

Caterpillar. Lean 6 Sigma. Optimisation du processus d'approvisionnement en composants mécanosoudés de grande taille

Mémoire réalisé par
Martin Beben

Promoteur(s)
Roland van Rijckevorsel

Lecteur(s)
Nadine Meskens

Année académique 2013-2014
Master 2 ingéniorat de gestion à finalité spécialisée

Résumé

Ce mémoire traite de l'optimisation du processus d'approvisionnement de composants de grande taille. Cette redéfinition du flux est d'importance stratégique pour Caterpillar. En effet, le plan industriel mis en place depuis l'année passée, a pour objectif stratégique de redéfinir l'ensemble des flux de l'usine de Gosselies.

L'utilisation de la démarche DMAIC Lean 6 Sigma a permis dans un premier temps, d'identifier plusieurs opportunités d'amélioration en adéquation avec les objectifs stratégiques et opérationnels de Caterpillar. Dès lors, ce projet d'optimisation a très vite été validé par les managers.

La rigueur de la structure DMAIC et la richesse de ses outils ont permis au fur et à mesure du projet, de mettre en évidence tous les dysfonctionnements du processus d'approvisionnement des composants.

Une fois toutes ces défaillances identifiées, il était primordial d'analyser les causes profondes de celles-ci. La méthodologie Lean 6 Sigma insiste fortement sur cette étape du projet car il n'est pas possible de proposer une solution efficace, adaptée et pérenne si celle-ci ne supprime pas l'ensemble de ces causes profondes.

La démarche a donc permis de développer une solution efficiente à la problématique de ce mémoire. Cette solution peu coûteuse à implémenter, redéfinit complètement la méthode d'appel de ces composants, le transport de ceux-ci, le processus d'approvisionnement, etc...

Ce projet implique fortement le fournisseur des composants. Il a donc fallu développer un réel partenariat afin que toutes les parties prenantes y gagnent à marcher tous dans la même direction. Cette direction est l'amélioration continue.

Enfin, une analyse des résultats du projet a permis de mettre en évidence un gain financier non négligeable sur chaque composant approvisionné. Au-delà de l'aspect financier, ce projet a réduit considérablement les stocks sur toute la *supply chain*, il a établi un partenariat win-win solide avec un fournisseur clé et il a simplifié l'ensemble des flux.

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier mon titulaire académique Roland van Rijckevorsel pour son soutien et son engagement dans ce mémoire.

L'ensemble de ce mémoire-projet n'aurait pas été possible sans le soutien du groupe de travail logistique. Je tiens donc à remercier mon maître de stage, Didier Huart, qui m'a octroyé sa confiance tout au long de mon projet, jusqu'à la présentation de celui-ci chez le fournisseur.

De plus, je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe, Raphael Daumerie, Fabien Canivet et Jérôme Stempin, pour m'avoir très vite intégré et assisté tout au long de ce projet dans la validation et la conception de certains outils.

Merci à mon entourage pour leur soutien tout au long de cette épreuve clé de mon parcours.

Table des matières

Résumé.....	I
Remerciements.....	II
Table des matières.....	III
Liste des abréviations utilisées.....	VI
Liste des mots clés.....	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des graphiques et/ou illustrations.....	IX
Liste des annexes.....	XI
Introduction.....	1
Chapitre 1 : Contexte du mémoire.....	3
Chapitre 2 : Méthodologie du mémoire.....	6
I. 6 Sigma chez Caterpillar.....	6
II. Définition du Lean 6 Sigma.....	8
II.1. 6 Sigma.....	8
II.2. Lean 6 Sigma.....	9
III. Projet DMAIC.....	11
III.1. DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve et Control).....	11
III.2. DMEDI (Define, Measure, Explore, Develop et Implement).....	13
IV. Pourquoi la méthodologie DMAIC Lean 6 Sigma.....	13
Chapitre 3 : Define.....	15
I. Objectifs.....	15
II. Outils disponibles.....	16
III. Choix des outils et méthodes retenus.....	16
IV. Mise en œuvre de ces outils et méthodes.....	20
IV.1. Définir les objectifs stratégiques et opérationnels.....	20
IV.2. Valider l'opportunité de projet.....	21
IV.3. Identifier et analyser le processus.....	24
Chapitre 4 : Measure.....	30
I. Objectifs.....	30
II. Outils disponibles.....	31
III. Choix des outils et méthodes retenus.....	31
IV. Mise en œuvre de ces outils et méthodes.....	39

IV.1.	Identification des différents indicateurs	39
IV.2.	Développement d'une définition opérationnelle	43
IV.3.	Réalisation du plan de mesure.....	43
IV.4.	Collecte des données du processus.....	44
IV.5.	Evaluation des données collectées	52
Chapitre 5 : Analyze.....		56
I.	Objectifs	56
II.	Outils disponibles	56
III.	Choix des outils et méthodes retenus	57
IV.	Mise en œuvre de ces outils et méthodes	68
IV.1.	Stratifier le processus	68
IV.2.	Stratifier les données et identifier les problèmes spécifiques	75
IV.3.	Développer les énoncés des problèmes.....	77
IV.4.	Identifier les causes profondes	79
IV.5.	Concevoir l'analyse de la vérification des causes	83
IV.6.	Valider les causes profondes	84
Chapitre 6 : Improve		89
I.	Objectifs	89
II.	Outils disponibles	89
III.	Choix des outils et méthodes retenus	90
IV.	Mise en œuvre de ces outils et méthodes	97
IV.1.	Elaboration d'une solution personnelle.....	97
IV.2.	Générer des solutions avec toutes les parties prenantes du projet.....	116
IV.3.	Evaluer et sélectionner les solutions	119
IV.4.	Description complète de la solution sélectionnée	121
Chapitre 7 : Control.....		123
I.	Objectifs	123
II.	Outils disponibles	124
III.	Choix des outils et méthodes retenus	124
IV.	Mise en œuvre de ces outils et méthodes	127
IV.1.	Elaboration du plan d'implémentation de la solution	127
Chapitre 8 : Analyse des résultats		134
I.	Objectifs	134
II.	Choix de l'outil et méthode retenus.....	134
III.	Mise en œuvre de l'outil	134

IV. Analyse des résultats	140
V. Analyse des résultats chez Oxy-Fleurus	144
Conclusion.....	149
Bibliographie	151
Annexes	153

Liste des abréviations utilisées

- DMAIC : Define Measure Analyze Improve Control
- POU : Point Of Use
- VOC : Voice Of the Customer
- VOB : Voice Of the Business
- CCR : Critical Customer Requirement
- TPS : Toyota Production System
- VSM : Value Stream Mapping
- LDC : Logistics Distribution Center
- PFEP : Plan For Every Part
- CPS : Caterpillar Production System
- SIPOC : Supplier Input Process Output Customer
- MAPOU : Missing At Point Of Use
- ADU : Average Daily Usage
- RPN : Risk Priority Number
- PPC : Point de Pénétration de Commande
- FIE : Feuille d'Instruction Engagement
- FID : Feuille d'Instruction Détaillée
- TCO : Total Cost of Ownership
- JIT : Just In Time
- FTE : Full Time Equivalent
- BRM : Business Risk Management

Liste des mots clés

Plates, Lift-arm, Wheel-loader, Mécanosoudée, Layout, 6 Sigma, Output, Input, Processus, Lean 6 Sigma, Project leader, Muda, Manufacturing, Turns, Handling, Green Belt, Receiving, Foreman, Turns, Indicateurs de performance, Supplier response time, Lift-truck, Approvisionnement, Cariste, Obeya, Trigger, Supply chain, Convoyeur, Production synchrone, Approvisionnement synchrone, Cause profonde, Dysfonctionnement, Défaillances, Production à la commande, Production pour stock, Pull, Gaspillages, Ligne de production.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Charte de projet	22
Tableau 2 : DOL.....	26
Tableau 3 : Indicateurs d'output	40
Tableau 4 : Indicateurs du processus.....	41
Tableau 5 : Indicateurs d'inputs	42
Tableau 6 : Plan de mesure.....	43
Tableau 7 : AMDEC.....	85
Tableau 8 : Pugh Matrix	94
Tableau 9 : Première Pugh matrix.....	120
Tableau 10 : Deuxième Pugh Matrix	121
Tableau 11 : Etapes d'implémentation	131
Tableau 12 : Matrice de responsabilité	133

Liste des graphiques et/ou illustrations

Figure 1 : <i>Layout de la ligne de production des lift-arm</i>	5
Figure 2 : <i>Pyramide des objectifs Caterpillar 2020</i>	7
Figure 3 : <i>Gestion de projet</i>	11
Figure 4 : <i>Réduction de la variabilité</i>	12
Figure 5 : <i>Déplacement de la moyenne</i>	12
Figure 6 : <i>SIPOC</i>	25
Figure 7 : <i>Process map</i>	28
Figure 8 : <i>Identification des indicateurs</i>	33
Figure 9 : <i>Interprétation de la carte de contrôle</i>	38
Figure 10 : <i>LDC des plates</i>	51
Figure 11 : <i>Niveau d'inventaire des plates</i>	52
Figure 12 : <i>Analyse du transport (1)</i>	53
Figure 13 : <i>Analyse du transport (2)</i>	54
Figure 14 : <i>Variables du processus</i>	61
Figure 15 : <i>Technique des cinq pourquoi</i>	62
Figure 16 : <i>Conception de la matrice cause-effet</i>	64
Figure 17 : <i>Histogramme de fréquence population</i>	69
Figure 18 : <i>Histogramme période « significative »</i>	71
Figure 19 : <i>Carte de contrôle période « significative »</i>	72
Figure 20 : <i>Histogramme période « consolidation »</i>	73
Figure 21 : <i>Carte de contrôle période « consolidation »</i>	74

Figure 22 : <i>Diagramme d'Ishikawa</i>	79
Figure 23 : <i>Arbre des causes</i>	82
Figure 24 : <i>LDC des plates LIFO</i>	86
Figure 25 : <i>Convergence contrôlée</i>	96
Figure 26 : <i>Processus de commande</i>	104
Figure 27 : <i>PPC actuel</i>	105
Figure 28 : <i>Production synchrone</i>	106
Figure 29 : <i>Layout POU lift-arm</i>	109
Figure 30 : <i>VSM globale usine</i>	111
Figure 31 : <i>VSM processus</i>	112
Figure 32 : <i>VSM visuelle</i>	114
Figure 33 : <i>Cycle de vie du projet</i>	123
Figure 34 : <i>POU des lift-arm</i>	128
Figure 35 : <i>Diagramme de Gantt</i>	133
Figure 36 : <i>TCO flow design</i>	136
Figure 37 : <i>TCO material handling</i>	137
Figure 38 : <i>TCO transportation</i>	139
Figure 39 : <i>TCO summary dashboard</i>	140
Figure 40 : <i>TCO inventory value</i>	143

Liste des annexes

Annexe 1 : Description du composant mécanosoudé	153
Annexe 2 : Diagramme de Gantt	153
Annexe 3 : Photo du POU des lift-arm	154
Annexe 4 : Relevé des niveaux d'inventaire	155
Annexe 5 : Fichier PFEP	156
Annexe 6 : Fichier de calcul du handling	157
Annexe 7 : Relevé des MAPOU	157
Annexe 8 : Analyse statistique pour la tack-weld 966	158
Annexe 9 : Analyse statistique pour la tack-weld 950	159
Annexe 10 : Analyse statistique pour la tack-weld 980	160
Annexe 11 : Diagramme d'Ishikawa sur les coûts logistiques élevés	161
Annexe 12 : Arbres des causes sur les coûts logistiques élevés	162
Annexe 13 : Matrice cause-effet	163
Annexe 14 : Evaluation des critères AMDEC	164
Annexe 15 : Plan de production	165
Annexe 16.a : AMDEC	166
Annexe 16.b : AMDEC	167
Annexe 17 : VSM du scénario des boucles en continu	168
Annexe 18 : Photo de l'Obeya	169
Annexe 19.a : FIE du processus optimisé	170
Annexe 19.b : FIE du processus optimisé	171

Annexe 20 : FID du processus optimisé	172
Annexe 21 : Page principale du TCO	173
Annexe 22 : Analyse de la supply chain (TCO).....	174
Annexe 23 : Page des données client (TCO).....	174
Annexe 24 : Photo des stocks de sécurité chez Oxy-Fleurus	175

Introduction

De nos jours, les entreprises tentent de survivre dans un univers de plus en plus compétitif. La concurrence des pays en voie de développement impose au monde industriel de se remettre en question en permanence.

L'usine Caterpillar de Gosselies n'a pas échappé à cette concurrence inter et intra-organisationnelle de plus en plus féroce. C'est pourquoi, un plan industriel a été instauré en 2009 afin de réduire les coûts de production.

La redéfinition de l'ensemble des flux de l'usine fait donc partie des nouveaux objectifs stratégiques de l'organisation.

Ce mémoire-projet s'inscrit donc ce contexte particulier car il traite de l'optimisation du processus d'approvisionnement de composants mécanosoudés de grande taille.

Etant donné la proximité du fournisseur, le coût des composants, le processus actuel d'approvisionnement et l'opportunité d'amélioration, ce projet présente un réel potentiel d'optimisation logistique.

Les caractéristiques du processus, décrites ci-dessus, sont favorables à l'implémentation de toute une série de concepts théoriques vus au cours ou lors de la revue de la littérature.

C'est donc après avoir analysé en profondeur cette opportunité que j'ai proposé ce projet au groupe de travail logistique. Il a très vite été validé par la hiérarchie car il est en complète adéquation avec les objectifs stratégiques de l'usine Caterpillar.

De plus, le contexte particulier de restructuration globale de l'organisation est favorable à la prise d'initiative en matière de projets d'amélioration.

La méthodologie DMAIC Lean 6 Sigma permettra d'une part, d'atteindre les différents objectifs du mémoire et d'autre part, de structurer l'ensemble du mémoire autour des 5 étapes clés de la démarche DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve et Control*).

Cette méthodologie de gestion de projet d'amélioration impose une structure logique et adaptée au développement de solution d'optimisation du processus. L'ensemble de ce mémoire suivra donc une structure cohérente dont chaque étape est nécessaire au bon déroulement du projet.

Enfin, une analyse des résultats de l'implémentation du projet permettra d'identifier tous les impacts financiers ou en termes de flux sur le processus complet d'approvisionnement des composants.

Chapitre 1 : Contexte du mémoire

Caterpillar Gosselies connaît depuis quelques années, une période critique. En effet, sur l'année 2008, l'entreprise a perdu plusieurs marchés et ce surtout en Afrique. Elle ne dessert désormais plus que l'Europe.

Etant donné une concurrence de plus en plus féroce des pays en voie développement tels que l'Inde ou le Brésil, il est de plus en plus compliqué pour Gosselies de rester compétitif en matière de coûts et de délais de livraison.

Cette concurrence provient pourtant d'usines Caterpillar, mais la coopérative Caterpillar attribue les marchés de chaque usine en fonction de sa compétitivité en matière de coûts sur la machine finie. L'usine de Gosselies produit deux types de machines : des excavatrices et des *wheel-loader*¹.

L'organisation s'est donc vue attribuer des objectifs de réductions de coûts, par une agence de consultance.

Afin d'atteindre ces objectifs de réductions de coûts, un plan industriel a été mis en place en 2009. Ce plan a pour but de réduire de 25% le coût de revient total d'une machine finie.

Au-delà de la vague de 1400 licenciements, un grand nombre de projets d'optimisation sont implémentés afin d'atteindre les nouveaux objectifs stratégiques de l'entreprise.

Ces objectifs stratégiques s'étendent forcément sur l'ensemble de l'organisation. Le bâtiment D des mécanosoudées s'est donc vu attribuer des objectifs de réduction de coûts sur toutes leurs structures mécanosoudées.

De ces objectifs stratégiques découlent un grand nombre d'objectifs opérationnels et ce sur toutes les fonctions du bâtiment comme la production, la logistique, les achats, etc...

Plusieurs objectifs opérationnels de réduction de coûts ont donc été fixés au département logistique du bâtiment. Afin d'atteindre les différents résultats cibles fixés par l'agence de consultance, plusieurs projets d'amélioration ont vu le jour.

¹ Chargeuse sur pneu

Le projet charnière est l'optimisation de la logistique du bâtiment des mécanosoudées. Cette optimisation de la logistique passe par une redéfinition complète de l'ensemble des flux logistiques internes et externes du bâtiment D.

L'objectif principal fixé par l'agence de consultance pour réduire l'ensemble des coûts logistiques du bâtiment D, est de réduire le nombre de caristes nécessaires à l'approvisionnement de l'ensemble des charges.

Cet objectif opérationnel définit l'ensemble des défis logistiques du bâtiment. En effet, il est impossible de continuer à assurer l'approvisionnement du même nombre de charges avec un nombre réduit de caristes si l'ensemble des flux n'est pas complètement redéfini.

Une étude d'optimisation du *layout*² et des flux du bâtiment D est donc menée afin de minimiser les distances parcourues et les manipulations des charges.

Différents scénarios d'optimisations ont été élaborés par le groupe de travail logistique. Voici quelques scénarios proposés :

- Construction d'une route centrale au bâtiment afin de décharger les camions au plus près des points d'utilisation (POU³).
- Trois points de déchargements autour du bâtiment afin d'éviter toutes les contraintes liées à la construction d'une route.
- Une zone de stockage centrale
- Une multitude de zones de stockage au plus près des POU
- ...

Suite à l'analyse de chacun de ces scénarios, grâce à un fichier Excel de simulation qui sera abordé ultérieurement, c'est le scénario des 3 points de déchargements avec des zones de stockage au plus près des POU qui ressort comme étant le plus adapté aux objectifs du bâtiment.

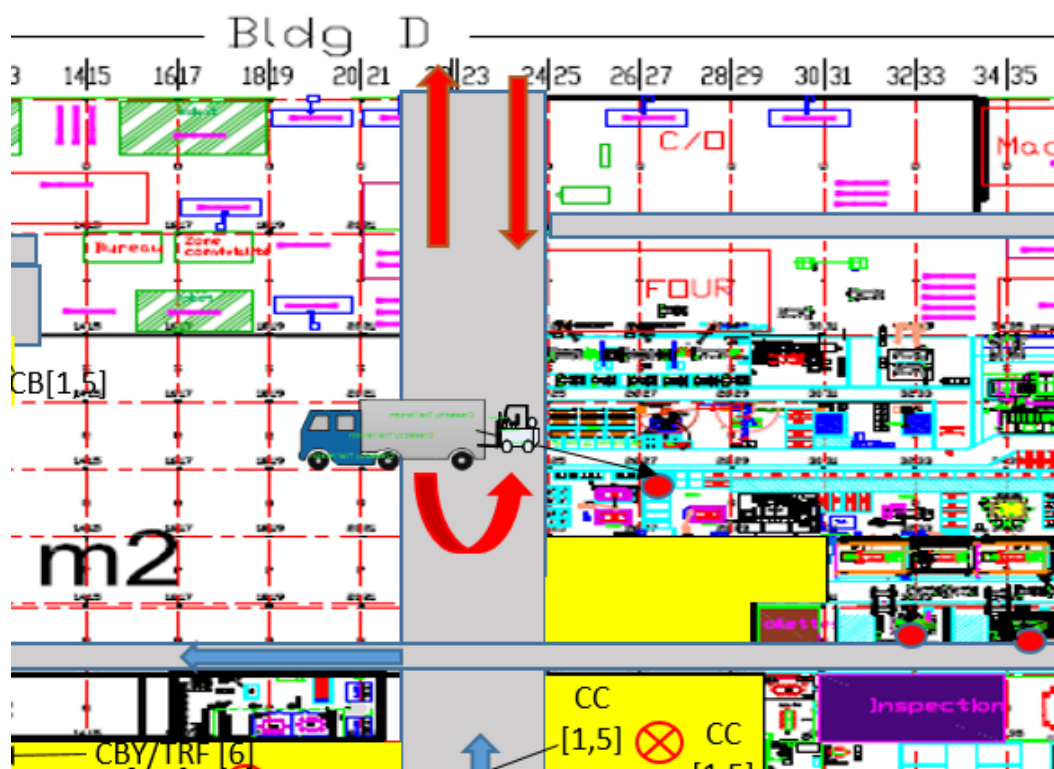
L'inconvénient majeur de ce scénario est que pour les lignes de production qui se trouvent au centre du bâtiment, les charges doivent parcourir de plus longues distances depuis la zone de déchargement du camion qui se trouve sur l'un des côtés du bâtiment.

² Plan

³ *Point Of Use* : point d'utilisation ou le premier poste d'une ligne de production

L'un de ces POU, est la zone des *lift-arm*⁴ des *wheel-loader*. L'annexe 1 illustre la description du composant qui sera traité par ce mémoire-projet. Pour chaque machine produite, il faut un *lift-arm* qui est composé de deux *plates*.

Figure 1: Layout de la ligne de production des *lift-arm*



Etant donné la largeur de l'allée qui mène aux *tack-weld*⁵ des *lift-arm*, une opportunité d'optimisation de l'approvisionnement directement au POU est possible. L'idée est de décharger directement le camion juste à côté de la zone où les pièces sont utilisées comme on peut l'observer sur l'image ci-dessous.

Le point rouge représente la première étape de la ligne de production des *lift-arm*. C'est donc dans cette zone que les composants de grande taille sont utilisés.

Il est donc évident que l'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm* permettrait de minimiser de manière conséquente, les coûts logistiques concernant cette section.

Ce projet est donc né de la volonté de décharger le camion au plus près du point d'utilisation afin de réduire les distances à parcourir ainsi que les manipulations à réaliser par le cariste.

⁴ Bras de levage

⁵ Poste de soudure qui permet d'assembler les différents composants pour former la sous-structure

Chapitre 2 : Méthodologie du mémoire

Le choix d'une méthodologie structurée et adaptée est crucial dans ce type de projet. En effet, le secteur industriel nécessite une certaine rigueur dans la méthode de travail.

Afin de mener efficacement ce projet d'amélioration de processus, il est nécessaire de développer une méthodologie qui soit d'une part, en parfaite adéquation avec la stratégie de Caterpillar et d'autre part, elle doit assurer une certaine rigueur de travail dans l'ensemble de la gestion du projet.

I. 6 SIGMA CHEZ CATERPILLAR

Afin d'atteindre ses objectifs stratégiques à long terme, Caterpillar a développé en 2001 la méthodologie 6 Sigma.

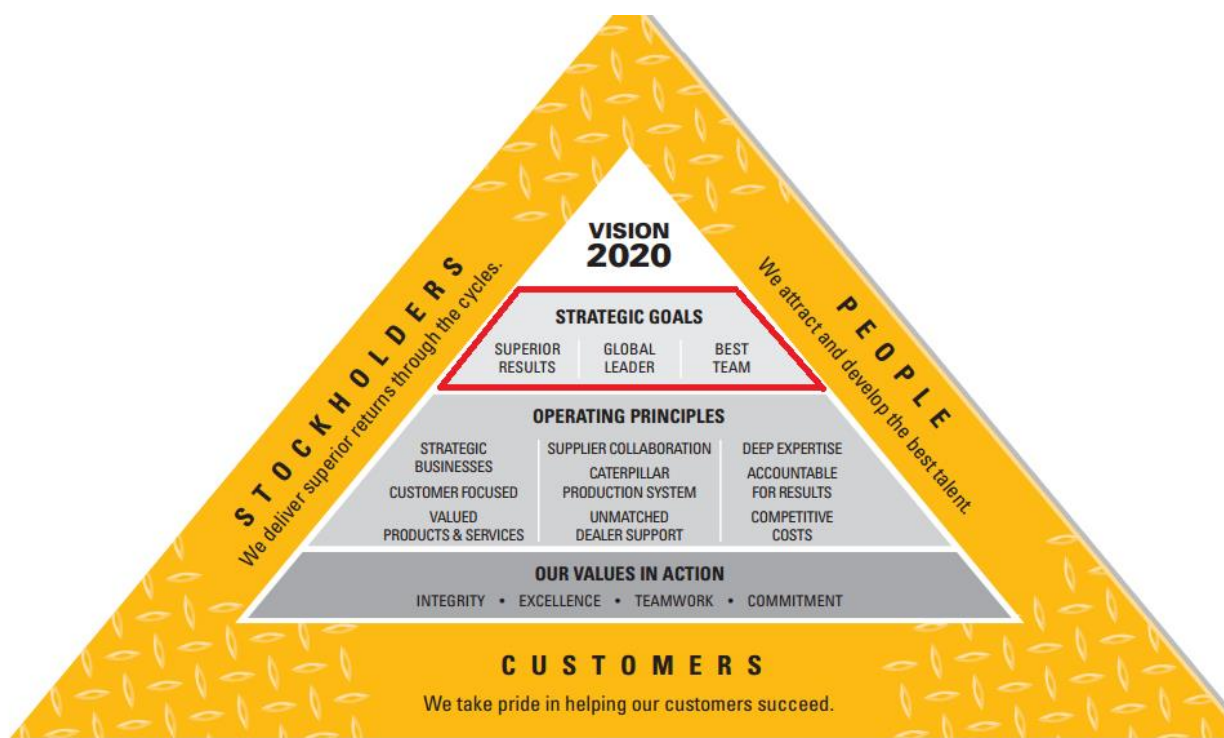
Cette méthode globale de management et de développement stratégique est née en 1987 dans les usines Motorola. Depuis, cette philosophie de gestion de l'entreprise a été adoptée partout dans le monde par des entreprises provenant de tous secteurs (IBM, BNP Paribas, MasterCard Worldwide, etc...).

Comme l'explique très clairement Jim Owens, président Caterpillar Inc : « *En appliquant la méthodologie 6 Sigma pour développer les talents de notre personnel, aucun défi ne pourra nous résister. La discipline qu'impose 6 Sigma associée à l'ingéniosité de notre personnel dans l'application de cette méthodologie permettent à Caterpillar de relever tous les défis.* »⁶

La méthode 6 Sigma, chez Caterpillar, peut être définie comme le système opératoire permettant d'atteindre les objectifs stratégiques de l'entreprise. Voici la pyramide stratégique de Caterpillar pour 2020 :

⁶ Centre de formation Caterpillar, *Formation 6 Sigma Green Belt*, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt, 2007

Figure 2: Pyramide des objectifs Caterpillar 2020



Source : <http://www.caterpillar.com/en/company/strategy.html>

Les objectifs stratégiques de Caterpillar sont donc :

Meilleure équipe

- Sécurité
- Intégration

Meilleurs résultats

- Bénéfice par action
- Bénéfice d'exploitation après intérêt et remboursement des emprunts
- Flux de trésorerie

Leader mondial

- Qualité
- Pièces de rechange
- Construction de machines

C'est exactement pour atteindre ces objectifs stratégiques que Caterpillar a développé en interne la méthodologie 6 Sigma. La vision pour 2020, est d'accroître considérablement la création de valeur pour les clients mais aussi pour l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise.

La méthodologie Lean 6 Sigma semble être la méthodologie adéquate pour mener à bien ce projet d'amélioration du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

II. DÉFINITION DU LEAN 6 SIGMA

II.1. 6 SIGMA

La lettre grecque Sigma σ est utilisée en statistique afin d'exprimer l'écart-type soit la variation ou la dispersion de données.

La méthodologie 6 Sigma est en effet une méthode de management qui vise la réduction quasiment totale des variations d'un processus.

Au départ, cette méthode était fortement orientée vers les processus de qualité. En effet, 6 Sigma signifie 3,4 défauts par million d'opportunités, soit 0,0000002 % de rebus. Plus le sigma du processus est élevé, plus les outputs du processus satisfont les exigences du client.

Mais cette méthodologie de management est applicable à de nombreux domaines de gestion, comme le prouve cette citation du plus grand organisme américain dédié à la qualité, L'American Society for Quality (ASQ) : « *Six Sigma est une philosophie d'amélioration de la qualité fondée sur les faits et les données, pour laquelle la prévention des défauts prévaut sur leur détection. Cette approche conduit à la satisfaction des clients et à des résultats opérationnels en réduisant la variation et les gaspillages, résultant dans l'acquisition d'un avantage compétitif. Six Sigma trouve une application partout où la variation et les gaspillages existent, et tous les employés doivent être impliqués.* »⁷

Cette citation confirme le domaine d'application très large de cette méthodologie. Ceci montre bien qu'aujourd'hui la philosophie 6 Sigma ne se cantonne plus seulement à l'amélioration de la qualité, mais vise une réelle amélioration de la satisfaction du client.

⁷ Vlock M., *Déployer et exploiter Lean Six Sigma*, Paris, Eyrolles éditions d'organisation, 2009, pp. 2
Source de la citation : <http://www.asq.org/>

Le client, ici, ne signifie pas forcément le consommateur final du produit, il peut être le client du processus ou l'entreprise elle-même.

Cette satisfaction du client est fonction de l'écart entre le résultat attendu et l'output délivré par le processus. L'une des causes principales de cet écart est la variabilité. En effet, une variabilité importante du processus modifie très souvent l'état désiré de l'output qui en ressort. L'une des raisons d'être du 6 Sigma est donc bien la réduction de la variabilité et des gaspillages en tout genre.

Ce principe explique en quoi la philosophie 6 Sigma possède une réelle dimension stratégique. En effet, une meilleure satisfaction du client conduit inévitablement à un accroissement de la rentabilité de l'entreprise.

La réduction de la variabilité permet de réduire les différents coûts liés à la non-qualité mais aussi d'augmenter la disponibilité des machines et donc le rendement. La méthode 6 Sigma permet donc de développer un réel avantage compétitif à l'organisation.

Il est donc primordial dans toutes démarches 6 Sigma d'intégrer ce concept de satisfaction du client (VOC⁸, CCR⁹).

II.2. LEAN 6 SIGMA

Le concept Lean est aussi une philosophie de management qui elle, provient du *Toyota Production System* (TPS) de l'entreprise Toyota au Japon.

Le Lean a comme objectif principal l'élimination des gaspillages et l'amélioration des flux. La philosophie Lean s'opère en simplifiant grandement l'ensemble des activités d'un processus. Cette simplification vise la suppression de toutes les tâches qui n'apportent pas de valeur au client du processus.

L'excès d'inventaire est le meilleur exemple de gaspillage dans une entreprise industrielle. Cet inventaire n'étant pas nécessaire à la réalisation de l'output, le Lean tend donc à le réduire voir à le supprimer complètement.

⁸ *Voice Of the Customer* : la voix du client

⁹ *Critical Customer Requirements* : les exigences critiques du client

Ce concept est clairement fondé sur la volonté de supprimer toutes les sources de gaspillages. Ces sources sont au nombre de 7 et appelées *Muda* (gaspillage en japonais) :

- La surproduction
- Les attentes des opérateurs
- Les déplacements inutiles
- Les opérations inutiles
- Les stocks excessifs
- Les gestes inutiles
- Les défauts

Les deux philosophies Lean et 6 Sigma peuvent être combinées en raison de leur complémentarité. Comme l'explique très bien Nicolas Vlock : « *La satisfaction des clients à travers l'excellence opérationnelle et l'amélioration continue représentent leurs objectifs communs.* »¹⁰

La différence majeure entre ces deux approches est que le Lean est plus intuitif que la méthodologie 6 Sigma qui se veut très structurée et fondée sur des mesures et des faits.

Néanmoins, ces deux approches sont tout à fait compatibles et permettent de proposer le mode de management Lean 6 Sigma.

Cette philosophie de l'excellence et du zéro défaut, a pour principal objectif la réduction de la variabilité de processus et la suppression d'activité sans valeur ajoutée pour le client. De plus, elle permet de mobiliser tous les acteurs de l'organisation afin d'œuvrer ensemble à l'amélioration continue.

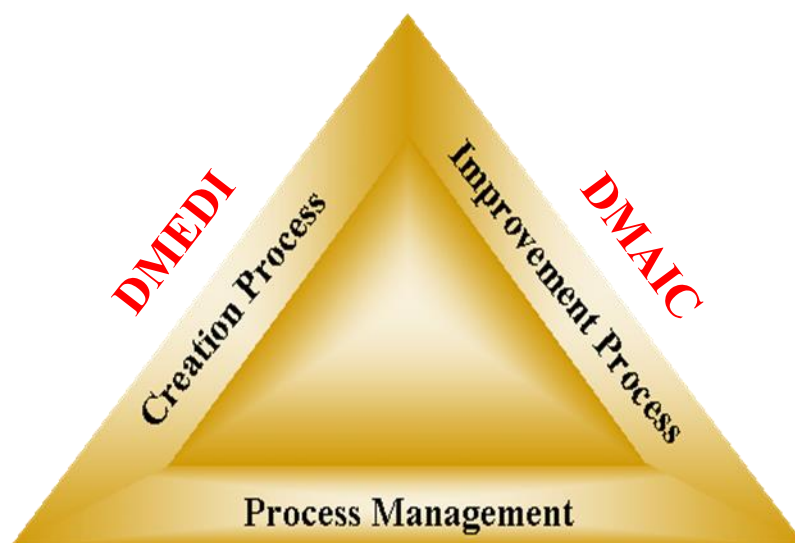
La mise en œuvre de projet Lean 6 Sigma permet de générer des gains financiers à très court terme. C'est pourquoi cette approche semble être la plus adéquate à la réalisation des objectifs de ce projet.

Comme nous allons le voir ci-dessous, l'apport principal du 6 Sigma au Lean, est une méthodologie très structurée qui permet de relever de nombreux défis dans l'entreprise.

¹⁰ Vlock M., *Déployer et exploiter Lean Six Sigma*, Paris, Eyrolles éditions d'organisation, 2009, pp. 4

III. PROJET DMAIC

Figure 3: Gestion de projet



Source: Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Green Belt, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt

L'approche Lean 6 Sigma propose deux stratégies structurées de projet :

III.1. DMAIC (DEFINE, MEASURE, ANALYZE, IMPROVE ET CONTROL)

La méthodologie DMAIC permet d'implémenter la philosophie Lean 6 Sigma par le biais de projets d'amélioration de processus existant.

Cette méthodologie met à disposition toute une série d'outils et techniques afin d'identifier et d'analyser en profondeur les différents dysfonctionnements d'un processus.

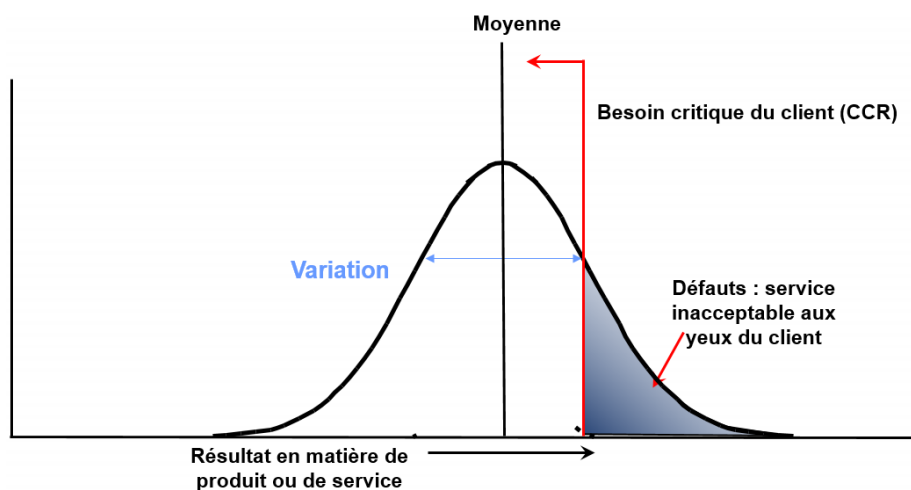
L'objectif final de la méthode est de proposer une ou plusieurs solutions durables à un problème identifié par l'organisation. L'objectif de cette solution étant la réduction de la variabilité du processus ou encore la suppression des Muda vus précédemment, afin de satisfaire au mieux les exigences des clients du processus.

Il faut savoir qu'un projet DMAIC se concentre avant tout sur les problèmes et non les solutions. Avant de pouvoir présenter une solution adéquate, il est nécessaire d'identifier l'ensemble des causes profondes de dysfonctionnement et ensuite de les éliminer.

Ce principe peut être illustré autrement :

Un projet DMAIC doit avant tout éliminer les causes profondes de dysfonctionnements afin dans un premier, de réduire l'amplitude de variation des résultats du processus.

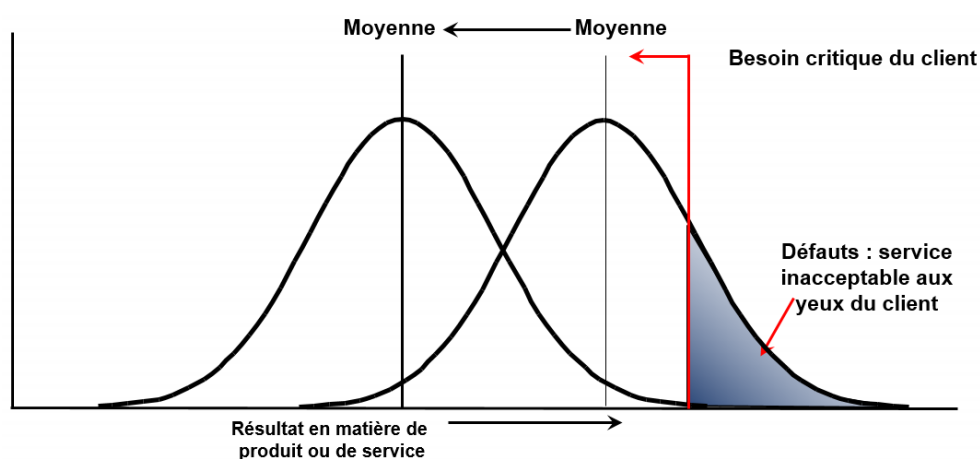
Figure 4: Réduction de la variabilité



Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Green Belt, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt

Dans un deuxième temps, il est seulement possible de déplacer la performance moyenne du processus comme on peut l'observer sur le graphique ci-dessous.

Figure 5: Déplacement de la moyenne



Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Green Belt, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt

En effet, il est nécessaire que le processus soit totalement sous contrôle avant d'envisager d'optimiser les résultats.

La méthodologie DMAIC est donc composée de 5 étapes ordonnancées selon un ordre logique de gestion de projet. Il est impératif dans ce genre de projet de :

- 1) Définir les opportunités d'amélioration
- 2) Mesurer les performances
- 3) Analyser les opportunités
- 4) Améliorer les performances (Improve)
- 5) Contrôler les performances atteintes

III.2. DMEDI (DEFINE, MEASURE, EXPLORE, DEVELOP ET IMPLEMENT)

La méthodologie DMEDI concerne la création de nouveaux processus. Les projets DMEDI sont plus rares que les projets DMAIC, c'est pourquoi ils ne seront pas abordés en profondeur dans ce travail.

Néanmoins, en voici la structure :

- 1) Définir les opportunités de conception de nouveaux processus
- 2) Mesurer les besoins du client
- 3) Evaluer les options de conception
- 4) Elaborer une conception détaillée
- 5) Mettre en œuvre cette conception détaillée

IV. POURQUOI LA MÉTHODOLOGIE DMAIC LEAN 6 SIGMA

La méthodologie DMAIC Lean 6 Sigma est parfaitement adaptée à notre projet d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

En effet, le contexte particulier de l'usine Caterpillar et les objectifs stratégiques qu'elle s'est fixée à long terme, sont favorables à l'implémentation de projets d'amélioration des processus.

Comme nous l'avons vu précédemment, un projet DMAIC permet de générer des gains financiers à court terme. Etant donné la nature financière de certains objectifs opérationnels du bâtiment des mécanosoudées, l'utilisation d'une démarche DMAIC Lean 6 Sigma semble être judicieuse.

Au-delà des objectifs financiers, le plan industriel que connaît l'usine, vise à redéfinir l'ensemble des flux d'approvisionnement. Les objectifs opérationnels liés à cette redéfinition des flux, sont clairement identifiés comme étant la suppression des sources de gaspillage (les *Mudas*), la suppression des activités sans valeur ajoutée pour le client, l'optimisation de l'ensemble des flux (flux tirés, réduction des stocks, etc...) ou encore la réduction de la variabilité des processus d'approvisionnement.

L'amélioration de processus est la nature même de la démarche DMAIC. De plus, cette méthodologie permet d'identifier et d'éliminer l'ensemble des causes profondes de dysfonctionnement du processus. L'implémentation d'un projet DMAIC Lean 6 Sigma permettrait donc de développer une solution adaptée afin d'atteindre la plupart des objectifs opérationnels définis par l'organisation.

De plus, l'adéquation entre la stratégie de Caterpillar et les objectifs opérationnels du projet, assure une très bonne visibilité auprès des managers.

Au-delà des objectifs à atteindre, cette méthodologie bien définie permettrait d'articuler l'ensemble du projet autour d'une démarche scientifique fondée. En effet, cette boîte à outils très complète est applicable à tout type de processus.

La méthodologie DMAIC Lean 6 Sigma a donc été sélectionnée pour mener à bien ce projet d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

Chapitre 3 : Define

I. OBJECTIFS

L'objectif principal de l'étape *Define* est de définir les objectifs stratégiques et opérationnels du projet. En effet, dans un premier temps, il est nécessaire de définir la raison d'être stratégique du projet, car il est impératif que le problème ou le processus sélectionné soit lié aux priorités stratégiques de l'organisation. Si le projet n'est pas en adéquation avec le plan industriel mis en place par Caterpillar, il ne bénéficiera pas du soutien des managers. Dans un deuxième temps, il faut définir les objectifs opérationnels qui permettront d'atteindre ces objectifs stratégiques définis préalablement.

Une fois les objectifs du projet définis, l'étendue du projet ainsi que ses bornes doivent être déterminées de manière précise. Pour ce, il faut avant tout identifier et valider une opportunité d'amélioration. En effet, ce type de projet est mené dans le but d'optimiser ou encore de fiabiliser un processus qui présente différents dysfonctionnements.

Une fois l'opportunité définie, c'est tout le processus actuel concerné qui doit faire l'objet d'une documentation complète. Cette étape permet de borner le champ d'analyse du projet 6 Sigma. Il est donc nécessaire de développer une cartographie fonctionnelle complète et détaillée du processus actuel. Cette cartographie est le point de départ du projet, car cet outil permet de conceptualiser et de visualiser l'ensemble du processus tel qu'il est aujourd'hui.

La phase *Define* est cruciale dans une démarche DMAIC, car c'est de cette étape que découle un grand nombre d'outils utilisés ultérieurement dans le projet. Le fait de définir clairement les bornes du processus permet de ne pas s'écarter des objectifs préalablement définis. Etant donné que cette méthodologie est très couteuse en temps et en énergie, il est important de définir les limites du projet dès son commencement. C'est pourquoi, cette phase doit être menée de façon minutieuse et méthodologique.

L'étape *Define* doit aussi permettre de déterminer les exigences clients du processus étudié, soit les CCR. Car la philosophie 6 sigma est fondée, d'une part, sur la volonté d'intégrer la voix et les besoins fondamentaux du client (VOC) dans l'ensemble de ses projets d'amélioration et ce le plus en amont possible du processus. Cette VOC permet de comprendre au mieux les attentes des différentes parties prenantes du processus étudié.

II. OUTILS DISPONIBLES

Ce chapitre a pour but d'évoquer l'ensemble des outils que propose la démarche DMAIC pour l'étape Définir :

- La charte de projet
- Le SIPOC
- Le plan à génération multiple
- Le plan de communication
- Le diagramme de Gantt
- Le plan d'action
- La VSM
- La *process map*
- Les *quick win*¹¹
- Les CCR et VOC
- La gestion des risques (BRM¹²)

III. CHOIX DES OUTILS ET MÉTHODES RETENUS

La démarche DMAIC propose de nombreux outils et techniques afin de mener à bien chaque étape du projet. Néanmoins, chaque projet est particulier. C'est pourquoi le rôle du *project leader* est de sélectionner dans cette boîte à outils, les outils adéquats qui permettront d'exécuter le projet de façon efficiente. C'est pourquoi avant de mettre en œuvre ces outils, il convient d'établir la littérature de tous les outils et méthodes sélectionnés pour mener à bien chaque étape. La revue de la littérature des différents outils permettra au lecteur d'assimiler au mieux leurs rôles dans l'accomplissement du projet. Elle permettra aussi de comprendre pourquoi ces outils ont été sélectionnés.

Voici tous les outils sélectionnés et leur description complète dans un ordre significatif :

III.1. DÉFINIR LES OBJECTIFS STRATÉGIQUES ET OPÉRATIONNELS

¹¹ Les possibilités de gains rapides

¹² Business Risk Management : modèle de gestion des risques

III.2. VALIDER L'OPPORTUNITÉ DE PROJET

❖ LA CHARTE DE PROJET

L'utilisation d'une charte de projet permet de définir de manière claire l'opportunité d'amélioration mais aussi le projet dans sa globalité. Cet outil de communication assure la compréhension du projet auprès des différentes parties prenantes. Une charte de projet doit contenir 6 éléments :

- Le *business case* décrit l'objet précis du projet ainsi que le problème principal rencontré
- L'*opportunity statement* reprend les opportunités d'amélioration en décrivant les dysfonctionnements du processus actuel
- Le *goal statement* énonce les objectifs opérationnels du projet
- Le *project scope* définit l'étendue du projet et donc ses bornes (voir aussi le SIPOC)
- Le *project plan* permet d'échelonner toutes les étapes DMAIC sur une échelle de temps, avec un diagramme de Gantt par exemple
- Les *resources* sont les ressources humaines disponibles afin de mener au mieux ce projet d'amélioration

Un fois la charte de projet réalisée, il faut s'assurer que le projet soit **SMART**.

Specific : le projet concerne une réelle problématique au sein de l'organisation

Measurable : le problème doit être mesurable, des objectifs chiffrés doivent pouvoir être fixés

Attainable : les objectifs du projet doivent être atteignables

Relevant : l'objectif du projet doit correspondre à ceux de l'entreprise

Time Bound : il doit être limité dans le temps

III.3. IDENTIFIER ET ANALYSER LE PROCESSUS

❖ LE SIPOC

Le SIPOC identifie les *Suppliers*, les *Inputs*, le *Process*, les *Outputs* et les *Customers* du processus étudié.

L'objectif principal de cet outil est de définir l'étendue du projet. En effet, il est important de fixer, dès le début du projet, les bornes de celui-ci. Cela permet d'éviter de produire des efforts dans de mauvaises directions.

Le SIPOC identifie tous les éléments pertinents d'un projet d'amélioration, car il offre une vue globale du processus ne répondant pas ou mal aux attentes du client. Il n'est pas nécessaire de présenter tous les points de décisions du processus, seules les grandes étapes du processus sont utiles à ce stade.

Les bornes du projet sont donc la première et la dernière activités du processus illustré sous le SIPOC. Une *Value Stream Mapping*¹³ peut être utilisée afin d'identifier la zone du processus dans laquelle le ou les problèmes se situent (voir la définition de la VSM pour plus d'informations).

Une fois le processus identifié, ce tableau se complète de la droite vers la gauche. Comme nous le verrons souvent lors de ce projet Lean 6 Sigma, il faut toujours commencer par définir les attentes du client. En effet, une fois les CCR définis, il est possible d'identifier les outputs (Y) du processus qui sont en fait des indicateurs de satisfaction des CCR. Les inputs (X), eux, sont transformés par le processus afin de produire l'output. L'objectif de ce projet d'amélioration est donc de manipuler les boutons X afin d'améliorer les Y.

Une fois le SIPOC terminé, il faut s'assurer que chaque output ait bien un client mais aussi que les frontières du projet soient bien définies.

❖ LA VSM

L'un des principes du Lean 6 sigma est le management visuel. En effet, pour piloter de façon efficace il faut voir. Ce principe est tout à fait applicable dans des projets visant à améliorer les flux physiques et les flux d'informations. Il n'est pas toujours évident de visualiser d'une part, un flux physique à travers plusieurs points d'activités et d'autre part un flux d'informations qui est par nature invisible. C'est pourquoi dans la plupart des projets d'amélioration, il est nécessaire de cartographier l'ensemble des flux de valeur (qui créent de la valeur ajoutée ou non pour le client).

Cette cartographie des flux de valeur permet de décrire l'ensemble des étapes qui composent le processus étudié. Des données supplémentaires peuvent venir compléter la VSM comme les

¹³ Cartographie des flux de valeur

délais, les temps de cycle des différentes activités, la capacité de la machine ou de l'inventaire, etc... Ces informations permettent d'identifier rapidement certains dysfonctionnements et certaines opportunités d'amélioration.

Il faut savoir que la conception d'une VSM suit des règles bien précises ainsi qu'un code graphique bien défini. Cette structure permet ainsi une certaine standardisation de la cartographie et donc une compréhension commune du processus.

❖ LA PROCESS MAP

Par définition la *process map* est une représentation graphique d'un flux de processus, identifiant les étapes, les X et les Y du processus, ainsi que les opportunités d'amélioration. Cet outil sert de base à la communication lors de la documentation du processus actuel.

La carte du processus :

- Assiste l'implémentation
- Guide les audits
- Est une base pour de prochains projets d'amélioration
- Est l'un des outils les plus importants dans les phases *Define/Measure*
- Doit décrire les activités majeures, les limites, les inputs (X), les outputs (Y) du processus

Attention, il est important de souvent revoir la *process map* afin de la mettre à jour quant à la réalité. De plus elle est applicable pour tout type de processus comme le *manufacturing*, la conception, les services ou encore l'administratif.

Comme pour le SIPOC, il faut commencer par lister l'ensemble des variables d'output (Y) avant de lister les inputs (X) pour chaque étape du processus. Les résultats (Y) sont les CCR. Néanmoins, le processus actuel ne parvient pas à atteindre ces résultats désirés, c'est pourquoi ce projet vise l'optimisation du processus afin de pouvoir répondre aux différentes CCR. Les entrées (X) sont les inputs nécessaires pour atteindre les résultats de chaque étape.

Ensuite il faut caractériser chaque input selon 4 critères :

- *Noise inputs (N)* : variable input qui impacte l'output mais qui est compliqué voire impossible à contrôler

- *Standard Operating Procedures (SOP)* : procédure standardisée qui assure le fonctionnement du processus
- *Controllable inputs (C)* : X qui peuvent être modifiés pour voir l'effet sur Y
- *Critical inputs (X)* : X qui ont un impact majeur sur la variabilité d'Y

Enfin, il est possible de réaliser une première analyse des activités qui apportent de la valeur ajoutée ou non.

Voici le plan de l'étape *Define* qui intègre chaque outil dans la structure de l'étape :

- 1) Définir les objectifs stratégiques et opérationnels
 - a. VOC et VOB¹⁴
- 2) Valider l'opportunité de projet
 - a. La charte de projet
 - b. Le diagramme de Gantt
- 3) Identifier et analyser le processus
 - a. Le SIPOC
 - b. La *process map* et les CCR
 - c. La VSM

Ces 6 outils permettent d'atteindre les objectifs que nous avons fixés préalablement. En effet, dans le cadre de ce projet, le risque n'est pas ou presque pas présent. De plus, les *quick wins* et le plan d'action seront abordés ultérieurement.

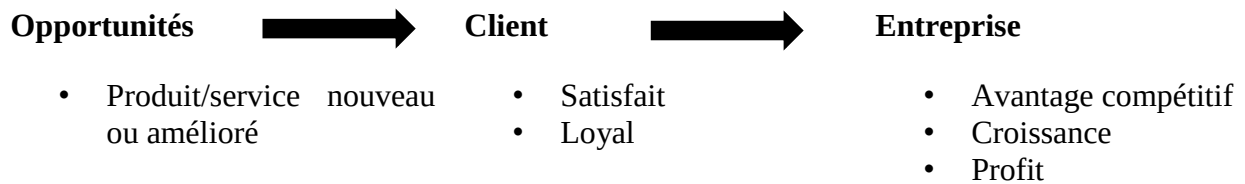
IV. MISE EN ŒUVRE DE CES OUTILS ET MÉTHODES

IV.1. DÉFINIR LES OBJECTIFS STRATÉGIQUES ET OPÉRATIONNELS

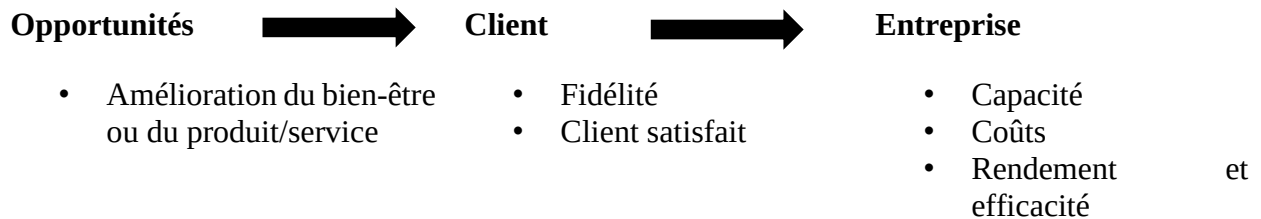
Avant de pouvoir définir le champ d'application du projet, il faut identifier une opportunité d'amélioration. Afin d'identifier une opportunité clé pour l'entreprise, il est nécessaire d'intégrer les exigences client du processus (VOC). Ce concept de base de tous projets d'amélioration 6 Sigma, est basé sur l'hypothèse que tout ce qui est mis en œuvre pour accroître la satisfaction du client aura un impact global positif sur l'organisation.

¹⁴ *Voice Of the Business* : la voix de l'entreprise

Utilisateur final, VOC :



Partenaires de processus, VOB :



Les VOC et VOB quant aux différents processus d'approvisionnement au sein du bâtiment D, sont de réduire un maximum les manipulations des charges (les touches), les distances parcourues par chacune, la taille des inventaires et de supprimer les tâches qui n'apportent pas de valeur ajoutée aux clients. En effet, ces différentes exigences sont directement issues des objectifs de résultat du plan industriel. L'opportunité de ce projet doit donc coïncider avec les objectifs de l'usine.

Tous les objectifs du projet ont déjà été définis dans les chapitres précédents. Il faut savoir que ces objectifs peuvent évoluer au fur et à mesure de l'avancement dans la démarche DMAIC.

IV.2. VALIDER L'OPPORTUNITÉ DE PROJET

La charte de projet est en fait un contrat, un accord entre l'équipe constituée pour résoudre le problème et les managers de l'organisation. Cette charte permet donc de valider de manière officielle, l'opportunité d'amélioration du projet.

❖ LA CHARTE DE PROJET

Tableau 1 : Charte de projet

<u>Business case</u>	<u>Opportunity statement</u>
La valeur actuelle du stock de production pour les <i>Plates</i> de L/A provenant d'Oxy-Fleurus est de \$429.570, ce qui représente 23,6 jours d'inventaire, soit 10 <i>turns</i>¹⁵. En optimisant le processus l'approvisionnement, nous espérons réduire à 2 jours le ratio d'inventaire, ce qui représenterait une économie d'inventaire de 100.000\$ Implémenter ce processus d'approvisionnement pourrait être renforcé par le biais d'un nouveau moyen de transport adapté qui permettrait de délivrer plusieurs fois par jour directement dans un LDC¹⁶ optimisé très proche du point d'utilisation. Le système de transport utilisé aujourd'hui ne permet pas d'approvisionner la ligne selon la demande réelle. De plus la zone de réception des <i>plates</i> de <i>lift-arm</i> est éloignée du POU, ce qui entraîne des coûts de <i>handling</i>¹⁷ importants. En implémentant un système d'approvisionnement par transport optimisé, nous espérons réduire nos coûts de <i>handling</i>	-Le processus actuel d'approvisionnement est basé sur des prévisions de la demande et de l'inventaire qui ne représentent pas la consommation réelle -L'inventaire n'est pas maîtrisé, ce qui conduit le plus souvent à des niveaux de stock excédentaires ou des arrêts de ligne dus aux pièces manquantes -L'importance du niveau de l'inventaire induit toute une série de manipulations inutiles des pièces -Coûts supplémentaires au niveau transport dus à la non-optimisation et aux urgences éventuelles (taxi)

¹⁵ *Turn* : indicateur de performance du processus d'approvisionnement. Le nombre de *turns* équivaut au nombre de rotation du stock en une année.

¹⁶ *Local Distribution Center* : Le terme LDC est utilisé chez Caterpillar pour désigner une zone de stockage décentralisée proche du POU

¹⁷ *Handling* : englobe tous les temps de trajet, à vide ou non, des chariots élévateurs qui assurent l'approvisionnement de toutes les charges au POU des *lift-arm*.

et il permettrait d'éviter de commander sur base de prévisions.	
<u>Goal statement</u> Y1 : Réduire les coûts logistiques Y2 : La maîtrise/réduction de l'inventaire des stocks de production X1: PFEP¹⁸ X2: Processus d'approvisionnement (transport, pull,...) Autres objectifs: 1) Réduire l'espace alloué au matériel dans la ligne et dans les LDC 2) Créer des feuilles de travail standardisées 3) Eduquer et former aux principes <i>Pull</i> 4) Appliquer les principes CPS¹⁹	<u>Project scope</u> In: Le planning et le processus d'approvisionnement depuis le point de réponse du fournisseur jusqu'au POU chez Caterpillar Out: Les processus dans la ligne d'assemblage et la réingénierie du processus fournisseur
<u>Project plan</u> Voir annexe 2	<u>Resources</u> Project leader : Martin Beben Stakeholders : Didier Huart Process owner : Pascal Blekic Green belt²⁰ : Raphael Daumerie, Fabien Canivet (Suppl dev.), Raphael Demoulin, Alan Leclercq

Cette charte est un très bon outil de communication au sein du groupe de travail, mais aussi au sein de toute l'organisation elle-même. Elle permettra aussi de comparer les prévisions de réduction de stock avec les résultats réels de l'implémentation d'une solution d'optimisation.

¹⁸ *Plan For Every Part* : Le PFEP est outil qui décrit de manière très précise, comment chaque pièce est approvisionnée, quel est son emballage, son fournisseur, etc...

¹⁹ *Caterpillar Production System* est l'équivalent du TPS mais dans la construction d'engins de chantier, pour l'exploitation minière, etc...

²⁰ Les *green belt* sont les ressources humaines qui ont suivi la formation 6 Sigma *green belt* et qui assistent le *project leader* tout au long du projet DMAIC

IV.3. IDENTIFIER ET ANALYSER LE PROCESSUS

Il existe plusieurs approches qui permettent de cartographier un processus. Et chacune des méthodes peut être utilisée pour accomplir des objectifs différents. Il est donc nécessaire d'évaluer les différentes approches en vue de sélectionner la ou les plus adaptées aux objectifs préalablement établis.

La représentation graphique du processus permet de comprendre plus facilement en quoi les Outputs d'un processus sont la résultante d'une fonction des Inputs. Au plus la compréhension et la visualisation du processus est poussée, au plus il est simple d'identifier les variables explicatives clés pour l'Output du processus.

Il est important de noter que les outils utilisés dans cette étape sont nécessaires à la réalisation d'autres outils dans différentes étapes comme L'*Analyze* et la *Measure*. Prenons l'exemple du SIPOC qui est, avant tout, une description très détaillée du Project Scope dans la charte de projet. Mais le SIPOC permet aussi d'identifier les indicateurs lors de l'étape *Measure*. L'identification et l'analyse du processus sont donc des étapes cruciales dans cette démarche DMAIC.

❖ LE SIPOC ET LA VSM

Avant de compléter le SIPOC, il faut identifier le processus qui ne répond pas aux attentes clients. Ce processus est globalement identifié comme étant le processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*. Il est illustré sous le SIPOC.

Cette cartographie des flux a été ajoutée au SIPOC afin d’avoir une vision claire du processus étudié.

A ce stade du projet, il est possible que certains éléments encore inconnus, ne soient pas identifiés par cette VSM. Une description détaillée du processus actuel facilite la compréhension de chaque étape :

De façon quotidienne, un DOL²¹, comme ci-dessous, est envoyé au fournisseur.

Tableau 2: DOL

<u>Bras de lift arm</u>	<u>PN's</u>	<u>Chg</u>	<u>Fournisseur</u>	<u>Commande du jour</u>	<u>Planning J+1</u>	<u>Planning J+2</u>
	1367364	4	Oxy Fleurus	/	8 pcs 22/04	8 pcs 23/04
	2146933	2	Oxy Fleurus	/	4 pcs 22/04	
	1367371	4	Oxy Fleurus	/	8 pcs 22/04	8 pcs 23/04
	2374780	3	Oxy Fleurus	/	4 pcs 22/04	
	3370037	2	Oxy Fleurus	/	8 pcs 22/04	8 pcs 23/04

Ce DOL, est envoyé par le *foreman*²² en début de journée afin d’être livré en début d’après-midi, étant donné la proximité du fournisseur (11km). Cette commande est basée sur des prévisions du *foreman* qui ne sont pas toujours fiables. Comme on peut l’observer sur cet exemple, la commande pour le jour j ne s’est pas concrétisée. Cette méthode d’appel engendre de l’incertitude pour le fournisseur.

Oxy-Fleurus reçoit aussi des prévisions de la demande sur 52 semaines.

Une fois le DOL reçu, Oxy-Fleurus remplit le camion en fonction de la commande et l’envoie vers l’usine Caterpillar. Un service de navette assure l’approvisionnement entre Oxy-Fleurus et Caterpillar. Ce service de navette sera analysé en profondeur plus loin.

Le camion est ensuite déchargé au *receiving*²³ par un sous-traitant cariste. Toutes les palettes de *plates* sont directement rangées dans le LDC. Une rapide analyse du LDC a permis de conclure qu’il était impossible de respecter le FIFO²⁴ à moindre manipulation.

²¹ Fichier Excel reprend la commande du jour et des prévisions pour les deux prochains.

²² Employé qui s’occupe d’envoyer les commandes aux fournisseurs.

²³ Zone de déchargement des camions

²⁴ *First In, First Out* : méthode de gestion des stocks, la première pièce qui arrive dans le LDC, doit être la première qui sera consommée.

Le cariste approvisionne la ligne des *lift-arm* dès que plusieurs palettes sont vides au POU. L'annexe 3 est une photo du POU avec les palettes de *plates* telles qu'elles sont approvisionnées par le cariste. On peut déjà remarquer que la sortie d'une palette vide demande beaucoup de manipulations si elle se trouve entre deux pleines.

Le tableau qui se trouve sur la carte du processus au POU, reprend la consommation journalière des 3 *tack-weld*. Il faut aussi savoir, qu'un seul opérateur *manufacturing* soude l'ensemble des *Plates* sur ces 3 postes de soudure.

Chaque jour un comptage manuel du stock est transmis au *foreman* en fin de journée. Le *foreman* possède aussi le plan de production de la ligne des *lift-arm*. Néanmoins, l'appel est fait sur base de prévisions et le niveau d'inventaire des *plates* est trop élevé.

Le SIPOC a permis d'identifier les différents clients du processus et donc du projet d'amélioration lui-même. Il est primordial d'identifier ces clients afin d'en définir leurs CCR. Pour chaque *customer* du SIPOC, il existe une ou plusieurs CCR, soit l'output désiré. Prenons la première ligne de notre SIPOC, de droite à gauche :

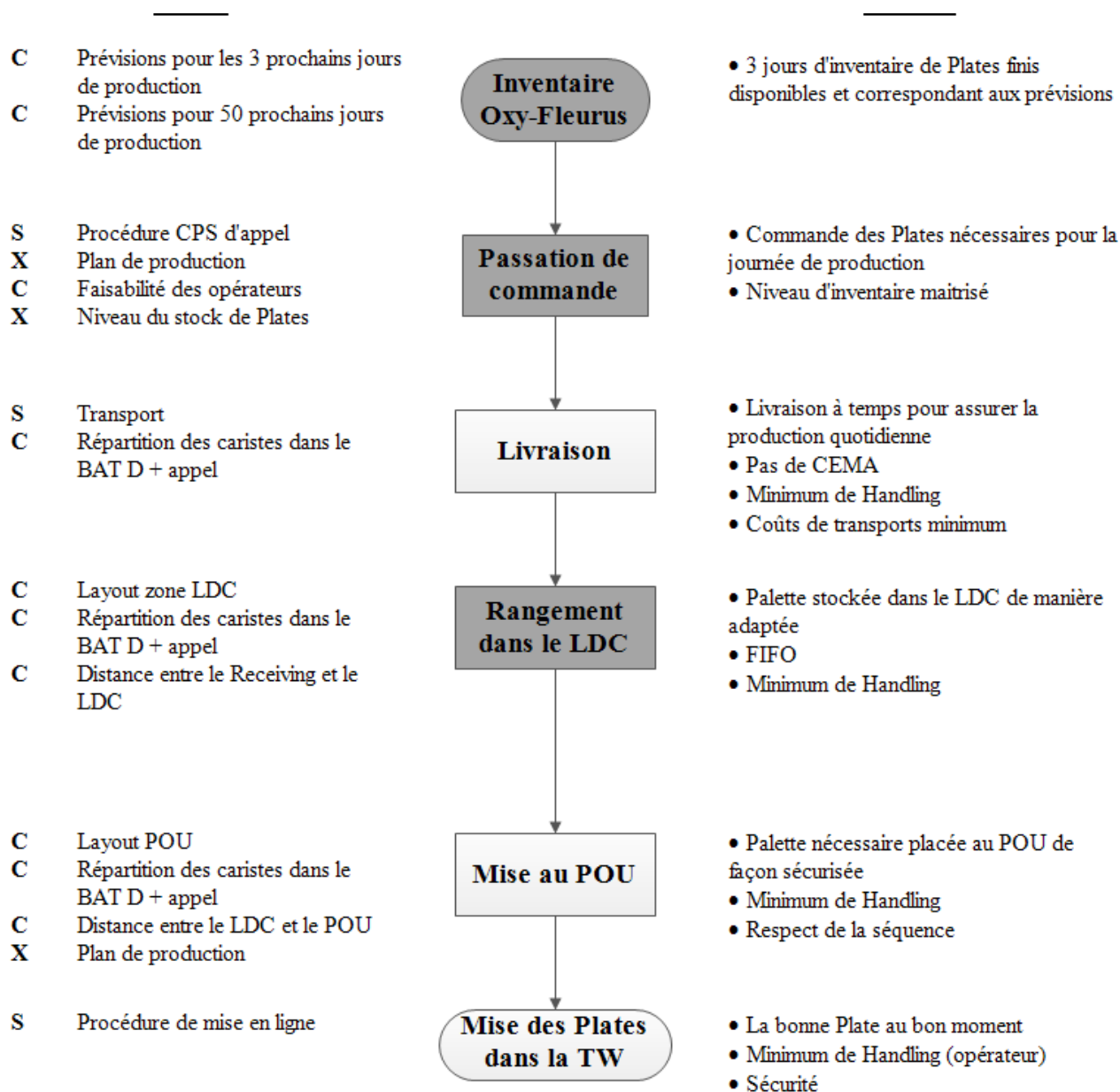
Le service *procurement*²⁵ et le département finance exige un stock réduit et optimisé. Pour ce, il faut optimiser le processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm* afin de transformer les inputs qui sont la méthode d'appel des *plates* ainsi que le niveau de l'inventaire lui-même. Les *suppliers* de ces inputs sont respectivement le service PFEP et la distribution.

Le SIPOC a permis de déterminer précisément les bornes du projet d'optimisation. En effet, les fournisseurs ainsi que les clients du processus sont clairement identifiés. De plus, une cartographie du processus actuel permet d'avoir une vision claire du processus étudié.

²⁵ Le service d'approvisionnement

❖ PROCESS MAP

Figure 7 : process map



Cet outil est moins visuel que la VSM, mais il permet de mettre rapidement en évidence certains dysfonctionnements du processus. Dans le cadre du processus d'approvisionnement des *plates*, cette *process map* est assez simple. De plus, sa simplification permettra d'identifier plus rapidement les causes profondes de dysfonctionnement lors de la phase analyse.

Les résultats (Y) sur la droite sont en fait les CCR pour chaque étape du processus.

Prenons par exemple l'étape de passation de commande. L'un des résultats exigés (CCR) est de maîtriser le niveau d'inventaire des *plates*. Pour cela, il faut mettre en place une procédure d'appel CPS, un plan de production fiable et des informations sur la faisabilité des opérateurs et sur le niveau de stock avant commande.

Il est évident que les CCR de chaque étape ne sont pas satisfaites avec le processus tel qu'il est aujourd'hui, c'est pourquoi ce projet est mis en place.

La *process map* ci-dessus a été réalisée et simplifiée afin de faciliter l'identification des causes profondes lors de l'étape *Analyze* que nous verrons plus tard.

Une analyse de valeur ajoutée peut déjà être menée à ce stade du projet. L'analyse commence par deux questions à se poser :

- Est-ce que cette étape est exigée par le client ?
- Est-ce que cette étape pourrait-être éliminée ?

Les étapes sans valeur ajoutée sont grisées dans la carte du processus ci-dessus.

Une activité est considérée comme génératrice de valeur ajoutée si le client reconnaît la valeur, si elle est nécessaire à d'autres activités créatrices de valeur ajoutée ou encore si elle est bien faite la première fois.

Cette analyse permet d'identifier d'éventuelles opportunités d'amélioration permettant des *quick win*. Une opportunité d'amélioration est considérée comme Quick Win lorsqu'elle est simple, rapide et peu coûteuse à implémenter.

A ce niveau du projet, aucun *quick win* n'a encore pu être identifié car même si le stockage des *plates* dans une zone LDC intermédiaire n'est pas une activité à plus-value, l'élimination de ce LDC implique la mise en œuvre de toute une série d'actions plus ou moins complexes (suppression des stocks excédentaires, optimisation du *layout* au POU,...).

Chapitre 4 : Measure

I. OBJECTIFS

L'objectif de cette étape est d'identifier les mesures critiques qui sont nécessaires pour évaluer le succès face aux CCR. Dans le secteur industriel, beaucoup d'indicateurs d'évaluation de la performance d'un processus existent. Mais il faut savoir qu'il est tout aussi important d'évaluer les inputs que les outputs car il faut impérativement comprendre au mieux l'incidence de chacun sur la performance du processus global.

Etant donné la multitude d'indicateurs, il est primordial de sélectionner ceux qui sont les plus représentatifs pour notre analyse.

La démarche 6 Sigmas insiste fortement sur l'identification des indicateurs clés. C'est pourquoi elle propose une méthodologie structurée dans la définition de ceux-ci.

Une fois ces indicateurs clés identifiés, il est important de développer une méthodologie pour collecter, de manière efficiente, les données qui mesurent la performance du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*, soit un plan de mesure.

L'objectif principal de l'étape *Measure* reste néanmoins la collecte des données nécessaires à la mesure de la performance du processus actuel. Cette mesure portera sur 3 éléments :

- Les outputs du processus (Y) perçus par le client
- Les inputs (X) qui influencent les Y
- Les variables du processus qui permettent d'évaluer sa performance

En résumé, l'étape *Measure* a pour but de documenter le processus actuel et d'évaluer la performance de référence et ce, tout en s'assurant que l'ensemble des données ont été collectées selon une démarche qui doit être validée par l'équipe du projet (site dmaictools.com).

La philosophie CPS, mais plus globalement la philosophie Lean 6 Sigma, met l'accent sur la transparence et la traçabilité de toutes les données collectées et utilisées lors de chaque projet. La documentation occupe donc une place prépondérante dans cette phase de mesure.

II. OUTILS DISPONIBLES

Les outils de l'étape *Measure* s'apparentent à une méthodologie à suivre afin de collecter des données de façon efficiente et adaptée au projet :

- L'identification des différents indicateurs
- La définition opérationnelle
- Le plan de mesure
- La collecte des données
- Les cartes de contrôle
- Le Gage R&R
- La capacité du processus
- La fonction perte de qualité

III. CHOIX DES OUTILS ET MÉTHODES RETENUS

Etant donné que le processus étudié n'est pas un processus de fabrication impliquant la qualité du produit manufacturé, certains outils statistiques comme le Gage R&R et la capacité du processus ne sont pas applicables à ce projet.

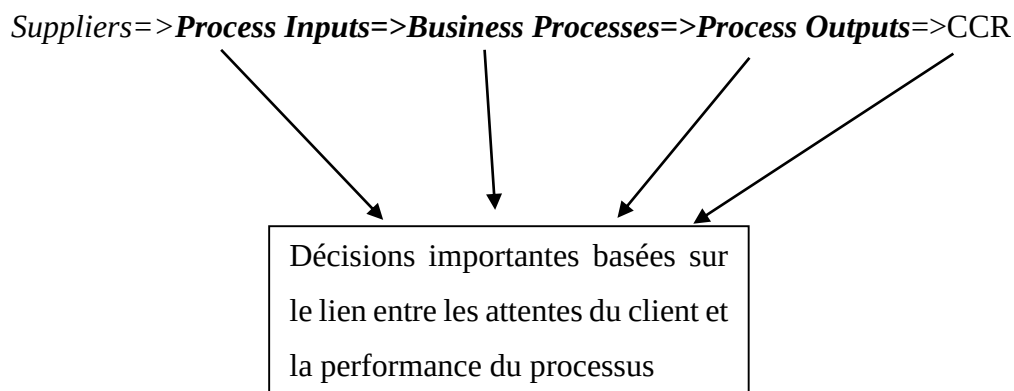
En revanche, d'autres analyses statistiques sont adaptées au processus d'approvisionnement étudié. L'étape *Define* a permis de mettre en évidence une opportunité de réduction de l'inventaire des *plates* de *lift-arm*. Pour ce, Il est nécessaire de mesurer le niveau d'inventaire des *Plates* au cours du temps. C'est sur cet indicateur qu'il est possible d'utiliser certains outils statistiques.

Voici la description complète des outils et de la méthodologie sélectionnés afin de mesurer de manière efficace le processus actuel :

III.1. IDENTIFICATION DES DIFFÉRENTS INDICATEURS

La première action consiste à déterminer des indicateurs mesurables qui permettront de traduire la satisfaction des clients du processus. Comme lors de la phase *Define*, il est important de commencer par se demander si la *customer value* est atteinte. En d'autres termes : « Est-ce que le client est satisfait des résultats produits par le processus ? ». Le but principal de cette démarche est d'intégrer le client du processus (VOC) le plus en amont possible de notre analyse.

Le schéma ci-dessous est applicable à tout type de processus. Il permet d'établir une simple méthodologie dans l'identification des différents indicateurs.



=>Indicateurs input (X)

Tels que le nombre et le type de requêtes du client, le nombre de commandes,...

=>Indicateurs processus (Y=f(X))

Tels que le coût par transaction, le temps par activité, le nombre de *rework*²⁶, la variabilité du niveau de stock,...

=>Indicateurs de performance de l'output (Y)

Tels que le nombre d'erreurs, le pourcentage de défauts, le temps total de réponse, les revenus,...

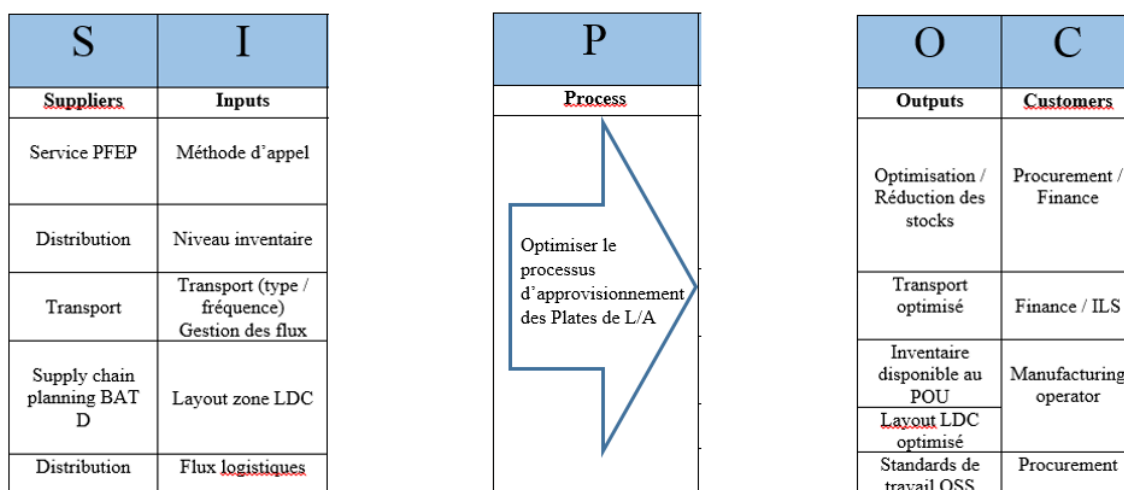
L'objectif de cette première phase, est donc de déterminer ces 3 types d'indicateurs.

Le SIPOC, défini dans l'étape *Define*, facilite l'identification de ces indicateurs. En effet, il permet d'associer un ou plusieurs indicateurs pour chaque output identifié.

Comme on peut le voir ci-dessous, une fois le SIPOC scindé selon le type d'indicateur à identifier, il constitue bien un support visuel. Cet exemple insiste sur l'importance de commencer son projet par l'étape *Define*, car l'ensemble de la méthodologie suit une logique ordonnée et efficace.

²⁶ Pièces qui doivent être retravaillées car il elles présentent certains défauts

Figure 8: Identification des indicateurs



Indicateurs Input	Indicateurs processus	Indicateurs de performance Output
Permet de mesurer à quel point l'input est important dans la réalisation du processus afin de le convertir en output visant à satisfaire le client.	Permet de mesurer l'efficacité et la qualité des processus de transformation (étapes de conversion de l'input en output).	Permet d'évaluer les dimensions de l'output.

❖ IDENTIFICATION DES INDICATEURS POTENTIELS D'OUTPUT

Tout comme pour le SIPOC, ce tableau doit se remplir depuis la droite vers la gauche. Il faut donc commencer, dans un premier temps, à identifier les CCR pour en déterminer des indicateurs clés d'output. Il est impératif de suivre cette démarche selon l'ordre défini car tous les indicateurs se déduisent en cascade à partir des CCR.

Indicateur d'output	← Critical Customer Requirement

❖ SÉLECTIONNER LES BONS INDICATEURS DE PROCESSUS

Il est important que les mesures réalisées permettent d'évaluer la relation de cause à effet entre les différentes variables du processus.

L'objectif, ici, est donc de déterminer les indicateurs potentiels du processus qui servent de bons prédictors de l'habilité à satisfaire les CCR.

Ce tableau se complète lui aussi de droite à gauche.

Indicateur du processus	Activités ou décisions à hauts impacts	Indicateur d'output

❖ SÉLECTIONNER LES BONS INDICATEURS D'INPUT

L'objectif, ici, est de déterminer les indicateurs d'input qui servent de meilleurs « prédictors » de l'habilité à satisfaire les CCR.

La procédure fonctionne également de droite à gauche comme précédemment.

Dans un premier temps, il faut lister, sur base du SIPOC, l'ensemble des inputs du processus.

Ensuite, il faut déterminer les inputs qui ont potentiellement un impact non négligeable sur les indicateurs du processus ou sur les CCR.

Enfin, de cette liste il faut en extraire les inputs qui pourraient empêcher le processus de répondre aux CCR.

Indicateur d'input	Exigence du processus	Input du processus

III.2. DÉVELOPPEMENT D'UNE DÉFINITION OPÉRATIONNELLE

Avant de collecter des données nécessaires pour mesurer la performance, il est vital d'utiliser une méthodologie et une discipline bien définie qui assure une certaine efficacité dans sa collecte de données.

La phase de mesure prend du temps et mobilise beaucoup de personnes. C'est pourquoi, il est primordial, de définir préalablement une méthodologie adaptée. Cette méthodologie garantit un certain niveau de performance dans la collecte de données.

Cette étape s'applique surtout dans le cadre de projets qui se mènent en équipe. Une définition opérationnelle permet à l'équipe de réfléchir sur ce qui doit être mesuré (quoi, comment et qui).

Le but de cette étape est clairement de s'assurer que l'ensemble des membres du groupe mesure les mêmes éléments. Ceci permet d'accroître la performance de l'équipe, en évitant une collecte de données hétérogènes.

III.3. RÉALISATION DU PLAN DE MESURE

Développer un plan de mesure permet de s'assurer que les données collectées sont significatives, valides et qu'elles ne soient pas obsolètes.

Mesure de la performance	Définition opérationnelle	Source et localisation des données	Quand ?	Comment ?	Autres données nécessaires

Ce plan de mesure se prépare toujours avant la collecte de données car il permet de développer une certaine rigueur dans cette récolte. Etant donné que l'étape *Measure* est l'une des étapes les plus coûteuses de la démarche DMAIC, il est donc impératif de suivre un plan bien défini afin d'éviter de mesurer deux fois la même donnée ou encore collecter des données inutiles au projet.

III.4. COLLECTE DES DONNÉES DU PROCESSUS

L'objectif principal est de réunir les informations mesurables nécessaires à l'évaluation du processus. Ces données peuvent provenir :

- De résultats directement disponibles sur le processus
- D'une collecte de données suivant le plan de mesure établi précédemment

L'un des objectifs de cette collecte de données, est d'identifier les liens entre les inputs (X) du processus et ses outputs (Y). Il est fréquent de faire l'erreur de ne mesurer que les résultats du processus. Dans ce cas, si ces résultats sont négatifs, ils ne peuvent qu'être déplorés sans même pouvoir comprendre le lien de cause à effet qui se trouve derrière.

La compréhension de ce lien de causalité est nécessaire pour cibler au mieux les actions à mener pour corriger les éventuels dysfonctionnements du processus. Caroline Fréchet met en évidence l'importance de la compréhension de cette relation cause-effet : « *Il est nécessaire de relier les Y (conséquences du déroulement du processus) aux X (paramètres du processus). C'est en pilotant les X que le processus sera davantage maîtrisé. Il faut comprendre pourquoi les Y*

*augmentent ou diminuent et ne pas se contenter d'un constat. En effet, le simple constat ne permettra pas de s'améliorer, il peut même, le cas échéant, dégrader la situation ».*²⁷

Les données mesurées doivent donc expliquer la variation des outputs du processus.

Une fois les données collectées, il est impératif de s'assurer que ces données soient significatives. Maurice Pillet décrit très bien cet impératif: « *Les relevés formeront un échantillon permettant d'analyser le comportement du système et de déterminer sa performance au travers des indicateurs de capabilité. Pour pouvoir remplir ce rôle, un échantillon doit :*

- 1) Etre représentatif.** *Il est préférable de faire plusieurs échantillonnages de petite taille à des moments différents plutôt qu'un seul prélèvement important à un moment précis. Cela permet d'éviter que des données soient biaisées par une configuration particulière et aussi d'observer d'éventuelles dérives dans le temps. [...].*
- 2) Avoir un nombre suffisamment important de valeurs.** *En effet, il sera très difficile de tirer des conclusions significatives à partir d'une dizaine de valeurs. Plus il y a de valeurs, et plus les résultats seront pertinents. »*²⁸

La formule ci-dessous permet de déterminer l'échantillon minimum à utiliser:

$$n = \left(\frac{1.96 \times s}{\Delta} \right)^2$$

n = échantillon minimum requis

s = déviation estimée standard de la population

Δ = niveau de précision désiré

Remarque : Afin de pouvoir tirer des conclusions statistiques sur une population donnée, il est recommandé d'avoir un échantillon composé d'au minimum 30 données.

III.5. EVALUATION DES DONNÉES COLLECTÉES

L'objectif est de mettre en évidence la présence de variations qui peuvent affecter le processus.

²⁷ Fréchet C., *Mettre en œuvre le Six Sigma*, Paris, éditions d'organisation, 2005, pp. 67

²⁸ Pillet M., *Six Sigma comment l'appliquer ?*, Paris, éditions d'organisation, 2004, pp. 142

L'amélioration d'un processus passe inévitablement par la réduction de cette variabilité. En effet, la présence de variations signifie que le processus ne délivre pas le même résultat à chaque fois.

❖ LA CARTE DE CONTRÔLE

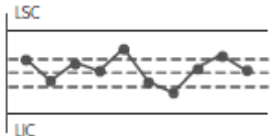
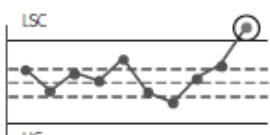
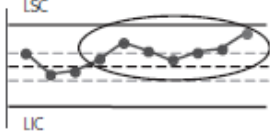
La carte de contrôle permet de représenter l'évolution des résultats d'un processus. Pour ce, il faut intégrer l'ensemble des mesures réalisées et ce dans leur ordre chronologique. Cet outil est principalement utilisé dans le suivi de processus dans lequel la notion de lot n'a pas de sens.

Cette carte de contrôle permet aussi de visualiser si le processus étudié est sous contrôle ou non. Pour cela, il faut définir une limite inférieure et une limite supérieure :

- La limite inférieure = $\bar{X} - 3 \sigma$
- La limite supérieure = $\bar{X} + 3 \sigma$

Voici l'interprétation des cartes de contrôle selon Maurice Pillet²⁹ :

Figure 9: Interprétation de la carte de contrôle

Graphique	Description	Décision carte position	Décision carte dispersion
	Procédé sous contrôle - Les courbes $\bar{X}$ et R oscillent de chaque côté de la moyenne. 2/3 des points sont dans le tiers central de la carte.	Production	Production
	Point hors limites Le dernier point tracé a franchi une limite de contrôle.	Régler le procédé de la valeur de l'écart qui sépare le point de la valeur cible.	Cas limite supérieure - La capabilité court terme se détériore. Il faut trouver l'origine de cette détérioration et intervenir. - Il y a une erreur de mesure. Cas limite inférieure - La capabilité court terme s'améliore. - Le système de mesure est bloqué.
	Tendance supérieure ou inférieure 7 points consécutifs sont supérieurs ou inférieurs à la moyenne.	Régler le procédé de l'écart moyen qui sépare la tendance à la valeur cible.	Cas tendance supérieure - La capabilité court terme se détériore. Il faut trouver l'origine de cette détérioration et intervenir. Cas tendance inférieure - La capabilité court terme s'améliore. Il faut trouver l'origine de cette amélioration pour la maintenir.

Ce tableau permet de caractériser un processus selon les résultats de sa carte de contrôle.

²⁹ Pillet M., *Six Sigma comment l'appliquer ?*, Paris, éditions d'organisation, 2004, pp. 356

Voici un plan récapitulatif de cette étape *Measure*, qui intègre tous les outils décrits ici plus haut :

- 1) Identification des différents indicateurs
 - a. Identification des indicateurs potentiels d'output
 - b. Sélectionner les bons indicateurs de processus
 - c. Sélectionner les bons indicateurs d'input
- 2) Développement d'une définition opérationnelle
- 3) Réalisation du plan de mesure
- 4) Collecte des données du processus
- 5) Evaluation des données collectées
 - a. La carte de contrôle

Ces différents outils permettront de mettre en évidence l'ensemble des dysfonctionnements du processus d'approvisionnement.

IV. MISE EN ŒUVRE DE CES OUTILS ET MÉTHODES

IV.1. IDENTIFICATION DES DIFFÉRENTS INDICATEURS

L'identification des différents indicateurs va donc suivre la méthodologie explicitée préalablement.

❖ IDENTIFICATION DES INDICATEURS POTENTIELS D'OUTPUT

Comme nous l'avons vu précédemment, les indicateurs d'output sont liés aux CCR. Dans le cadre d'un processus d'approvisionnement, les CCR sont la mise à disposition au POU des pièces, la livraison des composants en temps voulu, un approvisionnement à un coût minimum, une réduction du nombre de manipulations des pièces (touches),...

Voici l'ensemble des CCR et des indicateurs d'output du processus d'approvisionnement des *plates* :

Tableau 3 : Indicateurs d'output

Indicateur d'output	Critical Customer Requirement
- Taux de défaut des <i>plates</i> - Taux de pièces ne correspondant pas à la commande passée	Avoir les bons modèles de <i>plates</i> qui respectent les spécifications prédéterminées (qualité, modèle)
Nombre de pièces manquantes (MAPOU³⁰)	Avoir les <i>plates</i> à temps pour respecter le plan de production
Nombre de fois que les <i>plates</i> sont approvisionnées au mauvais endroit	Livrer les <i>plates</i> au bon endroit
<i>Turns</i> - Niveau du stock d'inventaire	Approvisionnement en fonction de la consommation de la ligne, maîtrise de l'inventaire
- Coûts de <i>handling</i> - Nombre de touches³¹	Minimisation des coûts logistiques (<i>handling</i> , touches, distances parcourues,...)

Pour chaque exigence critique du client (CCR), il existe un ou plusieurs indicateurs de performance.

Prenons l'exemple du CCR minimisation des coûts logistiques. Les indicateurs qui permettent d'évaluer la capacité du processus à satisfaire cette exigence, sont les coûts de *handling* et le nombre de touches nécessaires pour approvisionner les composants au POU.

Etant donné l'avancement du projet, il est possible qu'à ce stade toutes les CCR ne soient pas encore identifiées. Comme nous verrons dans l'étape *Analyze*, la matrice FMEA³² met en évidence des fonctions du processus requises qui ne sont pas encore identifiées à ce stade du projet.

³⁰ Missing At Point Of Use: pièce manquante au point d'utilisation pour différentes raisons

³¹ Une touche équivaut à une manipulation de la charge

³² Failure Mode and Effects Analysis : L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et leur Criticité

Il est tout à fait logique qu'au fur et à mesure de la progression du projet, nous découvrons des éléments qui n'ont pu être mis en évidence plutôt.

Néanmoins, ces tableaux restent très représentatifs du processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm*. De plus, ils ont été validés par l'ensemble de l'équipe du projet.

❖ SÉLECTIONNER LES BONS INDICATEURS DE PROCESSUS

Les indicateurs d'output identifiés précédemment, permettent de déduire les étapes ou activités qui ont un impact clé sur la performance de ceux-ci. De ces activités et décisions, il est possible d'inférer tous les indicateurs nécessaires à l'évaluation du processus étudié.

Tableau 4: Indicateurs du processus

Indicateur du processus	Activités ou décisions à hauts impacts	Indicateur d'Output
• Nombre de pièces présentant des défauts qualité • Evaluation fournisseur	Contrôle de la qualité Choix du fournisseur	• Taux de défaut des <i>plates</i> • Taux de pièces ne correspondant pas à la commande passée
• <i>Supplier response time</i>³³	Approvisionnement	• Mapou
• Fiabilité du <i>reporting</i> • Fiabilité du système • Méthode d'appel • Formation <i>foreman</i>	Passation de commande Approvisionnement Plan de production	• <i>Turns</i> • Niveau du stock d'inventaire
• Coûts de <i>handling</i> • Nombre de touches • Coûts de transport par <i>plate</i>	Distribution Réception Approvisionnement Transport	• Coûts logistiques
• <i>Layout</i> du LDC et du POU	Approvisionnement Distribution Reception	• FIFO

L'indicateur taux de défaut des *plates* est directement influencé par le contrôle qualité qui est effectué par Caterpillar à la réception et par le choix du fournisseur. Les indicateurs du

³³ Le temps de réponse du fournisseur

processus qui servent de prédicateur de l'habilité à satisfaire les CCR, sont le nombre de *plates* présentant un défaut qualité et l'évaluation faite par Caterpillar sur le fournisseur concerné.

Les cases misent en évidence en bleu clair sont les indicateurs qui seront approfondis lors de ce projet d'optimisation.

❖ SÉLECTIONNER LES BONS INDICATEURS D'INPUT

Dans notre analyse, il n'est pas nécessaire de conserver l'ensemble des inputs du processus car cela ne ferait qu'augmenter le nombre d'indicateurs à mesurer, alors qu'ils ne sont pas pertinents pour ce projet. Nous ne conserverons donc que les indicateurs mis en évidence dans le tableau précédent.

Tableau 5 : Indicateurs d'inputs

Indicateur d'Input	Exigence du processus	Input du processus
• Indicateur PULL	Commande des <i>plates</i> en PULL	• Méthode d'appel
• Niveau du stock de <i>plates</i> de <i>lift-arm</i>	Niveau d'inventaire disponible	• Niveau inventaire
• Taux de remplissage des camions • Fréquence d'arrivage • Type de service et de camion	Assurer l'approvisionnement quotidien au moindre coût	• Transport (type / fréquence)
• M ² alloué au stock	Zone de stockage disponible	• <i>Layout</i> zone LDC/POU
• Indicateur PULL	PULL	• Flux logistiques

L'input transport permet d'assurer l'approvisionnement des *plates*. Pour que cet approvisionnement se fasse à moindre coût, il faut modifier les inputs :

- Taux de remplissage des camions
- Fréquence d'arrivage
- Type de service et de camion

Ce tableau permet de comprendre pourquoi il est si important de jouer sur les variables inputs afin d'améliorer les résultats du processus (les outputs) qui satisfont les CCR.

Grâce à cette méthode, il est possible de déterminer les indicateurs nécessaires à l'évaluation de la performance du processus actuel. Il est aussi plus aisé de visualiser les liens qui s'opèrent entre les différents indicateurs mais aussi entre les attentes critiques du client et les inputs du processus.

IV.2. DÉVELOPPEMENT D'UNE DÉFINITION OPÉRATIONNELLE

Dans le cadre de ce projet, il n'est pas nécessaire de développer une définition opérationnelle car toutes les mesures seront collectées par un seul membre de l'équipe. De plus, le plan de mesure permet d'avoir une vision claire et détaillée des données qui seront mesurées.

IV.3. RÉALISATION DU PLAN DE MESURE

Certaines données ont déjà été mesurées lors de la réalisation de la cartographie du processus. Ces données doivent simplement être réunies dans cette étape *Measure*. En revanche, d'autres mesures nécessaires doivent encore faire l'objet d'une collecte de données.

Voici le plan de mesure du projet qui reprend toutes les mesures qui doivent être collectées ainsi que les actions spécifiques à effectuer :

Tableau 6: Plan de mesure

Mesure de la performance	Définition opérationnelle	Source et localisation des données	Quand ?	Comment ?	Autres données nécessaires
Niveau du stock d'inventaire	Stock total des <i>Plates de lift-arm</i>	Base de données Eutraco (comptage quotidien)	Du 06-03-2014 au 07-03-2014	Relevé chaque jour	Coût/pièce
<i>Turns</i>	Nombre de rotations du stock/an	Données MRP ³⁴ (PFEP)	26-02-2014	Coupe transversale	ADU ³⁵ EPS ³⁶

³⁴ Système informatique de gestion des commandes

³⁵ *Average Daily Usage* : consommation moyenne du POU

³⁶ EPS : fichier qui reprend la production de chaque modèle de *wheel-loader* sur toute l'année

MAPOU	Taux de pièces manquantes au POU	Historique des arrêts de ligne	07-03-2014	Relevé lors d'occurrence	Type de pièce
Coûts logistiques	Nombre de touches, Coût de <i>handling</i> et les coûts de transports	Processus et <i>layout</i> LDC et le PFEP, la section transport	Du 10-02-2014 Au 13-03-2014	<i>Step and touches</i> ³⁷ , Evaluation des scénarios et documentation sur le transport	Paramètres FTE ³⁸ pris en compte

IV.4. COLLECTE DES DONNÉES DU PROCESSUS

Pour ce qui est de la collecte de données, il est impératif de suivre le plan préalablement défini. En cas de déviation, il faut la documenter. Un des principes fondamentaux de la démarche DMAIC est de documenter le plus possible chaque étape réalisée mais aussi les déviations ou les problèmes rencontrés. Le but est de ne pas reproduire les erreurs, mais aussi de pouvoir reproduire au mieux la démarche en comprenant la source des déviations.

Il faut forcément éviter les éventuels biais lors de cette récolte de données.

La démarche de récolte de données doit s'appliquer sur l'ensemble des indicateurs d'outputs, afin d'évaluer la performance du processus actuel.

Ci-dessous sont repris chaque indicateur d'output, ainsi que toutes les données récoltées et une explication quant à leur collecte.

❖ L'INDICATEUR DES NIVEAUX DE STOCK D'INVENTAIRE

La taille minimum de l'échantillon est de :

$$176 \text{ données} = \left(\frac{1.96 \times 20.3}{3} \right)^2$$

³⁷ *Step and Touches* : méthode qui revoit tout le processus pour déterminer quelles étapes s'avèrent être une touche ou un transit des pièces

³⁸ *Full Time Equivalent* : un FTE équivaut à un ouvrier travaillant à temps plein pendant une journée, soit 400 minutes – 15% d'inefficacité = 340 minutes

L'échantillon concernant le stock des *plates* se compose de 180 observations, soit 11 mois de l'année 2013.

Une observation représente un relevé quotidien du nombre de *plates* de chaque *part number*³⁹ en stock dans le bâtiment D. L'annexe 4 est un exemple de relevé d'inventaire sur 3 jours qui reprend tous les *part number*, les différents modèles de *wheel-loader* correspondant et le nombre en stock.

L'annexe 4 ne représente qu'un fragment de l'échantillon, soit 3 observations. Chaque relevé quotidien représente un fichier distinct. Pour l'analyse statistique des inventaires, il est nécessaire de rassembler les 180 observations dans un seul fichier. La difficulté est que la date ne se trouve pas dans une colonne du fichier, mais seulement dans le nom du document. Il faut donc pour chaque observation, ajouter manuellement la date.

L'avantage est que ce fichier sera simplifié et plus flexible dans son utilisation. Il permettra aussi au groupe de travail d'avoir un fichier centralisé avec les niveaux d'inventaire des *plates* et ce quotidiennement pendant une année complète.

Les résultats de cette récolte de données seront présentés et utilisés ultérieurement.

❖ L'INDICATEUR DES COÛTS LOGISTIQUES

Cet indicateur est particulier car il englobe toute une série de sous-indicateurs. En effet, les coûts logistiques vont de la manipulation d'une charge, aux trajets parcourus par le Lift-truck pour amener la palette au POU.

Nous avons regroupé les différents coûts et aspects logistiques sous un même indicateur pour une raison de simplification.

Une base de données Excel interne reprend l'ensemble des PN de tout le bâtiment D. Cet outil est le PFEP évoqué précédemment. Pour chaque PN, plus de 60 critères de description sont disponibles tels que la valeur de l'inventaire, le modèle correspondant, les dimensions, le fournisseur, le coût pièce, etc...

³⁹ Un *part number* représente un modèle spécifique et unique de *plate*

Cette base de données a servi de point de départ dans la conception de l'outil Excel qui a permis d'évaluer les différents scénarios logistiques qui ont été abordés dans le deuxième chapitre de ce mémoire (B. Contexte du mémoire).

L'outil Excel permet de comparer chaque scénario en termes de FTE, soit un nombre de caristes nécessaires pour assurer l'ensemble de l'approvisionnement des charges au sein du bâtiment D. Malgré le fait que cet outil ait été conçu pour comparer des scénarios logistiques, il est possible de le modifier dans le but de mesurer l'indicateur des coûts logistiques du processus tel qu'il est aujourd'hui.

La conception de cet outil de simulation s'est avérée très coûteuse en énergie et en temps. En effet, la difficulté de cet exercice était la quantité de charges dans le bâtiment.

Pour chaque charge du bâtiment D, il a fallu définir plus d'une vingtaine de critères logistiques manquants tels que le *lot size*⁴⁰, le poids, le temps de déballage de la charge, la demande journalière, le temps de chargement, etc...

Une fois l'ensemble des charges définies, il a fallu pour chacune calculer les distances parcourues selon chacun des scénarios. Beaucoup de données étaient nécessaires afin de concevoir un outil permettant de transformer des distances parcourues en un nombre de caristes total.

L'annexe 5 est un fragment de l'outil Excel qui a permis de définir précisément l'indicateur des coûts logistiques. Toutes ces informations ont été récoltées auprès de différentes sources. Par exemple, le temps de *handling* pour chaque charge a été calculé en fonction d'une vitesse moyenne réglementaire et des distances à parcourir pour aller du *receiving* jusqu'au LDC et du LDC jusqu'au point d'utilisation.

L'outil en annexe 5 est assez complexe, c'est pourquoi il ne sera pas détaillé dans ce mémoire.

Ce fichier intègre donc l'ensemble des éléments constituant l'indicateur des coûts logistiques et ce pour chaque modèle de *plate de lift-arm*. Il convient donc dans un premier temps d'aborder les différents composants de l'indicateur et ensuite d'en présenter les résultats.

Voici les différents éléments qui composent l'indicateur des coûts logistiques :

⁴⁰ La taille du lot

~ **Le handling**

Le *handling* englobe tous les temps de trajet, à vide ou non, des *lift-truck* qui assurent l'approvisionnement de toutes les charges aux POU en passant par leurs LDC respectifs.

L'outil Excel intègre donc tous les trajets nécessaires au processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm* tel qu'il est aujourd'hui.

Les résultats de la récolte de données concernant cet indicateur, seront abordés plus loin.

~ **Le temps de chargement et déchargement des charges**

La première hypothèse qui a été faite sur ce temps de chargement/déchargement, est qu'un cariste met autant de temps pour décharger une palette d'un camion que pour décharger une palette au sol dans le bâtiment.

La deuxième hypothèse est que le temps de chargement d'une palette est identique au temps de déchargement de celle-ci.

Ces deux hypothèses ont été vérifiées au moyen de différents tests sur le terrain. De plus, une faible différence n'influence en rien le coût logistique final.

~ **Le déballage des charges**

Certaines pièces, provenant de Chine par exemple, sont emballées de manière à ne pas bouger lors de longs trajets. Ce mode de conditionnement impose aux transporteurs internes de déballer les charges avant de les mettre en ligne. En ce qui concerne les *plates*, aucun temps de déballage n'a été identifié.

~ **L'aspect administratif**

Pour chaque camion qui arrive au *receiving*, il faut prendre en compte plusieurs tâches administratives à réaliser.

Une base de données existe sur les temps de déchargement des camions et elle reprend cet aspect administratif. Il est donc possible d'en déduire un temps moyen dédié à cet aspect et ce seulement pour les composants qui nous intéressent.

~ **Le nombre de touches**

C'est un indicateur qu'il est très facile à déduire du processus d'approvisionnement. L'utilisation d'un *steps and touches* permet de décomposer l'ensemble du processus en une multitude de tâches, afin de pouvoir en déduire le nombre de touches réelles.

~ Les résultats

L'annexe 6 met en évidence les résultats de la collecte de données pour l'indicateur des coûts logistiques.

Le processus actuel d'approvisionnement des *plates* nécessitent par jour, la mobilisation d'un cariste pendant 56,19 minutes, soit 0.1653 FTE.

Ces 56 minutes comprennent tous les éléments évoqués plus haut, soit le *handling*, le temps de déballage des charges, les temps de chargement et déchargement, les aspects administratifs et le nombre de manipulations.

On peut remarquer, dans le cadre jaune, que le processus a été divisé selon la réception ou la distribution. Cette distinction permet simplement de faciliter l'attribution des caristes aux deux différents métiers :

- La réception comprend le déchargement des camions, le remplissage des papiers administratifs et le transport des charges dans les zones de stockage.
- La distribution comprend le transit des charges entre la zone de stockage et le point d'utilisation.

A ce stade du projet et grâce aux différentes mesures réalisées, on peut déjà mettre en évidence certains dysfonctionnements. En effet, le processus actuel est trop coûteux en temps. Ces 56 minutes par jour peuvent être expliquées par plusieurs raisons :

- Les distances entre le *receiving* et le LDC et entre le LDC et le POU sont trop importantes.
- Le *layout* de la zone de stockage contraint le cariste à devoir déplacer des charges pour atteindre la palette dont il a besoin.
- Le *layout* du point d'utilisation contraint le cariste à devoir déplacer des charges pleines afin de pouvoir enlever les palettes vides.

Ces activités sans valeur ajoutée sont une énorme perte d'efficacité dans le processus d'approvisionnement.

❖ L'INDICATEUR DES COÛTS DE TRANSPORTS DES PLATES

Les données sur le transport ont été collectées auprès du service transport de Caterpillar.

Il faut savoir qu'un service de navette est utilisé afin d'assurer tout l'approvisionnement entre Oxy-Fleurus et l'usine de Caterpillar. Ce service de navette signifie qu'un camion tourne en permanence entre le fournisseur et l'usine. Ce service sera analysé en profondeur lors du chapitre évaluation des données collectées.

Chaque jour la navette livre des composants au bâtiment D et au bâtiment E. Certains camions peuvent donc faire un double arrêt dans l'usine. Ce double arrêt est une perte d'efficacité du service de navette car il n'est pas rare que le chauffeur du camion doive attendre plusieurs dizaines de minutes avant qu'un cariste vienne décharger son camion (changement d'équipe, pause déjeuner, etc...). Le fait de dédicacer chaque boucle de la navette à un seul bâtiment permettrait d'améliorer le taux de rotation du camion.

Voici les informations récoltées :

- Une boucle dure environ 2,5h (de Oxy-Fleurus jusqu'à Caterpillar et le retour)
- Le coût est de 42€/h prestée
- Minimum 4h sont facturées à Caterpillar même si le camion ne fait qu'une boucle
- La distance à parcourir par le camion lors d'une boucle est d'environ 22km
- Le coût est de 0.57€/km
- Il n'y a pas de surcharge pour l'essence
- Le camion mesure 12,5m et peut donc contenir 6 palettes de *plates* soit largement la demande journalière du point d'utilisation car une palette comporte 4 *plates*

❖ L'INDICATEUR TURNS

Le fichier PFEP permet aussi de déterminer les *turns* de chaque *part number* du bâtiment D (voir annexe 5).

La valeur actuelle du stock de production pour les *Plates* de L/A provenant d'Oxy-Fleurus est de \$429,570, ce qui représente 23.6 jours d'inventaire, soit 10 *turns*.

Cet indicateur de l'Output signifie que le stock de *plates* de *lift-arm* n'est complètement renouvelé que 10 fois sur toute l'année (235jours). Etant donné la proximité du fournisseur, cet indicateur témoigne de l'inefficacité du processus d'approvisionnement actuel. On peut donc aisément conclure que le niveau d'inventaire des *plates* est beaucoup trop important.

❖ L'INDICATEUR MAPOU

Une base de données existe sur tous les arrêts de ligne, ainsi que leurs causes. Il est possible de trier le fichier pour sélectionner les arrêts dus aux pièces manquantes. Depuis ce fichier il est possible d'effectuer un autre tri sur les fournisseurs et sur les *part number*.

Ce fichier trié permet d'identifier la fréquence à laquelle un opérateur constate qu'il lui manque les bonnes *plates* pour suivre son plan de production.

Les raisons, d'un manque de pièces adéquates, sont multiples. Des retards dans l'approvisionnement, une mauvaise passation de commande ou encore des pièces recalées par la qualité peuvent entraîner des MAPOU.

Dans notre étude de cas, nous ne garderons que les pièces manquantes dues à des problèmes logistiques.

Le problème rencontré avec ce fichier qui se trouve en annexe 7, est qu'il ne renseigne plus aucun MAPOU à partir de mars 2012. En effet, le *reporting* n'a plus été fait depuis que le responsable de ce fichier a quitté l'entreprise. Ceci compromet donc fortement l'utilisation de cet indicateur.

❖ **L'INDICATEUR FIFO**

Caterpillar Gosselies n'utilise pas d'indicateur de respect du FIFO. Néanmoins, il est tout à fait possible de savoir si ce FIFO est respecté ou non sur les *plates* de *lift-arm*.

Figure 10: LDC des plates



Le *layout* du LDC, l'état des *plates* étant arrivée en premier dans ce LDC et les dates d'arrivée de ces pièces témoignent du non-respect du FIFO.

En effet, comme nous pouvons l'observer sur cette photo, la zone de stockage ne permet pas de respecter le FIFO sur l'ensemble des palettes à moindre manipulations. La zone est en fait un long couloir qui ne permet pas l'accès par derrière. Chaque palette est donc placée à l'avant de ce couloir.

Le seul moyen pour le cariste de respecter le FIFO, est d'enlever toutes les charges récentes se trouvant devant pour aller chercher les plus anciennes palettes dans le fond du LDC. Ceci demande beaucoup trop de manipulations et de temps, dès lors, le FIFO n'est absolument pas respecté.

IV.5. EVALUATION DES DONNÉES COLLECTÉES

Le but de cette démarche est de pouvoir déterminer les causes de variation, afin de soit les éliminer si elles affectent négativement la performance du processus ou soit les capturer si elles améliorent celle-ci.

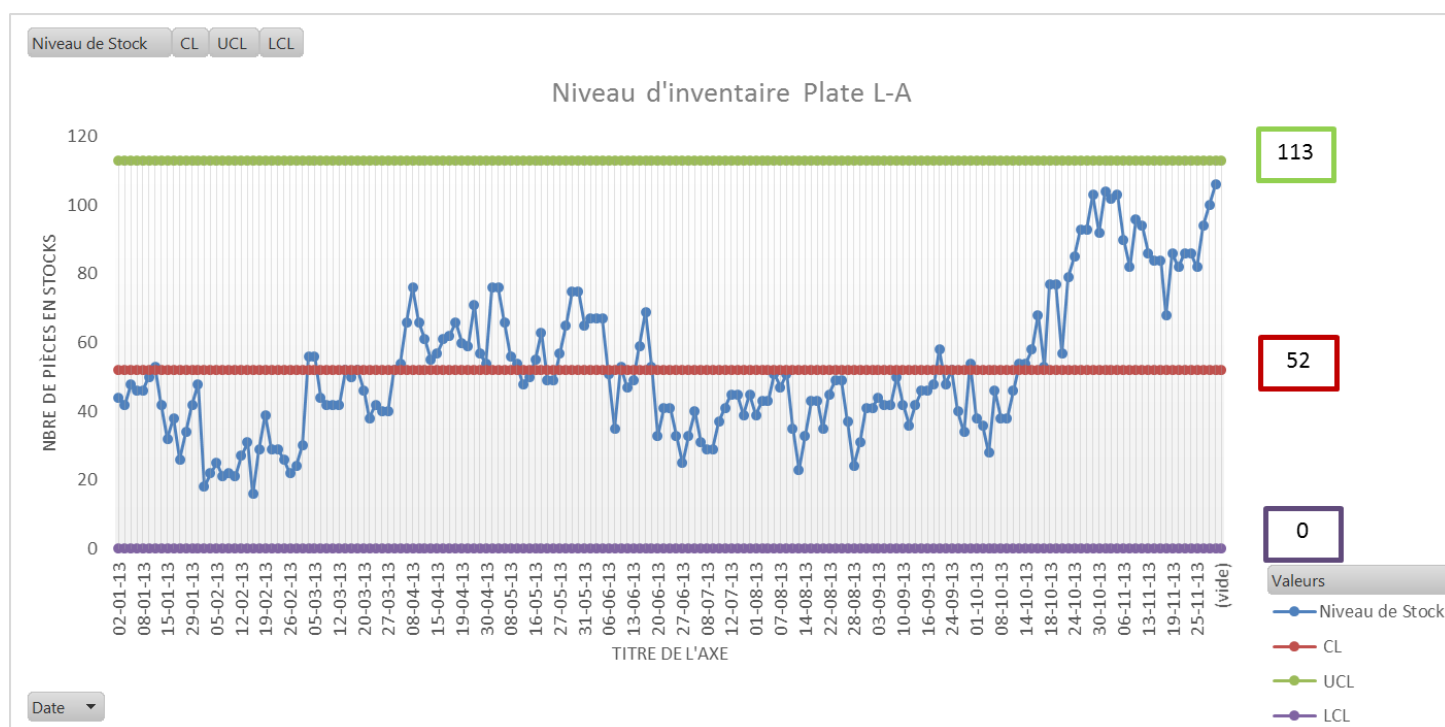
Le graphique de contrôle est un très bon outil pour repérer la présence de causes spécifiques qui bouleverseraient le processus. Plus globalement, cet outil est un indicateur visuel de la performance du processus.

❖ L'INDICATEUR DES NIVEAUX DE STOCK D'INVENTAIRE

Dans le cadre du processus d'approvisionnement des *plates* d'Oxy-Fleurus, la carte de contrôle permet de mettre en évidence la variabilité du processus.

Ce graphique reprend l'ensemble des niveaux d'inventaire de toutes les *plates* du 02 janvier 2013 au 26 novembre 2013. Ces niveaux d'inventaire sont des relevés quotidiens.

Figure 11: Niveau d'inventaire des plates



Nous pouvons observer que 100% des observations sont inclus dans les limites de contrôle soit 6 Sigma. Néanmoins, il faut être prudent car l'écart-type est très important par rapport à la moyenne, ce qui signifie que le processus présente une très grande variabilité dans ses résultats (le niveau d'inventaire).

Selon l'interprétation des cartes de contrôles de Maurice Pillet (voir tableau X), ce processus présente clairement des tendances, des fois supérieures, des fois inférieures.

Il est vrai que l'ensemble des observations se situent dans les limites de contrôles, mais on peut clairement distinguer des tendances. En effet, la courbe n'oscille pas autour de la moyenne.

Il faut savoir que la consommation de la ligne de production des *lift-arm* est très constante. En 2013, l'usine produisait 6,3 *wheel-loader* par jour. La consommation du bâtiment d'assemblage qui est plutôt stable dans le temps, devrait être identique à la consommation de la ligne des *lift-arm*.

Si la consommation de la ligne est stable à travers le temps, le niveau d'inventaire des *plates* devrait l'être aussi et pourtant on peut voir que ce n'est pas le cas.

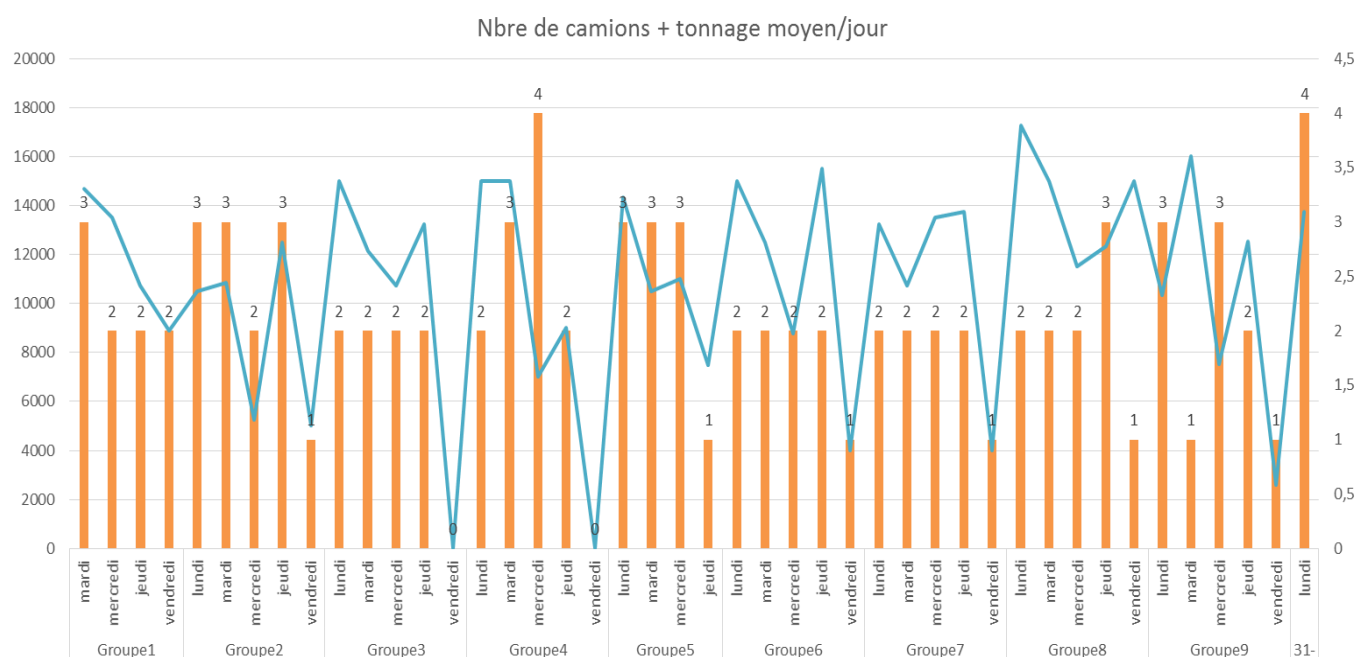
Cette étape a donc permis d'identifier un nouveau dysfonctionnement du processus. D'autres analyses sur cet indicateur seront menées lors de l'étape *Analyze*.

❖ L'INDICATEUR COÛTS DE TRANSPORT

Cet indicateur peut être évalué rapidement au moyen de différents graphiques.

Voici une analyse du nombre de camions par jour ainsi que le tonnage moyen par camion :

Figure 12: Analyse du transport (1)

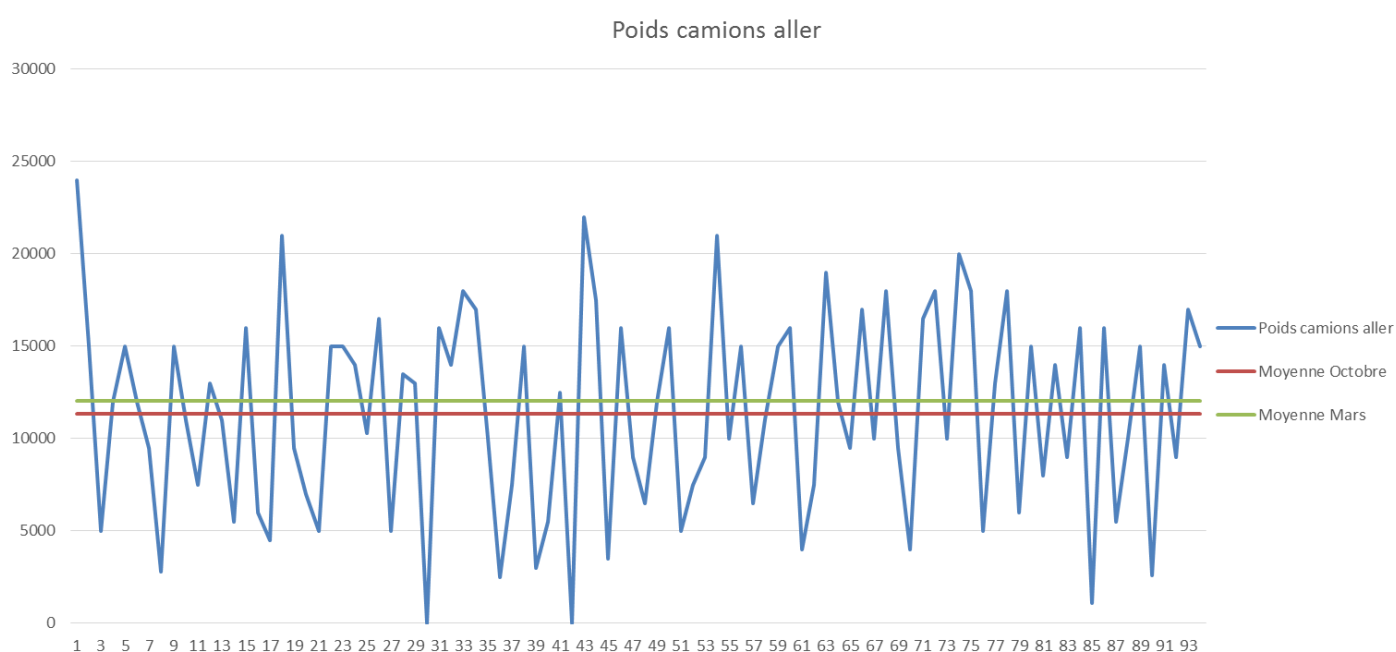


Ce graphique a été réalisé sur le mois d'octobre 2013 et mars 2014 et la moyenne globale est de 2,1 camions par jour.

On peut observer que le tonnage moyen des camions est très variable d'un jour à l'autre. Ceci est la preuve concrète que la plupart des camions ne sont pas optimisés. Un camion optimisé, est un camion qui remplit au maximum sa capacité de chargement.

Voici un graphique qui présente 93 relevés des poids du chargement des camions pour les mois d'octobre 2013 et mars 2014 :

Figure 13: Analyse du transport (2)



Ce graphique confirme la variabilité du tonnage des camions entre Oxy-Fleurus et Caterpillar.

Si le camion n'est pas optimisé, le coût du transport se répercute sur un moins grand nombre de pièces livrées et donc le coût de la pièce est plus important que si le camion était optimisé.

Cette observation permet, une fois de plus, de mettre en évidence un nouveau dysfonctionnement du processus.

~ Recherche d'informations supplémentaires

Afin de visualiser au mieux le processus actuel, il est nécessaire d'avoir toute une série d'informations supplémentaires. En effet, les indicateurs d'output et de processus ne suffisent pas à évaluer la situation actuelle.

Des données extraites du plan de production ne constituent pas un indicateur de performance en soit, mais elles sont nécessaires pour comprendre comment et sur base de quelles informations chaque *Plate* est approvisionnée au POU.

D'autres informations non chiffrées permettront d'identifier tous les dysfonctionnements et leurs causes lors de l'étape *Analyze*.

Chapitre 5 : Analyze

I. OBJECTIFS

L'objectif principal de l'étape *Analyze* est d'analyser l'ensemble des données qui ont été collectées lors de l'étape *Measure*. La méthodologie Lean 6 Sigma met l'accent sur cette étape car elle doit permettre d'identifier tous les dysfonctionnements du processus et ce, sur base de faits chiffrables.

Cette étape, de la méthode DMAIC, suit un canevas très précis car il est très important de bien identifier l'origine des dysfonctionnements du processus actuel, en vue de cibler au mieux l'amélioration.

Comme nous l'avons déjà mentionné, ce projet a pour but de manipuler les X afin d'atteindre les Y qui satisfont au mieux les CCR. L'étape *Analyze* doit donc identifier très précisément tous les X (les causes profondes) qui induisent une variabilité sur les Y. Plus cette identification sera précise, plus il sera simple d'apporter une solution adaptée aux différents dysfonctionnements lors de l'étape *Improve*.

De plus, la philosophie CPS insiste sur l'importance de pouvoir retracer le plus en amont possible, la cascade de causes à effets depuis le problème lui-même jusqu'à sa cause réelle. C'est pourquoi cette étape est définie de manière si précise.

Une fois les causes des problèmes définies et validées, cette étape est aussi une étape d'analyse des opportunités futures qui se présentent à l'équipe.

II. OUTILS DISPONIBLES

Pour la phase *Analyze*, la démarche Lean 6 Sigma propose de nombreux outils statistiques, dans le but de pouvoir identifier les causes profondes de dysfonctionnements. Tous ces outils ne sont pas applicables à tout projet. Il sera donc important de discerner les outils nécessaires à notre analyse, des outils obsolètes. Voici les concepts disponibles :

- Le diagramme de Pareto

- Le MGPP⁴¹
- L'identification des causes profondes (les 5 pourquoi,...)
- Le diagramme d'Ishikawa
- La matrice de causes à effets
- AMDEC⁴² (FMEA)
- Une multitude d'outils statistiques comme la méthode ANOVA (*One Way, Two Way, Commercial Profit, Fully Nested*), le test d'hypothèses et l'intervalle de confiance, corrélation et régression linéaire simple
- Les plans d'expérience

III. CHOIX DES OUTILS ET MÉTHODES RETENUS

Comme il sera expliqué plus loin, certains outils statistiques comme la méthode ANOVA, ne sont pas applicables à ce projet. En revanche, l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (FMEA), est l'outil principal de l'étape *Analyze*. En effet, cette analyse reprend toutes les défaillances du processus, les causes profondes mais aussi les actions qui sont envisagées pour les supprimer ou réduire leurs effets.

Cet outil très complet permet d'analyser en profondeur le processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*. De plus, il constitue un point de départ nécessaire à l'étape *Improve*.

Voici la description complète des outils utilisés qui permettent d'identifier de façon méthodologique, des causes profondes de dysfonctionnement :

III.1. STRATIFIER LE PROCESSUS (ANALYSE DES Y)

Ici, nous allons analyser le processus d'approvisionnement en détail de manière à identifier clairement le problème sur lequel on réalisera, par la suite, l'analyse des causes profondes.

L'outil le plus adapté à cette démarche est l'analyse Pareto.

❖ LE DIAGRAMME DE PARETO

Cet outil est utilisé pour organiser les données afin de présenter les facteurs majeurs qui feront l'objet de notre analyse.

⁴¹ *Multi-Generation Process Plan* : plan à génération multiple du processus

⁴² L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et leur Criticité

Cet outil est basé sur la règle 80/20. Ce qui signifie qu'approximativement 80% du (ou des) problème(s) résulte(nt) d'approximativement 20% des causes.

Afin d'élaborer cet outil, il faut préalablement énoncer les différents problèmes, et ce de manière efficace. La stratification des données doit résulter de la construction de l'énoncé du problème.

En effet, si le problème est énoncé de manière efficace, il résumera clairement et objectivement les résultats de la recherche. Les énoncés permettent de décrire, avec des termes spécifiques, ce que les données révèlent, mais aussi les objectifs à atteindre et les états non désirés.

Une fois le problème défini, il est possible de construire le diagramme de Pareto. Pour cela, il faut dans un premier temps, identifier les données à utiliser.

Ensuite, il faut sélectionner les catégories qui seront explorées. Attention que ces catégories doivent être significatives. Une fois les catégories définies, il suffit de trier les données en fonction des catégories afin de construire le diagramme de Pareto. Ce graphe est un histogramme des fréquences d'occurrences des catégories. Les catégories sont ordonnées sur le graphique de manière décroissante.

Ce graphique permet de vérifier qu'il suit bien le modèle 80/20. En d'autres termes, 80% des problèmes rencontrés, sont expliqués par 20% de causes. Des catégories présentant des pourcentages similaires, indiquent qu'il faut stratifier d'une différente manière les données.

III.2. STRATIFIER LES DONNÉES ET IDENTIFIER LES PROBLÈMES SPÉCIFIQUES (ANALYSE DES Y)

Ce chapitre orienté statistique, analyse toutes les données récoltées lors de la phase *Measure*, afin d'identifier de manière scientifique les dysfonctionnements du processus actuel.

❖ LA CARTE DE CONTRÔLE

La carte de contrôle a été définie dans l'étape *Measure*.

❖ L'HISTOGRAMME DE FRÉQUENCE

L'histogramme de fréquence ou histogramme à barres contiguës présente les fréquences d'occurrence de regroupements en classe. La taille de chaque rectangle est proportionnelle aux

fréquences. Selon Maurice Pillet : «*Le nombre de classes NC est proportionnel au nombre de valeurs N ; on prend en général $N_c = \sqrt{N}$* »⁴³.

Un histogramme de fréquence a pour but de donner une vision claire de la dispersion de la population par rapport à sa moyenne. Cet outil permet donc de qualifier la variabilité de la population.

Afin de tirer des conclusions quant à la dispersion et la variabilité de la population, il faut calculer la moyenne et l'écart-type d'un échantillon de cette population. Cette moyenne et cet écart-type sont des estimateurs des paramètres de la population.

L'histogramme de fréquence est un outil clé dans l'analyse de processus industriel. Il permet de mettre en évidence certains dysfonctionnements du processus comme la variabilité.

❖ LA STATISTIQUE DESCRIPTIVE

La statistique descriptive, selon Maurice Pillet, a pour but de : «*donner une description statistique d'un ensemble de données se décomposant en trois éléments :*

~ **identification de la forme de la distribution ;**

La forme de la distribution est un paramètre important. En effet, voici ce que stipule le théorème central limite :

Tout système, soumis à de nombreux facteurs, indépendants les uns des autres, et d'un ordre de grandeur de l'effet équivalent, génère une répartition qui suit une loi de Gauss.

~ **paramètres de position de la distribution ;**

Comme son nom l'indique, un paramètre de position donne une indication sur la position de la distribution par rapport à la grandeur mesurée.

~ **paramètres d'échelle de la distribution.**

Les paramètres d'échelle donnent une idée de la dispersion des mesures.

*Pour caractériser ces trois critères, on peut utiliser des outils graphiques ou des paramètres numériques.»*⁴⁴

⁴³ Pillet M., *Six Sigma comment l'appliquer ?*, Paris, éditions d'organisation, 2004, pp. 131

⁴⁴ Pillet M., *Six Sigma comment l'appliquer ?*, Paris, éditions d'organisation, 2004, pp. 174-182

L'objectif est donc de pouvoir estimer les paramètres d'une population grâce à leurs estimateurs. Il est très important de différencier les paramètres de la population, des estimateurs.

La statistique descriptive permet donc de tirer des conclusions quant à une population et ce sur base d'échantillons de celle-ci. Cet outil est souvent nécessaire dans un projet de type Lean 6 Sigma.

III.3. DÉVELOPPER LES ÉNONCÉS DES PROBLÈMES

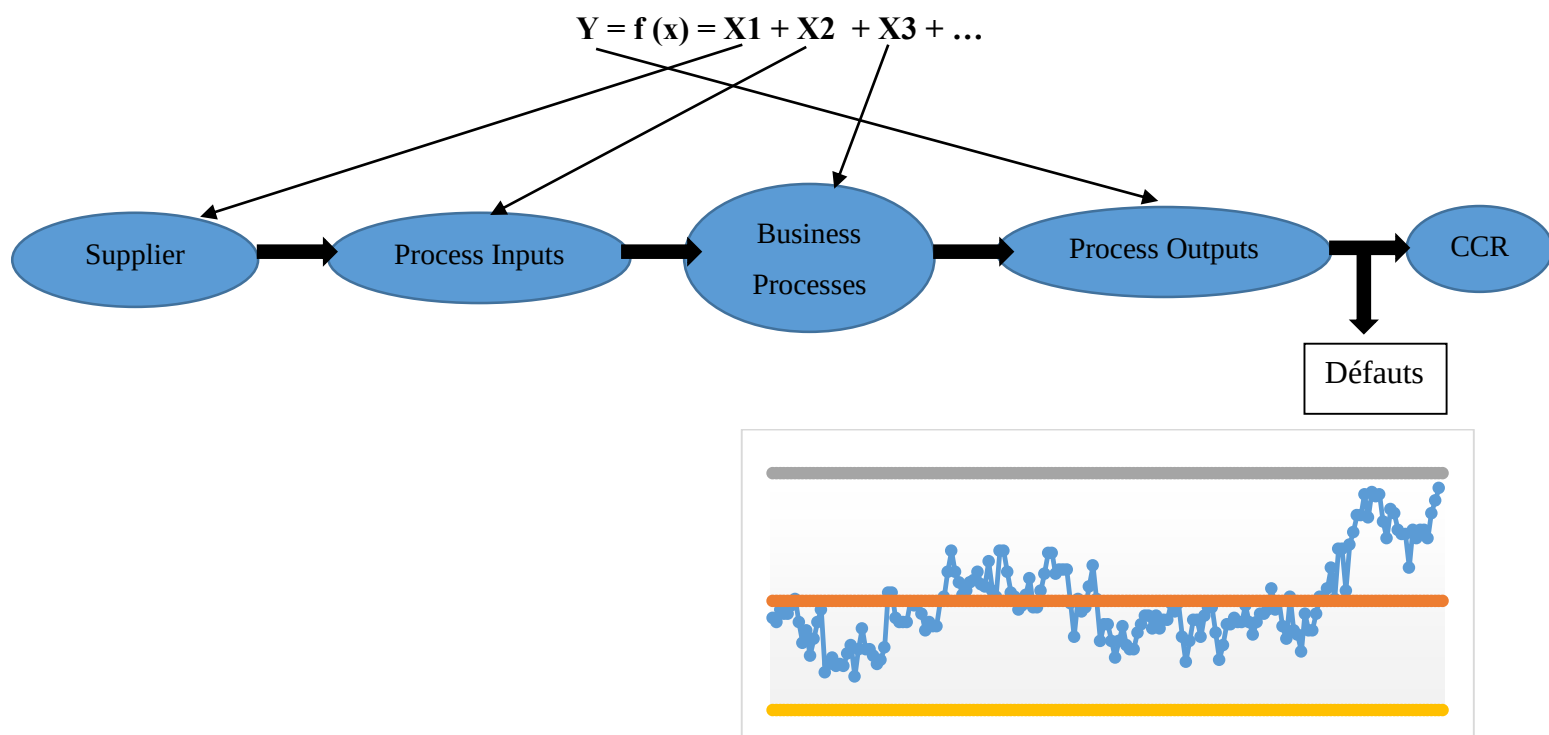
III.4. IDENTIFIER LES CAUSES PROFONDES (ANALYSE DES X)

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les raisons sous-jacentes ou élémentaires concernant un défaut ou un problème. Ceci permettra de proposer des solutions 6 Sigma adaptées et efficaces au(x) problème(s) identifié(s).

Cette étape est cruciale dans une démarche DMAIC car l'objectif ultime d'un projet d'amélioration Lean 6 Sigma, est d'éradiquer de façon permanente les causes profondes des défaillances ou de la variabilité des outputs d'un processus. Nous pouvons illustrer ce concept grâce à une fonction linéaire comme ci-dessous.

Les X représentent les facteurs, internes au processus, qui sont les causes des variations de l'output Y.

Figure 14: Variables du processus



Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Black Belt, littérature donnée aux participants de la formation Black Belt

Y représente l'output du processus. Et chaque X influence, à sa mesure, la variabilité de l'output Y.

Ici, nous avons repris les relevés de l'inventaire des *plates* car il illustre très bien la variabilité due aux variables explicatives X qu'il faut encore déterminer.

Afin de déterminer les sources de variation, il est crucial d'étudier le problème en profondeur. Une fois l'ensemble des problèmes déterminés, il faut analyser chaque défaillance de manière indépendante.

Ensuite, il faut pouvoir cibler l'emplacement de la défaillance, analyser sa nature mais aussi documenter ses symptômes afin d'anticiper celle-ci à l'avenir. Ne pas reproduire les erreurs du passé, est un principe clé dans la philosophie Lean 6 Sigma.

❖ LE DIAGRAMME D'ISHIKAWA

Un des outils les plus efficaces pour déterminer les causes profondes, est le diagramme de causes et effets, ou encore le diagramme d'Ishikawa. Ces outils permettent d'organiser l'information afin d'établir, de manière claire et visuelle, les relations entre les causes principales et leurs effets.

En tant qu'outil informationnel, il permet d'atteindre une vision collective du problème étudié. En effet, lorsque le projet est mené en équipe, c'est important que tous les membres appréhendent le problème de la même façon, tout en conservant un point de vue personnel sur celui-ci.

Cet outil se construit en identifiant les cinq causes fondamentales de variabilité, soit les cinq M :

- Main-d'œuvre directe ou indirecte du processus
- Moyens mis en œuvre (machine, outillage)
- Méthodes retenues pour la conduite du processus
- Matières utilisées
- Milieu dans lequel le processus évolue

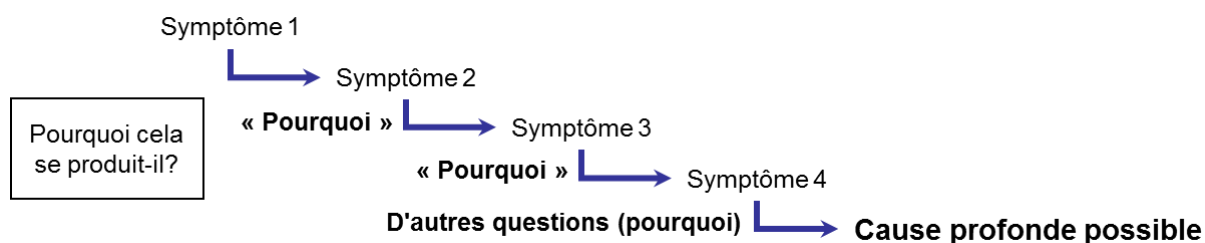
Les cinq causes fondamentales sont fonction du problème abordé. En effet, il faut pouvoir identifier les cinq ou six causes fondamentales afin que l'ensemble des causes profondes puissent y être rattachées.

❖ LA TECHNIQUE DES CINQ POURQUOI

Le diagramme en arête de poisson peut être complété grâce à la technique des cinq pourquoi, dans le but de déterminer plus précisément les causes profondes du problème. De plus, cette technique permet d'élaborer l'arbre des causes qui suivra.

La démarche est simple, il suffit de partir du problème et se demander : « Pourquoi ce mode de défaillance est-il actif ? ».

Figure 15: Technique des cinq pourquoi



Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Black Belt, littérature donnée aux participants de la formation Black Belt

Ce processus itératif se répète entre trois à cinq fois. Chaque réponse apportée au pourquoi, est un symptôme potentiel et le dernier symptôme de cette démarche est une cause profonde potentielle. Il est possible que plusieurs causes profondes entraînent le dysfonctionnement.

❖ L'ARBRE DES CAUSES

Cet outil visuel est utilisé pour définir toutes les causes profondes de dysfonctionnement d'un processus. Sa structure arborescente permet d'établir les relations entre toutes les causes potentielles d'un problème central.

La conception de cet outil est simple :

- a. Ecrire l'énoncé du problème dans la case qui se trouve dans le bas de l'arbre (le tronc).
- b. Ensuite, il faut se demander « Pourquoi ce problème se produit ? » (technique des cinq pourquoi)
- c. Inscrire les différentes causes dans les cases directement connectées
- d. Répéter l'étape deux à trois fois, jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de répondre à cette question problème est identique au problème traité par le diagramme d'Ishikawa.
- e. Poursuivre l'arborescence des cases qui n'ont pas encore été questionnées

III.5. CONCEVOIR L'ANALYSE DE LA VÉRIFICATION DES CAUSES (ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LES Y ET LES X)

La vérification des causes profondes selon la démarche Lean 6 Sigma, signifie qu'il faut établir la relation de causalité entre chaque effet et toutes ses causes. Pour cela, il existe la matrice cause-effet.

❖ LA MATRICE CAUSE-EFFET

L'objectif principal de la matrice cause-effet est de relier les étapes clés du processus, les inputs (X) et les variables du processus avec les outputs (Y) de celui-ci. Il est donc nécessaire d'avoir défini préalablement tous ces paramètres. La *process map*, utilisé dans l'étape *Define*, est l'outil adéquat.

Cet outil est primordial dans notre analyse car il met en évidence la relation entre les X et Y du processus. Sans la compréhension de cette relation, il est impossible de proposer des solutions d'améliorations adaptées aux réelles causes profondes de dysfonctionnement du processus. De

plus, la matrice cause-effet intègre la VOC afin de cibler le plus justement possible les améliorations à apporter.

Voici la structure de la matrice cause-effet et ses différentes étapes de conception :

Figure 16: Conception de la matrice cause-effet

		A Characteristics / Requirements of the Process Outputs (CCR's) (The Ys)	
		Importance value for each output	
		C	D
B		Matrix to define the strength of relationship between the Xs and Ys	Calculated priority values for the Xs
Process Steps, Inputs and Variables (The Xs)			

Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Green Belt, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt

- Identifier les exigences des outputs du processus, soit les CCR ou les Y. Ensuite, il faut leur accorder un score en fonction de l'importance de l'output pour le client (de 1 à 10).
- Identifier les étapes clés du processus ainsi que ses inputs (ces informations proviennent de la *process map*).
- Comparer chaque étape du processus avec chaque output mentionné et assigner un score de corrélation dans la case correspondant. Ce score va de 0 à 3, en sachant que 0 signifie qu'il n'y a aucune corrélation entre l'input et l'output, et que 3 signifie que l'output est directement corrélé à l'input en question.
- Calculer les valeurs de priorité pour chaque étape en multipliant le score de corrélation avec la valeur d'importance de l'output, ensuite sommer tout le long de la ligne. Cette valeur de priorité va permettre de hiérarchiser les étapes du processus afin de concentrer les efforts d'amélioration sur celles qui présentent les valeurs les plus élevées.

III.6. VALIDER LES CAUSES PROFONDES

L'objectif de ce dernier chapitre est de valider l'ensemble des causes profondes. Une fois ces causes identifiées, il est primordial d'évaluer les défaillances et leurs effets sur le processus.

L'AMDEC est une méthode destinée à évaluer ces causes profondes. Cet outil est très complet et permet de cibler au mieux les actions à mener, afin de supprimer chacune des causes profondes.

❖ L'AMDEC (FMEA)

Selon Gérard Landy : *« la logique de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité est sous-tendue par ces quatre questions, pour tous les types d'AMDEC existantes, cette logique restera la recherche :*

- *Des modes de défaillances potentielles, réponse à la question de base : « Qu'est-ce qui pourrait aller mal ? »*
- *Des effets possibles, réponse à la question : « Quels pourraient être les effets entraînés par ce mode de défaillance potentielle ? »*
- *Des causes possibles, réponse à la question : « Quelles pourraient être les causes à l'origine de ce mode de défaillance potentielle ? »*
- *Des moyens de détection, réponse à la question : « Comment faire pour voir si cela se produit ? » »⁴⁵.*

Il faut s'avoir que l'AMDEC est plus complexe que cela, mais ces quatre questions permettent de comprendre facilement les objectifs de cette analyse.

L'outil AMDEC facilite l'amélioration de processus. En effet, en intégrant la VOC, cette méthodologie permet améliorer la satisfaction des clients internes et externes du processus.

Dans le cadre de l'optimisation d'un processus, L'AMDEC permet de :

- Faire le lien entre les inputs du processus et ses outputs
- Proposer des actions d'amélioration du processus
- Proposer des moyens de contrôles correctifs ou préventifs
- Identifier les points critiques du processus
- Concevoir un plan d'action à mener

Ces différentes actions ont pour objectifs finaux, dans un ordre significatif, de :

- Améliorer la performance du processus dans sa satisfaction du client
- Eliminer les causes de dysfonctionnement du processus

⁴⁵ Landy G., *AMDEC Guide pratique*, La Plaine Saint-Denis, Afnor, 2007, pp. 31, 2^{ème} édition

- Améliorer la stabilité du processus
- Réduire certains coûts
- Constituer un outil performant de communication

Pour atteindre ces objectifs pertinents pour le projet, l'AMDEC doit être menée de façon méthodologique. Voici le tableau complet à remplir dans l'ordre défini :

Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	Gravité	Potential causes	Fréquence	Current controls	Détection	RPN	Actions recommandées

1) L'étape du processus et sa fonction

Afin d'être complet, il est conseillé de commencer l'AMDEC avec une colonne mentionnant l'étape du processus concernée et une deuxième qui décrit sa fonction.

2) Le mode de défaillance potentielle

Il désigne la façon dont un composant, un sous-ensemble ou même un processus échoue dans l'atteinte des exigences de l'utilisateur final ou encore, cause des échecs dans les opérations en aval. Les modes de défaillance peuvent être le résultat d'opérations en amont, entraîner l'échec d'opérations en aval ou encore constituer un élément susceptible de mal fonctionner.

3) Les effets possibles

Ils désignent les répercussions des modes de défaillance sur le client du processus.

4) La gravité

« Si le mode de défaillance se produit, quelle est la gravité de l'effet pour le client ? »

La réponse à cette question est une note de un à dix qui évalue la gravité de l'effet.

5) Les causes possibles

« Quelles sont les causes de ce mode de défaillance ? »

Ces causes proviennent des différents outils utilisés ultérieurement dans l'étape *Analyze* (l'arbre des causes, le diagramme d'Ishikawa, la matrice de cause à effet, les 5 pourquoi).

6) La fréquence

Cette colonne évalue la probabilité d'occurrence de la cause correspondante.

Cette évaluation se fait par le biais d'une note de un à dix.

7) Les moyens de contrôle actuels

Les moyens de contrôle peuvent être divisés en deux selon que celui-ci soit de la prévention ou de la détection.

« Quels sont les moyens ou procédures de contrôles existants qui permettent de prévenir ou détecter le mode de défaillance? »

8) La détection

« Dans quelle mesure ces moyens ou procédures permettent de prévenir ou détecter le dysfonctionnement ? »

La réponse est une note de un à dix.

9) Le score RPN

Le numéro de priorité des risques = la gravité x la fréquence x la détection

Ce score permet d'évaluer et de hiérarchiser les domaines qui nécessitent l'application d'actions correctives.

10) Les actions recommandées

L'étape *Improve* reviendra sur l'AMDEC afin de proposer des actions qui permettront de réduire le score RPN. Une fois les actions ciblées, la même démarche de calcul du RPN s'applique sur celles-ci. Il faut donc noter la gravité, la fréquence et la détection mais comme si l'action corrective était implémentée. Ceci permettra de mettre en évidence le différentiel de performance entre le processus actuel et le processus optimisé.

Voici le plan récapitulatif de cette étape *Analyze* avec l'ensemble des outils utilisés :

- 1) Stratifier le processus (analyse des Y)
 - a. Le diagramme de Pareto
- 2) Stratifier les données et identifier les problèmes spécifiques (analyse des Y)
 - a. La carte de contrôle
 - b. L'histogramme de fréquence

- c. La statistique descriptive
- 3) Développer les énoncés des problèmes
- 4) Identifier les causes profondes (analyse des X)
 - a. Le diagramme d'Ishikawa
 - b. La technique des 5 pourquoi
 - c. L'arbre des causes
- 5) Concevoir l'analyse de la vérification des causes (analyse de la relation entre les Y et les X)
 - a. La matrice cause-effet
- 6) Valider les causes profondes
 - a. L'AMDEC (FMEA)

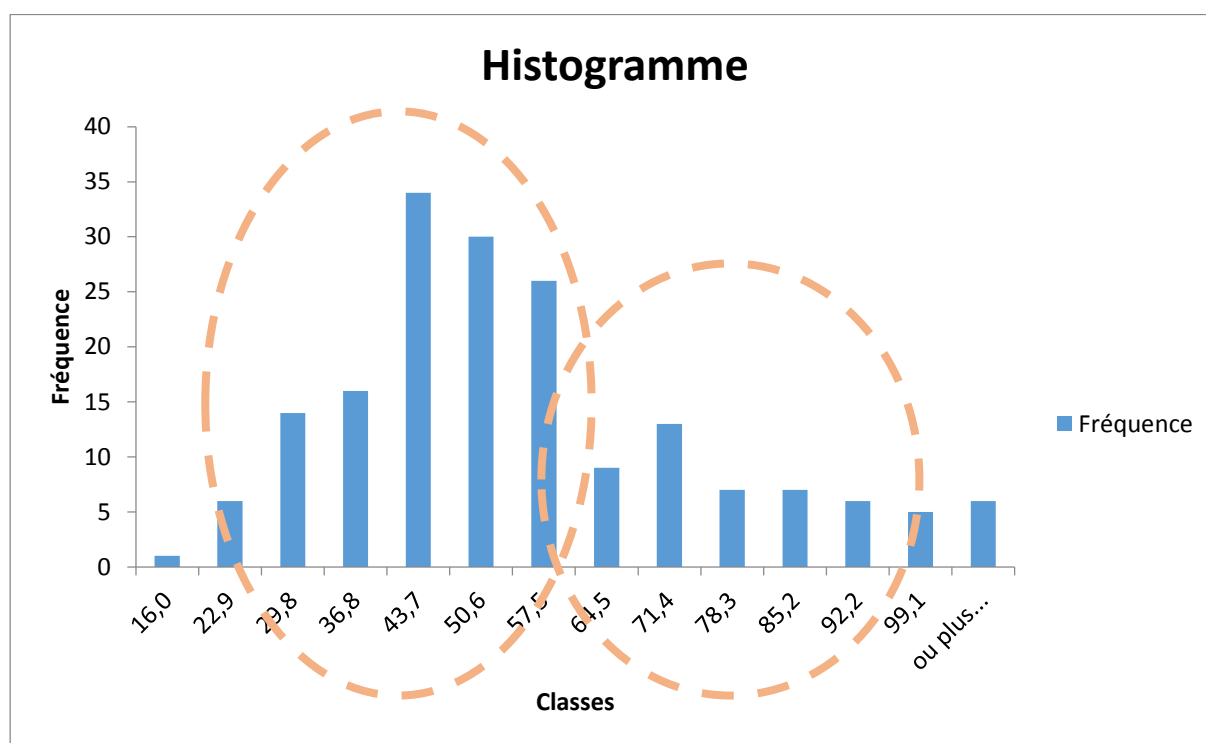
IV. MISE EN ŒUVRE DE CES OUTILS ET MÉTHODES

IV.1. STRATIFIER LE PROCESSUS

La stratification du processus et des données ne peut être menée que sur les relevés du niveau d'inventaire des *plates*. En effet, cette mesure est la seule dont le format des données permet cette stratification. La structure des autres données telles que les coûts de transport ou les coûts de *handling* ne le permettent pas. La raison est que ces informations sont stables à travers le temps, il est donc impossible de constituer un échantillon représentatif.

Avant d'entreprendre la réalisation du diagramme de Pareto, nous allons utiliser un histogramme des fréquences sur l'ensemble des relevés d'inventaire des *plates* afin de visualiser la tendance générale.

Figure 17: Histogramme de fréquence population



Cet histogramme de fréquences est réalisé sur les 180 observations du niveau d'inventaire de l'ensemble des *plates*, soit 11 mois de l'année 2013.

Sur ce graphique, On peut remarquer aisément que deux populations se distinguent l'une de l'autre. En effet, comme nous l'avons identifié lors de l'analyse du niveau d'inventaire des *plates* (voir figure 11), il y a des mois où le niveau d'inventaire est anormalement élevé. On avait effectivement mis en évidence que plus de sept points, à la suite, étaient supérieurs à la moyenne.

Pour que cette analyse soit la plus complète possible, il convient d'interroger les experts qui sont en mesure d'expliquer les causes de cette importante disparité.

La variabilité, de janvier à mi-octobre, est due au manque de maîtrise et de systématisation du processus d'approvisionnement et plus précisément dans l'appel des *plates*. En revanche, l'augmentation du niveau des inventaires, en fin d'année, peut être imputée à une ou plusieurs causes spécifiques.

Deux causes ont été mises en évidence :

- En fin d'année, les opérateurs essayent de rattraper leurs retards accumulés tout le long de l'année par rapport au plan de production.

L'approvisionnement, aujourd'hui, est d'une part basé sur ce que chaque opérateur doit encore produire. Les opérateurs encodent donc une quantité de pièces plus importantes dans la base de données, afin de rattraper ce retard. Mais tout à fait logiquement, ils ne parviennent pas toujours à souder ce qu'ils réclament. Ce qui engendre une accumulation de l'inventaire.

- Il faut aussi savoir que certains fournisseurs ferment en fin d'année. Les responsables de l'approvisionnement décident donc de se prémunir contre ces fermetures en augmentant considérablement le stock de chaque PN.

Ces explications, quant à la variabilité, nous confortent dans l'idée de diviser la population selon une période « significative » et une période de « consolidation de stock ».

Cette division de l'échantillon va permettre d'analyser en profondeur chaque période. Pour chacun des deux nouveaux échantillons, il sera intéressant d'observer sa position par rapport à sa moyenne et sa dispersion.

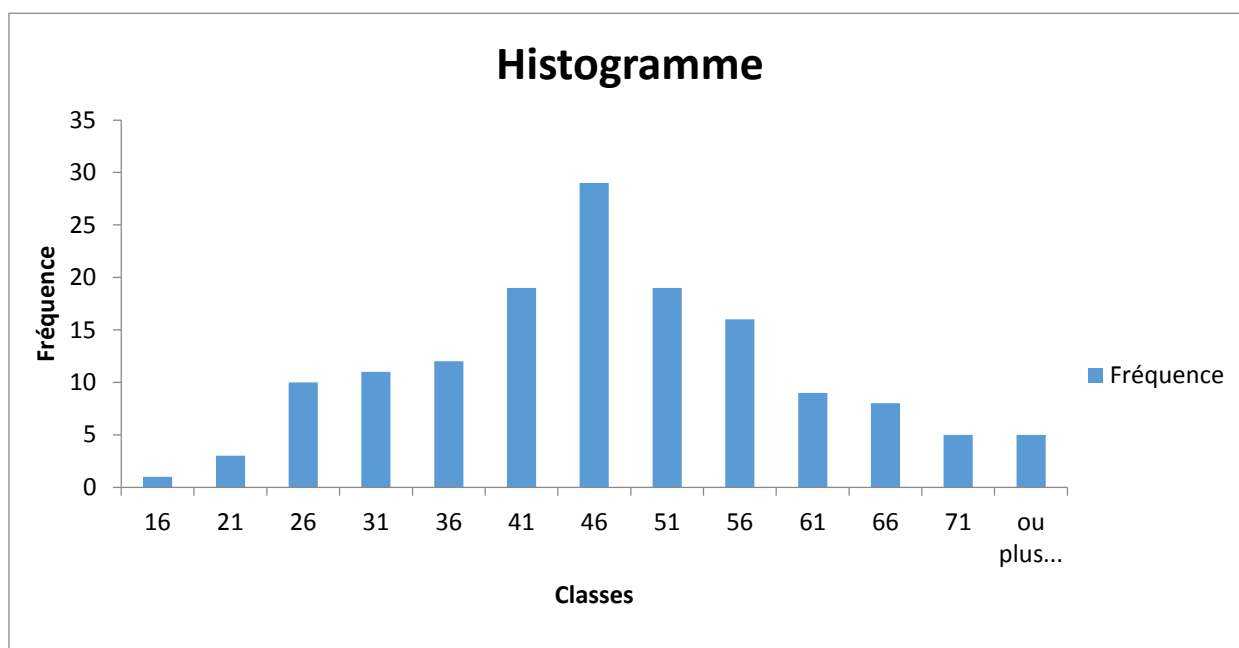
~ **Analyse de la période « significative »**

Dans un premier, nous allons analyser les résultats de la période « significative ».

- Identification de la forme de la distribution

Voici les l'histogramme des fréquences qui couvre la période « significative », soit de janvier à mi-octobre :

Figure 18: Histogramme période « significative »



A première vue, cette distribution semble tendre vers une loi normale. Mais on peut observer une certaine dispersion autour de la moyenne (classe 46 car la moyenne est de 45,04). En effet, les observations ne sont pas concentrées autour de la moyenne comme une loi normale. Ceci corrobore avec la variabilité mise en évidence grâce à la carte de contrôle lors de l'étape *Measure*.

- La position de la distribution par rapport à sa moyenne

La moyenne de l'échantillon est de 45,04. Comme il n'est pas possible de calculer la moyenne μ de la population sans la mesurer, on va utiliser un intervalle de confiance dans lequel il y a 95% de chance de trouver μ :

$$(45,04+2,18) > \mu > (45,04-2,18)$$

On a donc 95% de chance que la moyenne de notre population se situe entre 47,22 et 42,86. Cet intervalle de confiance a été calculé grâce à la statistique descriptive d'Excel.

On peut conclure que la distribution qui couvre la période « significative » est centrée sur sa moyenne.

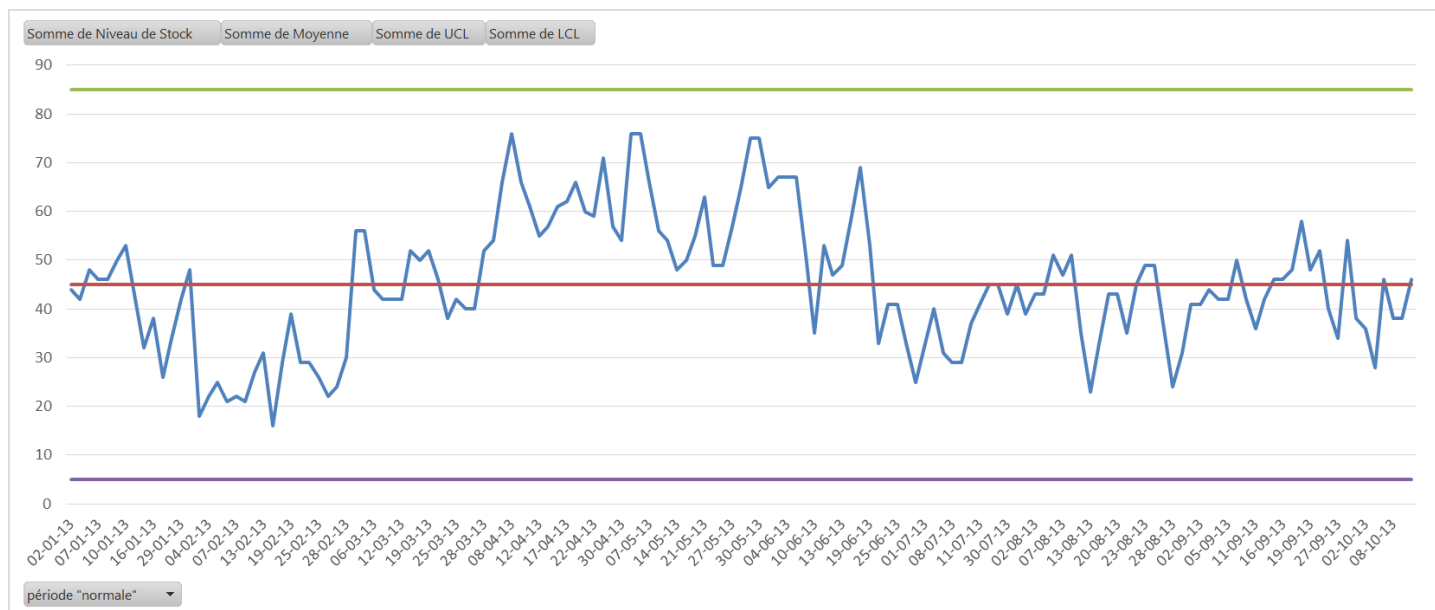
- La dispersion

Afin d'évaluer la dispersion d'une distribution, nous utilisons l'écart-type de l'échantillon.

L'écart-type de l'échantillon est de 13,36. Cet écart-type est très élevé proportionnellement à la moyenne. Il permet de confirmer l'histogramme des fréquences qui présente une importante dispersion autour de la moyenne.

Afin de pouvoir tirer des conclusions sur le processus d'approvisionnement des *plates* en période « significative », voici sa carte de contrôle :

Figure 19: Carte de contrôle période « significative »



Cette carte de contrôle confirme la variabilité du niveau d'inventaire des *plates*. Cette variabilité explique la dispersion de la distribution autour de sa moyenne, observée sur l'histogramme des fréquences présenté plus haut.

Cette analyse des données collectées lors de la phase *Measure*, a permis clairement de mettre en évidence un dysfonctionnement du processus étudié.

L'implémentation d'une solution d'amélioration doit permettre dans un premier temps, de réduire la variabilité du processus et dans un deuxième temps, une fois le processus maîtrisé, de déplacer sa moyenne.

En effet, il est vital de maîtriser le processus avant d'envisager de déplacer sa moyenne. L'inverse serait irrationnel car si l'on déplace en premier la moyenne avant de réduire sa variabilité, il est possible que le processus revienne à son état non-désiré d'origine.

Dans le cadre de ce projet, il faut donc réduire la dispersion de la distribution en modifiant le processus pour que les relevés des niveaux d'inventaire se concentrent fortement autour de la moyenne.

Une fois cette variabilité réduite, il faut envisager de réduire le stock de *plates* et donc de déplacer la moyenne de la population.

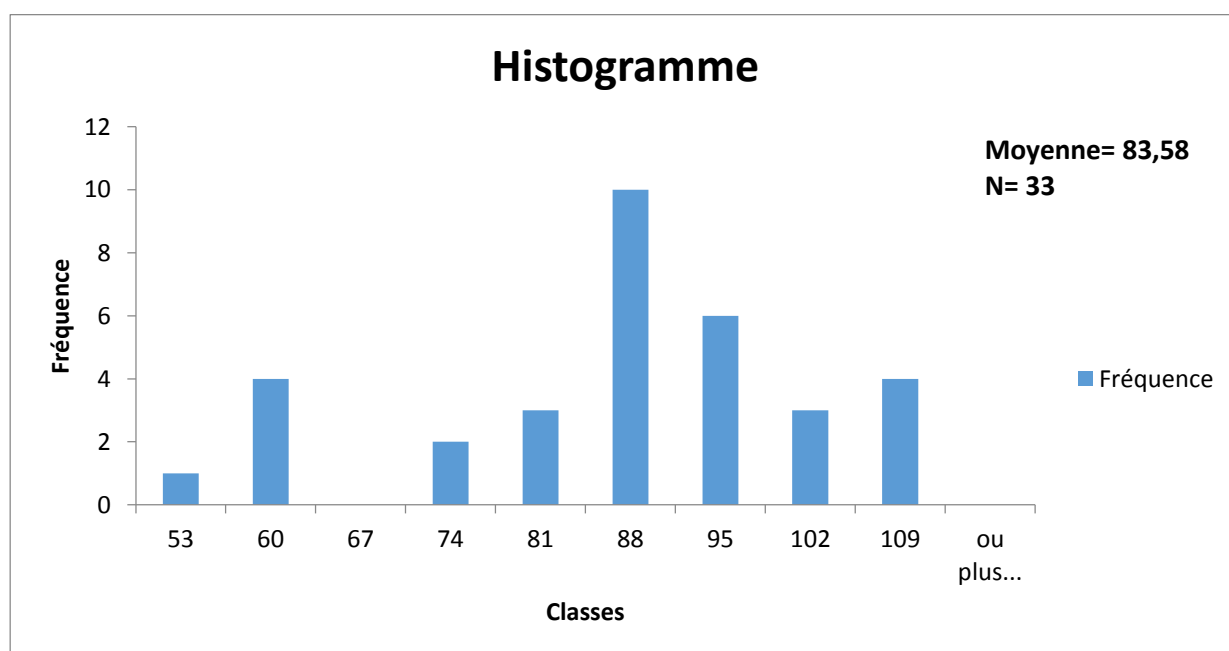
~ Analyse de la période de « consolidation »

Voici l'analyse des données sur la période de « consolidation ».

- Identification de la forme de la distribution

Voici l'histogramme des fréquences qui couvre la période de « consolidation », soit de mi-octobre à fin décembre :

Figure 20: Histogramme période « consolidation »



Cette distribution s'apparente moins à une loi normale que la distribution « significative ». De plus, l'échantillon est nettement moins important.

En revanche, la statistique descriptive ainsi que les deux histogrammes confirment l'hypothèse qu'il y a bien deux populations distinctes.

- La position de la distribution par rapport à sa moyenne

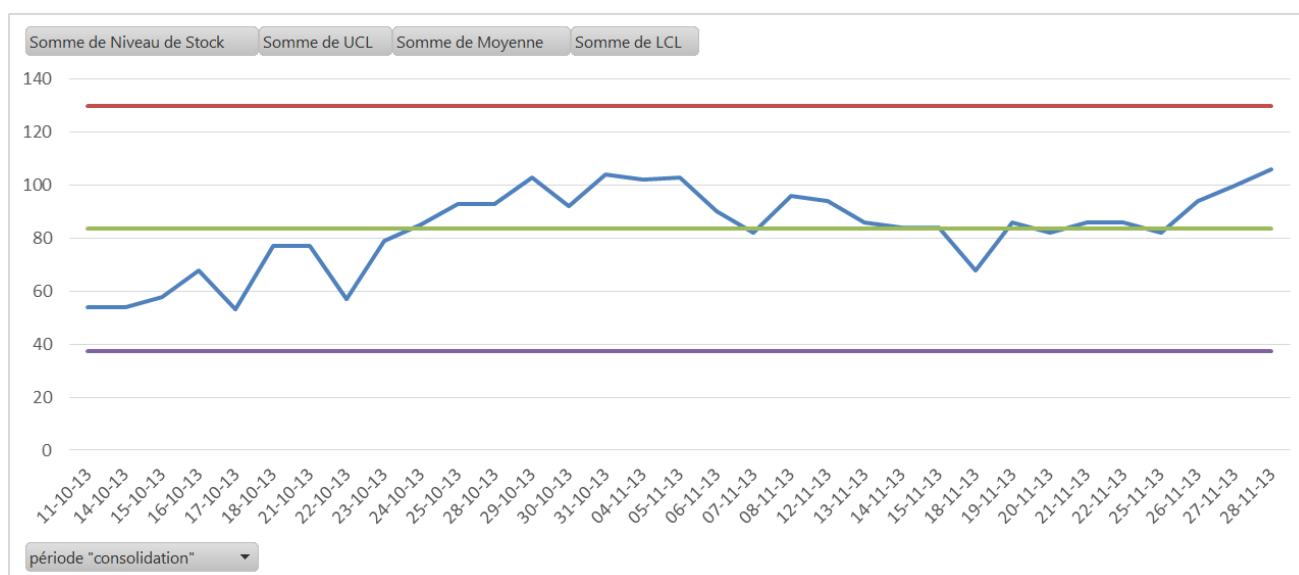
La moyenne de l'échantillon est de 83,58 *plates* en stock. L'intervalle de confiance à 95% de la moyenne est donc $89 > \mu > 78,11$.

On peut donc conclure grâce à l'histogramme et l'intervalle de confiance, que la distribution n'est pas parfaitement centrée sur sa moyenne. Cet échantillon n'est pas tout à fait représentatif de la population.

- La dispersion

En ce qui concerne la dispersion, l'écart-type est de 15,42. Cet écart-type est proportionnellement moins grand que celui de la distribution « significative ». Observons sa carte de contrôle :

Figure 21: Carte de contrôle période « consolidation »



On peut facilement observer que la variabilité est moins importante que pour l'autre distribution. Le processus se veut donc plus stable en période de « consolidation ».

Cette observation va à l'encontre de ce que nous aurions pu penser. En effet, instinctivement nous aurions pu croire que la période de consolidation des stocks présenterait une plus grande variabilité.

Cette conclusion montre bien que le processus d'approvisionnement des *plates* et plus précisément, le processus d'appel des *plates* n'est pas maîtrisé.

Etant donné que la moyenne est plus importante sur la période de « consolidation », il y a effectivement une plus grande opportunité d'amélioration sur cette période. Néanmoins, cette population ne représente que deux mois sur toute l'année, soit 33 observations.

L'objectif de ce projet est de pouvoir mettre en place un processus d'approvisionnement permettant d'assurer la maîtrise des stocks et ce sur toute l'année. Il n'est pas intéressant de développer un projet qui ne solutionnerait que 1/6 ème des problèmes. En revanche, il est vrai qu'à population égale, il est plus intéressant d'investiguer celle qui présente la plus grande moyenne.

Comme pour la période « significative », la solution d'optimisation du processus doit premièrement réduire la variabilité du processus d'appel des *plates*, pour ensuite réduire le stock lui-même.

Problème rencontré

Afin de réaliser un diagramme de Pareto, il est nécessaire, comme nous l'avons cité précédemment, de pouvoir définir des catégories pour y attribuer l'ensemble des données. Les catégories vont permettre d'expliquer la variable dépendante.

Dans le cadre de ce projet, la variable dépendante est le niveau de stock des *plates* de *lift-arm*. Afin de construire le diagramme, il faudrait pour chacune des observations, une variable qui justifierait ce niveau de stock. Cette variable pourrait-être des prévisions non-avérées ou encore un arrêt de la ligne et donc l'opérateur ne soude pas les *plates* approvisionnées.

Etant donné qu'aucune source d'information n'est en mesure de justifier la variable explicative, il est impossible d'attribuer chaque donnée à une catégorie bien définie.

Les informations nécessaires pour expliquer chaque niveau d'inventaire et donc réaliser le diagramme de Pareto, ne sont pas disponibles. En revanche, il est tout à fait possible de trouver l'ensemble des causes profondes d'un inventaire excédentaire et ce sans l'outil Pareto.

IV.2. STRATIFIER LES DONNÉES ET IDENTIFIER LES PROBLÈMES SPÉCIFIQUES

Malgré l'impossibilité de concevoir une analyse Pareto complète, la démarche de stratification du processus a permis d'une part, de définir clairement l'énoncé du problème et d'autre part, de tirer des conclusions sur le processus d'appel des *plates*.

Néanmoins, une nouvelle stratification des données peut être réalisée selon les différents modèles de *lift-arm* et ce sur la période « significative ». En effet, le fait de stratifier les données selon les différents modèles de *plates*, permet de mettre en évidence la variabilité de l'inventaire pour chaque *part number*.

Une fois le fichier des inventaires trié par modèle grâce au tableau dynamique, une analyse statistique, un histogramme de fréquences ainsi qu'une carte de contrôle peuvent être réalisés. Cette triple analyse descriptive permet de détecter d'éventuels dysfonctionnements tels qu'un écart-type anormalement élevé, des valeurs aberrantes ou encore des distributions qui ne suivent pas une loi normale.

Les annexes 8, 9 et 10 reprennent respectivement l'analyse statistique des inventaires de *plates* pour les *tack-weld* 966, 950, 980.

Les modèles 950 et 962 sont regroupés pour l'analyse étant donné que ces *plates* sont soudées sur la même *tack-weld*. La même démarche a été menée pour les modèles 966 et 972.

Ce regroupement est possible car l'objectif de notre analyse est de mettre en évidence une différence de variabilité de stock entre les modèles des trois *tack-weld*.

Les trois analyses présentent une grande dispersion autour de leur moyenne respective.

En ce qui concerne le modèle 950 (annexe 9), on peut observer que la distribution n'est pas centrée autour de sa moyenne de 13,05 et la dispersion est très importante. On peut donc en déduire que le processus d'appel des *plates* 950 et 962 présente une plus grande variabilité que les autres. Néanmoins, il faut être prudent quant aux conclusions ciblées car l'ensemble du processus d'approvisionnement des *plates*, présente les mêmes dysfonctionnements que nous avons mis en évidence précédemment.

L'objectif du diagramme de Pareto est de cibler le secteur qui est susceptible d'avoir l'impact financier le plus important dans un délai moindre ou avec des ressources minimales. Etant donné que ce projet vise l'amélioration générale du processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm*, il n'est pas nécessaire de cibler un type de pièce en particulier ou même une cause particulière.

Cet angle global d'attaque n'est possible que grâce à la configuration particulière du *layout* de la zone des *lift-arm*. En effet, un seul opérateur *manufacturing* soude toutes les *plates* sur les 3 *tack-weld* et tous ces composants sont stockés au même endroit. Si chaque *part number* avait

un flux distinct des autres, il ne serait pas possible d'appliquer un même projet sur l'ensemble des *plates*.

Pour ce qui est des autres indicateurs du processus comme les coûts logistiques, il est impossible de réaliser un diagramme de Pareto. La source d'informations concernant les MAPOU n'étant pas assez complète, le diagramme ne serait pas représentatif de la réalité. Il faut donc utiliser d'autres outils de la méthodologie DMAIC afin de pouvoir déterminer les causes profondes des dysfonctionnements du processus d'approvisionnement. Ces outils seront abordés ultérieurement.

L'ensemble des outils utilisés jusqu'ici (la statistique descriptive, l'histogramme des fréquences, l'évaluation des données lors de la phase *Measure*, etc...) ont permis d'identifier toute une série de problèmes spécifiques. Voici la liste des problèmes spécifiques identifiés jusqu'ici :

- Le processus d'appel des *plates* n'est pas maîtrisé
- Le stock d'inventaire des *plates* n'est pas maîtrisé
- Le FIFO n'est pas respecté dans le LDC
- Les coûts logistiques pour assurer l'approvisionnement des *plates* sont trop importants (manipulations, trajets, etc...)
- Le camion qui transporte les *plates* entre Oxy-Fleurus et Caterpillar n'est pas optimisé
- Le service de navette n'est pas efficace

Il est possible que certains problèmes spécifiques n'aient pas pu être identifiés à ce stade du projet. La méthodologie DMAIC est dynamique, chaque outil ou analyse évolue avec le projet lui-même.

IV.3. DÉVELOPPER LES ÉNONCÉS DES PROBLÈMES

Dans ce sous-chapitre, nous allons définir les énoncés des différents problèmes qui concernent le processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm*.

Ces énoncés permettront d'avoir une définition commune de tous les dysfonctionnements observés. Il est possible qu'un énoncé reprenne plusieurs problèmes spécifiques.

Voici les énoncés des différents dysfonctionnements du processus étudié :

~ **Le stock d'inventaire des Plates n'est pas maîtrisé**

Le niveau d'inventaire des *plates* de *lift-arm* est trop important. Mais au-delà du niveau, nous avons pu remarquer grâce à la carte de contrôle, une variabilité élevée du processus. L'écart-type est de 20,3 alors que la moyenne est de 52,1. Ceci montre bien l'importance de la variabilité du processus.

Un stock trop important induit des coûts tels que le coût d'opportunité, de désuétude, de détérioration, d'espace utilisé, d'entretien, administratif et dans certains cas, un coût d'assurance.

L'ensemble de ces coûts se répercute indirectement sur le prix d'une machine.

Si le niveau de stock est trop important et non maîtrisé, c'est un coût supplémentaire pour l'entreprise.

Le projet a donc pour objectif de réduire et surtout de maîtriser au maximum le stock des *plates* de *lift-arm*. Maîtriser ce stock passe par une revue complète du processus de commande des *plates* chez notre fournisseur.

~ **Les coûts logistiques trop élevés :**

L'ensemble du processus d'approvisionnement des *plates*, induit des coûts logistiques beaucoup trop élevés. En effet, sur chaque étape clé du processus, plusieurs actions ou activités sans valeur ajoutée impliquent des coûts logistiques supplémentaires.

Ces coûts excédentaires se répercutent forcément sur le coût final d'une structure *lift-arm*. C'est pourquoi ce projet vise à identifier l'ensemble des causes profondes de ces coûts excédentaires et de les éliminer afin de réduire le coût final de la structure.

~ **Le service de navette n'est pas efficace**

Le transport entre Oxy-Fleurus et Caterpillar tel qu'il est utilisé aujourd'hui n'est pas efficace en termes de coûts. La variabilité du tonnage des camions induit des coûts supplémentaires sur chaque pièce livrée.

Il est donc primordial de rationaliser le transport afin de réduire les coûts qui y sont directement rattachés.

IV.4. IDENTIFIER LES CAUSES PROFONDES

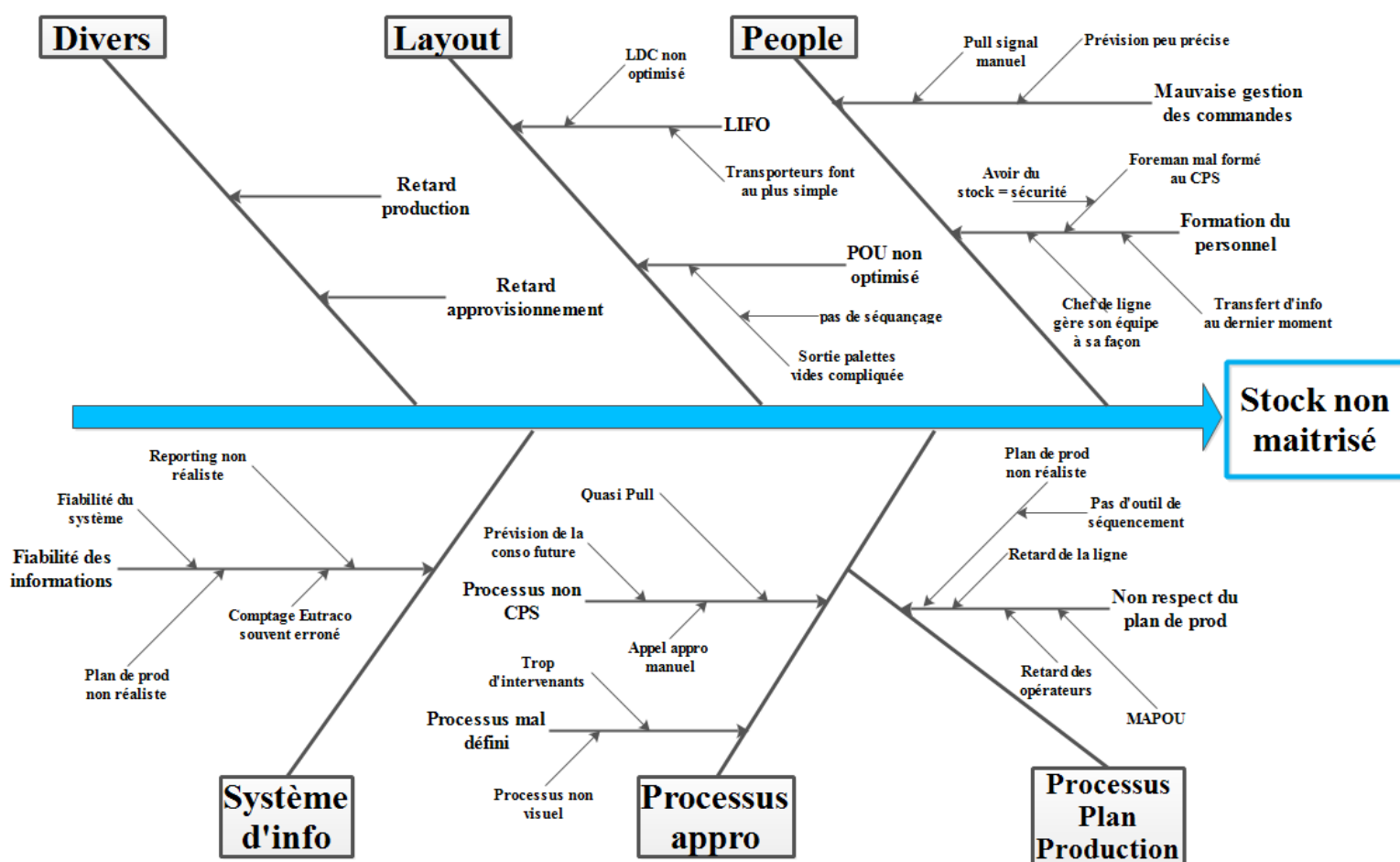
❖ LE DIAGRAMME D'ISHIKAWA

Afin que le diagramme soit le plus complet et le plus juste possible, il faut organiser un *brainstorming*, avec les experts, sur les causes possibles des différents dysfonctionnements du processus.

Les personnes convoquées pour la réalisation de cet outil sont ; Damerie Raphael (analyste logistique), Canivet Fabien (*Logistics Planing Engineer*), Leclercq Alan (*Material Planner*) et Beben Martin (*Project leader*).

~ Diagramme d'Ishikawa concernant le problème du stock non maîtrisé

Figure 22: Diagramme d'Ishikawa



Prenons par exemple la cause fondamentale processus d'approvisionnement.

Le stock non-maîtrisé est dû à un dysfonctionnement dans le processus d'approvisionnement. L'une des causes de ce dysfonctionnement est un processus d'appel mal défini. Cette méthode d'appel est mal définie car il implique trop d'intervenants et le processus de commande n'est absolument pas visuel.

Cet exemple met en évidence les relations de causes à effets au sein de ce diagramme en arêtes de poisson.

Le diagramme d'Ishikawa concernant les coûts logistiques élevés, se trouve en annexe 11. Le problème d'inefficacité du service de navette ne fera pas l'objet d'un diagramme d'Ishikawa car les causes profondes sont reprises dans l'analyse des coûts logistiques élevés.

Contrairement au diagramme de Pareto, celui d'Ishikawa permet d'intégrer plus facilement les facteurs humains ainsi que les interactions. Mais il permet aussi de hiérarchiser les différentes causes profondes selon leurs degrés d'importance dans le dysfonctionnement.

Le diagramme en arête de poisson permet d'avoir une bonne vision de la relation entre les différentes causes et leurs effets, soit entre les X et les Y du processus.

L'identification des causes profondes est l'une des étapes les plus importantes de la démarche DMAIC, c'est pourquoi il est nécessaire d'affiner cet outil par le biais de la technique des 5 pourquoi et de l'arbre des causes.

❖ LA TECHNIQUE DES 5 POURQUOI

Enoncé du problème : le stock des *plates* de *lift-arm* est non maîtrisé

- 1. Pourquoi** le stock est-il non maîtrisé?
 - Car le processus d'approvisionnement n'est pas optimisé.
- 2. Pourquoi** le processus n'est-il pas optimisé?
 - Car ce processus ne répond pas aux critères CPS.
- 3. Pourquoi** ce processus n'est-il pas CPS?
 - Car la méthode d'appel est fondée sur des prévisions non fiables et n'est pas systématisée mais manuelle.
- 4. Pourquoi** la méthode d'appel n'est-elle pas fiable?

- Car les prévisions faites par le *foreman* sont réalisées sur base d'informations non fiables et que le processus d'appel est mal défini.

5. Pourquoi les données ne sont-elles pas fiables et pourquoi le processus est-il mal défini?

- Car le *reporting* des informations (niveau de stock, plan de production,...) est très souvent erroné et qu'il y a trop d'intervenants entre la reconnaissance du besoin de *plates* et la réception de la commande chez Oxy-Fleurus.

A ce stade de l'analyse, il est déjà possible de proposer une intervention (un *quick win*) qui permettrait de prévenir la réapparition du problème.

En proposant une solution pour éradiquer la cause profonde, cela permet de vérifier que le fait d'implémenter une action prévient de la réapparition du problème principal ou non.

L'intervention qui semble la plus appropriée, pour éviter un *reporting* d'informations erronées, serait de fiabiliser toutes les informations qui permettent au *foreman* d'établir ses prévisions.

La question à se poser à ce stade est : « Est-ce que si le plan de production est remis à jour mais aussi que le comptage quotidien des stocks est juste, le stock de *plates* de *lift-arm* serait maîtrisé ? », la réponse est non. Ceci prouve l'existence d'autres causes profondes possibles.

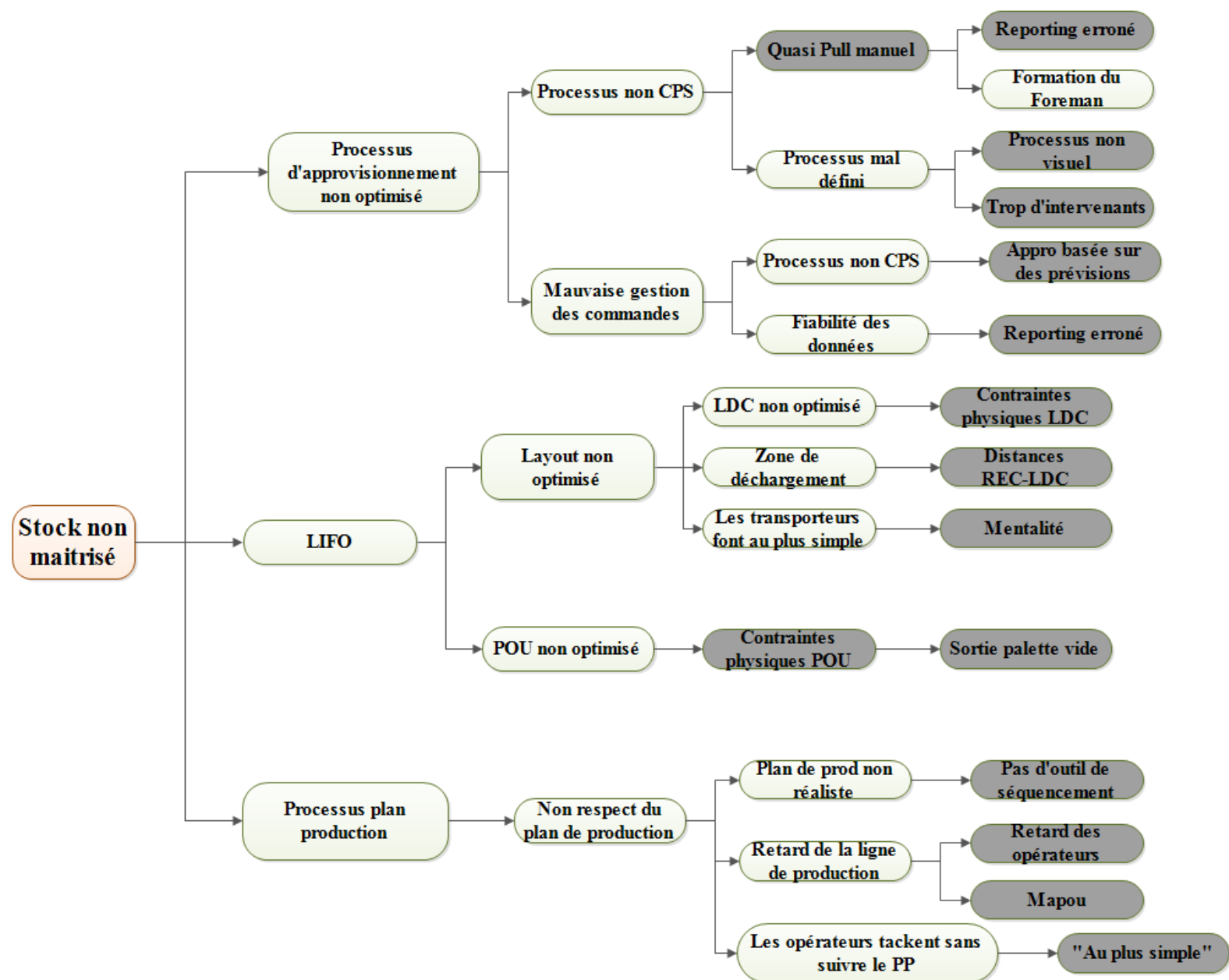
Cette technique des 5 pourquoi sera donc répétée plusieurs fois afin d'identifier l'ensemble des causes profondes. Toutes ces causes sont reprises dans l'arbre des causes ci-dessous.

La même technique a été utilisée pour l'arbre des causes des coûts logistiques élevés.

❖ L'ARBRE DES CAUSES

En réitérant la technique des cinq pourquoi, il est possible de compléter l'arbre des causes que voici :

Figure 23: Arbre des causes



Les cases grisées sont les causes profondes possibles qu'on a pu déterminer grâce à l'ensemble des outils présentés précédemment. Attention que le manque de formation ou l'inexistence de procédure écrite ne sont pas des causes profondes de dysfonctionnement. Mais déterminer les lacunes, en termes de connaissances ou de compétences, peut être une solution.

Nous pouvons conclure cette section en disant que les causes profondes possibles (les cases grisées) sont en fait, les variables explicatives $X_1, X_2, \dots$ qui influencent l'output du processus, soit le Y , ici le niveau du stock.

Prenons par exemple l'input des contraintes physiques du LDC :

Le stock de *plates* n'est pas maîtrisé car le FIFO n'est pas respecté sur ces composants. Le stock est en LIFO car le *layout* du bâtiment D et plus précisément le *layout* du LDC n'est pas optimisé. Il n'est pas optimisé car les contraintes physiques de cette zone ne le permettent pas (voir figure 10).

Les contraintes physiques du LDC qui ne permettent pas de respecter le FIFO, constituent donc l'une des causes profondes du manque de maîtrise du stock des *plates*

L'arbre des causes identifiant l'ensemble des causes profondes, se trouve en annexe 12.

IV.5. CONCEVOIR L'ANALYSE DE LA VÉRIFICATION DES CAUSES

Une fois les causes profondes potentielles définies, il faut identifier toutes les relations de causalité entre les inputs (X) et les outputs du processus (Y). L'objectif est clairement d'identifier les variables d'entrée qui ont la plus grande incidence sur la variable dépendante.

❖ LA MATRICE CAUSE-EFFET

La matrice cause-effet est un très bon moyen d'établir ces relations de causalité. De plus, elle permet de se préparer à l'AMDEC car elle intègre la VOC à l'analyse, afin de déterminer les endroits clés où il faut concentrer les efforts d'améliorations.

Cette matrice utilise la *process map* que nous avons défini dans la phase *Define*.

L'étape de détermination des causes profondes a pour but de distinguer tous les X influençant le résultat du processus Y . La matrice cause-effet, elle, tente de définir l'incidence de chaque X sur les Y .

La matrice cause-effet se trouve en annexe 13.

Il est désormais possible de localiser les quelques variables d'entrée clés sur lesquelles il faut concentrer nos efforts afin d'améliorer les résultats du processus.

Prenons l'exemple de la procédure d'appel. On peut observer que la méthode d'appel des *plates* est la cause qui influence le plus la satisfaction des CCR, avec un score de 130. Il est donc impératif d'optimiser cette procédure d'appel afin d'améliorer les résultats du processus.

Les causes de dysfonctionnement qui doivent être traitées en premier, sont surlignées en jaune.

IV.6. VALIDER LES CAUSES PROFONDES

❖ L'AMDEC (FMEA)

Certaines étapes doivent être menées en équipe. En effet, pour chaque cause profonde identifiée, il faut déterminer le niveau de gravité des effets de chaque mode de défaillance, la fréquence d'occurrence des causes de défaillance et la facilité de détection de celles-ci.

Pour chaque critère, il faut attribuer de façon collégiale une note de 1 à 10. Une matrice se trouve en annexe 14 afin d'aider à évaluer les différentes notes données.

Ensuite il faut calculer le score $RPN^{46} = \text{Gravité} \times \text{Occurrence} \times \text{Détection}$. Ce score permet d'établir les priorités de chaque mode de défaillance.

Des actions pour éliminer chaque cause profonde sont déjà proposées à ce stade du projet. En revanche, les actions menées ainsi que les nouveaux scores RPN ne seront abordés que lors l'étape *Improve*.

La matrice ci-dessous n'est donc pas tout à fait complète. Effectivement, il n'est pas possible à ce stade du projet DMAIC, de savoir exactement quelles actions seront menées. Ces actions dépendent directement de la solution qui sera sélectionnée lors de l'étape *Improve*.

⁴⁶ *Risk Priority Number* : l'indice de priorité du risque

Tableau 7 : AMDEC

Inventaire Oxy-Fleurus	Avoir un inventaire de Plates finis correspondant au besoin de la ligne de production CAT (prévisions)	Retard de production chez Oxy-Fleurus => Plates non disponibles	La commande sera repoussée jusqu'à ce que les bonnes Plates soient disponibles	7	Retard de la ligne de production du fournisseur / Changement en urgence de CAT	4	Prévisions à 3 jours et à 52 semaines / Imposition d'un stock de produits finis	Contrôle du respect des Shipdate	2	56	Communiquer un plan de production fiable à Oxy-Fleurus / Collaborer avec Oxy-Fleurus pour améliorer leurs flux / Fixer un Finished Goods inventory
		Les Plates ne correspondent pas au besoin			Les prévisions envoyées ne sont pas correctes / Erreur du fournisseur / Changement en urgence du Line Loading	2	Aucun	Aucun	9	126	
Passation de commande	Commander, au bon moment, les bonnes Plates en quantité pour la journée de production / Maitriser son inventaire	Trop de Plates	Augmentation du niveau d'inventaire des Plates	5	Processus d'appel non CPS / Reporting erroné / Appro basée sur des prévisions / Processus non visuel / Trop d'intervenants / Commandes passées au mauvais moment	9	Quasi Pull manuel	Comptage manuel	9	405	Processus d'appel automatisé en fonction de la consommation de la ligne /
		Plates manquantes	Non respect du PP	6	Processus d'appel non CPS / Reporting erroné / Appro basée sur des prévisions / Processus non visuel / Trop d'intervenants / Commandes passées au mauvais moment	2	Quasi Pull manuel	Line Checker	3	36	Approvisionnement séquentiel sur le PP / Réduire le nombre d'intervenants dans la
			Arrêt de la ligne	10		1				30	passation de commande (comptage, Foreman,...) /
		Mauvaises Plates	Non respect du PP	6	Processus d'appel non CPS / Reporting erroné / Appro basée sur des prévisions / Processus non visuel / Trop d'intervenants	3	Quasi Pull manuel	Line Checker	4	72	Fiabilisation des Reporting
			Arrêt de la ligne	10		1				40	
		Livraison en retard (past due)	Non respect du PP	6	Commandes passées au mauvais moment	7	Aucun	Aucun	6	252	Le Buffer de Plates doit couvrir au moins le temps de réponse d'Oxy-Fleurus
			Arrêt de la ligne	10		1				60	
Livraison	Livrer à temps les pièces conformes aux attentes, au plus près du POU et à un coût minimum	Livraison en retard (past due)	Non respect du PP	6	Commandes passées au mauvais moment	7	Aucun	Aucun	6	252	Le Buffer de Plates doit couvrir au moins le temps de réponse d'Oxy-Fleurus /
			Arrêt de la ligne	10		1				60	Fiabiliser le transport
		Transport non optimisé	Coûts de transport anormalement élevé	7	Partage du camion avec BAT E / Camions non optimisés / Flux avec Oxy-Fleurus non optimisés (navette)	9	Aucun	Aucun	9	567	Dédier une navette aux Plates L/A optimisées de 4 palettes (+/- une fois par jour)
		Trop de Handling	Mobilisation trop importante du cariste	2	FTE non optimisés / Arrivage camions non maîtrisés	6	Aucun	Aucun	8	96	Dédier des caristes par zone du BAT / système d'appel quand le camion est là
Rangement LDC	Avoir les palettes rangées dans le LDC de façon adaptée pour respecter le FIFO et avec un minimum de Handling (en sortie)	Rangement dans le LDC non efficient	Stockage à un autre endroit qui est oublié par la suite	6	Layout LDC non optimisé / Reporting de la localisation manquant / Manque d'espace	3	Aucun	MTS	6	108	Optimiser le LDC afin d'avoir la place suffisante pour respecter le FIFO
			LIFO	8	Layout LDC non optimisé	9	Aucun	Aucun	9	648	
		Palettes rangées et sorties au plus simple	LIFO	8	Layout LDC non optimisé / Palettes rangées et sorties au plus simple	7	Aucun	Aucun	9	504	Optimiser le LDC pour faciliter l'opérateur au FIFO
			Nombre de touches élevé	4	Layout LDC non optimisé	9	Aucun	Aucun	9	324	
		Trop de Handling	Mobilisation trop importante du cariste	2	Layout LDC non optimisé / Distance REC-LDC trop importante	9	Aucun	Aucun	9	162	Décharger le camion au plus proche du LDC optimisé
Mise au POU	Placer et enlever les palettes nécessaires au POU de façon sécurisée avec un minimum de Handling	Pas de séquençement des palettes au POU	Non respect du PP	4	Pas d'outil de séquençement	9	Aucun	Aucun	9	324	Séquencer les palettes au POU en fonction du PP fiable
		Trop de Handling	Sortie de palettes vides très couteux en touche et temps	4	Layout POU non optimisé / Palettes non séquençées	7	Aucun	Aucun	9	252	Optimiser le POU (double rangée, convoyeur,...)
			Mobilisation trop importante du cariste	2	Distance LDC-POU trop importante	9	Aucun	Aucun	9	162	Sûrer le LDC tout proche du POU
Mise des Plates dans la TW	Placer la bonne Plate au bon moment en toute sécurité avec un minimum de Handling	Manque de sécurité pour l'opérateur	Accident	10	La disposition des palettes au POU est à risque	1	Contrôle du responsable sécurité		2	20	Sécuriser le POU?
		Non respect du PP	Tous les effets liés au non respect du PP	6	Mentalité de l'opérateur "au plus facile" / Retard permanent de ligne de production	7	Challenger les opérateurs à la journée par leur chef de ligne	Reporting des retards opérateurs	8	336	Contraindre l'opérateur à suivre la séquence
		Trop de Handling	Mobilisation trop importante de l'opérateur	2	Plates difficilement accessibles au pont	2	Contrôle du responsable sécurité		2	8	Réduire la distance à parcourir entre les deux BOSS et jusqu'aux palettes

L'AMDEC peut aussi évoluer au cours du projet. La version définitive et complète se trouve en annexe 16.a et 16.b.

Grâce aux scores RPN, il est aisé de mettre en évidence les causes spécifiques à traiter avec priorité.

Nous allons analyser quelques modes de défaillance prioritaires afin de mieux comprendre le fonctionnement de cette matrice.

- Avec un score de 648, le premier mode de défaillance à traiter, est le respect du FIFO sur le stock de *plates*. La gravité est de huit, étant donné le coût élevé du composant. Etant donné que le *layout* de la zone de stockage ne permet de respecter le FIFO sur l'ensemble du stock, la fréquence d'occurrence est de neuf. De plus aucun contrôle n'est mis en place pour vérifier ce FIFO. Voici une photo du LDC des *plates* tel qu'il est aujourd'hui :

Figure 24: LDC des plates LIFO



Certaines *plates* se trouvant dans le fond du LDC ont été enregistrées en octobre 2012. Après vérification, on a pu conclure que de nombreuses *plates* sont aujourd'hui obsolètes. En effet, certaines modifications ont été apportées sur ces composants. Ces palettes sont donc inutilisables. Ceci représente un coût non négligeable pour Caterpillar. L'action recommandée est d'optimiser cette zone afin d'avoir la place suffisante pour respecter le FIFO.

- Les coûts de transports anormalement élevés sont aussi un mode de défaillance qu'il faut corriger en priorité (RPN=564). La proximité du fournisseur Oxy-Fleurus (11km) devrait permettre d'établir un flux d'approvisionnement optimisé avec ce fournisseur.

Le service de navette comme il est mis en place aujourd'hui induit plusieurs coûts superflus aux *plates*.

L'optimisation des camions permettrait de réduire le nombre de trajets à effectuer et donc les coûts de transport sur chaque *part number*.

Comme nous l'avons vu lors de la phase *Measure*, le service de navette présente une trop grande variabilité, que ce soit dans le tonnage des camions ou dans la fréquence à laquelle il approvisionne l'usine. Il est donc primordial de revoir le processus de transport dans sa globalité.

- L'augmentation du niveau de l'inventaire des *plates* fait aussi partie des dysfonctionnements à traiter en priorité (RNP=405).

Comme nous l'avons vu précédemment, le stock est beaucoup trop élevé. La variabilité du processus d'appel des pièces, sur base de prévisions, ne permet pas de commander seulement ce qu'il sera consommé par la ligne de production. Les causes sont explicitées dans l'AMDEC.

Un inventaire trop élevé n'est pas un mode de défaillance grave. En effet, il ne cause que différents coûts supplémentaires à Caterpillar, c'est pourquoi l'indice de gravité n'est que de cinq. En revanche, la fréquence est de neuf car ce stock est en permanence trop important.

En ce qui concerne les moyens de contrôle de ce processus d'appel, seul un comptage manuel souvent erroné permet de connaître le niveau de l'inventaire en interne.

Afin d'optimiser ce processus, il faut absolument réduire le nombre d'intervenants entre la reconnaissance du besoin des composants et le moment où la commande arrive chez Oxy-Fleurus.

L'approvisionnement en séquence, en fonction du plan de production, permettrait de ne commander que ce qu'il sera réellement consommé par la ligne de production des *lift-arm*.

L'objectif des solutions recommandées, est de réduire dans un premier temps la gravité des modes de défaillance, et dans un deuxième temps de réduire la probabilité d'occurrence des causes profondes. Enfin, la solution proposée doit aussi améliorer le processus de contrôle du mode de défaillance.

Certains modes de dysfonctionnement ayant un RPN plus faible ne constituent donc pas une priorité dans ce projet d'amélioration. Néanmoins, le contexte particulier de l'organisation offre une plus grande marge de manœuvre dans l'optimisation des flux. En effet, le plan industriel vise d'une part à redéfinir l'ensemble des flux internes et externes de l'usine. Il est donc possible que certaines actions soient prises afin de supprimer des modes de défaillances qui se ne sont pourtant pas prioritaires à traiter.

Chapitre 6 : Improve

I. OBJECTIFS

L'objectif de cette phase n'est pas seulement d'identifier, d'évaluer et de sélectionner la meilleure solution d'amélioration, mais aussi de développer et mettre en place un plan de gestion du changement à court et long terme.

Les changements induits, par l'implémentation d'un nouveau projet, nécessitent très souvent un suivi afin d'assister l'organisation dans sa transformation. Si aucune structure n'est mise en place pour assurer la gestion du changement, le système tend de lui-même à revenir à son état le plus stable. Cet état s'apparente très souvent à l'état d'origine.

Tous les systèmes sociaux ou mécaniques sont sujets à certaines formes d'entropie, qui peuvent être définies comme des tendances à la désorganisation. Il n'est pas rare d'observer que les parties prenantes d'un système organisationnel, ou même d'un processus, tendent à reprendre, plus ou moins rapidement, leurs anciennes habitudes, si aucune structure n'est mise en place pour assurer la transition.

C'est pourquoi, dès la phase *Improve*, il est nécessaire d'assurer une approche de gestion du changement. Néanmoins, la phase *Control* est encore plus orientée vers la pérennité du projet, comme nous le verrons plus loin.

L'objectif principal reste néanmoins, la génération de solutions adaptées aux causes profondes identifiées grâce à la phase *Analyze*. Ensuite un plan de mise en œuvre du changement permettra d'aider l'organisation à s'adapter aux changements découlant de l'implémentation des solutions.

II. OUTILS DISPONIBLES

Les outils proposés pour mener à bien la phase d'amélioration, s'articulent autour d'une méthodologie bien définie. La démarche complète de l'étape *Improve* sera décrite dans le sous-chapitre choix des outils et méthodes retenus.

La plupart des outils proposés par la démarche DMAIC pour l'étape *Improve* sont des techniques de génération de solutions en groupe :

- Le *brainstorming*
- Les mots aléatoires
- Le 6 *Thinking Hats*
- Le *Mind Mapping*
- Les diagrammes d'affinité
- La technique du groupe nominal
- La *Pugh Matrix*
- *Time Series*
- TPC⁴⁷ *Analysis*
- Outils statistiques (*Chi-Square Test*, régression linéaire,...)

III. CHOIX DES OUTILS ET MÉTHODES RETENUS

La démarche qui sera poursuivie est une démarche allégée de celle qui a été présentée dans les outils disponibles. En revanche, Le premier chapitre concernera l'élaboration d'une solution personnelle. En effet, il est important, dans le cadre de ce mémoire-projet, de proposer une solution élaborée d'une part, sur l'ensemble de l'analyse réalisée jusqu'ici (les étapes *Define*, *Measure* et *Analyze*) et d'autre part, sur une revue de la littérature ciblée.

Voici le plan complet de l'étape ainsi que tous les outils qui permettront d'atteindre les objectifs du projet :

III.1. ELABORATION D'UNE SOLUTION PERSONNELLE

Les outils présentés ci-dessous ont déjà tous fait l'objet d'une description complète lors des chapitres précédents. Néanmoins, l'élaboration de solution personnelle doit faire appel à toute une série de nouveaux concepts théoriques. Il sera donc pertinent de réaliser une revue de la littérature lors de ce chapitre, afin de proposer la solution la plus efficiente pour ce projet d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

⁴⁷ *Technical, Political, Cultural Analysis*: analyse technique, politique et culturelle

❖ **LA VSM**❖ **L'AMDEC**

L'AMDEC utilisée dans l'étape *Analyze*, sera complétée grâce à la solution proposée. Ceci permettra de mettre en évidence le différentiel de performance entre le processus actuel et la solution développée.

❖ **TOUS LES OUTILS UTILISÉS LORS DES ÉTAPES DEFINE, MEASURE ET ANALYZE**

L'ensemble des outils et techniques utilisés jusqu'ici doit permettre de développer une solution d'optimisation du processus étudié.

III.2. GÉNÉRATION DE SOLUTIONS AVEC TOUTES LES PARTIES PRENANTES DU PROJET

❖ **LES OBEYA**

L'*Obeya* est un concept japonais qui signifie « large pièce ». Ce concept, encore très peu utilisé en Europe, est une philosophie de gestion de projet. L'idée principale est de consacrer du temps et de l'espace à la résolution de problème en groupe.

Les objectifs du concept *Obeya* selon MacPherson (2013)⁴⁸, sont :

- La minimisation des barrières organisationnelles entre les participants
- S'assurer qu'il y ait une véritable prise de conscience collective de certains problèmes
- L'écoute des intérêts de chacun dans la résolution d'un problème
- L'apprentissage de nouveaux éléments inconnus pour certains
- La collaboration
- Faciliter la collaboration inter-fonctionnelle
- Etc...

L'*Obeya* va plus loin qu'une simple réunion, elle favorise la coordination, la stratégie et la flexibilité. De plus, ce concept est renforcé par l'expertise pluridisciplinaire des participants.

⁴⁸ MacPherson S., *Tearing Down the Walls to Achieve Breakthrough Performance*, <http://www.leanleadershipacademy.com/wp-content/uploads/2013/04/Obeya-Presentation-IW-April-2013.pdf>, 2013

❖ LE BRAINSTORMING

Caterpillar définit le *brainstorming* comme étant : «une méthode structurée pour générer, sans contrainte, des idées et des solutions en impliquant chacun au processus d'amélioration. »⁴⁹

Le *brainstorming* permet de produire, dans un laps de temps très court, de nombreuses idées et solutions sans contrainte. Ce processus de génération d'idées doit absolument être distinct du processus d'évaluation des solutions. C'est justement cette distinction qui permet de favoriser la pensée créative et ce, sans ressentir le poids d'un certain jugement par ailleurs.

Il faut savoir que le travail en groupe coûte cher à l'organisation, car il mobilise de nombreuses ressources. Ce type de séance doit donc être mené de façon efficace.

Pour être efficace, une séance de *brainstorming* doit réunir des parties prenantes de tous les horizons. En effet, si l'on se réfère à Pillet (2004): « Le principe de base en est de réunir un groupe pluridisciplinaire afin de provoquer une créativité par émulation. »⁵⁰

Une structure bien définie permet de générer ces idées en peu de temps:

- a. Formulation claire et écrite de l'objectif de l'étude
- b. Chaque participant prend quelques minutes pour réfléchir à la question et noter quelques idées
- c. L'animateur récolte ensuite les idées et les présente sur un tableau à la vue de tous
- d. Une fois que les participants ont pu assimiler l'ensemble des idées générées, il est conseillé de les encourager à émettre des idées supplémentaires jusqu'à épuisement des solutions
- e. Il faut ensuite lister et grouper les idées similaires
- f. Une discussion de la liste permet d'affiner certaines propositions avec des informations complémentaires
- g. Selon les séances, il convient d'accorder un ordre de priorité aux idées générées afin de pouvoir restreindre la liste des idées produites

La méthode du *brainstorming* est applicable à tout type de projet et facilite la conception de nombreux outils Lean 6 Sigma qui nécessitent une production rapide d'idées en groupe.

⁴⁹ Centre de formation Caterpillar, *Formation 6 Sigma Green Belt*, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt, Module GB 4.2, Slide 32

⁵⁰ Pillet M., *Six Sigma comment l'appliquer ?*, Paris, éditions d'organisation, 2004, pp. 273

III.3. EVALUER ET SÉLECTIONNER LES SOLUTIONS

La troisième étape de ce chapitre a pour objectif d'évaluer les différentes solutions qui ont été générées juste avant. Une fois ces solutions évaluées, il conviendra enfin de sélectionner le scénario le plus adapté aux objectifs stratégiques et opérationnels du projet.

L'outil qui semble le plus adapté à notre évaluation et sélection de solution, est la *Pugh Matrix*.

❖ LA PUGH MATRIX

Le docteur Stuart Pugh a développé en 1996 une méthodologie qui vise la synthèse et la sélection de solution. Cet outil, aussi appelé la convergence contrôlée, formalise le processus de prise de décision.

La *Pugh Matrix* permet de comparer plusieurs solutions selon des critères d'évaluation. Mais avant d'utiliser cet outil, il est nécessaire d'avoir restreint préalablement la liste des solutions produites par le groupe. En effet, évaluer la totalité des scénarios proposés, serait une dépense de temps et d'énergie inefficace.

L'intérêt principal de la *Pugh Matrix* est que c'est un outil dynamique. En effet, ce processus de synthèse et de sélection en plusieurs étapes, cherche à combiner les attributs les plus solides entre eux et aussi à éliminer ou améliorer les attributs les plus faibles des solutions évaluées.

Cet outil est dynamique car l'analyse, en profondeur, des forces et des faiblesses de tous les scénarios, mène le plus souvent à la création de scénarios nouveaux.

Voici un exemple de *Pugh Matrix* ainsi que les étapes de sa conception :

Tableau 8: *Pugh Matrix*

Pugh Matrix		Scenarios			
Critères d'évaluation	Importance rating	4) Conveyor between 2 bays	1) AS IS sequenced	2) Conveyor inside the bay	3) Conveyor along the alley
Respect de la séquence	5	=	-1	-1	-1
Modification du layout zone	3	=	1	1	-1
Space optimization (impact sur les autres zones)	3	=	1	0	1
Déplacement de l'opérateur	4	=	-1	-1	-1
Evacuation régulière des vidanges	2	=	1	0	0
Manipulation du cariste	4	=	-1	0	0
Gestion du Mix	2	=	0	0	0
Sécurité - LT dans la zone	4	=	0	1	1
Sécurité-convoyeur-encombrement	4	=	-1	0	0
Complexité chez Oxy-Fleurus	5	=	0	0	0
Somme des +					
Somme des -					
Somme des =					
Somme pondérée des +					
Somme pondérée des -					
Total			-9	-2	-5

~ Préparation à la première exécution de la *Pugh Matrix*

La première étape est d'évaluer selon différents critères prédéfinis chaque scénario. Pour cela plusieurs étapes sont nécessaires :

- Préparer la représentation des solutions. Cette étape souvent négligée, est pourtant le meilleur moyen de s'assurer que tout le monde a une vision claire des solutions à évaluer. Le devoir du *Project leader* est donc de proposer une description visuelle et simple de chaque solution. La représentation des solutions utilise des schémas, une description simple, des graphiques, etc...
- Les critères d'évaluation sont le produit de consensus de la part des participants. L'identification des critères d'évaluation se fait grâce aux CCR du processus que nous avons déterminé dans la phase *Measure*. Chaque critère se voit attribué ensuite une note d'importance entre un et cinq.

- c. Afin de pouvoir comparer les scénarios, il faut une situation de référence qui est appelée DATUM. Il est commun de choisir la situation AS IS comme référence pour la première exécution.

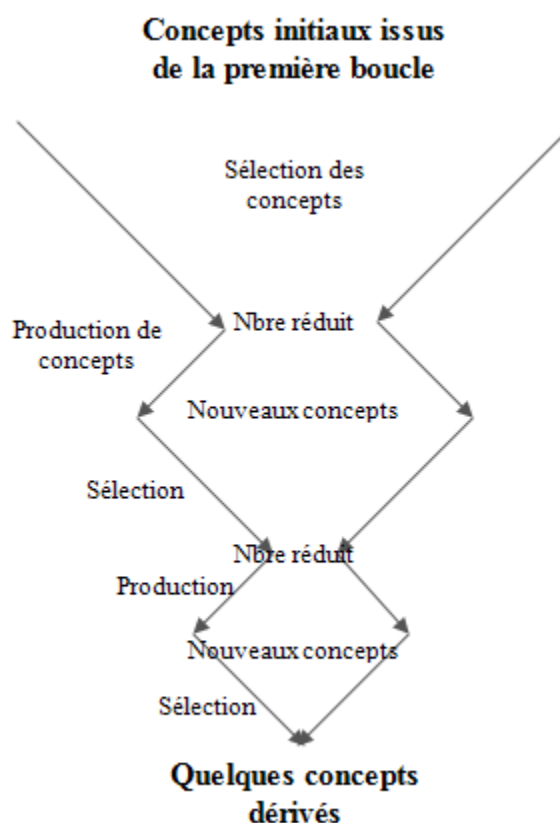
~ **La première exécution**

- a. L'évaluation des scénarios se fait à l'aide de + si la solution est clairement meilleure, de – si elle est moins performante et de = si c'est à peu près le même niveau de performance que la référence (DATUM). Chaque résultat est ensuite pondéré par le poids du critère en question.
- b. La somme pondérée, permet assez vite de repérer les forces et les faiblesses de chaque solution. L'objectif ensuite, est d'éliminer les faiblesses de chacun des scénarios, en se demandant : « Qu'est-il nécessaire, dans ce scénario, pour éliminer ses points négatifs, faiblesses par rapport à la référence ? ».
- c. Il est possible que de nouveaux scénarios naissent de l'élimination des faiblesses. Il faut donc intégrer ces nouveaux scénarios à la *Pugh Matrix*.
- d. Ensuite, on élimine les scénarios les plus faibles.
- e. Une solution devrait émerger comme étant celle qui présente le plus de forces. Ce scénario va servir de référence pour la deuxième exécution

~ **L'exécution de confirmation**

Dans le cas où un scénario présente clairement un avantage vis-à-vis des autres solutions, il faut procéder à un contrôle de convergence :

Figure 25: Convergence contrôlée



Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Black Belt, littérature donnée aux participants de la formation Black Belt

- Répéter la procédure mais en intégrant la solution qui présente le plus de points positifs, comme situation de référence.
- Si la solution est confirmée, cette solution est sélectionnée comme étant la meilleure solution.
- Si la solution n'est pas confirmée, il faut continuer à analyser et à améliorer les différents scénarios jusqu'à ce qu'une solution solide émerge.

III.4. DESCRIPTION COMPLÈTE DE LA SOLUTION SÉLECTIONNÉE

Ce chapitre a pour objectif de revenir en détail sur la solution qui a été sélectionnée. Ceci permettra, d'une part, de faciliter la compréhension du lecteur et d'autre part, de se préparer à l'étape *Control*.

Voici le récapitulatif de l'étape *Improve* :

- 1) Elaboration d'une solution personnelle

- a. Démarche DMAIC
 - b. Concepts mobilisés
 - c. Description complète de la solution proposée
 - d. AMDEC complétée
- 2) Générer des solutions avec toutes les parties prenantes du projet
- a. L'Obeya
 - b. Le *brainstorming*
- 3) Evaluer et sélectionner les solutions
- a. La *Pugh Matrix*
- 4) Description complète de la solution sélectionnée

IV. MISE EN ŒUVRE DE CES OUTILS ET MÉTHODES

IV.1. ELABORATION D'UNE SOLUTION PERSONNELLE

Comme nous le verrons, la méthode DMAIC 6 Sigma préconise le développement de solutions d'amélioration en groupe. Cette méthode permet d'impliquer un maximum de personnes qui sont concernées, de près ou de loin, par le projet. En effet, la méthodologie Lean 6 Sigma insiste fortement sur le fait d'impliquer toute l'organisation dans cette philosophie d'amélioration continue.

La génération d'idées en groupe permet aussi de bénéficier d'une diversité des points de vue sur la problématique. En effet, la diversité des personnes autour de la table, permet d'intégrer de nouvelles contraintes auxquelles nous n'aurions pas pensé. Une personne de la logistique aura plus tendance à penser à travers les flux ou le transport, alors que l'opérateur va penser aux nombres de manipulations qu'il doit faire pour apporter les pièces dans sa *tack-weld*.

Avant d'élaborer une quelconque solution, il était nécessaire de définir le cadre du projet, de mesurer le processus actuel et de l'analyser. Le fait d'avoir une vision détaillée du processus actuel mais surtout des causes profondes de dysfonctionnement, permet de cibler au mieux la revue de la littérature. Cette revue permettra de développer des concepts théoriques adaptés au projet d'amélioration.

Dans un objectif de maximisation de la plus-value apportée à l'organisation, j'ai donc décidé de proposer une solution personnelle adaptée en vue de réduire voire supprimer l'ensemble des différents dysfonctionnements du processus étudié. Cette solution serait le résultat du

croisement entre toute l'analyse qui a été réalisée jusqu'ici et une revue de la littérature ciblée sur l'ensemble de la problématique traitée.

L'intérêt de cette démarche est d'apporter un regard théorique et externe sur le projet. L'objectif de ce chapitre, est donc de soumettre la solution développée ici en tant que scénario à évaluer lors de la phase d'évaluation et de sélection des solutions.

Ce chapitre peut être divisé en trois parties :

❖ DÉMARCHE DMAIC

Avant même d'aborder les concepts théoriques mobilisés, il est important de revenir sur l'ensemble des résultats mis en évidence jusqu'ici par la démarche DMAIC.

Comme nous l'avons décrit au début de ce mémoire, la philosophie Lean 6 Sigma a pour finalité de réduire la variabilité et accroître l'efficacité d'un processus. Pour ce, il est impératif de supprimer toutes les sources de gaspillages et les causes profondes de dysfonctionnement.

Dans le cadre de ce projet Lean 6 Sigma, la méthodologie DMAIC a permis d'identifier plusieurs causes profondes de dysfonctionnement ou de gaspillage.

Toutes ces causes sont reprises par le diagramme d'Ishikawa, l'arbre des causes, l'AMDEC et la matrice cause-effet. Cependant, un récapitulatif de toutes les causes profondes de dysfonctionnement permettra de cibler au mieux les actions à mener pour chacune.

Voici les causes profondes de dysfonctionnement du processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm* :

- Le plan de production n'est pas respecté par l'opérateur *manufacturing*
- Manque d'information transmise au fournisseur
- Manque de fiabilité dans le peu d'information transmise
- Le processus de commande des *plates* est basé sur des prévisions souvent erronées, il n'est pas visuel et il implique trop d'intervenants, en résumé ce processus n'est pas CPS
- L'ensemble des flux du camion n'est pas optimisé, le taux de remplissage du camion est trop faible et variable
- Les *layout* du LDC et du POU ne sont pas optimisés
- Pas de séquençement des palettes

- La disposition des palettes au POU est à risque et non ergonomique
- Retard permanent de ligne de production et mentalité de l'opérateur « au plus facile »
- Points d'accroche des engins élévateurs difficilement accessibles

Pour mieux comprendre les liens de causalité entre ces causes profondes et leurs effets sur le processus et ses outputs, il faut se référer à l'AMDEC complète en annexe 16.a et 16.b.

Afin d'élaborer une solution efficiente qui comprendrait toute une série d'actions et de modifications à réaliser sur le processus, il faut mobiliser différents concepts théoriques et techniques.

❖ CONCEPTS MOBILISÉS

L'objectif de cette section est donc d'identifier et de mobiliser toute une série de concepts logistiques, de gestion de la production et de l'approvisionnement qui permettront de supprimer les causes profondes ou dans certains cas, de réduire leurs effets.

Afin de faciliter la compréhension du lecteur, ce chapitre suivra une structure particulière.

Selon l'AMDEC, les causes profondes seront regroupées sur base de leur mode de défaillance respectif. Ce chapitre sera donc décomposé selon les 5 modes défaillances qui présentent les scores RPN (dans l'AMDEC) les plus importants.

Après vérification, ces 5 modes de défaillance clés regroupent bien toutes les causes profondes qui ont été identifiées ci-dessus.

Pour chaque mode de défaillance, différents concepts théoriques ou techniques seront mobilisés afin de supprimer toutes les causes profondes.

Cette structure permet au lecteur de mieux cibler les solutions apportées.

Voici les 5 modes de défaillances identifiés dans l'AMDEC, qui reprennent toutes les causes profondes de dysfonctionnement du processus, selon leur indice de priorité:

~ **Le non-respect du FIFO (score RPN de 648)**

Ce mode de défaillance englobe différents éléments comme toutes les manipulations nécessaires pour respecter ce FIFO dans le LDC et au POU, la sortie des palettes vides au POU et le rangement des palettes dans le LDC.

La cause profonde de ces dysfonctionnements est le *layout* du LDC et du POU qui n'est pas optimisé. Comme nous l'avons vu précédemment, la disposition des palettes ainsi que les contraintes physiques de ces deux zones ne permettent pas de respecter le FIFO avec un minimum de manipulations pour le cariste.

⇒ **Les concepts mobilisés :**

a. Utilisation d'un convoyeur au POU

En ce qui concerne le POU des *plates*, l'utilisation d'un convoyeur permettrait de séquencer les palettes selon l'ordre du plan de production. Ce convoyeur permettrait de réduire le nombre de manipulations nécessaires au cariste pour évacuer une palette vide. Les aspects des manipulations et de la sécurité seront abordés plus loin.

L'utilisation d'un convoyeur au POU présente de nombreux avantages. En effet, si les palettes sont identifiées afin de permettre au cariste de les séquencer sur le convoyeur, la question du FIFO ne se pose plus.

Le convoyeur permet de déplacer des charges encombrantes et lourdes avec un minimum de manipulations. Une faible polarisation du convoyeur permettrait de faire avancer les palettes vers la fin du convoyeur lorsque le cariste évacue la première palette vide. Ceci assurerait à l'opérateur *manufacturing* d'avoir en continu les bonnes⁵¹ *plates* à sa disposition.

Il faut savoir que l'implémentation d'un convoyeur est peu coûteuse par rapport à la simplification que celle-ci apporte en termes de *handling*.

b. Suppression complète du stock de *plates*

Les objectifs de respect du FIFO dans le LDC et la réduction de l'inventaire de *plates*, nous laissent penser qu'il serait opportun de supprimer cette zone de stockage. En effet, la suppression complète du stock interne de *plates*, permettrait de supprimer de nombreuses causes profondes de dysfonctionnements.

L'optimisation du processus d'approvisionnement et la proximité du fournisseur sont deux éléments en faveur de la suppression totale de l'inventaire chez Caterpillar.

Nous avons envisagé lors de la réalisation de l'AMDEC, d'optimiser le *layout* de la zone LDC afin de permettre au cariste de respecter le FIFO sur l'ensemble des *plates* en stock. Le fait de

⁵¹ Les deux prochaines *plates* que l'opérateur doit souder selon le plan de production qui lui est communiqué

supprimer complètement l'inventaire permettrait d'une part, de ne devoir respecter le FIFO qu'au POU et d'autre part, de libérer une zone importante dans le bâtiment D.

Etant donné toutes les transformations dans le bâtiment D, dues au plan industriel, les m² disponibles sont comptés. L'implémentation de cette solution permettrait donc de réduire considérablement l'inventaire de *plates*, mais aussi de libérer la zone qui était occupée par celui-ci.

L'optimisation du processus d'approvisionnement et le partenariat à développer avec le fournisseur afin de pouvoir supprimer l'entièreté de l'inventaire seront abordés dans le point qui suit.

~ **L'inventaire de *Plates* n'est pas maîtrisé (score RPN de 405)**

Cet ensemble de causes profondes est traité avant les coûts élevés de transport car il permet de mieux comprendre toutes les implications sur les autres causes.

Ce mode de défaillance est le plus complexe à traiter car il englobe tout le processus d'approvisionnement des *plates*.

La maîtrise de l'inventaire implique toute une série d'éléments comme une nouvelle méthode d'appel des *plates*, un nouveau processus d'approvisionnement (Kanban, en séquence, etc...) et même, de nouvelles attentes en matière de partenariat entre le fournisseur et Caterpillar.

⇒ **Les concepts mobilisés :**

Les concepts mobilisés doivent permettre de réduire le nombre d'intervenants, d'appeler les *plates* au bon moment et sur base d'une demande réelle et fiable, de simplifier le processus d'approvisionnement en le rendant visuel, de réduire le niveau d'inventaire, etc...

Comme on peut le voir, l'objectif est réellement de supprimer les causes profondes de dysfonctionnement.

Voici les deux concepts qui vont nous permettre d'atteindre ces objectifs :

- a. La méthode d'approvisionnement en séquence ou synchrone (Mendy G. et Giard V.)⁵²

⁵² Mendy G. et Giard V., *Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*, université Paris Dauphine

Cette méthode est fondée en partie sur le principe de JIT⁵³, soit de commander en début de période, exactement ce qu'il sera consommé par la ligne de production sur cette période. La différence avec le JIT, c'est que l'approvisionnement se fait dans l'ordre exact dans lequel les composants seront utilisés au POU. L'approvisionnement suit donc une séquence définie par le plan de production de la ligne qui appelle les composants.

Ce processus d'approvisionnement permet de réduire considérablement les stocks chez le client car il ne commande que ce qu'il consommera sur cette période. De plus, aucun stock de sécurité sur les différents modèles, n'est nécessaire en interne.

La période couverte par la commande est proportionnelle à la proximité du fournisseur. En effet, plus le fournisseur est proche du client, plus courte sera cette période. Il n'est pas nécessaire de commander toute la séquence de production une fois par mois, alors que le fournisseur a un temps de réponse d'une journée.

L'une des conditions d'application de ce modèle, est une demande stable et définie à l'avance. Le client doit impérativement avoir un plan de production figé sur la période que nous avons évoquée.

Etant donné que Caterpillar ne produit que des machines déjà vendues, il existe effectivement un plan de production qui couvre plusieurs semaines de production. Ce plan est utilisé au niveau du POU des *lift-arm*, afin de suivre une séquence bien définie de modèles à souder. Le problème avec ce plan, c'est qu'il n'est pas respecté à la lettre. Dès lors, il est impossible de définir une séquence de production correcte à approvisionner. Ce point sera traité plus loin.

La proximité du fournisseur permet de minimiser la période sur laquelle il faut figer la séquence de production. En effet, il ne serait pas efficace d'approvisionner en une fois, une séquence qui couvrirait une semaine de production.

Si l'on veut supprimer complètement le stock de *plates* en interne, il faut commander quotidiennement ce qui sera consommé dans la journée même. En d'autres termes, il faut communiquer chaque jour la séquence au fournisseur. Pour atteindre l'objectif de « zéro stock », cette séquence ne doit donc couvrir qu'une courte période de production.

⁵³ *Just In Time* : méthode de gestion de l'approvisionnement qui a pour objectif de ne produire ou approvisionner que ce qu'il sera réellement consommé

Ce processus d'approvisionnement exige donc une plus grande flexibilité du fournisseur. Chaque jour il doit être prêt à envoyer une séquence de 12 *plates* différentes.

L'inconvénient majeur de ce processus d'approvisionnement en séquence, est qu'il faut que le fournisseur constitue plusieurs stocks de sécurité sur chaque modèle afin de pouvoir répondre rapidement à la demande de Caterpillar. En effet, si la séquence de production est communiquée au matin pour être livrée dans la journée, le fournisseur n'a aucune visibilité, ce qui induit toute une série d'incertitudes. Cette méthode d'approvisionnement en séquence ne fait que déplacer le stock de Caterpillar chez le fournisseur.

Afin de palier à cette rigueur pour le fournisseur, nous allons introduire le concept de production synchrone.

b. La production synchrone

La production synchrone est fondée sur le même principe que l'approvisionnement en séquence mais la différence réside dans la communication le plus tôt possible d'une séquence gelée. Au lieu de communiquer la séquence à produire au fournisseur quelques heures avant la livraison, celle-ci est envoyée au plus tôt par le client et elle couvre une plus longue période de production. Selon Vincent Giard et Gisèle Mendy : « *Les informations fournies permettent alors au fournisseur d'agir plus en amont dans sa production et de mieux la rationaliser compte tenu de la réduction d'incertitude. On peut parler alors de production synchrone, dans la mesure où les informations partagées par le client et le fournisseur permettent aux deux parties de produire exactement ce qui est demandé.* »⁵⁴

Cette citation permet de décrire très clairement l'étendue de la production synchrone.

Afin de mieux comprendre l'impact de la production synchrone chez le fournisseur, voici quelques explications :

Avant tout, il est important de distinguer deux types de production ; la production à la commande et la production pour stock.

La production à la demande suppose une commande ferme du client avant toute production.

La production pour stock se base sur une demande prévisionnelle, comme c'est le cas aujourd'hui pour les *plates* de *lift-arm*.

La production pour stock engendre une triple incertitude:

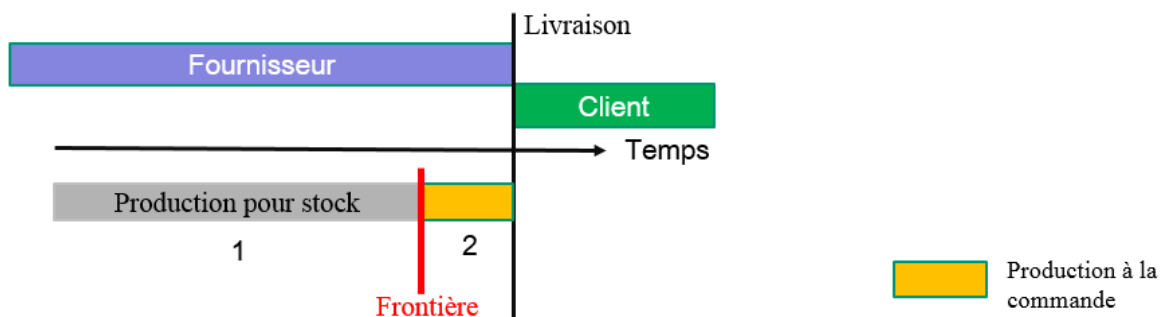
1. Quantité commandée

⁵⁴ Mendy G. et Giard V., *Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*, université Paris Dauphine, pp. 7

2. Date de la commande
3. Concrétisation de la commande

Si l'on regarde de plus près le processus, on peut schématiser la supply chain comme ceci :

Figure 26: Processus de commande



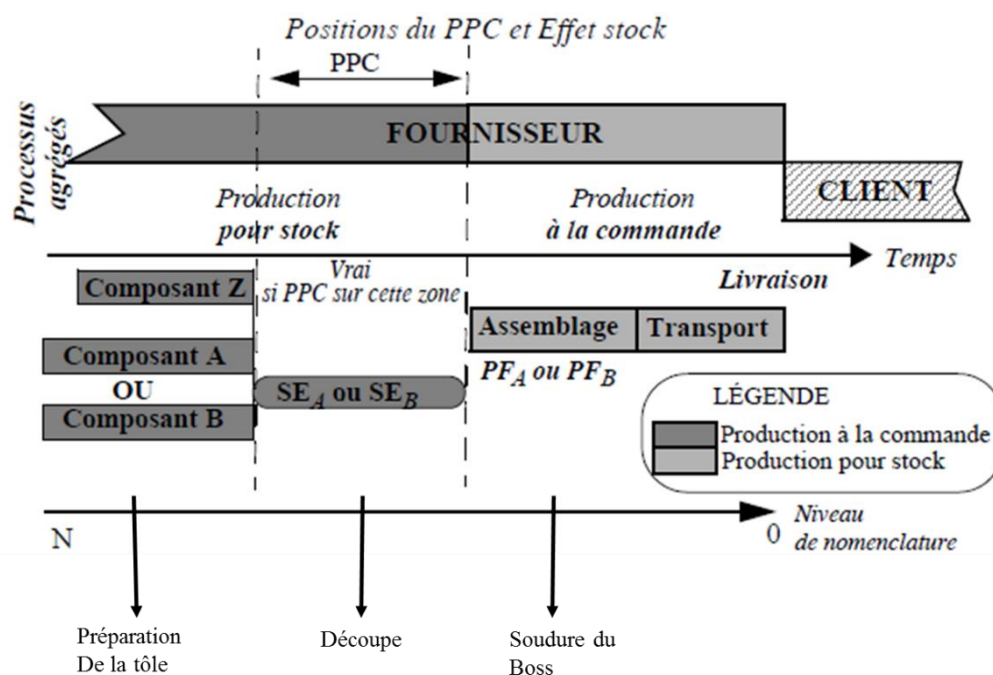
En 1, les ordres de fabrication (OF) sont créés par un service de planning sur la base d'un ensemble cohérent de prévisions. En 2, ces OF sont lancés sur la base de commandes fermes de la part du client.

La frontière représente le moment où la commande ferme est passée par le client. A partir de ce moment, la triple incertitude disparaît, car le fournisseur est certain de produire ce qu'il vendra. Cette frontière représente le point de pénétration de commande (PPC).

L'objectif de la production synchrone est de tirer cette frontière le plus en amont possible du processus fournisseur. Au plutôt le fournisseur possède un plan de production gelé, au mieux il pourra rationaliser sa production compte tenu de la réduction de l'incertitude.

Voici un schéma qui illustre le processus d'approvisionnement tel qu'il est aujourd'hui (basé sur des prévisions)⁵⁵ :

Figure 27: PPC actuel



Source : Mendy G. et Giard V., *Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*, université Paris Dauphine, pp. 12

Cette figure illustre le principe de PPC.

En réalité chez Oxy-Fleurus, la soudure des boss⁵⁶ sur les plates se fait avant la commande quotidienne de Caterpillar (le PPC). En effet, le manque de visibilité du fournisseur sur ce que Caterpillar commandera, lui impose de constituer d'énormes stocks de produits finis.

Dans le processus actuel, la commande ferme n'est confirmée qu'au matin pour la livraison de l'après-midi. On peut donc conclure que la triple incertitude porte sur presque l'entièreté du processus fournisseur. Cela signifie qu'il doit constituer des stocks de sécurité à chaque étape de son processus et sur tous les modèles commandés par Caterpillar.

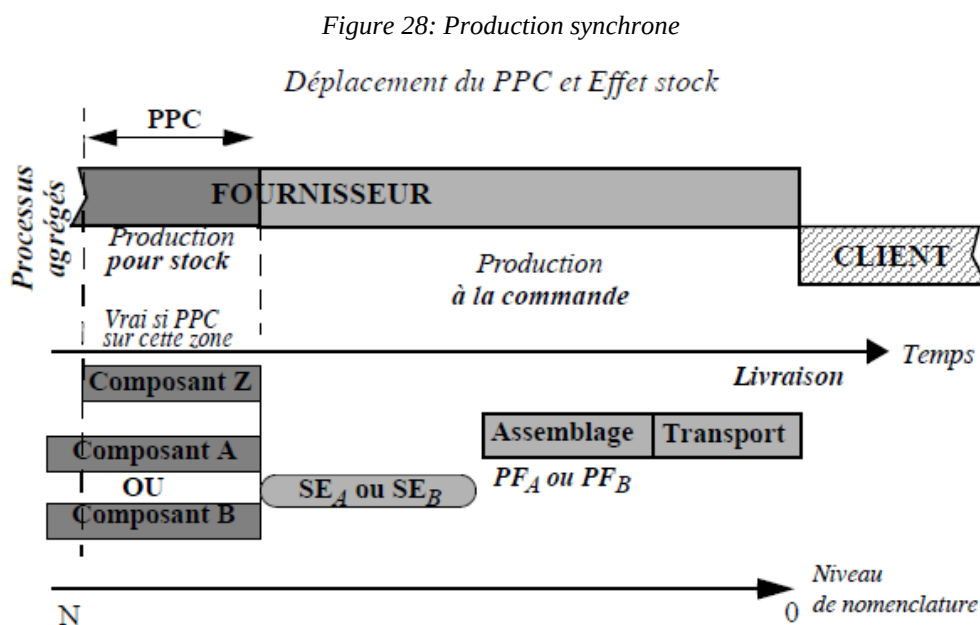
Le fait de communiquer au fournisseur un plan de production fiable aussitôt que le client le peut, permettrait de reculer le PPC plus en amont de la production du fournisseur. Le plan de production représente la séquence de production qui couvre une période donnée. Plus le client

⁵⁵ Vincent Giard et Gisèle Mendy, *Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*, Lamsade, université Paris Dauphine, Page 12.

⁵⁶ Renforts métalliques qui viennent se souder de chaque côté de plate au niveau des orifices

peut figer une séquence sur une longue période, plus le PPC recule sur le processus du fournisseur.

Ce graphique illustre très bien le principe de production synchrone :



Source : Mendy G. et Giard V., *Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*, université Paris Dauphine, pp. 12

On peut voir que la production à la commande, sans incertitude, couvre un plus grand nombre d'étapes du processus fournisseur. Le fournisseur peut donc supprimer certains stocks de sécurité sur ces étapes.

La production synchrone permet donc au fournisseur de prendre plus de décisions en univers certain.

Ce concept théorique est tout à fait applicable au projet d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*. De plus, il constitue un argument clé dans l'établissement d'un partenariat avec Oxy-Fleurus. En effet, les gains pour le fournisseur sont prouvés.

La production synchrone va de pair avec l'approvisionnement en séquence.

Caterpillar s'engagerait donc à communiquer son plan de production⁵⁷ fiable qui serait une séquence qui couvre 20 jours de production (chez Caterpillar). Un exemple de plan de

⁵⁷ Ce plan de production est identique à celui utilisé par la ligne de production des *lift-arm*

production qui serait communiqué à Oxy-Fleurus se trouve en annexe 15. Ce plan reprendrait le modèle des *plates*, leurs *part number* ainsi qu'une date purement informative car on ne sait pas quand Caterpillar appellera les *plates*.

Ce plan permet donc à Oxy-Fleurus d'assurer un approvisionnement en séquence quotidien, des *plates* nécessaires à la production journalière.

Pour assurer ce nouveau processus d'approvisionnement, il faut revoir la méthode d'appel des *plates*.

c. La méthode d'appel des *plates*

Le « zéro stock » implique de n'approvisionner que ce qui sera consommé dans la journée. De plus, la taille du convoyeur, contraint le nombre de palettes en ligne. Il est donc impératif de mettre en place une méthode d'appel des *plates* qui assure l'objectif « zéro stock ».

Le convoyeur permet de mettre en place un système de *trigger*⁵⁸ qui, lorsque six palettes sont consommées, déclenche l'appel des six prochaines palettes du plan de production chez Oxy-Fleurus.

A chaque palette⁵⁹ consommée par l'opérateur *manufacturing*, le cariste vient évacuer la palette vide du convoyeur. Ceci permet de libérer un emplacement sur le convoyeur. Une fois que six emplacements sont libres, un signal est envoyé au fournisseur pour qu'il envoie les six prochaines palettes du plan de production. Le *trigger* serait un détecteur de présence sur le convoyeur.

~ Les coûts de transport trop élevés (score RPN de 567)

Nous avons déjà abordé plusieurs fois les coûts excessifs d'un transport non-optimisé. Le fait de fixer le *trigger* d'appel lorsque six palettes sont consommées, permet d'appeler un camion qui sera forcément rempli à plus de 95%. En effet, les six palettes couvrent l'ensemble de l'espace disponible au sol du camion.

L'appel des *plates* à un moment variable mais avec une quantité fixe permet d'optimiser l'utilisation du camion et donc de réduire le coût transport sur chaque *plate*.

Le fait de dédier un camion aux *plates* de *lift-arm* permet d'éviter que ce camion fasse un double arrêt aux bâtiments E et D. Ceci réduit donc les temps d'attentes du chauffeur et donc le temps

⁵⁸ Déclencheur automatique

⁵⁹ Une palette peut contenir 4 *plates* de *lift-arm*, soit deux machines

nécessaire pour faire une boucle entre le fournisseur et Caterpillar. Le temps de réponse du fournisseur se voit donc réduit aussi.

~ **Non-respect du plan de production (score RPN de 336)**

Il faut savoir que l'opérateur *manufacturing* ne respecte pas le plan de production à la machine près. Etant donné qu'un seul opérateur soude tous les *lift-arm* sur trois postes différents (*tack-weld*) et qu'il a à sa disposition toutes les *plates* pour deux jours de production, il soude tous les modèles identiques à la suite.

L'opérateur soude tous les modèles identiques à la suite car le fait de suivre le plan de production le contraint à devoir déplacer son équipement sur un autre poste de travail à chaque fois que le modèle de *plates* change.

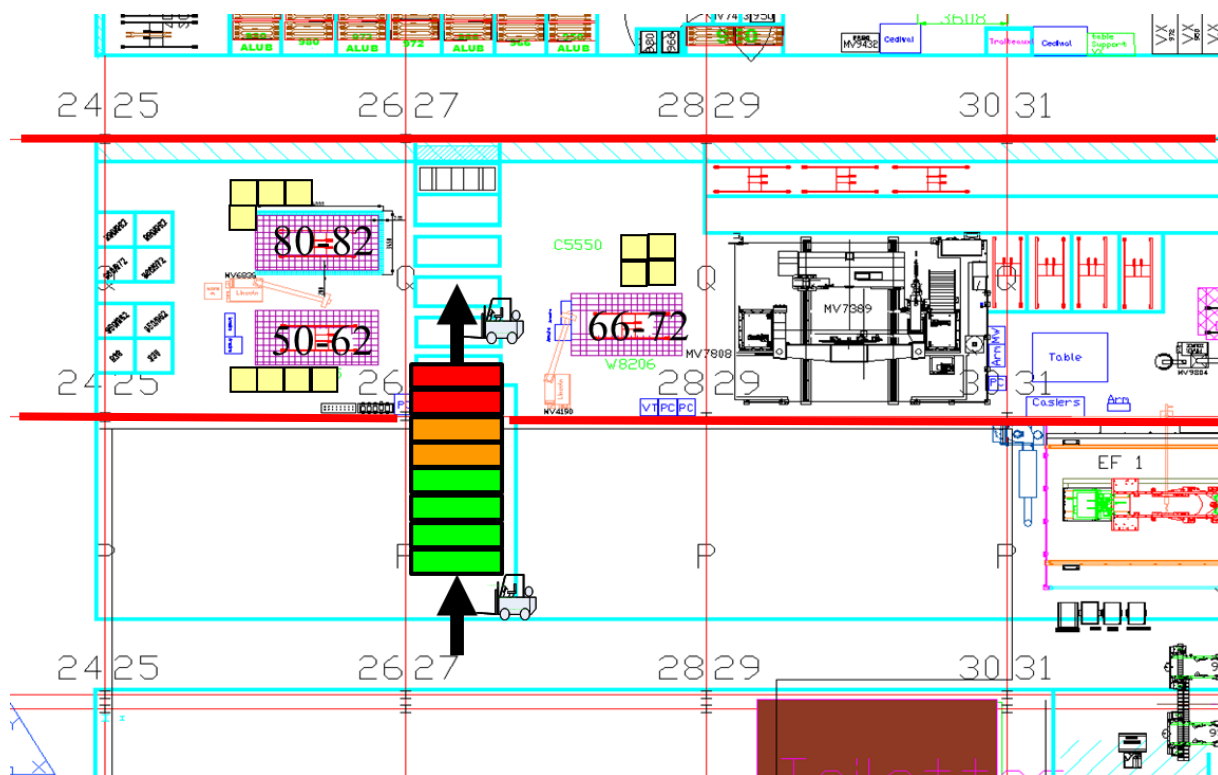
L'autre raison est que certains modèles de *lift-arm* sont plus faciles à souder que d'autres. L'opérateur de l'équipe du matin soude donc tous les modèles les plus faciles à la suite et laisse les plus compliqués à son camarade de l'après-midi.

L'utilisation d'un convoyeur permet de contraindre quelque peu l'opérateur à souder les *plates* de la dernière palette. Si ce convoyeur se trouve entièrement sous son pont de levage, il peut très bien prélever les *plates* d'une palette se trouvant au milieu du convoyeur afin de se faciliter la tâche.

Afin d'assurer le respect du plan de production et de faciliter la sortie de la palette vide du convoyeur, il serait efficient de déplacer ce convoyeur afin que seules les deux dernières palettes du convoyeur soient accessibles avec le pont de levage. L'opérateur serait donc contraint de respecter la séquence définie par le plan et par le convoyeur.

Voici le plan du POU des *lift-arm* avec l'implémentation du convoyeur qui ne se trouve pas entièrement sous le pont de levage :

Figure 29: Layout POU lift-arm



Le pont de levage est limité par les deux bornes rouges tout le long de la figure.

On peut observer que seules les *plates* des 2 palettes en rouge sur le convoyeur sont accessibles par le pont de levage.

Ce plan permet de mieux comprendre l'ensemble des concepts proposés jusqu'ici.

On peut en effet, observer le *trigger* d'appel des *plates* qui se déclenche lorsqu'il ne reste plus que 2 palettes sur le convoyeur (zone rouge du convoyeur).

Les trois *tack-weld* sont les carrés quadrillés mauves sur lequel sont identifiés les différents modèles de *plates* qui y sont soudés.

~ Trop de manipulations et de touches (score RPN de 324)

Le processus actuel exige beaucoup trop de manipulations pour approvisionner l'ensemble des composants et pour évacuer les vidanges au point d'utilisation.

Le « zéro stock » permet déjà d'éliminer toutes les manipulations entre la réception des six palettes et la mise au POU.

L'utilisation du convoyeur permet de réduire considérablement le nombre de manipulations pour évacuer les vidanges. Dans la situation actuelle, il n'est pas rare que le cariste doive déplacer plusieurs charges au POU avant de pouvoir atteindre la palette vide.

La méthode d'appel proposée ci-dessus permet de ne mobiliser le cariste qu'une seule fois par jour pour les palettes, ce qui réduit le nombre de trajets à vide du *lift-truck*.

En ce qui concerne l'ergonomie de travail et la sécurité au POU, le convoyeur permet de surélever les *plates* par rapport au sol. Ceci permet de faciliter l'accès de l'opérateur aux deux points d'accroches du pont de levage sur la *plate*.

Le convoyeur permet aussi de concentrer toutes les *plates* sur une zone réduite car il n'y a aucun espace entre les palettes grâce à la polarisation du convoyeur. Comme on peut l'observer sur le plan ici plus haut, la zone est plus dégagée qu'avec l'ensemble des palettes au sol et au milieu des postes de travail comme on peut l'observer sur la photo du POU actuel en annexe 3.

❖ DESCRIPTION COMPLÈTE DE LA SOLUTION PROPOSÉE

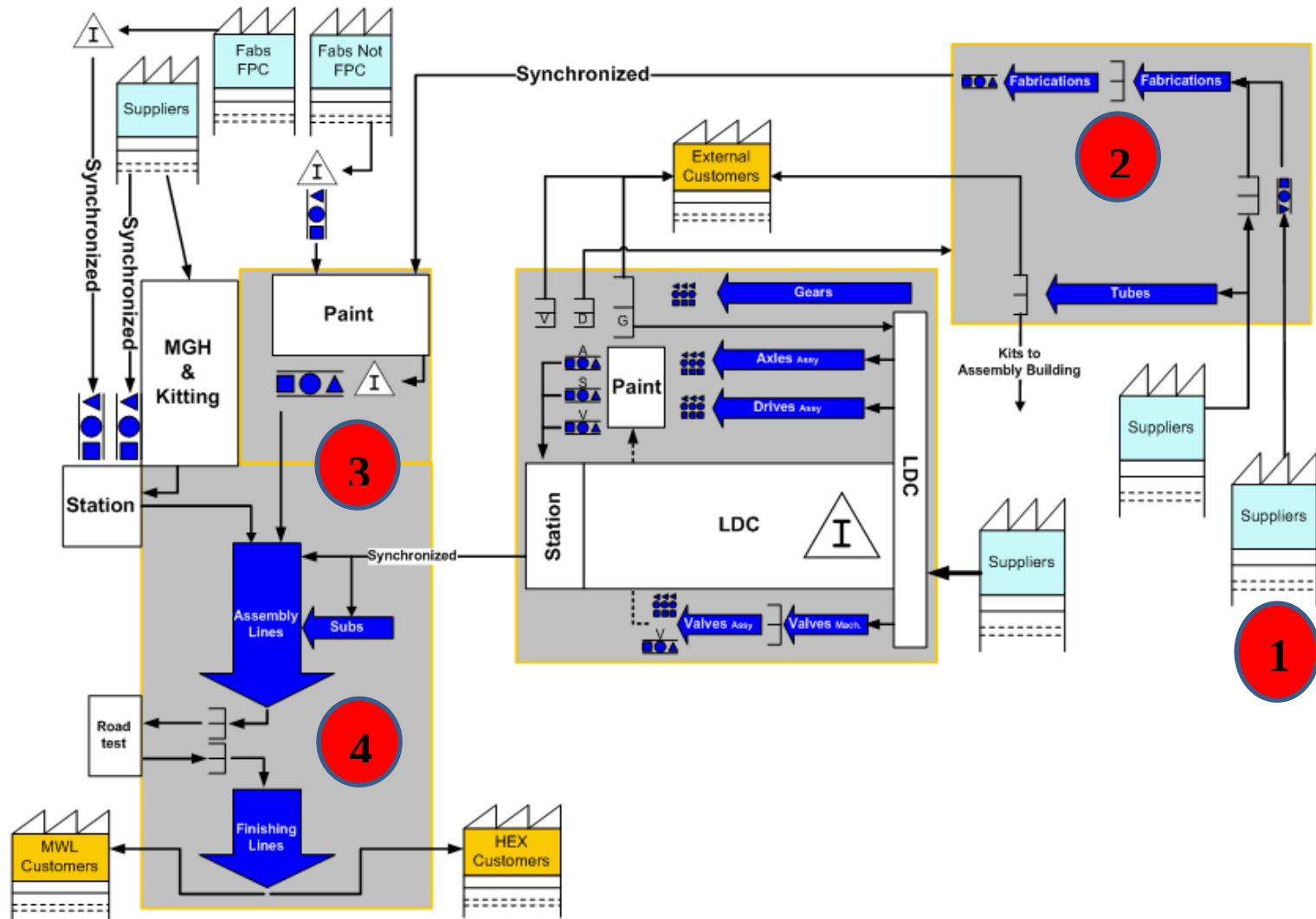
Pour mieux comprendre comment s'implémente ma solution personnelle, il convient de décrire l'ensemble des futures étapes depuis la déclaration du besoin opérationnel en interne jusqu'à la mise à disposition des *plates* au point d'utilisation.

La VSM est l'outil adéquat. En effet, elle permettra d'avoir une représentation complète de l'ensemble des flux concernés. Les différentes VSM présentées ci-dessous, permettent de visualiser les conséquences de l'implémentation d'un tel projet, sur l'ensemble de la *supply chain*⁶⁰.

⁶⁰ Du processus interne fournisseur jusqu'au POU des *lift-arm*

Voici la VSM de l'ensemble des flux de l'usine de Caterpillar un fois le plan industriel implémenté :

Figure 30: VSM globale usine



- 1) Le fournisseur Oxy-Fleurus livre en séquence les composants au bâtiment D, à la ligne de production des *lift-arm*
- 2) Les *lift-arm* sont manufacturés (avec un stock tampon en ligne) et sortent du bâtiment D en séquence vers la peinture
- 3) Une fois peints, les *lift-arm* sont envoyés, toujours selon la même séquence, vers le bâtiment d'assemblage E
- 4) Une fois assemblés, les *wheel-loader* sortent selon le plan de production initialement établi

L'objectif principal de cette VSM est de montrer comment et pourquoi le plan de production et donc la séquence seront respectés. Ce plan de production est en fait une succession de machines finies qui doivent sortir du bâtiment d'assemblage à une date définie.

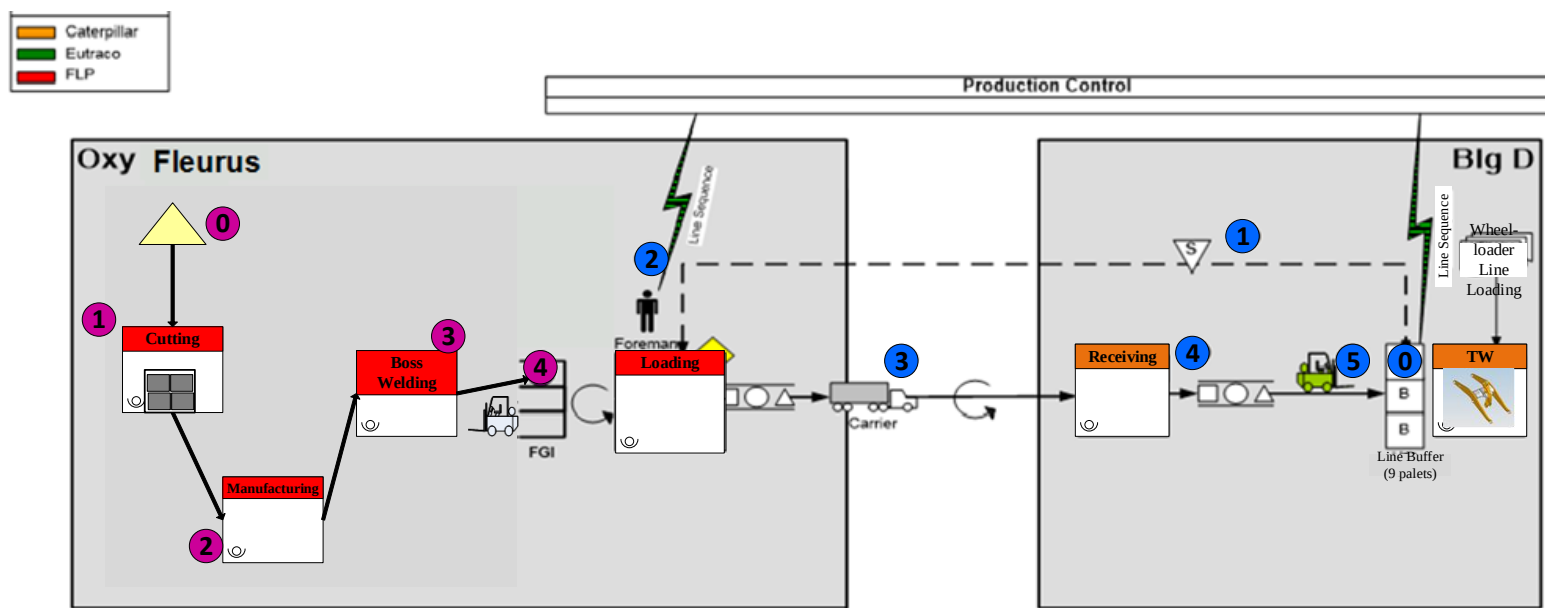
L'usine de Gosselies produit différents modèles de *wheel-loader*. Ces différents modèles sortent tous par la même ligne d'assemblage, du bâtiment E. Comme on peut le voir sur la VSM globale usine, la séquence initialement prévue au bâtiment E, peut être respectée tout le long de la *supply chain*, jusqu'au fournisseur.

Cette VSM globale usine a permis de s'assurer que la séquence du plan de production sera respectée afin d'envisager un approvisionnement en séquence avec le fournisseur.

Cette démonstration vient de prouver qu'il était effectivement possible de mettre en place un processus de production synchrone avec Oxy-Fleurus.

Si l'on examine le processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm* de plus près, en voici sa future VSM :

Figure 31: VSM processus



- | | |
|--|--|
| 0) Inventaire de tôles de différentes épaisseurs | 0) Consommation des <i>plates</i> au POU (<i>buffer</i> ⁶¹ séquencé sur le convoyeur de neuf palettes) |
| 1) Découpe au laser des <i>plates</i> dans la tôle | |

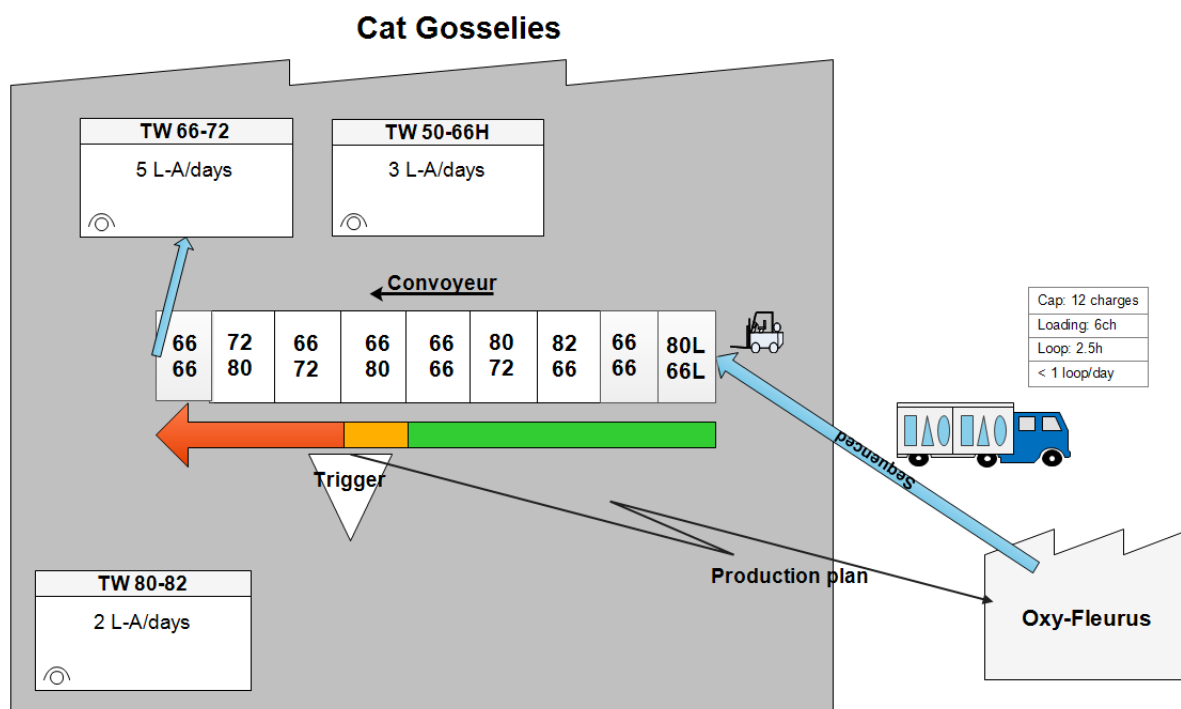
⁶¹ Stock tampon le plus souvent en ligne

2) Les <i>plates</i> sont manufacturées (meulées, grenillées et redressées) 3) Soudure des <i>boss</i> sur les <i>plates</i> et masticage 4) Stock d'inventaire de <i>lates</i> finis (quatre jours)	1) Une fois que six charges sont consommées=>L'endon s'allume et le signal est envoyé à Oxy-Fleurus 2) Le fournisseur reçoit le signal et prépare les six prochaines palettes en séquence selon le plan de production transmis par Caterpillar 3) Transport des <i>plates</i> , camions optimisés (six palettes) 4) Réception des palettes au <i>receiving</i> 5) Mise au POU en séquence sur le convoyeur des six palettes
--	---

L'implémentation du nouveau processus d'approvisionnement des *plates*, ne modifie pas le processus interne du fournisseur. Le seul impact de ce projet, est la réduction voire la suppression des stocks de sécurité pour pallier à l'incertitude des commandes sur base de prévisions actuelles. Le fait de communiquer un plan de production figé sur 20 jours, va permettre au fournisseur de planifier de manière efficace l'ensemble de sa production.

Afin de mieux comprendre le nouveau processus interne chez Caterpillar, voici une représentation plus visuelle des flux :

Figure 32: VSM visuelle



Les palettes de *plates* sont représentées par des rectangles composés à chaque fois de deux nombres. Ces nombres sont les modèles des *plates* présents dans chaque palette.

Le processus actuel approvisionne des palettes composées de deux ou quatre *plates* identiques selon le modèle⁶².

Les palettes de la solution proposée, sont composées de différents modèles en fonction de la séquence à respecter. De plus toutes les palettes seront composées de quatre *plates*, car le concepteur de la palette a confirmé que le coefficient de sécurité était suffisamment important pour contenir quatre des *plates* de la pire combinaison de modèles⁶³.

Le buffer ici est de trois palettes (six machines), ce qui équivaut à 9h de travail pour l'opérateur soit presque une journée entière. Ce *buffer* absorbe largement le temps de réponse du fournisseur. Il est primordial de bien dimensionner ce stock de sécurité car il ne faut pas que le nouveau processus cause des arrêts de ligne dus à des MAPOU de *plates*.

⁶² Les palettes de modèles 980 ne comportent que 2 *plates* car sinon le poids excède le seuil de sécurité de la palette

⁶³ La pire combinaison de *plates* en terme de poids est une 982 avec une 966 => $(2 \times 1045) + (2 \times 637,1) = 3364\text{kg}$. La capacité de la palette est de 3000kg avec un coefficient de 1.5 => $3000 \times 1,5 = 4500\text{kg}$.

Il est évident que ce scénario implique toute une série de contraintes que ce soit chez le fournisseur comme chez Caterpillar, mais il n'y a a priori aucun point bloquant. Les contraintes, les difficultés à surmonter, les défis et les nouvelles implications contractuelles seront abordés ultérieurement.

❖ AMDEC COMPLÉTÉE

Ce point reprend l'AMDEC complétée de la solution personnelle développée dans ce chapitre.

Cette analyse permet de comprendre l'impact de chaque concept mobilisé sur la gravité, la fréquence et le contrôle des modes de défaillances du processus.

La matrice AMDEC utilisée précédemment a donc été mise à jour et complétée par toutes les actions qui sont menées afin de supprimer toutes les causes profondes de dysfonctionnement. Ces actions auront donc un effet sur la gravité, sur la fréquence et sur le contrôle des modes de défaillances. Il conviendra donc de calculer les nouveaux scores RPN afin de mettre en évidence l'écart de performance entre le processus actuel et le processus optimisé grâce à la solution personnelle.

L'AMDEC complétée se trouve en annexe 16.a et 16.b.

Si l'on regarde de plus près l'étape de passation de commandes :

La méthode d'appel des *plates*, le nombre trop important d'intervenants, les informations erronées et le processus non visuel, font que le nombre de *plates* en stock est beaucoup trop élevé. Etant donné qu'aucun contrôle ne permet de détecter ce mode de défaillance et que le niveau d'inventaire est en permanence trop élevé, ce mode présente un RPN de 405.

Les actions qui sont menées afin de supprimer ces causes profondes sont d'une part, un approvisionnement en séquence selon le plan de production, seulement lorsque six palettes sont consommées sur le convoyeur, et d'autre part, l'utilisation d'un *trigger* visuel pour que le seul intervenant puisse appeler les six prochaines palettes.

Ces deux actions n'influencent pas la gravité d'un stock excédentaire en interne. En revanche, elles suppriment complètement l'inventaire en utilisant que neuf palettes au POU sur le convoyeur. Le fait de supprimer ce stock permet de réduire la fréquence d'occurrence du mode de défaillance à 1.

La mise en place d'un *trigger* visuel permet de contrôler en permanence qu'il n'y ait pas plus de palettes approvisionnées que le nombre d'emplacement vide sur le convoyeur.

Cette analyse simple peut être menée sur tous les modes de défaillance de l'AMDEC complétée.

IV.2. GÉNÉRER DES SOLUTIONS AVEC TOUTES LES PARTIES PRENANTES DU PROJET

L'objectif final de la phase *Improve* mais aussi du projet est d'améliorer la performance du processus étudié. Pour ce, il faut commencer par réunir l'équipe du projet afin de générer une multitude d'idées. Ces idées seront organisées afin d'être compréhensibles pour tous.

Chaque idée présente plus ou moins de potentiel d'efficacité face aux causes définies dans l'AMDEC, c'est pourquoi il était nécessaire de leur donner un ordre de priorité (le score RPN) afin de valoriser les solutions qui constituent potentiellement un effet de levier.

De nombreuses sources de solutions peuvent générer des idées d'amélioration. Voici une série d'éléments qui vont nous aider dans cette tâche:

- L'analyse des causes profondes
- Les objectifs du projet
- Le Brainstorming
- Les cibles de performances
- Mais aussi les découvertes tout au long du projet
- La solution personnelle

Les phases de production et d'évaluation d'idées prennent tout leur sens dans la réflexion en groupe. C'est pourquoi, il est nécessaire de mobiliser le groupe de travail mais aussi différentes parties prenantes de ce projet afin d'optimiser au mieux l'utilisation de ces différents outils.

❖ L'OBeya

L'*Obeya* est un concept efficace qui permet d'assurer la pluralité des points de vue lors de ce type d'exercice. C'est donc pour cela que 3 *Obeya* LDC⁶⁴ ont été dédiées entièrement à la

⁶⁴ Une *Obeya* hebdomadaire est dédiée à l'ensemble des modifications logistiques du bâtiment D, cette *Obeya* est appelée LDC

production d'idées d'amélioration ainsi qu'à l'évaluation des différents scénarios retenus dans le cadre du projet d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm*.

Avant de convoquer toutes les parties prenantes de ce projet, il est important de soumettre ma solution personnelle à l'équipe afin d'avoir un regard externe et qu'elle soit validée. Il est nécessaire de vérifier qu'aucun élément bloquant n'empêche l'implémentation de cette proposition. Par élément bloquant, on entend un concept ou une décision qui ne peut être implémenté pour différentes raisons telles que l'impossibilité de modifier le *layout* de la zone ou encore le fait que le concept proposé ne corresponde pas à la stratégie Caterpillar.

La réunion avec l'équipe a permis de générer deux nouveaux scénarios articulés autour de ma proposition personnelle. Dans ces deux scénarios, le processus global d'approvisionnement est retenu, seul l'aspect du transport change.

Voici les trois scénarios qui ont été générés jusqu'ici :

- 1) Le premier scénario, tout à fait identique à la proposition personnelle, implique un approvisionnement d'une quantité fixe, soit six palettes, à une heure variable, c'est à dire quand le *trigger* est déclenché (pour plus d'information se référer au point dédié à la solution personnelle).
- 2) Le second scénario est basé sur un appel des *plates* à heure fixe chaque jour mais avec une quantité variable en fonction de ce qui aura été consommé sur le convoyeur.
- 3) Le troisième scénario est basé sur un approvisionnement plus régulier. Etant donné l'utilisation actuelle d'un service de navette en deux ou trois boucles avec Oxy-Fleurus, il est possible d'approvisionner plus souvent le POU avec des quantités moindres en fonction de ce qui a été consommé sur le convoyeur. L'annexe 17 illustre ce scénario de manière visuelle.

Il est important de préciser que dans l'ensemble des scénarios, l'approvisionnement ne se fait que lorsqu'il y a des emplacements vides sur le convoyeur. En aucun cas, des commandes sont passées sur base de prévisions, même à très court terme.

❖ LE BRAINSTORMING

Les deux premières *Obeya* étaient consacrées à une séance de *brainstorming* dans le but de générer un maximum d'idées d'amélioration.

L'annexe 18 est une photo de la première *Obeya* qui a été organisée. Cette photo permet de mieux comprendre la définition d'*Obeya* qui est une mobilisation d'espace et de temps à la résolution de problèmes.

Ces séances ont été menées avec l'ensemble des personnes concernées de près ou de loin par ce projet :

- Huart Didier (Supply Chain Planning Manager 1)
- Blekic Pascal (Logistics Engineer 4)
- Canivet Fabien (Supply Chain Planning Engineering 2)
- Daumerie Raphael (Supply Chain Plan Analyst)
- Sartieaux Anne-Catherine (Manufacturing Project Engineering)
- Andriolo Claude (Group Manager)
- Henrion Laurence (Manufacturing Engineering Supervisor)
- De Patoul Arnaud (Logistics Manager 3)
- Beben Martin (Project Leader)

Préalablement, il était primordial de présenter, dans ses grandes lignes, le projet ainsi que la problématique étudiée. En effet, la plupart des personnes autour de la table n'ont pas forcément connaissance de l'avancement de ce projet. De plus, celles-ci ont plus ou moins d'affinités avec la problématique. C'est donc très important que tout le monde puisse participer à cette *Obeya* avec un certain bagage informationnel.

Il faut donc clarifier l'objectif de cette réunion mais aussi proposer toute une série d'informations pertinentes sur le sujet afin d'encourager la créativité de chacun. Il a donc fallu débiter ces deux *Obeya* en présentant très visuellement l'ensemble des aspects du projet.

L'objectif de ces deux *Obeya* n'était pas de suivre la structure bien définie du *brainstorming*. Néanmoins, elles s'en inspiraient fortement. En effet, j'ai choisi de fonctionner sur base de la théorie du *brainstorming* sans en imposer la structure de manière explicite. Le but recherché est que les personnes engagées dans l'exercice ne se sentent pas contraintes par l'utilisation d'un outil bien défini. Ceci permet de générer beaucoup d'idées non contraintes et ce dans un laps de temps très court.

Ces deux séances de *brainstorming* ont permis de générer toute une série d'idées d'amélioration ou encore des solutions potentielles à notre problématique. Il faut ensuite structurer toute la production du groupe afin de définir différents scénarios d'amélioration du processus.

Une fois toutes les idées organisées, on a pu mettre en évidence huit scénarios d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

Ensuite, il faut valider ces différents scénarios avec l'équipe de travail, selon la philosophie CPS.

Suite à cette validation, seul six scénarios sont maintenus pour la phase d'évaluation et de sélection. Seule la solution sélectionnée sera décrite dans ce travail.

IV.3. EVALUER ET SÉLECTIONNER LES SOLUTIONS

Le point de départ de l'évaluation de solutions, c'est avant tout, de traduire les idées créatives produites préalablement, en solutions concrètes.

Attention, il est important de garder à l'esprit que l'objectif de ce projet est de proposer des recommandations qui sont en fait, les meilleures idées que l'équipe a à offrir aux clients du processus.

❖ LA PUGH MATRIX

La cotation des six scénarios se fera lors de la dernière *Obeya* avec l'ensemble des parties prenantes du projet. Afin que cette séance se déroule de manière optimale, il est nécessaire de préparer la *Pugh Matrix* de manière efficace.

Il faut donc préparer toutes les informations indispensables sur le processus mais aussi sur les différentes solutions proposées. Il est important que ces documents soient visuels afin de gagner du temps et assurer une compréhension par tous.

Afin que cette *Pugh Matrix* soit la plus représentative possible, il est important que les fonctions de l'organisation soit représentées de façon équivalente.

Voici la première exécution de la *Pugh Matrix*:

Tableau 9: Première Pugh matrix

Evaluation matrix		Scenarios						
	Importance rating	0) AS IS	1) AS IS sequenced	2) Conveyor inside the bay	3) Conveyor along the alley	4) Conveyor between 2 bays	5) 2 rows of pallets	6) Kanban serialized
Criteria								
Respect de la séquence	5	=	1	1	1	2	-1	-1
Modification du layout zone	3	=	0	0	0	0	-1	-2
Space optimization (impact sur les autres zones)	3	=	0	0	0	-1	0	-1
Déplacement de l'opérateur	4	=	0	-1	-1	1	-1	1
Evacuation régulière des vidanges	2	=	1	-1	-1	-1	1	0
Manipulation du cariste	4	=	1	1	1	1	1	0
Gestion du Mix	2	=	0	0	0	0	0	-1
Sécurité - LT dans la zone	4	=	0	1	1	0	0	1
Sécurité-convoyeur-encombrement	4	=	0	1	2	2	-1	1
Complexité chez Oxy-Fleurus	5	=	1	1	1	1	1	-1
Somme des +			4	5	6	7	3	3
Somme des -			0	2	2	2	4	6
Somme des =			6	3	3	3	3	3
Somme pondérée des +			16	22	26	31	11	12
Somme pondérée des -			0	6	6	5	16	21
Total			16	16	20	26	-5	-9

Pour ce premier tour de la *Pugh Matrix*, chaque scénario est comparé à la situation actuelle.

Etant donné le nombre trop important d'aspects négatifs que présentent les scénarios 5 et 6, ces deux solutions sont directement évincées de la matrice.

Il faut aussi remarquer que la 1^{ère} solution ne présente aucun point négatif par rapport à la situation actuelle. Ce scénario doit donc impérativement être retenu pour le second tour de la matrice. L'implémentation de ce scénario déboucherait sur amélioration de la situation actuelle sans même la détériorer de quelque façon que ce soit.

Afin de confirmer les résultats du premier tour de la *Pugh Matrix*, la solution personnelle du convoyeur entre les deux baies⁶⁵ (Sc 4) est choisie comme référence pour être comparée aux scénarios retenus en jaune.

La nouvelle solution de référence doit être celle qui ressort comme la plus robuste après le premier tour de la matrice.

⁶⁵ Une baie est un carré de 12m² dans le bâtiment D

Voici les résultats de la deuxième *Pugh Matrix*:

Tableau 10:Deuxième *Pugh Matrix*

Evaluation matrix		Scenarios			
Criteria	Importance rating	4) Conveyor between 2 bays	1) AS IS sequenced	2) Conveyor inside the bay	3) Conveyor along the alley
Respect de la séquence	5	=	-1	-1	-1
Modification du layout zone	3	=	1	1	-1
Space optimization (impact sur les autres zones)	3	=	1	0	1
Déplacement de l'opérateur	4	=	-1	-1	-1
Evacuation régulière des vidanges	2	=	1	0	0
Manipulation du cariste	4	=	-1	0	0
Gestion du Mix	2	=	0	0	0
Sécurité - LT dans la zone	4	=	0	1	1
Sécurité-convoyeur-encombrement	4	=	-1	0	0
Complexité chez Oxy-Fleurus	5	=	0	0	0
Somme des +					
Somme des -					
Somme des =					
Somme pondérée des +					
Somme pondérée des -					
Total			-9	-2	-5

On peut observer que la solution de référence est confirmée comme étant la solution la plus adaptée à ce projet d'optimisation du processus d'approvisionnement. En effet, tous les scénarios comparés présentent des totaux négatifs par rapport à la solution du convoyeur entre les deux baies.

IV.4. DESCRIPTION COMPLÈTE DE LA SOLUTION SÉLECTIONNÉE

Etant donné que la solution sélectionnée a été complètement décrite dans l'étape de développement d'une solution personnelle, elle ne sera pas détaillée une deuxième fois pour des raisons d'efficacité.

Pour plus d'informations sur la solution choisie, se référer au point : Description complète de la solution proposée.

Chapitre 7 : Control

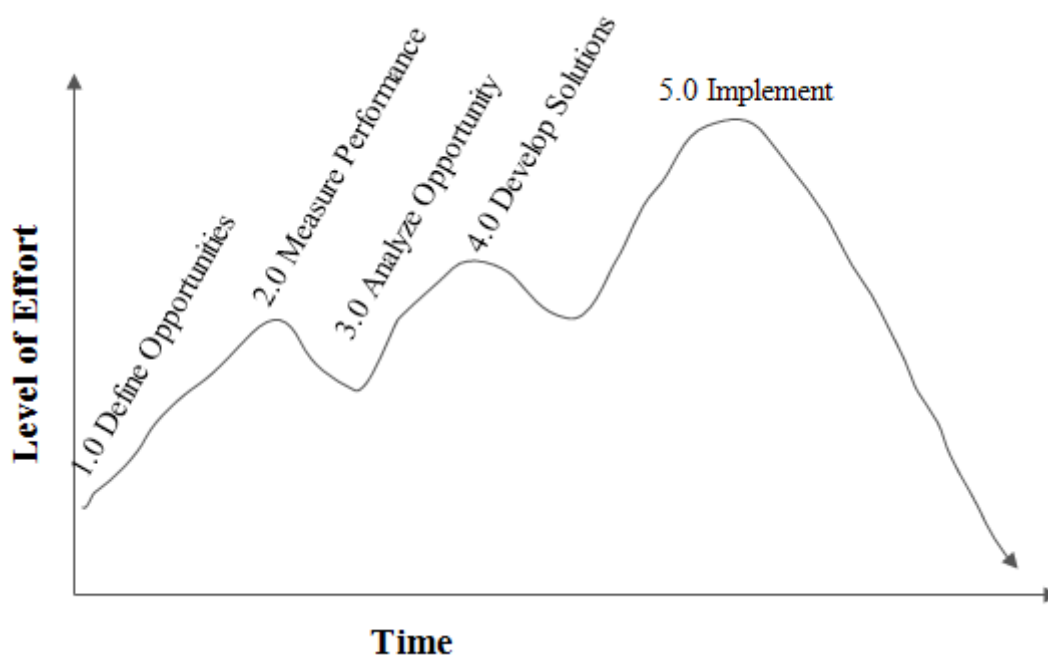
I. OBJECTIFS

Implémenter une solution induit, le plus souvent, un changement de comportement des individus, un changement des processus, un changement des systèmes de mesure et parfois un changement dans la façon dont la valeur est livrée aux clients. Ces changements affectent toute une série de variables.

Tous les projets évoluent en fonction du temps, on peut donc leur attribuer à chacun un cycle de vie.

Voici un cycle de vie typique pour un projet tel que celui mené dans le cadre de ce mémoire :

Figure33: Cycle de vie du projet



Source : Centre de formation Caterpillar, Formation 6 Sigma Black Belt, littérature donnée aux participants de la formation Black Belt, week 4

L'effort, engagé dans un projet d'amélioration tel que celui-ci, varie en fonction du temps. Et comme on peut l'observer sur le graphique, l'implémentation de solutions est une étape clé du projet. Ceci implique un transfert de l'analyse, la prise de décision vers l'action pure. Un accroissement de la complexité des tâches y est directement lié.

La phase de *Control* met donc en évidence l'importance de la planification et de l'exécution du plan d'implémentation. Il est nécessaire de déterminer la démarche à entreprendre pour assurer la réalisation des résultats prévus.

Très souvent, le dernier objectif de la phase *Control* est négligé. Une fois le système mis en place, il faut pouvoir transmettre les leçons apprises et déterminer les opportunités de réplication.

II. OUTILS DISPONIBLES

Voici les outils disponibles afin d'assurer la phase de contrôle :

- Le plan d'implémentation
- Le graphique de responsabilité
- Les systèmes de contrôle du processus (FIE, FID)
- Le Project Turnover
- La transition *Checklist*
- La réplication
- L'analyse *Weibull*

III. CHOIX DES OUTILS ET MÉTHODES RETENUS

Les outils sélectionnés doivent permettre d'une part, d'implémenter de façon efficace la solution optimale mais aussi d'autre part, d'assurer la pérennité des changements mis en place.

Voici les outils adéquats :

III.1. ELABORATION DU PLAN D'IMPLÉMENTATION DE LA SOLUTION

L'objectif de ce plan est de développer un système de contrôle du processus qui permet d'assurer la pérennité des gains d'amélioration mis en place grâce au projet Lean 6 Sigma.

Il est aussi important de pouvoir valider, sur base de mesures, l'efficacité de la solution et son degré d'acceptation au sein de l'organisation. Ce type de démarche permet d'assurer une bonne stratégie d'implémentation. Il peut aussi minimiser l'impact des problèmes prévisibles.

Voici les composants d'un plan d'implémentation d'une solution :

❖ LA REVUE DES PROBLÈMES POTENTIELS

Cette revue permet d'analyser plusieurs problèmes potentiels qui pourraient survenir lors de l'implémentation de la solution d'optimisation.

Cette analyse ne suit pas de structure définie. Néanmoins, il convient de s'assurer que tous les problèmes potentiels ont été abordés et solutionnés avant l'implémentation.

❖ LES SYSTÈMES DE CONTRÔLE DU PROCESSUS (FIE ET FID)

Les procédures et les standards sont des descriptions détaillées des activités et décisions impliquées dans le nouveau processus mis en place. Ils permettent donc d'assurer une compréhension poussée de la solution implémentée.

Les procédures sont à la fois, une aide à la formation des nouveaux arrivants et un moyen efficace de réussir l'implémentation d'un projet d'amélioration tel que celui-ci.

Ces documents doivent donc atteindre un niveau de précision tel que n'importe quel employé, plus ou moins formé, puisse réaliser l'ensemble des tâches définies et ce de façon correcte.

Il est important qu'ils soient spécifiques. C'est-à-dire qu'ils décrivent précisément quelle(s) action(s) mener, quand, où et comment les réaliser.

Et enfin, cette documentation doit aussi décrire comment prévenir d'une variation de l'output du processus.

Deux outils permettent d'atteindre ces objectifs de standardisation :

~ **La Feuille d'Instruction Engagement (FIE)**

Cette fiche de travail décrit chaque étape du nouveau processus mis en place. La FIE comprend une *process map* qui permet de visualiser l'enchaînement de chaque étape clé du processus.

Ensuite, il faut pour chaque étape décrire sa nature (contrôle qualité, personnel, qualité ou coûts), les acteurs concernés et s'il s'agit d'une transaction.

Ce standard de travail doit permettre à chacun de reproduire l'ensemble des étapes du processus. De plus la fiche d'instruction doit permettre de réaliser l'ensemble des actions en toute sécurité, avec la qualité requise et en toutes circonstances.

Il est possible que certaines étapes critiques doivent être détaillées à l'aide d'une FID.

~ **La Feuille d'Instruction Détaillée (FID)**

Cette feuille décrit en détail les étapes critiques du processus. En effet, il est courant qu'une FIE ne suffise pas pour décrire l'ensemble du processus en détail.

La structure de la FID est semblable à celle de la FIE. En revanche, la *process map* étant identique, elle n'est plus nécessaire.

L'utilisation de photo ou d'image facilite la compréhension profonde du résultat qui est désiré.

❖ **LE PLAN DE COMMUNICATION**

Le plan de communication peut être inclus dans le plan détaillé d'implémentation. C'est pourquoi il ne sera pas abordé ici.

❖ **LE PLAN DE TRAVAIL DÉTAILLÉ D'IMPLÉMENTATION**

Etant donné la nature singulière de chaque projet, tous les plans d'implémentation sont uniques. Néanmoins, la plupart d'entre eux comprennent 3 éléments principaux :

- a. Des étapes importantes de l'implémentation
 - Les étapes clés de l'implémentation de la solution
 - Le temps nécessaire à leur réalisation
 - Les coûts qui y sont reliés
 - L'éventuel changement culturel
- b. Le diagramme de Gantt
- c. La matrice de responsabilité

La matrice de responsabilité définit clairement les relations entre les affectations du projet, les parties prenantes du projet et les contributions personnelles. Cette matrice peut être modifiée au fur et à mesure de l'évolution de l'implémentation du projet.

La matrice se construit sur base des étapes clés de l'implémentation, en se posant des questions telles que :

- Qui doit réaliser cette étape ?
- Qui est responsable des résultats ?
- Qui en est informé ?
- Quelle est la personne qui doit donner son approbation ?
- Etc...

Voici un récapitulatif de l'étape *Control* :

- 1) Elaboration d'un plan d'implémentation de la solution
 - a. Analyse des problèmes potentiels
 - b. Les systèmes de contrôle du processus (FIE et FID)
 - c. Le plan de communication
 - d. Le budget et bénéfice du projet
 - e. Le plan de travail détaillé d'implémentation

IV. MISE EN ŒUVRE DE CES OUTILS ET MÉTHODES

IV.1. ELABORATION DU PLAN D'IMPLÉMENTATION DE LA SOLUTION

L'élaboration complète du plan d'implémentation est détaillée dans ce chapitre.

❖ ANALYSE DES PROBLÈMES POTENTIELS

Il faut savoir que les objectifs de la solution retenue, ne sont pas seulement liés à la performance du processus en tant que tel. En effet, d'autres résultats doivent être atteints pour assurer l'implémentation de la solution d'amélioration.

Un projet qui augmente le rendement du processus de 50% et qui contraint l'opérateur à travailler dans un environnement dangereux, ne serait pas accepté par l'ensemble des parties prenantes du projet. C'est pourquoi il est impératif de vérifier que notre solution remplit toute une série d'impératifs.

~ **Sécurité dans la zone de travail :**

L'utilisation d'un convoyeur au POU permet d'accroître la sécurité de l'environnement de travail et ce pour trois raisons.

Comme nous pouvons l'observer sur la photo de la situation actuelle ci-dessous, un espace est conservé entre chaque palette afin que l'opérateur puisse passer entre.

Figure 34 : POU des lift-arm



Etant donné la hauteur des *plates* qui dépassent de la palette, il n'est pas rare que l'opérateur se cogne le tibia. Le convoyeur permet donc d'élever les *plates* à hauteur des mains afin que l'opérateur les évite plus facilement.

Au-delà de la sécurité, cela permet aussi à l'opérateur d'avoir les points d'accroche de son pont à hauteur d'homme et non plus au sol comme aujourd'hui et donc une meilleure ergonomie de travail.

Et enfin, 70% du convoyeur se situe en dehors de la zone de travail, ce qui permet de libérer de l'espace et donc d'éviter l'encombrement du *layout*.

~ **L'acceptation et l'adoption de la solution :**

Le meilleur moyen de s'assurer que la solution mise en place, soit acceptée par tous, c'est d'impliquer les parties prenantes dans le choix de la solution.

D'une part, plusieurs *Obeyas* ont été organisées, avec différentes fonctions de l'organisation, afin de sélectionner les solutions les plus adaptées au projet mais aussi afin d'éliminer les scénarios qui ne seraient pas acceptés par tous.

D'autre part, il était crucial d'avoir l'avis de l'opérateur quant aux différents scénarios préalablement retenus. L'entretien avec le soudeur a permis de confirmer le choix de ce scénario.

Ceci permet de s'assurer que la solution retenue n'est pas rejetée par quelque partie prenante que ce soit.

~ **La pérennité de solution :**

La solution est étudiée afin d'éviter un maximum les déviations potentielles du processus.

Prenons le cas du convoyeur, le fait de placer seulement 33% du convoyeur sous le pont de l'opérateur, permet de contraindre celui-ci à respecter la séquence du plan de production. En effet 33% du convoyeur représentent trois palettes de *plates*.

Etant donné que seules celles-ci sont accessibles au pont, l'opérateur ne peut prendre que les *plates* qui s'offrent à lui et donc respecter le plan de production. Cette contrainte physique permet d'assurer le respect du plan de production et donc la pérennité du projet.

L'AMDEC (annexe 16.a et 16.b) reprend l'ensemble des problèmes potentiels du processus d'approvisionnement, ainsi que toutes les actions menées en vue d'éliminer les causes profondes. Elle permet donc de visualiser très clairement le différentiel de performance du processus induit grâce à l'implémentation du projet d'amélioration.

❖ **LES SYSTÈMES DE CONTRÔLE DU PROCESSUS (FIE ET FID)**

Les documents qui sont utilisés dans le cadre de ce projet, sont les FIE et les FID.

La FIE est une description générale du processus à implémenter. Pour chaque étape, considérée comme critique, il est possible de réaliser une FID.

~ **La Feuille d'Instruction Engagement (voir annexe 19.a et 19.b)**

Cette feuille d'instruction est très importante pour l'implémentation et la continuité de ce projet. Elle permet de comprendre clairement l'enchaînement des différentes étapes.

Pour chaque étape, la *process map* identifie clairement les parties prenantes concernées.

La FIE est très facile à comprendre, il n'est donc pas nécessaire de reprendre chaque étape ici. Certaines étapes plus complexes sont détaillées au moyen d'une FID juste après.

Il faut simplement savoir que l'Andon est un système visuel au-dessus du poste de travail qui indique rapidement si le poste connaît ou non une anomalie. En fonction de la couleur de l'Andon, il faut intervenir en urgence, stopper la production, approvisionner ou encore ne rien faire si tout va bien.

La réalisation de la FIE a permis de mettre en évidence quatre étapes critiques qui nécessitent une FID.

~ **La Feuille d'Instruction Détaillée (voir annexe 20)**

En effet, l'étape 15 (Charger les *plates* sur le convoyeur) doit être décomposée dans ses moindres détails afin d'assister le cariste dans la réalisation de cette tâche spécifique et critique.

Et enfin, les étapes sept, huit et neuf, concernant l'appel des six prochaines palettes, doivent absolument être détaillées en FID, car ce sous-processus d'appel des *plates* est plus complexe et critique pour le processus.

❖ **LE PLAN DE COMMUNICATION**

Le plan de communication ne sera décrit en profondeur dans cette section, étant donné que les deux seuls moyens de communication qui sont utilisés sont les *Obeyas* et les rencontres en vis-à-vis avec toutes les parties prenantes du projet. En effet, beaucoup de réunions, d'*Obeyas* ou encore de rencontres en tête-à-tête ont été organisées afin d'assurer la communication concernant le suivi du projet.

Une recherche a montré que l'une des variables les plus significatives dans une implémentation réussie, est la qualité des communications supportant un changement.

C'est pourquoi il ne faut pas négliger la communication lors de l'implémentation d'un projet tel que celui-ci. Toutes les personnes concernées de près ou de loin par le projet, doivent posséder un certain bagage informationnel qui se doit d'être tenu à jour. La dynamique du projet est clairement basée sur cette capacité à communiquer.

❖ **LE BUDGET ET BÉNÉFICE DU PROJET**

Dans la charte du projet, de la phase *Define*, nous avons défini un objectif financier sur base d'estimations. Il est tout à fait logique que depuis, beaucoup de changements se sont produits tout au long du projet. Ces changements peuvent avoir des impacts considérables sur l'équation coût-bénéfice originalement développée pour le projet.

Il est donc primordial, de réaliser une analyse complète sur les coûts et bénéfices générés par ce projet.

Cette analyse est menée sur le coût de revient total d'une *plate*, soit un seul *part number*. Ce coût de revient reprend l'ensemble des coûts imputables à Caterpillar tels que les coûts de transport, de stockage, de *handling*, de non-conformité,...

Etant donné que la méthodologie DMAIC a permis de générer un maximum d'informations sur la situation actuelle mais aussi sur la solution à implémenter, il est désormais possible d'utiliser toutes ces informations afin de déterminer un coût à la pièce pour chacun des scénarios (actuel et optimisé).

Une analyse du *Total Cost of Ownership* (TCO) compare différents scénarios selon leurs coûts totaux de possession. Cet outil permet d'intégrer de nombreuses données influençant le coût de revient total.

Le TCO permet aussi de définir le nombre total de pièces en circulation sur toute la *supply chain* (du fournisseur jusqu'au poste de travail en interne). Cette information permet donc de chiffrer le gain en termes d'inventaire.

Etant donné la complexité du processus étudié, l'outil TCO proposé par Caterpillar semble être le plus approprié pour l'analyse des coûts et des bénéfices du projet d'amélioration du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

Les résultats et la conception de l'analyse financière du projet (TCO) seront entièrement décrits dans le chapitre analyse des résultats.

❖ LE PLAN DE TRAVAIL DÉTAILLÉ D'IMPLÉMENTATION

Un plan de travail de mise en œuvre bien défini se compose (d') :

~ Des étapes importantes de l'implémentation

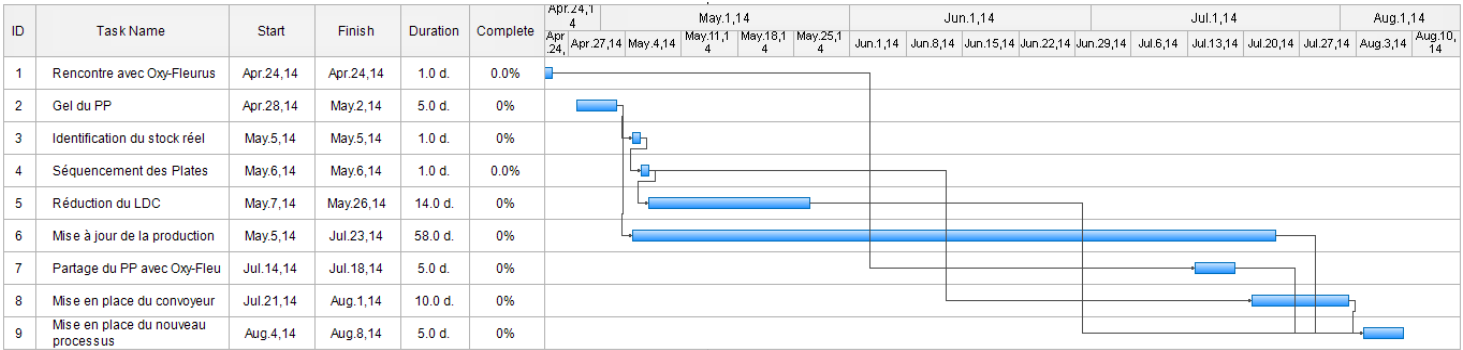
Tableau 11: Etapes d'implémentation

Etapes	Temps	Coûts	Culture
Il faut rencontrer Oxy-Fleurus afin de s'entendre sur l'ensemble du projet et fixer les détails de l'implémentation	1 demi-journée	0€	Volonté d'établir un réel partenariat avec Oxy-Fleurus

Quand le plan de production sera respecté et gelé sur 20 jours par le <i>Material Planner</i>	Quelques heures	0€	Faire bien dès la première fois et fiabiliser les informations
Il faut identifier toutes les <i>plates</i> que CAT a en interne	1h30	35€	Fiabiliser les informations
Il faut séquencer les <i>plates</i> dans les palettes selon le plan de production au <i>receiving</i>	1 journée	95€	Ouverture et acceptation du changement
Il faut vider progressivement le LDC des <i>plates</i> en les consommant ou en les revendant	1-2 semaines	Le coût des <i>plates</i> obsolètes	Ne plus faire au plus simple mais respecter le FIFO
Il ne faut plus passer de commande sur base de prévisions mais selon ce qu'on a comme <i>plates</i> en stock et ce qu'il manque pour juste respecter le plan de production à la journée	1 journée	0€	Changement de mentalité du <i>foreman</i> , le stock n'est pas une sécurité, amélioration continue
Quand l'opérateur <i>manufacturing</i> sera à jour par rapport au plan de production	1 mois	0€	Volonté de respecter le plan de production
Il faut communiquer le plan de production à Oxy-Fleurus et leur expliquer comment se déroule la phase de transition du processus	4 heures	0€	Volonté de développer un partenariat avec ses fournisseurs (Win-Win)
Quand le convoyeur sera mis en place selon le <i>layout</i> prédéfini	Du 1 juin au 21 juillet 2014	2000-3000€	Récupération d'un convoyeur qui n'est plus utilisé
Il faut s'assurer qu'Oxy-Fleurus séquence les <i>plates</i> sur des palettes numérotées selon l'ordre du plan de production communiqué	4 heures	0€	Faire confiance au fournisseur (partenariat)

~ Un calendrier du projet

Figure 35: Diagramme de Gantt



~ Une matrice de responsabilité

La matrice de responsabilité présentée ci-dessous, se doit d’être généralisée par fonction étant donné que l’organisation n’est pas encore totalement définie. Il serait donc erroné d’attribuer chaque tâche à un employé bien précis.

Tableau 12: Matrice de responsabilité

Description de la tâche/décision/objectif		Fonction/équipe/personne					
		Distribution	Procurement	Opérateur Eutraco	Opérateur Manufacturing	Planning Manufacturing	Planning logistique
1	Rencontre avec Oxy-Fleurus						R
2	Gel du PP		R				R
3	Identification du stock réel	R	I	R			I
4	Séquencement des Plates	R	I			R	I
5	Réduction du LDC	R	R			R	I
6	Mise à jour de la production		I		R		I
7	Partage du PP avec Oxy-Fleurus		I				R
8	Mise en place du convoyeur					R	I
9	Mise en place du nouveau processus	I	I		I		R

(R = Responsable et I = Informé)

On peut remarquer que ce projet implique de nombreuses fonctions de l’organisation. En effet, cette matrice prouve qu’il était vital, tout au long de ce projet, de communiquer en permanence (Obeya, Réunions, mail,...) avec l’ensemble des parties prenantes.

Chapitre 8 : Analyse des résultats

I. OBJECTIFS

Une analyse des résultats dus à l'implémentation de la solution, permettra de comprendre son impact réel sur l'ensemble du processus d'approvisionnement.

Etant donné la nature des études poursuivies, il est primordial de réaliser une analyse détaillée des différents résultats du projet, dont les résultats financiers.

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'ensemble des résultats de l'implémentation de la solution. Le nouveau processus d'approvisionnement a déjà été présenté lors des chapitres précédents, c'est pourquoi il ne sera pas décrit en détail ici. Néanmoins, l'analyse financière reviendra sur certaines étapes du processus afin de comprendre au mieux l'impact de chaque nouvelle action sur le coût de revient de la pièce.

II. CHOIX DE L'OUTIL ET MÉTHODE RETENUS

Un outil interne à Caterpillar, permet de comparer différents scénarios logistiques sur base des données de chacun. En effet, le TCO est un fichier Excel qui compare différents scénarios en fonction du coût de revient final d'un *part number*.

Il faut entrer de nombreuses données caractérisant chaque scénario qui doit être comparé. Cet outil permettra donc de visualiser les différents gains réalisés sur chaque étape du processus.

Le TCO demande une certaine maîtrise de l'outil, du processus actuel et de la nouvelle solution à implémenter. Il était donc nécessaire de prévoir plusieurs sessions avec un expert TCO, afin de maîtriser au mieux l'outil.

III. MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL

Détailler l'ensemble de l'outil TCO dans toute sa complexité serait une perte de temps et s'avérerait ennuyeuse. En revanche, décrire certaines étapes de sa conception, est utile pour comprendre les éléments clés de cette analyse financière.

Le TCO n'est applicable que sur un seul *part number*, alors que le projet vise l'optimisation de l'ensemble du processus d'approvisionnement des *plates*. Ce projet concerne donc l'ensemble des *part number*.

Etant donné que l'optimisation s'opère de la même façon sur toutes les *plates*, le modèle du composant n'influence donc pas la réduction du coût de revient de celle-ci. En effet, le processus d'approvisionnement est commun en tous points à l'ensemble des *plates*. Il est donc possible de généraliser l'analyse financière à l'ensemble des *part number*.

Les seuls critères qui varient d'un modèle de *plate* à un autre, sont le poids, le coût standard et pour le modèle 980, le *lot size*.

Choisir le modèle le plus consommé par la ligne de production, est un bon indicateur pour l'ensemble des *part number*, car c'est le modèle qui passera le plus souvent par le processus optimisé.

Le modèle 966 de *wheel-loader* est le plus produit par l'usine Caterpillar de Gosselies. C'est donc la *part number* correspondant à ce modèle qui sera utilisée :

- *Part number*: 1367364
- Le coût standard: 1.197,11\$
- La consommation journalière de ce modèle en 2013: six *plates* sur les douze tous modèles compris, donc la moitié des *lift-arm* produits par jour

L'ensemble de l'analyse se fera sur ce modèle et en considérant que tous *lift-arm* produits sont manufacturés grâce aux *plates* 966. Ceci n'influencera quasiment pas le gain final à la pièce.

Le TCO se divise en plusieurs pages Excel qui permettent de définir les différents scénarios. Voici les grandes étapes du TCO et leur description :

❖ MAIN PAGE

L'annexe 21 illustre la page principale qui reprend les informations clés du projet, ainsi qu'un tableau reprenant toutes les étapes du TCO.

❖ PART SCOPE

Cette page permet de décrire brièvement le *part number* concerné par le projet (description, nom du fournisseur,...).

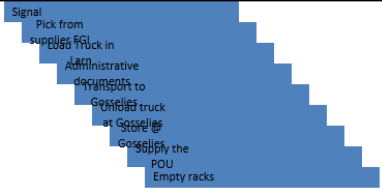
~ Lot Sizing

Cette étape fait partie de celles qui ne sont pas influencées par l'implémentation de la solution.

~ Material Handling

Le TCO prévoit cette section afin de définir l'ensemble des manipulations nécessaires depuis le signal du besoin jusqu'à l'enlèvement des palettes vides après utilisation. Cet outil donne une idée globale du *handling* nécessaire pour assurer l'approvisionnement.

Figure 3257: TCO material handling

4. Material Handling >>>											Part Flow	
Step/Touch Chart - From Supplier to POU											Step/Touch Chart	
#	Process Step	Step/Touch	Type	Severity	Owner	Min.	Lot Type	Batch Size	Cost/Part	Activity Points		
1	Signal	Step	Paperwork	1		5		1				
2	Pick from supplier FGI	Touch	Material Handling	1	Supplier	5		1				
3	Load Truck in Larn	Touch	Material Handling	1	Supplier	5		1				
4	Administrative documents	Step	Paperwork	1	CAT	5		1				
5	Transport to Gosselies	Step	Transport	1	CAT	5		1				
6	Unload truck at Gosselies	Touch	Material Handling	1	CAT	5		4	\$1,64			
7	Store @ Gosselies	Touch	Material Handling	1	CAT	5		4	\$1,64			
8	Supply the POU	Touch	Material Handling	1	CAT	5		4	\$1,64			
9	Empty racks	Touch	Material Handling	1	CAT	5		4	\$1,64			

Il faut savoir que l'outil Excel qui a été développé pour l'analyse globale des scénarios logistiques du bâtiment D, est plus complet et précis que celui-ci. Mais il n'est pas intégrable au TCO.

~ Supply Chain Sandbox

Cette section permet d'évaluer 3 éléments clés de la *supply Chain* :

- 1) La capacité du fournisseur et de la *supply chain*
- 2) La taille de l'inventaire tampon stratégique
- 3) La non-conformité

Pour chaque élément, toute une série de données doivent être entrées afin que le TCO puisse évaluer la *supply chain*. Certaines sections ne sont pas abordées car les Inputs sont identiques pour les deux scénarios. L'annexe 22 illustre toutes les données à intégrer dans cette sous-section.

❖ SCENARIO 1

La structure de la page scenario 1 est tout à fait identique à celle de la *base line*. Toutes les données entrées sont évidemment issues de la solution d'optimisation qui a été développée lors de l'étape *Improve*.

❖ 3RD PARTY LOGISTICS & SMI DATA

Le processus étudié n'implique aucun sous-traitant logistique et de SMI.

❖ CUSTOMER DATA

Cette page permet de déterminer l'espace au sol qui est nécessaire chez Caterpillar. Il faut donc intégrer différentes données comme les allées nécessaires, le nombre de jour de stock, le coût du m²,...

L'annexe 23 illustre cette page du TCO.

❖ SUPPLIER DATA

Cette page est identique à celle du *customer* mais pour le fournisseur Oxy-Fleurus.

❖ TRANSPORTATION

Cette étape est cruciale dans notre analyse financière. En effet, la solution d'optimisation vise aussi l'optimisation du transport des *plates*. Cette page reprend donc toutes les données concernant le transport des *plates* entre Oxy-Fleurus et le bâtiment D.

Voici la fenêtre qui permet d'encoder toutes les données concernant le transport :

Figure 38: TCO transportation

Transportation Costs:		baseline: AS-	S1: Conveyor
TCO Category	Input	Input	Input
Three methods are provided for the calculation of transportation costs: Average, Estimate and			
Select Calculation Method to Use as Output	Estimate	Estimate	
Average: Transportation Cost / Part			
Destination Country	Belgium	Belgium	
Supplier Country	Belgium	Belgium	
Freight (€/kg)	€ 0,07	€ 0,07	
Part Weight (kg)	707,00	707,00	
Mode of Transportation	Land	Land	
Currency Basis for Transportation Costs	EURO (EUR)	EURO (EUR)	
Convert to USD Factor	0,7703	0,7703	
Estimate: Invoiced Transportation Cost / Part			
Invoice for Shipment	180,54	117,54	
Other Costs	0,00	0,00	
Number of Parts in Shipment	12	24	
Currency Basis for Transportation Costs	EURO (EUR)	EURO (EUR)	
Convert to USD Factor	0,7703	0,7703	

Le coût de transport est effectivement de 180,54\$ par boucle dans la situation actuelle:

- Quatre heures par boucle
- 42€/heure
- 0,57€/km
- +- 22 km l'aller-retour

Le projet d'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates* permet donc de réduire ce coût de transport à 117,54€ par boucle.

Dans la situation actuelle non optimisée, le camion approvisionne un autre bâtiment de l'usine Caterpillar lors d'une même boucle. Ce double arrêt est très coûteux en temps. En dédiant une boucle à un seul bâtiment, cela permet de faire une boucle par jour en plus et donc d'en réduire le coût.

De plus, la nouvelle méthode d'appel des *plates* lorsque le *trigger* est déclenché (six palettes consommées sur le convoyeur), permet, à une consommation de 12 *plates* par jour, d'appeler

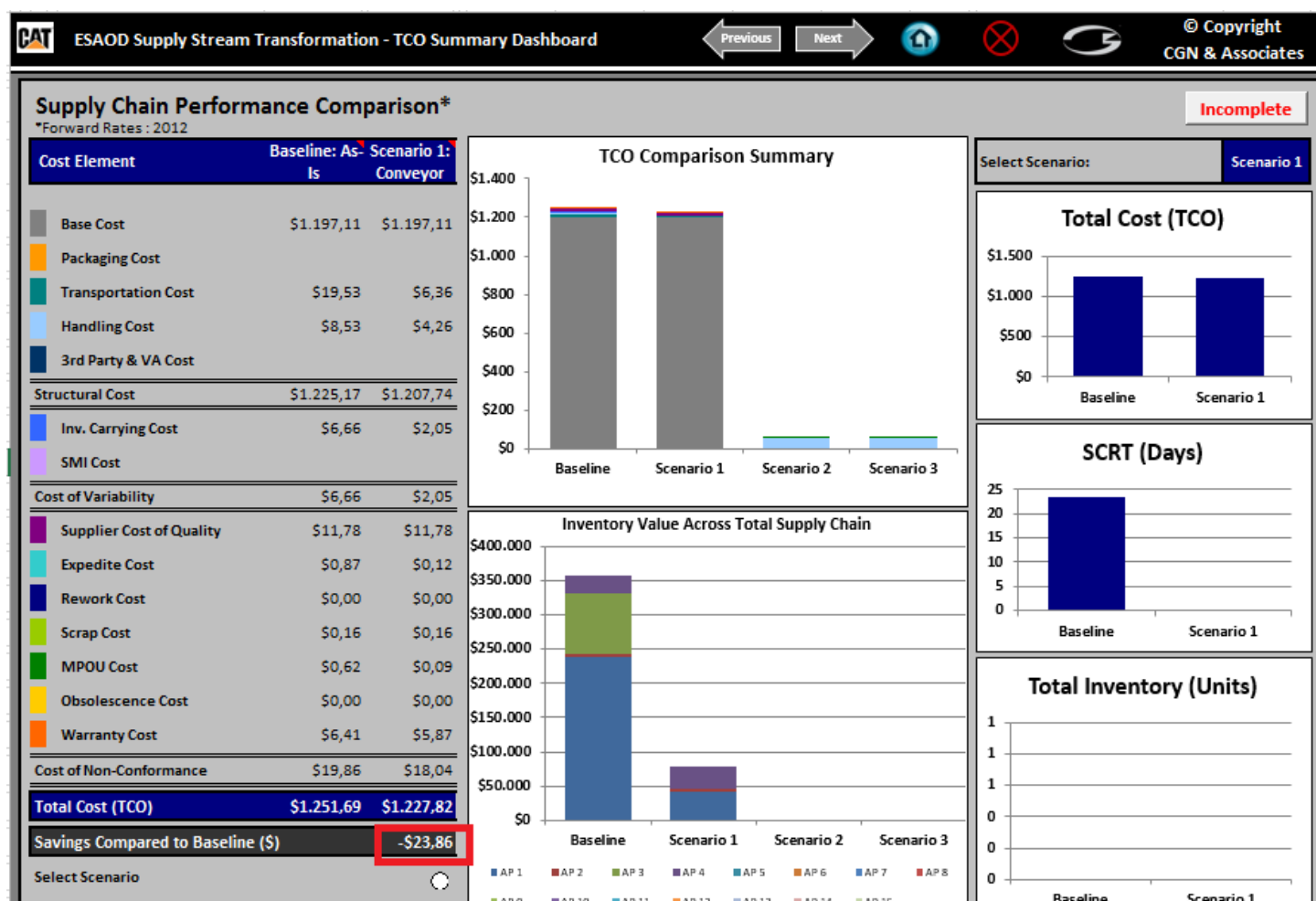
un camion tous les deux jours. Cette méthode d'appel permet de réduire le nombre de camions nécessaires pour assurer l'approvisionnement des *plates* et donc le coût de transport par composant.

IV. ANALYSE DES RÉSULTATS

❖ TCO SUMMARY DASHBOARD

Cette page reprend le tableau de comparaison de la performance de la *supply chain* selon les deux scénarios. Ce tableau est un récapitulatif de toutes les tables complétées avec l'ensemble des données de chaque scénario.

Figure 39: TCO summary dashboard



On peut remarquer que le projet permet de réduire le coût de revient total de 23,86\$ par *plate*. En effet, le coût total d'une *plate* est de 1.251,69\$ dans la situation non-optimisée telle qu'elle est aujourd'hui avant implémentation. Alors que le coût total d'un composant, une fois la solution d'optimisation implantée, est de 1.227,82\$.

Voici l'analyse des différents coûts du *Summary Dashboard* :

❖ LES COÛTS STRUCTURELS

~ **Le coût d'achat**

On peut observer que le coût d'achat est identique car le projet n'influence en rien ce coût. Les *plates* sont toujours achetées chez Oxy-Fleurus et au même prix. En revanche, il est possible que certaines négociations aboutissent à une réduction du prix d'achat. En effet, le nouveau processus d'approvisionnement des *plates* permet au fournisseur de réduire considérablement ses stocks de sécurité ainsi que ses coûts.

Ce projet pourrait donc être une piste vers des négociations concernant une réduction du prix d'achat du composant.

~ **Le coût de transport**

Le coût de transport est divisé par trois. Les causes de cette réduction sont explicitées dans la page transport. Mais on peut conclure que l'optimisation des camions et la nouvelle méthode d'appel des *plates* permettent d'optimiser le transport dans sa globalité.

~ **Le coût de manutention**

La réduction de moitié de ce coût est imputable à plusieurs causes.

La première est la réduction du nombre de touches. En effet, la suppression du LDC permet de réduire le nombre de touches car une fois déchargée les palettes vont directement au POU sur le convoyeur.

Deuxièmement, la suppression du LDC permet de réduire le temps de manipulation des palettes, car il arrive souvent que la palette nécessaire se trouve derrière plusieurs autres charges qui doivent donc être déplacées préalablement.

Enfin, le convoyeur facilite la sortie des palettes vides au POU. Le *layout* actuel du POU complique cette sortie car il arrive aussi que des palettes remplies bloquent l'accès du *lift-truck* à la palette vide.

❖ LES COÛTS LIÉS À LA VARIABILITÉ DU PROCESSUS

~ **Le coût de possession du stock**

Le coût de possession du stock est fortement réduit car la quasi-totalité du stock sur toute la *supply chain* disparaît. En effet, l'approvisionnement en séquence permet de supprimer un maximum le niveau d'inventaire des *plates* chez Caterpillar. Seul un *buffer* de neuf palettes est requis au POU.

De plus, l'application du concept de production synchrone permet de supprimer l'ensemble des incertitudes qui pesaient sur les commandes passées par Caterpillar. En effet, la communication du plan de production, tel qu'il sera utilisé en interne, permet au fournisseur de réguler sa production sur base de commandes certaines et non plus sur des prévisions.

❖ LES COÛTS DE NON-CONFORMITÉ

~ **Le coût de la qualité d'Oxy-Fleurus**

Il faut savoir que Caterpillar exige un niveau de qualité très élevé à ces fournisseurs. Sachant que 5% des *plates* doivent être retravaillées, cela fait un coût de 11,78\$ dans les 2 scénarios. Le projet n'influence donc pas cet aspect du processus.

~ **Le coût d'expédition**

Le coût d'expédition est relativement faible et similaire dans les 2 scénarios.

~ **Le coût des MPOU et le coût de garantie**

La seule différence entre les deux scénarios provient de la quantité de *plates* dans toute la *supply chain*. Mais cette différence est quasiment nulle car le projet ne visait pas la réduction des non-conformités.

❖ ANALYSE COMPLÉMENTAIRE

Ces résultats sont très positifs car il faut savoir que les objectifs de bâtiment D étaient de réduire de 450€ le coût de fabrication des structures *wheel-loader*. Ces objectifs doivent absolument être atteints pour assurer la pérennité de l'usine de Gosselies.

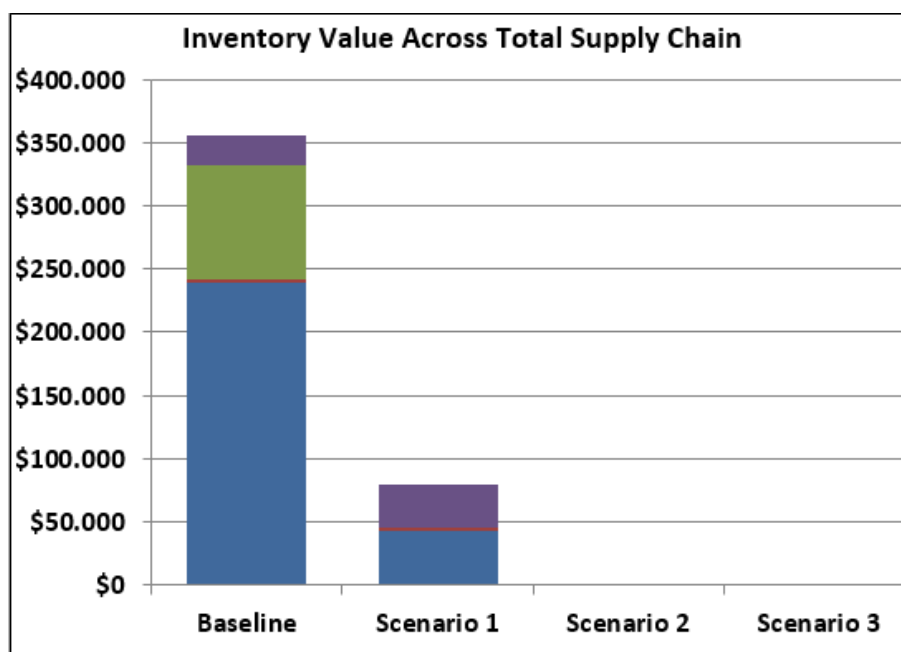
Une réduction de 23,46\$ par *plate* représente un gain de 46,92\$ sur chaque *wheel-loader*, soit 10,43% de l'objectif de réduction de coût du plan industriel.

Ce type d'analyse des résultats permet au projet d'avoir une très bonne visibilité auprès des managers. Ces résultats positifs et en adéquation avec la stratégie de l'entreprise, ont donc permis d'accélérer l'implémentation du projet au sein de l'organisation.

De plus, ce projet permet de réduire de manière conséquente la quantité de *plates* engagées dans l'ensemble du processus et ce depuis le fournisseur jusqu'à la ligne de production des *lift-arm* chez Caterpillar.

Voici un graphique qui reprend l'ensemble des inventaires de *plates* en valeur dans toute la *supply chain* :

Figure 40: TCO inventory value



● La valeur de l'inventaire chez Oxy-Fleurus, soit 240.000\$ pour la *base line* et 43.000\$ pour le scénario 1

● La valeur des *plates* en transit, soit 2.578\$ dans les 2 scénarios

● La valeur de l'inventaire chez Caterpillar, soit 89.783\$ pour la *base line* et 0\$ pour le scénario 1

● La valeur de l'inventaire au POU, soit 24.272\$ pour la *base line* et 33.374\$ pour le scénario 1

La valeur totale de l'inventaire sur toute la *supply chain*, aujourd'hui, est de 356.633\$. Alors que la valeur totale de l'inventaire sur toute la *supply chain*, lorsque la solution d'optimisation sera implémentée, est de 78.952\$, soit une économie de 277.681\$ de stock.

Caterpillar réduit de 80.681\$ son inventaire de *plates* de *lift-arm*. La réduction du stock n'est pas un gain direct, mais il permet à l'entreprise, par exemple, d'investir dans d'autres domaines.

De plus, il faut savoir que cette analyse a été réalisée sur la *plate* du modèle le plus fabriqué par l'usine. Ce *part number* a l'un des coûts d'achat les plus faibles (1.197,11\$) parmi tous les modèles achetés chez Oxy-Fleurus.

En effet, le coût d'achat moyen est de 1.712\$. Ce qui signifie que la réduction totale de la valeur des inventaires est en réalité plus élevée que celle présentée par le TCO.

V. ANALYSE DES RÉSULTATS CHEZ OXY-FLEURUS

L'implémentation de ce type de projet d'optimisation de l'approvisionnement, induit forcément toute une série de conséquences sur la *supply chain* du fournisseur concerné.

Ce chapitre a donc pour objectif de présenter l'ensemble des implications chez Oxy-Fleurus, (contractuelles, en termes de coûts, de stock, de planning de la production, etc...) de l'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm*.

Voici les modifications du processus qui concernent directement Oxy-Fleurus :

- Communication d'un plan de production fiable à 20 jours
- Séquencement des modèles de *plates*
- Nouvelle méthode d'appel des *plates*
- Optimisation des camions

Etant donné que la nouvelle solution a différents impacts sur le processus du fournisseur, il était vital d'organiser une rencontre avec Oxy-Fleurus afin de développer un réel partenariat sur base de ce projet.

En tant que *project leader*, j'ai donc eu l'occasion de présenter l'ensemble de mon projet devant les responsables du groupe FLP d'Oxy-Fleurus. Afin que le projet soit validé par toutes les parties prenantes, il était important d'en discuter assez tôt avec le fournisseur.

Dans le cadre d'un partenariat, il est déconseillé d'imposer directement au fournisseur un projet complètement défini. En effet, la solution qui sera implémentée doit résulter d'un commun accord sur l'ensemble des contraintes du projet.

Deux rencontres avec le fournisseur ont permis de mettre en évidence les contraintes mais aussi les gains du projet pour Oxy-Fleurus. Il faut savoir que les attentes de Caterpillar ainsi que les nouvelles contraintes pour ce processus d'approvisionnement, ont été mûrement discutées avec le fournisseur.

Voici les nouvelles attentes contractuelles des deux partis, pour le processus d'approvisionnement des *plates* de *lift-arm* :

- Oxy-Fleurus s'engage à disposer d'un inventaire de *plates* finies couvrant quatre jours de production chez Caterpillar. Ce stock de produits finis permet de couvrir une éventuelle variabilité dans la demande ou encore certains dysfonctionnements du processus d'approvisionnement.
- Les commandes de *plates* de *lift-arm* doivent être traitées en priorité afin de réduire le temps de réponse du fournisseur sur ces composants. En effet, le *buffer* en ligne de trois palettes sur le convoyeur, soit six machines, ne pourrait pas couvrir un temps de réponse trop important.
- Oxy-Fleurus s'engage à envoyer la commande le jour même de l'appel.
- Caterpillar s'engage à fournir un plan de production fiable et figé sur 20 jours. Ce plan de production reprend l'ensemble des *plates* séquencé selon l'ordre dans lequel ils seront soudés au point d'utilisation. Ce plan constitue donc des commandes fermes sur 20 jours. Un exemple se trouve en annexe 15.
- Si une modification de la séquence apparaît, Caterpillar la communiquera directement. Si cette modification intervient dans les quatre jours qui précèdent la commande, Caterpillar s'engage à la gérer en interne.
- Oxy-Fleurus s'engage à séquencer au sein des six palettes, les différents modèles de *plates* selon l'ordre du plan de production communiqué. Le fournisseur identifie également chaque palette au moyen de cartes aimantées (1, 2, 3,...). La photo numéro 4 de la FID en annexe 20, illustre cette étape.

Ces nouveaux engagements des deux parties, permettent d'assurer une implémentation efficace du nouveau processus d'approvisionnement. Toutes les conséquences pour Oxy-Fleurus seront abordées selon les modifications du processus qui les induisent.

❖ COMMUNICATION DU PLAN DE PRODUCTION FIABLE ET NOUVEAU PROCESSUS D'APPEL

Comme nous l'avons vu précédemment, le processus actuel d'appel des *plates* est basé sur des prévisions erronées. Le DOL qui est envoyé chaque jour, ne permet pas à Oxy-Fleurus de produire sur base de commande ferme. Cette méthode d'appel induit donc une triple incertitude (sur la quantité, la date, la concrétisation de la commande) sur la planification de la production.

Afin de palier à ces incertitudes, Oxy-Fleurus doit constituer d'importants stocks de sécurité et ce sur tous les modèles de *plates*. La photo en annexe 24, illustre l'un des stocks de sécurité de produits finis constitué pour palier à toute cette incertitude sur les commandes.

Lors de la deuxième visite, nous avons eu l'occasion d'identifier les différents stocks de sécurité des *plates* et ce sur chaque étape de leur processus interne :

- 139 *plates* finies et prêtes à être livrées, soit 11,7 jours de production chez Caterpillar
- 42 *plates* brut avant la soudure des *boss*
- 65 *plates* après découpe des tôles
- 43 *plates* en-cours

Les stocks de sécurité qu'Oxy-Fleurus a dû constituer pour pallier la variabilité de la demande de Caterpillar, sont astronomiques. En effet, près de 300 *plates* sur tout le processus sont nécessaires afin de couvrir une demande de 12 *plates* par jour. Ces stocks représentent un coût énorme pour Oxy-Fleurus. De plus, près de la moitié des *plates* sont finis, ceci signifie qu'ils sont à un stade de production où ils sont les plus chers pour l'usine.

La communication d'un plan de production qui couvre 20 jours de production, permet à Oxy-Fleurus de lancer des séries de production sur base d'une demande réelle et fondée.

Comme nous l'avons défini dans le développement de la solution personnelle, la production synchrone est une énorme plus-value pour le fournisseur. Etant donné que Caterpillar s'engage à commander toutes les *plates* qui composent le plan de production communiqué, cela permet à Oxy-Fleurus de redéfinir complètement le planning de sa production.

La production synchrone est l'aspect du projet qui a soulevé le plus d'enthousiasme chez les dirigeants du groupe. En effet, avoir une demande figée sur 20 jours leur permet de réduire considérablement chacun des stocks de sécurité évoqués plus haut.

Selon les premières estimations du directeur de l'usine, le projet leur permettrait de réduire leurs stocks de sécurité à :

- 50 *plates* d'inventaire de *plates* finies, soit quatre jours de production
- 24 *plates* avant la soudure des *boss*
- 40 *plates* après découpe des tôles
- 42 *plates* en-cours

Le projet permettait donc de réduire de près de la moitié l'ensemble des stocks de *plates* chez Oxy-Fleurus. Ne connaissant pas le coût de revient pour le fournisseur, des composants, il est impossible de chiffrer le gain en matière de stock.

En ce qui concerne les matières premières, il est impossible pour eux de réduire leur stock. Il faut savoir qu'il est très compliqué pour des oxycoupeurs d'approvisionner des tôles d'acier juste en fonction de ce qu'ils consomment. Ce projet n'influencera donc en rien le stock de matières premières nécessaires.

Nous pouvons donc conclure que le nouveau processus d'appel des *plates* et la communication d'un plan de production figé sur 20 jours permettent au fournisseur de réduire fortement ses stocks et ce à chaque étape du processus de fabrication.

De plus, une demande stable et communiquée permet de mobiliser de façon plus efficace les ressources nécessaires à la fabrication des *plates*. En effet, ces 20 jours de commandes fermes permettent de réguler la production comme le fournisseur l'entend. Il peut tout à fait décider de produire les 240 *plates* (les 20 jours couverts) la première semaine afin de mobiliser par la suite, ses ressources (machines ou main d'œuvre) sur une autre ligne de production. Cette flexibilité permet aussi au fournisseur d'absorber plus facilement la variabilité de son processus.

Il est évidemment très compliqué d'évaluer le gain réel d'une amélioration des flux, d'une plus grande flexibilité de production, d'une réduction de l'incertitude, etc...

La production synchrone et le nouveau processus d'appel constituent donc deux éléments clés dans la constitution d'un réel partenariat avec le fournisseur.

❖ SÉQUENCEMENT DES MODÈLES DE PLATES

Le fait de devoir séquencer les modèles de *plates* dans les six palettes selon l'ordre du plan communiqué n'est pas un point bloquant, ni même une contrainte pour le fournisseur. En effet,

cette opération sur leur quai d'expédition, ne demande pas beaucoup de manipulation supplémentaire.

❖ OPTIMISATION DES CAMIONS

En ce qui concerne l'optimisation des camions, Oxy-Fleurus doit, lorsqu'il reçoit l'appel, dédier le prochain camion de disponible aux six palettes de *plates*. Ce camion ne contiendra que des *plates* car le taux de remplissage avec *plates* palettes pleines, est proche des 95%.

Il faut savoir que les fournisseurs de Caterpillar sont évalués selon des critères de performance. L'un de ces critères est le temps de réponse du fournisseur une fois la commande ferme passée. Etant donné qu'aucune commande ferme n'était confirmée avec la méthode DOL, Oxy-Fleurus présentait un très mauvais score à cet indicateur de performance.

Grâce à l'optimisation du processus d'approvisionnement, le fournisseur réduit son temps de réponse. En effet, lorsque l'appel quotidien est fait, il sait exactement à l'avance ce qui devra être envoyé grâce au plan de production communiqué.

Conclusion

Ce projet d'optimisation du processus des *plates de lift-arm*, est né de la volonté de décharger le camion au plus près du point d'utilisation. En effet, l'objectif initial était de minimiser les trajets réalisés par les caristes pour assurer l'approvisionnement. Cet objectif opérationnel avait pour but d'atteindre la finalité stratégique de Caterpillar qui était une réduction globale des coûts.

La démarche DMAIC Lean 6 Sigma a permis de mettre en évidence assez vite, de nouvelles opportunités d'amélioration. Au fil de la démarche les objectifs du projet ont donc évolués.

La première étape *Define* a permis de cadrer très précisément l'étendue du projet. Une fois les bornes du projet définies, différents outils nous ont permis de cartographier l'ensemble du processus concerné. A ce stade, plusieurs dysfonctionnements ont déjà pu être identifiés. Chaque dysfonctionnement constitue une opportunité d'amélioration.

L'étape *Measure* avait pour objectif de mesurer la performance du processus actuel. Il a donc fallu définir toute une série d'indicateurs afin d'évaluer les inputs et les outputs du processus. Cette collecte de données était nécessaire dans l'identification des dysfonctionnements. Il ne serait pas rationnel de tirer des conclusions sur la performance du processus, uniquement sur base d'intuitions.

Les différents outils de l'étape *Analyze* ont permis d'identifier l'ensemble des causes profondes de dysfonctionnement du processus. Cette étape était cruciale pour le projet car l'objectif principal de la méthodologie Lean 6 Sigma est de supprimer ces causes profondes. L'étape *Analyze* a établi les liens de causalités entre ces causes et les défaillances du processus.

L'étape *Improve* est un espace dédié à la production de solutions créatives. Ces solutions visaient clairement la suppression des causes profondes de dysfonctionnement ou la réduction de leurs effets non-désirés sur le processus d'approvisionnement. Suite à l'évaluation des différents scénarios, la solution que j'ai proposée, sur base d'une revue de la littérature et sur toute l'analyse menée jusqu'ici, s'est avérée être la plus adaptée à l'optimisation du processus d'approvisionnement des *plates de lift-arm*.

L'étape *Control* assiste l'implémentation de la solution. Cette étape est l'une des plus importantes de la démarche DMAIC car elle assure la pérennité de la solution. Une fois le

nouveau processus d'approvisionnement implémenté dans l'organisation, il faut absolument définir un système de contrôle du processus par le biais de feuilles d'instruction.

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, les objectifs ont évolué. En effet, de nouvelles opportunités d'amélioration ont été mises en évidence. De plus, l'outil AMDEC a permis de hiérarchiser les défaillances du processus selon l'ordre de priorité dans lequel elles doivent être traitées. Cet outil a donc redéfini l'ensemble des objectifs du projet.

Tous les résultats du projet ont été analysés en profondeur dans le chapitre analyse des résultats.

De cette analyse, nous avons pu conclure que ce projet a atteint les objectifs préalablement fixés. Les résultats du projet sont tout à fait en adéquation avec les objectifs stratégiques de Caterpillar.

Le contexte particulier que connaît l'usine Caterpillar de Gosselies, est une réelle plus-value pour ce mémoire-projet. En effet, le plan industriel est un environnement très favorable à la réalisation de projets d'amélioration. De plus, le sujet traité est en parfaite adéquation avec la spécialisation logistique que j'ai pu suivre lors de mon cursus. Ce mémoire-projet constitue donc l'aboutissement de mon parcours académique.

Néanmoins, la difficulté principale de ce projet, résidait justement dans ce contexte qui ne facilitait pas la collecte de données. Il a donc fallu user d'une réelle stratégie de communication afin d'obtenir ces informations auprès des différentes parties prenantes du projet.

De plus, il n'était pas rare que certaines données chiffrées manquaient. Ce qui compromet fortement l'utilisation de plusieurs outils 6 Sigma. Le manque de fiabilité du *reporting* a donc posé des difficultés et imposé des limites dans des étapes comme l'*Measure* et *Analyze*.

Pour conclure, nous pouvons dire que ce projet d'amélioration ne constitue qu'une amorce à l'optimisation de l'ensemble des flux de l'usine Caterpillar. En effet, les pistes futures de ce projet sont multiples. La solution implémentée est généralisable à de nombreux processus d'approvisionnement qui implique un fournisseur géographiquement proche. Mais une fois tous les projets du plan industriel menés à terme, l'amélioration logistique doit être continue. La clé du succès d'une organisation réside dans sa capacité à se remettre en question en permanence.

Bibliographie

Blakemore J., *Introduction to Kaizen, Kyosei and Obeya, How to be creative, innovative, fast & flexible*, Principal Innovation Blakemore Consulting International, 2008

Centre de formation Caterpillar, *Formation 6 Sigma Black Belt*, littérature donnée aux participants de la formation Black Belt

Centre de formation Caterpillar, *Formation 6 Sigma Green Belt*, littérature donnée aux participants de la formation Green Belt

Dube J. *Plan for every part*, <http://jeanpierredube.com/blog/2012/08/19/pfep-plan-for-every-part/> (page consultée le 30 mai 2014)

Duret D. et Pillet M., *Qualité en production, de l'ISO 9000 à Six Sigma*, Paris, Eyrolles éditions d'organisation, 3^{ème} édition, 2005

Fattahi P. et al., *Sequencing mixed-model assembly lines by considering feeding lines*, London, Springer-Verlag, 2011

Fréchet C., *Mettre en œuvre le Six Sigma*, Paris, éditions d'organisation, 2005

Gaulin E., *Néguentropie – Entropie*, <http://www.approche-systemique.com/approche-systemique/entropie-neguentropie/>, 2012 (page consultée le 13 avril 2014)

Goldratt M. et Cox J., *The goal*, La Plaine Saint-Denis, afnor éditions, 4^{ème} édition, 2013

Goldsby T. et Martichenko R., *Lean Six Sigma Logistics Strategic development to operational success*, Florida, J. Ross Publishing, 2005

Landy G., *AMDEC Guide pratique*, La Plaine Saint-Denis, Afnor, 2^{ème} édition, 2007

MacPherson S., *Tearing Down the Walls to Achieve Breakthrough Performance*, <http://www.leanleadershipacademy.com/wp-content/uploads/2013/04/Obeya-Presentation-IW-April-2013.pdf>, 2013 (page consultée le 23 avril 2014)

Mendy G. et Giard V., *Amélioration de la synchronisation de la production sur une chaîne logistique*, université Paris Dauphine

Mendy G. et Giard V., *Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*, université Paris Dauphine

Pillet M. et al., *Gestion de production les fondamentaux et les bonnes pratiques*, Paris, Eyrolles, 5^{ème} édition

Pillet M., *Six Sigma comment l'appliquer ?*, Paris, éditions d'organisation, 2004

Pugh S., *Creating Innovative Products Using Total Design: The Living Legacy of Stuart Pugh*, Addison-Wesley, Don Clausing and Ron Andrade, 1996

Rowan et Brandon C., *Study of the role of Strategically Managed Inventory (SMI) in the Caterpillar supply chain*, <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/73419>, 2012, (page consultée le 30 mai 2014)

Schonberger R., *Best Practices in Lean Six Sigma Process Improvement*, New Jersey, Jhon Wiley & Sons, 2008

Shankar R., *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*, Milwaukee, ASQ, 2009

Site de Caterpillar, <http://www.caterpillar.com/en/company/strategy.html> (page consultée le 15 février 2014)

Tanaka T. et al., *The basics of Obeya*, QV System, 2011

Vlock M., *Déployer et exploiter Lean Six Sigma*, Paris, Eyrolles éditions d'organisation, 2009

Annexes

