00         |
| T6 – Cross-check fields                        | 13:00 → 14:00       | 01:00         |
| T7 – Comment: batch quantity                   | 14:00 → 16:00       | 02:00         |
| T8 – Start price sticker reconciliation        | 16:00 → 17:30       | 01:30         |
| T9 – Investigation                             | 17:30 → 20:00       | 02:30         |
| T10 – Cross empty fields                       | 20:00 → 23:22       | 03:22         |
| T11 – Finalize price reconciliation            | 22:00 → 24:00       | 02:00         |
| T12 – Return price stickers                    | 24:00 → 26:00       | 02:00         |
| T13 – Return labels                            | 26:00 → 28:00       | 02:00         |
| T14 – Return shipper boxes                     | 28:00 → 28:40       | 00:40         |
| T15 – Start batch dossier                      | 28:40 → 30:00       | 01:20         |
| T16 – Photocopy documents                      | 30:00 → 31:30       | 01:30         |
| T17 – Cross out empty fields                   | 31:30 → 33:30       | 02:00         |
| T18 – DocumentBPR Summary                      | 33:30 → 38:00       | 04:30         |
| T19 – End-of-batch documentation               | 38:00 → 40:15       | 02:15         |
| T20 – Transfer batch dossier to SAP            | 40:15 → 42:00       | 01:45         |
| T21 – Batch dossier                            | 42:00 → 43:00       | 01:00         |
| T22 – Start of batch BPR                       | 43:00 → 44:00       | 01:00         |
| T23 – Start-of-batch documentation             | 44:00 → 45:00       | 01:00         |
| T24 – Organize batch dossier                   | 45:00 → 47:00       | 02:00         |
| T25 – Enter data in HMI + documentation        | 47:00 → 50:00       | 03:00         |
| T26 – Archive leaflet and label                | 50:00 → 55:00       | 05:00         |
| T27 – Put bin bag                              | 55:00 → 56:00       | 01:00         |

FIGURE 4.18 – Role 02

| Tâche  | Temps dans la vidéo | Durée (mm:ss) |
|--|---------------------|---------------|
| T1 – Pallet build-up   | 00:00 → 01:00       | 01:00         |
| T2 – Calculations & documentation                                      | 01:00 → 02:00       | 01:00         |
| T3 – Pen reconciliation & return                                       | 02:00 → 04:30       | 02:30         |
| T4 – Reconciliation – reject calculation                               | 04:30 → 05:30       | 01:00         |
| T5 – Reconciliation – pallet build-up + calculation                    | 05:30 → 07:30       | 02:00         |
| T6 – Reconciliation – finalization                                     | 07:30 → 09:00       | 01:30         |
| T7 – GDP correction  | 08:30 → 09:00       | 00:30         |
| T8 – Pen reconciliation – finalization                                 | 09:00 → 10:00       | 01:00         |
| T9 – Pen reconciliation from HMI                                       | 10:30 → 11:30       | 01:00         |
| T10 – Price sticker reconciliation                                     | 11:30 → 12:30       | 01:00         |
| T11 – Waste verification   | 12:30 → 14:30       | 02:00         |
| T12 – Investigation special case                                       | 14:30 → 19:00       | 04:30         |
| T13 – Documentation & recalculation of returned price stickers         | 19:00 → 21:00       | 02:00         |
| T14 – Label return check on pallet                                     | 21:00 → 22:03       | 01:03         |
| T15 – Label return on line & documentation                             | 22:03 → 25:00       | 02:57         |
| T16 – Return of price stickers & documentation                         | 25:00 → 26:00       | 01:00         |
| T17 – Return of shipper box & documentation                            | 26:00 → 27:00       | 01:00         |
| T18 – Leaflet return – documentation                                   | 27:00 → 29:00       | 02:00         |
| T19 – Carton return – second check                                     | 29:00 → 30:00       | 01:00         |
| T20 – Line clearance verification + documentation                      | 30:00 → 33:03       | 03:03         |
| T21 – Second check line clearance                                      | 33:03 → 36:03       | 03:00         |
| Idle time  | 36:03 → 37:03       | 01:00         |
| T22 – Seal ID + waste documentation                                    | 37:03 → 39:00       | 01:57         |
| Idle time  | 39:00 → 45:00       | 06:00         |
| T23 – Pallet number verification for entry control                     | 45:00 → 46:00       | 01:00         |
| T24 – Entry control – documents: labels, price stickers, shipper boxes | 46:00 → 48:00       | 02:00         |
| T25 – SSCCN verification – carton + leaflet                            | 48:00 → 49:00       | 01:00         |
| T26 – Entry control – pens   | 49:00 → 50:00       | 01:00         |
| T27 – Entry of HMI data – documentation                                | 50:00 → 52:00       | 02:00         |
| T28 – Reset + BPR documentation  | 52:00 → 54:00       | 02:00         |
| T29 – Documentation control – archive leaflet                          | 54:00 → 55:00       | 01:00         |
| T30 – Archive label  | 55:00 → 56:00       | 01:00         |
| T31 – Second documentation control – product label                     | 56:00 → 57:00       | 01:00         |

FIGURE 4.19 – Role 03

## 4.20 Annexe 20 : Synthèse sur l'état actuel du processus BCO

| Catégorie                             | Observation  | Impact sur le processus  |
|---------------------------------------|--|--|
| Structure du BCO                      | Le BCO est généralement réalisé par 3 à 4 opérateurs, parfois supervisés par un team leader. Ce nombre peut descendre à 2 en cas de sous-effectif. | Variation de la charge de travail, risque d'allongement du temps de changement de lot. |
| Organisation des tâches               | Désynchronisation entre certaines tâches ; certaines sont réalisées en série au lieu d'être parallélisées.   | Temps d'attente, sous-utilisation du potentiel collectif, ralentissement global.       |
| Technologie / Automatisation          | Plusieurs tâches sont encore manuelles (étiquetage, saisie SAP).   | Allongement des délais, risque d'erreur humaine.                                       |
| Communication et coordination         | Communication informelle entre les rôles (opérateurs, technicien, coordinateur).   | Manque de clarté dans les responsabilités, pertes de temps.                            |
| Méthodes de travail / Standardisation | Procédures non visibles ou non systématiquement suivies.   | Variabilité dans l'exécution, dépendance à l'expérience individuelle.                  |
| Accès aux ressources                  | Accès mal organisé aux documents et outils.  | Déplacements fréquents, perte de temps.  |
| Compétences                           | Écart de maîtrise entre les opérateurs.  | Risque d'erreurs, déséquilibre dans les tâches, dépendance à un opérateur "clé".       |
| Préparation / Anticipation            | Espace de travail parfois mal préparé (outils, documents, matériel).   | Retards dès le démarrage, stress, perturbation du déroulement.                         |
| Amélioration continue                 | Les idées d'amélioration ne sont pas partagées ni capitalisées.  | Perte d'opportunités, répétition des problèmes, faible apprentissage.                  |
| Standardisation                       | Absence de standard clair, variations selon les équipes et les shifts.   | Résultats inégaux, difficultés à optimiser ou stabiliser le processus.                 |
| Suivi / Pilotage                      | Supports papier utilisés (BPR, log-book), pas de digitalisation.   | Informations dispersées, temps perdu, difficulté d'exploitation des données.           |
| Planification                         | Certaines tâches pourraient être faites en amont ou en aval.   | Allongement du BCO, surcharge pendant une période critique.                            |

TABLE 4.4 – Analyse des obstacles impactant le processus de BCO

## 4.21 Annexe 21 : Standard Role card

| 1<br>ROLE 1:<br>BEFORE BCO     |   | 2<br>ROLE 1:<br>DURING BCO |   | 3<br>ROLE 1:<br>Ramp-up : START-UP          |                                       |  |
|--------------------------------|---|----------------------------|---|---|---------------------------------------|--|
| <b>1 BPR PRE-DOCUMENTATION</b> |   | <b>1 EMPTY LINE</b>        |   | <b>1 ENTRY CONTROL PEN</b>                  |                                       |  |
| 1                              | Arrange and Cross empty field 90% from BPR                    | 1                          | Empty The line from PENS and PPM                            | 1   | Perform entry control of pens         |  |
| 2                              | Document the seal ID reference of the cage on BPR and logbook | <b>2 RETURN MATERIAL</b>   | 1   | 2   | Document entry control of pens on BPR |  |
| 3                              | Document Batch number return                                  | 1                          | Count and document return cartons on BPR                    | <b>2 ENTRY CONTROL PPM</b>                  | 1                                     | Perform entry control of leaflet and carton      |
|                                |   | 2                          | Count and document return leaflet - first check -           | 1   | 2                                     | Document entry control on BPR                    |
|                                |   | <b>3 CLEANING BCO</b>      | <b>3</b>  | <b>3 DC OF EC LABEL, PS AND SHIPPER BOX</b> | 1                                     | Wait for role 3 to perform the entry control     |
|                                |   | 1                          | Airgun stations as followed : EM 15,16,17,18,19,20,22,33,34 | <b>R3</b>                                   | 2                                     | Check entry control label, price and shipper box |
|                                |   | 2                          | Clean with alcohol stations : EM 15,16,17,18,19,20,22,33,34 | <b>4 INFEEED PPM</b>                        | 1                                     | Infeced machine with label, PS and Shipper box   |
|                                |   | 3                          | Document BCO cleaning DONE on BPR                           |   |                                       |  |
|                                |   | <b>R2</b>                  | Wait for role 2 to perform cleaning on the other stations   |   |                                       |  |
|                                |   | 4                          | Perform the DC cleaning                                     |   |                                       |  |
|                                |   | <b>4 LINE CLEARANCE</b>    |   |   |                                       |  |
|                                |   | 1                          | Perform the 2 <sup>nd</sup> part of line clearance          |   |                                       |  |
|                                |   | 2                          | Document line clearance on BPR                              |   |                                       |  |
|                                |   | <b>5 DC LINE CLEARANCE</b> |   |   |                                       |  |
|                                |   | <b>R2</b>                  | Wait the role 2 to perform the 3 <sup>rd</sup> part LC      |   |                                       |  |
|                                |   | 1                          | Perform DC line of the 1 <sup>st</sup> part clearance       |   |                                       |  |

FIGURE 4.20 – Standard R01

| 1<br>ROLE 2:<br>BEFORE BCO |  | 2<br>ROLE 2:<br>DURING BCO                 |   | 3<br>ROLE 2:<br>RAMP-UP : STARTUP |                                       |  |
|----------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| <b>1 BPR DOCUMENTATION</b> |  | <b>1 FINALISATION LAST PALLET BUILD-UP</b> |   | <b>1 START BATCH</b>              |                                       |  |
| 1                          | Document summary on BPR                  | 1  | Check last shipper box  | 1                                 | Document start batch on BPR           |  |
| 2                          | Document reconciliation pens and samples | 2  | Document via comment on batch log : Shipper box check's DONE      | 2                                 | Document start batch on line Log book |  |
| 3                          | Prepare of waste bags                    | 3  | Document via comment on batch log : pallet quantity change        | 3                                 | Organise BPR parts                    |  |
|                            |  | 4  | Cross empty field of the Pallet build-up and architecture pallet  | <b>2 ENTER DATA ON HMI</b>        | 4                                     | Insert new batch data on the HMI   |
|                            |  | <b>2 RECONCILIATION</b>                    |   | <b>3 ARCHIVE SAMPLE HANDLING</b>  | 1                                     | Handle AS related to : Leaflet, Label product/customer, Label stylo, Shipper box with price stickers |
|                            |  | 1  | Perform reconciliation pens and yield                             | <b>4 OUT OF BCO</b>               | 1                                     | Place waste bags on the indicated places   |
|                            |  | <b>3 DC RECONCILIATION</b>                 |   |                                   |                                       |  |
|                            |  | <b>R3</b>                                  | Wait for role 3 to perform  |                                   |                                       |  |
|                            |  | 1  | Check Reconciliation price stickers                               |                                   |                                       |  |
|                            |  | <b>4 CLEANING BCO</b>                      |   |                                   |                                       |  |
|                            |  | 1  | Air gun stations as forward : EM 3,4,5,6,7,8,9,11,13,14           |                                   |                                       |  |
|                            |  | 2  | Clean with alcohol as forward : EM 3,4,5,6,7,8,9,11,13,14         |                                   |                                       |  |
|                            |  | <b>R1</b>                                  | Wait for role 1 to perform cleaning on the other stations         |                                   |                                       |  |
|                            |  | 3  | Perform DC cleaning other stations                                |                                   |                                       |  |
|                            |  | <b>5 LINE CLEARANCE</b>                    |   |                                   |                                       |  |
|                            |  | 1  | Perform 1 <sup>st</sup> part of line clearance                    |                                   |                                       |  |
|                            |  | 2  | Document line clearance on BPR                                    |                                   |                                       |  |
|                            |  | <b>6 DC LINE CLEARANCE</b>                 |   |                                   |                                       |  |
|                            |  | <b>R1</b>                                  | Wait for role 1 to perform 2 <sup>nd</sup> part of line clearance |                                   |                                       |  |
|                            |  | 3  | Perform DC of 2 <sup>nd</sup> part of line clearance              |                                   |                                       |  |

FIGURE 4.21 – Standard R02

| 1<br>ROLE 3:<br>BEFORE BCO           |  | 2<br>ROLE 3:<br>DURING BCO |   | 3<br>ROLE 3:<br>Ramp-up : START UP |   |  |
|--------------------------------------|--|----------------------------|---|------------------------------------|---|--|
| <b>1 PALLET BUILD-UP PREPARATION</b> |  | <b>1 RETURN MATERIAL</b>   |   | <b>1 ENTRY CONTROL</b>             |   |  |
| 1                                    | Prepare Bubble wrap, Partially used tape | 1                          | Perform reconciliation of price stickers                      | 1                                  | Entry control label, price stickers and shipper box – first check - |  |
| <b>2 EJECT PENS COUNTING</b>         |  | 2                          | Check Price stickers, Label and Shipper box return            | 2                                  | Document EC on BPR  |  |
| 1                                    | Count the ejected pens in the waste cage | <b>R1</b>                  | Wait for role 1 to perform the return of cartons and leaflets | <b>2 DC ENTRY CONTROL PEN, PPM</b> | <b>R1</b>   | Wait for role 1 to perform the entry control of leaflets & cartons |
|                                      |  | 3                          | DC cartons and Leaflets return                                | 1                                  | 2   | DC entry control of leaflets & cartons                             |
|                                      |  | <b>R2</b>                  | Wait for role 2 to perform the reconciliation of pens         | <b>3 INFEEED MATERIALS</b>         | 1   | Infeced machine with pens, Leaflets & cartons                      |
|                                      |  | 4                          | DC the reconciliation of pens                                 | <b>4 DC ENTER DATA ON HMI</b>      | <b>R2</b>   | Wait for role 2 to enter the data on the HMI                       |
|                                      |  | <b>2 END BATCH</b>         |   | 1                                  | 2   | DC the data on HMI and reset                                       |
|                                      |  | 1                          | Finalize and organize the BPR parts                           | 3                                  | 3   | Start machine and wait for the first 6 cartons                     |
|                                      |  | 2                          | Document end batch on BPR and logbook                         |                                    |   |  |
|                                      |  | 3                          | Document end batch on line logbook                            |                                    |   |  |

FIGURE 4.22 – Standard R03

---

## 4.22 Annexe 22 : Fonctionnement de l'algorithme

---

**Algorithm 1** Algorithme génétique pour l'ordonnancement des tâches du processus BCO

---

```
1: Initialisation :
2: Définir : POP_SIZE, CROSSOVER_RATE, MUTATION_RATE, NUM_GENERATIONS, ELITE_SIZE
3: Charger les tâches avec leurs durées et dépendances (via QR code)
4: Saisir le nombre d'opérateurs num_operators
5: Générer aléatoirement une population initiale valide (séquences respectant les dépendances)
6: for génération = 1 to NUM_GENERATIONS do
7:     Calculer la fitness (durée totale maximale) pour chaque chromosome
8:     Trier la population par fitness croissante
9:     Conserver les ELITE_SIZE meilleurs chromosomes dans new_population
10:    while taille(new_population) < POP_SIZE do
11:        Tirer un nombre aléatoire  $r \in [0, 1]$ 
12:        if  $r < \text{CROSSOVER\_RATE}$  then
13:            Sélectionner deux parents parmi les 50 meilleurs chromosomes
14:            Réaliser un croisement entre les deux parents pour créer un enfant valide
15:            Ajouter l'enfant à new_population
16:        else
17:            Ajouter un chromosome aléatoire de la population à new_population
18:        end if
19:    end while
20:    Appliquer une mutation avec une probabilité MUTATION_RATE sur chaque chromosome
21:    Remplacer la population par new_population
22: end for
23: Sélectionner la meilleure solution finale (fitness minimale)
24: Planifier les tâches pour les opérateurs en respectant les contraintes
25: Visualiser l'ordonnancement obtenu sur un diagramme de Gantt
```

---

## 4.23 Annexe 23 : Inputs data de l'algorithm

| Task ID | Description   | Duration (min) | Dependencies | QR code link  |
|---------|---|----------------|--------------|---|
| T1      | Empty The line from PENS and PPM  | 2              |              | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T2      | Count and document return cartons and leaflet on BPR and Empty PPM from line to box       | 4              |              | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T3      | Perform the DC return price sticker, label and shipper box                                | 5              | T24          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T4      | Airgun stations and Clean with alcohol stations as followed EM 15,16,17,18,19,20,22,33,34 | 4              | T1           | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T5      | Document BCO cleaning DONE on BPR   | 1              | T4           | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T6      | Perform the DC cleaning   | 2              | T4,T5        | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T7      | Perform and document the 2nd part of line clearance                                       | 3              | T6           | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T8      | Perform DC line of the 1st part clearance   | 2              | T16          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T9      | Perform entry control of pens, leaflet and carton   | 4              | T18          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T10     | Double Check entry control label, price and shipper box and                               | 6              | T18,T28      | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T11     | Check last shipper box  | 5              |              | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T12     | Perform reconciliation pens and yield   | 4              | T11          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T13     | Double Check Reconciliation price stickers  | 4              | T23          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T14     | Airgun stations and Clean with alcohol stations as followed EM 3,4,5,6,7,8,9,11,13,14     | 3              | T1           | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T15     | Perform DC cleaning other   | 2              | T14          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |
| T16     | Perform 1st part of line clearance  | 3              | T15          | <a href="https://www.google.com/?hl=fr">https://www.google.com/?hl=fr</a> |

FIGURE 4.23 – Data input

## 4.24 Annexe 24 : Outputs de l'algorithm

### Task Schedule Card



#### Operator 1 tasks

| Task ID | Description   | QR Code   |
|---------|---|---|
| T1      | Empty The line from PENS and PPM                    |    |
| T11     | Check last shipper box                              |    |
| T13     | Double Check Reconciliation price stickers          |    |
| T26     | DC the reconciliation of pens                       |   |
| T5      | Document BCO cleaning DONE on BPR                   |  |
| T15     | Perform DC cleaning other stations                  |  |
| T7      | Perform and document the 2nd part of line clearance |  |
| T8      | Perform DC line of the 1st part clearance           |  |
| T18     | Document start batch on BPR and logbook             |  |
| T20     | Insert new batch data on the HMI                    |  |
| T30     | DC the data on HMI and reset                        |  |
| T29     | DC entry control of leaflets & cartons              |  |

Page 2

FIGURE 4.24 – Output

## 4.25 Annexe 25 : Modèle conceptuel

Dans notre cas, un modèle conceptuel doit être conçu afin de faciliter l'accès à l'information, la compréhension globale du système, ainsi que la modélisation et le traitement efficace des parties prenantes par la suite.

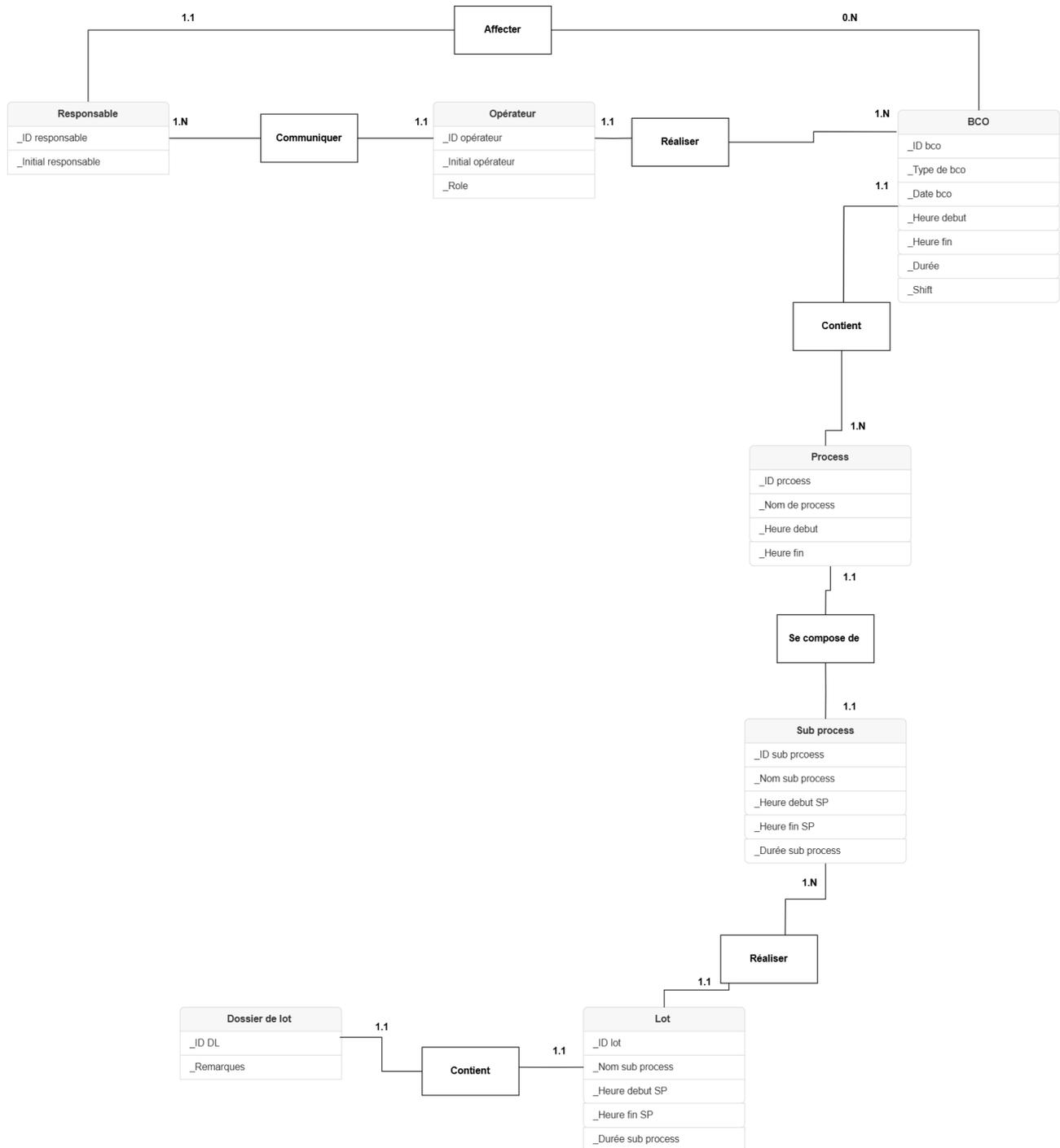


FIGURE 4.25 – MCD

## 4.26 Annexe 26 : Interpretation du modèle conceptuel

| Entité         | Rôle / Description   | Association            | Cardinalité | Signification de l'association                              |
|----------------|--|------------------------|-------------|---|
| Responsable    | Supervise les opérateurs.  | <b>Superviser</b>      | 1,N         | Un responsable supervise plusieurs opérateurs.              |
|                |  | <b>Attribuer tâche</b> | -           | Le responsable attribue une tâche à un opérateur.           |
| Opérateur      | Exécute les actions liées à un BCO.                                | <b>Exécuter BCO</b>    | N,1         | Plusieurs opérateurs peuvent exécuter un BCO.               |
|                |  | <b>Recevoir tâche</b>  | -           | L'opérateur reçoit une ou plusieurs tâche d'un responsable. |
| BCO            | Représente un changement de lot avec des informations temporelles. | <b>Composer BCO</b>    | 1,N         | Un BCO est composé de plusieurs processus.                  |
|                |  | <b>Exécuté par</b>     | N,1         | Un BCO est exécuté par un ou plusieurs opérateurs.          |
| Process        | Étape principale d'un BCO.   | <b>Décomposer en</b>   | 1,N         | Un process est décomposé en plusieurs sub process.          |
|                |  | <b>Appartient à</b>    | N,1         | Chaque process appartient à un seul BCO.                    |
| Sub process    | Sous-étape détaillée d'un process.                                 | <b>Utiliser lot</b>    | 1,N         | Chaque sous-processus utilise un ou plusieurs lots.         |
|                |  | <b>Fait partie de</b>  | N,1         | Chaque sub process appartient à un seul process.            |
| Lot            | Production concrète liée à un sub process.                         | <b>Documenté par</b>   | 1,1         | Chaque lot a un dossier de lot unique.                      |
|                |  | <b>Correspond à</b>    | 1,1         | Chaque lot correspond à un sous-processus.                  |
| Dossier de lot | Document administratif d'un seul lot.                              | <b>Documenter lot</b>  | 1,1         | Chaque dossier est lié à un seul lot produit.               |

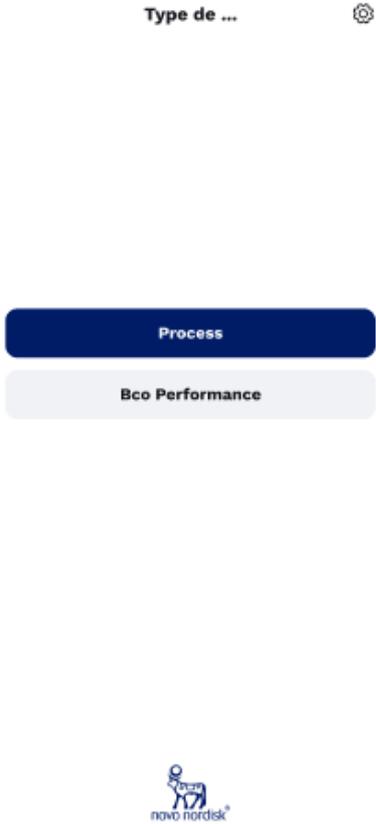
TABLE 4.5 – Description MCD

## 4.27 Annexe 27 : Description des tables de la base de données

En traduisant le modèle conceptuel en une structure logique dans une base de données relationnelle. Le modèle relationnelle décrit les tables, leurs attributs clés et les liens logiques entre elles (via les clés primaires et étrangères).

| Table                    | Attributs   | Explication  |
|--------------------------|---|--|
| <b>Responsable</b>       | <u>id_responsable</u> , nom, prénom, fonction   | Contient les informations sur les responsables qui supervisent les opérateurs.                   |
| <b>Opérateur</b>         | <u>id_operateur</u> , nom, prénom, <u>id_responsable</u> (clé étrangère)  | Chaque opérateur est supervisé par un responsable (relation 1,N).                                |
| <b>BCO</b>               | <u>id_bco</u> , date_debut, date_fin, description   | Représente un changement de lot (batch change over). Peut être réalisé par plusieurs opérateurs. |
| <b>Opérateur_BCO</b>     | <u>id_operateur</u> (Clé étrangère), <u>id_bco</u> (Clé étrangère)  | Table d'association : un BCO peut être réalisé par plusieurs opérateurs (relation N,N).          |
| <b>Process</b>           | <u>id_process</u> , nom, ordre, <u>id_bco</u> (Clé étrangère)   | Étape principale d'un BCO. Chaque BCO contient plusieurs processus.                              |
| <b>SubProcess</b>        | <u>id_subprocess</u> , nom, ordre, <u>id_process</u> (Clé étrangère)  | Chaque process est composé de plusieurs sous-processus.  |
| <b>Lot</b>               | <u>id_lot</u> , produit, quantité, <u>id_subprocess</u> (Clé étrangère)   | Chaque sous-processus est lié à un ou plusieurs lots.  |
| <b>DossierLot</b>        | <u>id_dossier</u> , infos_admin, <u>id_lot</u> (Clé étrangère, UNIQUE)  | Chaque dossier de lot est lié à un seul lot, et chaque lot a un seul dossier (relation 1 :1).    |
| <b>Tache</b> (optionnel) | <u>id_tache</u> , description, date_attribution, <u>id_responsable</u> (Clé étrangère), <u>id_operateur</u> (Clé étrangère), <u>id_subprocess</u> (Clé étrangère) | Permet de tracer quelle tâche a été affectée à quel opérateur par quel responsable.              |

## 4.28 Annexe 28 : Les interfaces et les fonctionnalités du prototype

| Page   | Description  |
|--|--|
|  | <p>Après que l'opérateur passe par la page d'accueil, il doit insérer ses informations personnelles, notamment son Initial (son nom professionnel dédié dans l'entreprise). Il a ensuite accès à deux onglets : Processus et BCO Performance. Le premier est destiné au suivi de la performance du processus BCO (Dashboard), avec des KPIs à suivre pour avoir une idée de la conformité de l'équipe par rapport au standard déployé. Le second onglet est dédié au suivi des processus, utilisé lorsque l'équipe est en train de réaliser le processus ou même en amont pour certaines tâches.</p> |

 Informations du lot

Date

N°lot

Type de BCO



Type de produit



Si l'on clique sur l'onglet Processus, on accède à un formulaire contenant les informations représentant l'identité du lot. L'opérateur doit y insérer la date, le numéro de lot, ainsi que le type de BCP (Back to Back ou changement de format). Il doit également sélectionner le type de produit concerné parmi les suivants : NovoRapid, NovoMix, Levemir ou Victoza.

 Processes

Cleaning

In Progress



Line Clearance

Completed



Finalization

Pending

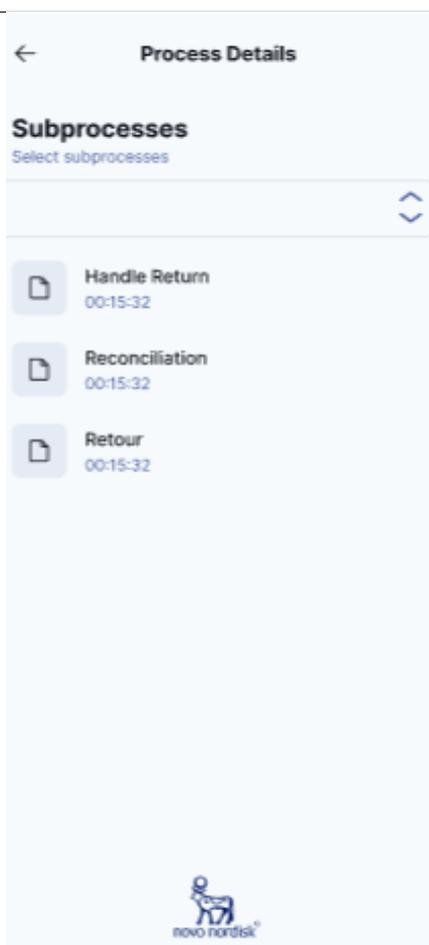


Ramp up

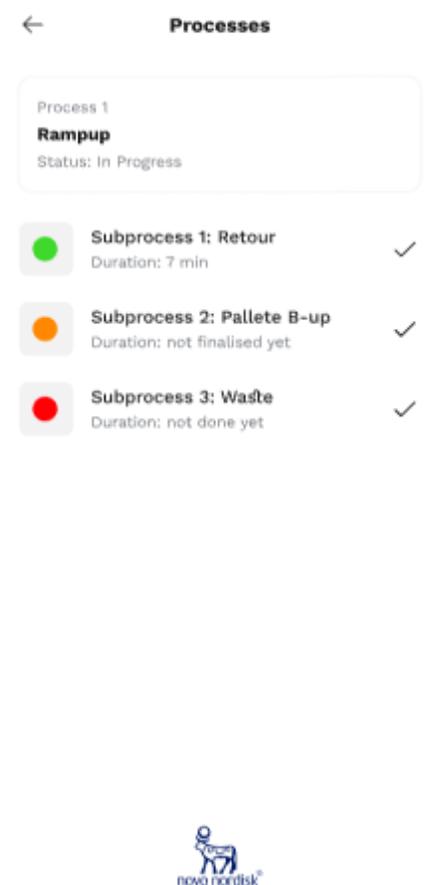
In Progress



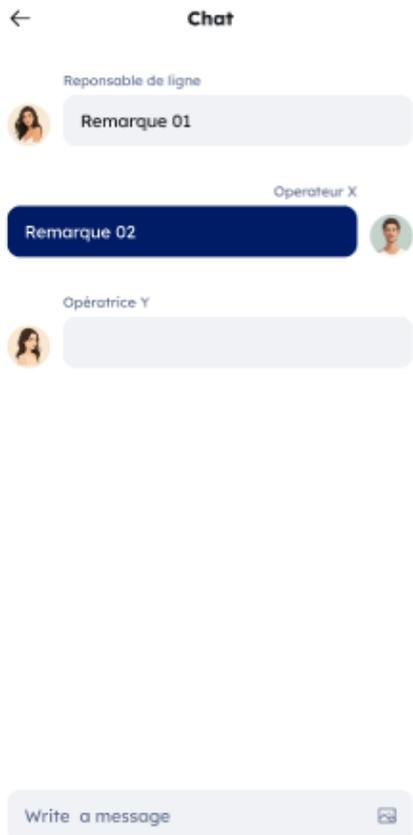
Après l'onglet des informations de lot, on accède à un onglet pour les processus ; chaque processus contient ses sous-processus (suivant le standard déployé), et chacun d'eux contient également ses sous-processus.



Si l'on fait un choix sur un processus bien précis, on aura la liste des sous-processus. À chaque fois qu'on appuie sur un sous-processus, un chronomètre se lance pour mesurer exactement combien de temps prend ce sous-processus.



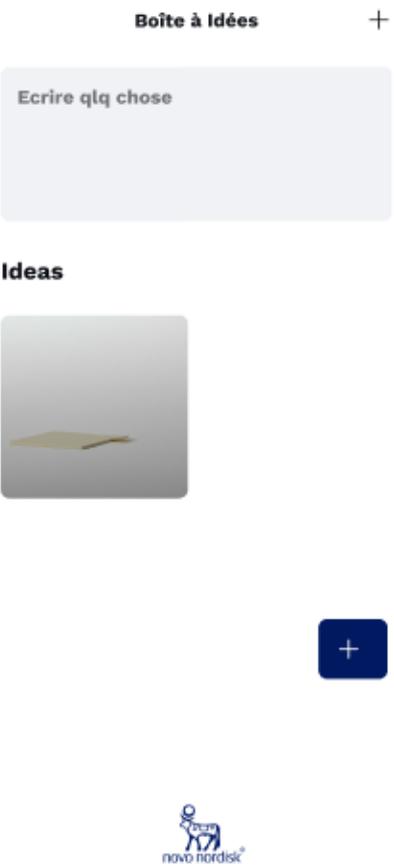
Une vue globale va apparaître pour visualiser quels sont les processus et sous-processus finalisés, combien de temps ils ont pris, et identifier si certains processus ont été négligés, afin de détecter un éventuel écart par rapport au standard.

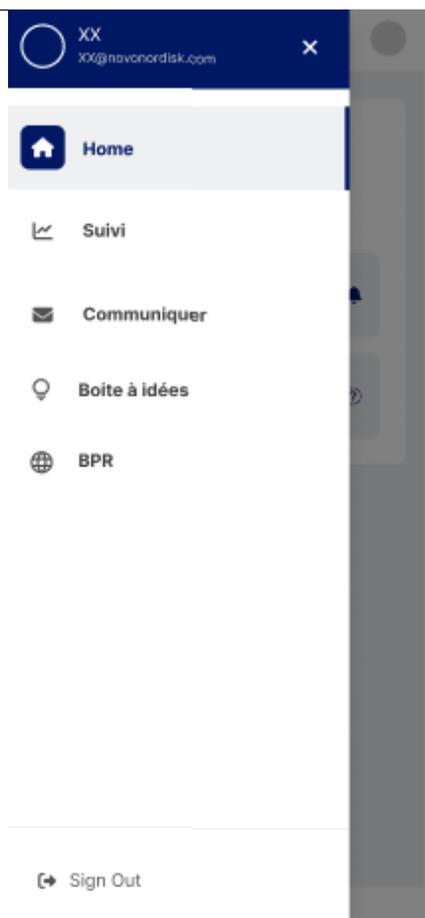


Une vue de communication est également disponible afin de permettre une interaction et une communication efficaces au sein de la hiérarchie.



C'est pour suivre et signaler les écarts qui se sont produits dans le dossier de lot, mais aussi pour détecter les goulots d'étranglement entre les étapes de check, double check entre l'application et le BPR physique.

|   |   |
|---|---|
|   | <p>C'est pour la centralisation des informations. ; Un tableau bien simple va centraliser toutes les informations insérées et collectées.</p>   |
|  | <p>Une boîte à idées est proposée et centralisée afin d'éviter le format physique, de faciliter l'insertion, mais aussi de centraliser le traitement des améliorations proposées.</p> |



Une vue d'ensemble est disponible pour visualiser l'ensemble des onglets disponible.

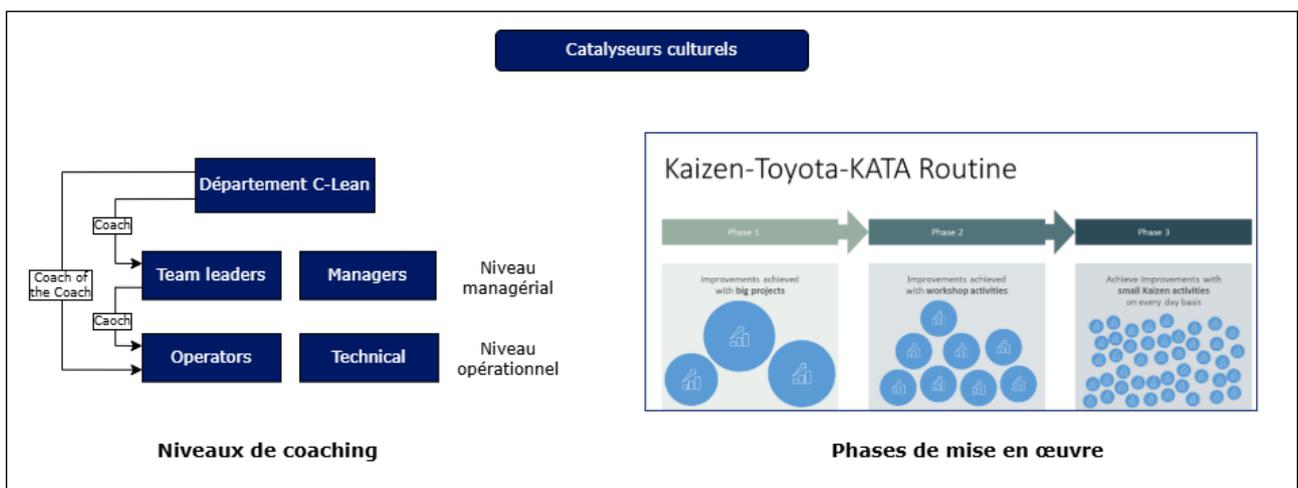
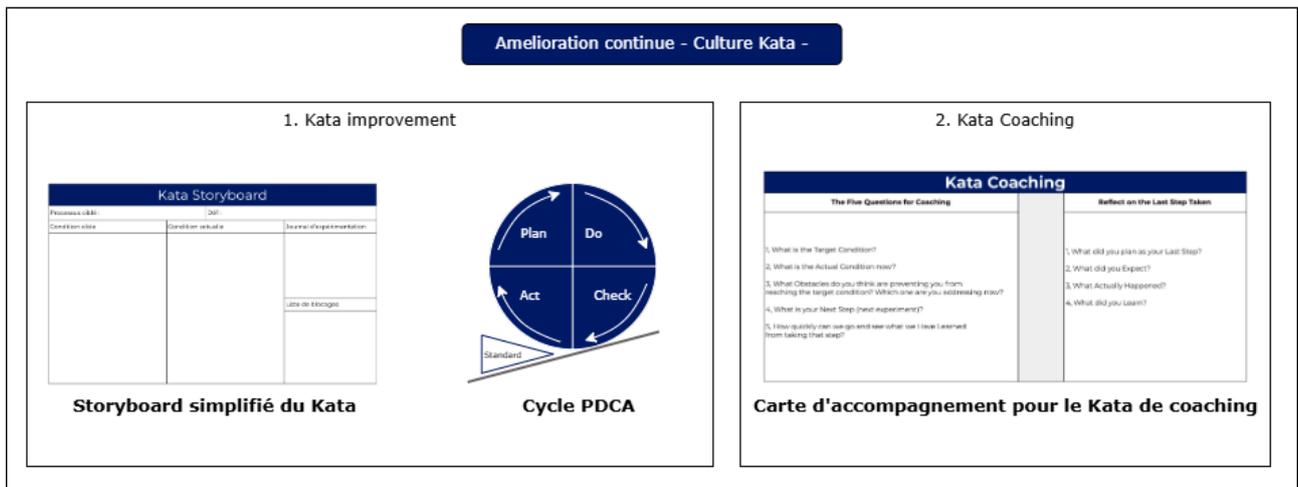
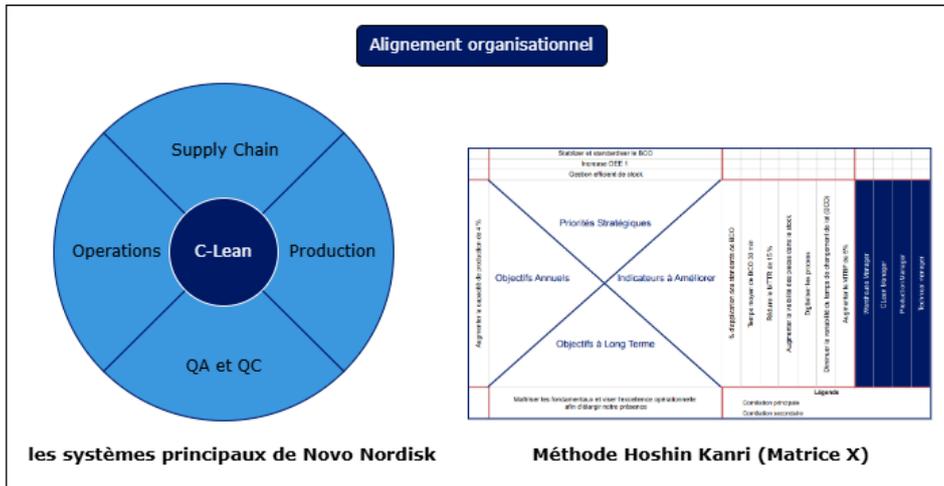
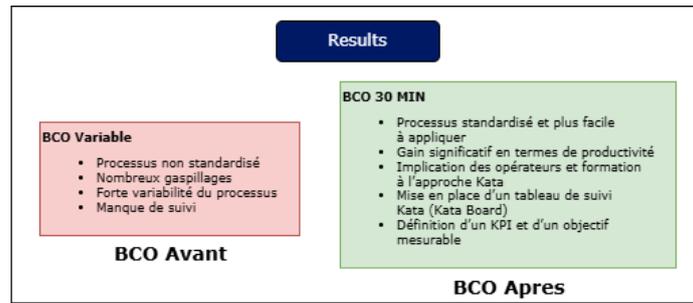


FIGURE 4.26 – Modèle de Shingo pour la culture Kata