

## **Optimisation d'une équipe de sous-traitance intellectuelle grâce aux outils de gestion de la qualité. Pour la société GDTech S.A.**

**Auteur :** Lousberg, Kévin

**Promoteur(s) :** Pironet, Thierry

**Faculté :** HEC-Ecole de gestion de l'Université de Liège

**Diplôme :** Master en sciences de gestion, à finalité spécialisée en management général (Horaire décalé)

**Année académique :** 2017-2018

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/5442>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

GTFE0017-1 Travail de fin d'études

Optimisation d'une équipe de sous-traitance  
intellectuelle grâce aux outils de gestion de la  
qualité

*Pour la société GDTech S.A.*

---

Promoteur :

Thierry PIRONET

Lecteurs :

Jean-Marie DUJARDIN

Arnaud CHENIER

Travail de fin d'études présenté par  
**Kévin LOUSBERG** en vue de  
l'obtention du diplôme de Master en  
sciences de gestion à finalité  
spécialisée en management général  
Année académique 2017-2018

# Remerciements

J'aimerais remercier mon promoteur, Dr. Thierry Pironet, pour son aide précieuse tout au long de ce travail. Tout d'abord, pour déterminer le cadre de travail et ensuite, pour ses remarques pertinentes afin d'ajouter une grande valeur à ce travail.

Je souhaiterais également remercier ma société, GDTech S.A., de m'avoir permis de reprendre des études en horaire décalé et de m'avoir permis de réaliser ce travail de fin d'étude au sein de mon équipe de travail, ce qui a augmenté fortement ma motivation. J'ose espérer que ces études et ce travail pourront être mis à profit au sein de GDTech.

En particulier, je voulais remercier ma directrice des ressources humaines, Marianne Vanesse pour son aide et ses réponses concernant la culture de l'entreprise et l'aspect ressources humaines. Egaleme nt, mon responsable, Arnaud Chenier, pour ses remarques sur les outils d'amélioration développés dans ce travail.

Enfin, je souhaite remercier mes parents et ma compagne pour leur soutien indéfectible au cours de ses deux années de Master et plus particulièrement durant la période de réalisation de ce travail de fin d'études qui fut éreintant. Wendy, merci d'avoir passé de nombreuses soirées seule durant les cours et de nombreuses soirées à mes côtés quand j'étais occupé à avancer dans ce travail.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Contexte et présentation de la situation</b>	<b>7</b>
2.1	Présentation de GDTech S.A. . . . .	7
2.2	Présentation de Safran Aero Boosters et description du bureau d'études exploitation . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Revue de littérature</b>	<b>13</b>
3.1	LEAN et principes dérivés . . . . .	13
3.1.1	Roue de Deming . . . . .	13
3.1.2	Total Quality Control . . . . .	14
3.1.3	Outils de résolution des problèmes . . . . .	14
3.2	Culture d'entreprise et management des organisations . . . . .	18
3.2.1	Culture d'entreprise . . . . .	18
3.2.2	Modèle organisationnel . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Analyse de la situation actuelle</b>	<b>21</b>
4.1	Culture d'entreprise et modèle organisationnel de GDTech . . . . .	21
4.1.1	Enjeux liés à la culture d'entreprise et à GDTech . . . . .	22
4.2	Analyse de la demande . . . . .	24
4.2.1	Cas après-vente . . . . .	25
4.2.2	Dérogations . . . . .	27
4.3	Diagramme Cause - Effet . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Propositions d'améliorations</b>	<b>37</b>
5.1	Propositions d'amélioration - Diagramme Cause - Effet . . . . .	37
5.2	Propositions d'amélioration - Cas après-vente . . . . .	39
5.3	Propositions d'amélioration - Dérogations . . . . .	40
5.4	Propositions d'amélioration - Formation et transfert de connaissances . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Mise en oeuvre de la roue de Deming</b>	<b>43</b>
6.1	Gains apportés par le Kaizen . . . . .	46
<b>7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>47</b>

## Table des figures

1	Organigramme GDTech S.A. . . . .	7
2	Logigramme du traitement d'une demande . . . . .	9
3	Roue de Deming (image tirée du site [4]) . . . . .	14
4	Diagramme de Pareto . . . . .	15
5	Diagramme Cause-Effet tirée de [1] . . . . .	16
6	Exemples d'histogramme et de diagramme de corrélation tirés de [2] et [?] . . . . .	16
7	Cadre des valeurs en concurrence tiré de [6] . . . . .	18
8	Différents types de coordination du travail tirés de [9] . . . . .	19
9	Cas après-vente - Répartition annuelle de la demande par pièce et de la demande totale . . . . .	26
10	Cas après-vente -Détail des écarts du tambour (gauche) et du splitter (droite) . . . . .	27
11	Cas après-vente -Détail des écarts du RD1 (gauche) et du Laby statique (droite) . . . . .	27
12	Dérogations - Evolution de la demande annuelle par moteur . . . . .	28
13	Dérogations CMF56 - Répartition de la demande annuelle entre les pièces . . . . .	31
14	Dérogations CMF56 - Exemple d'un template de demande . . . . .	31
15	Dérogations CFM56 - Détail des écarts du tambour . . . . .	32
16	Dérogations GE90 - Répartition de la demande annuelle par pièce . . . . .	33
17	Dérogations GE90 - Détail des écarts sur les redresseurs (tout étage confondu) . . . . .	33
18	Dérogations GE90 - Détail des écarts du tambour . . . . .	34
19	Diagramme Cause - Effet appliqué au traitement d'une dérogation . . . . .	35
20	Roue de Deming appliquée à l'équipe GDTech . . . . .	43
21	Evolution des indicateurs temporels . . . . .	44

## Liste des tableaux

1	Modèles organisationnels dominants . . . . .	21
2	Diagramme Cause - Effet : actions critiques et temps de réalisation . . . . .	36
3	Gain en terme de chiffre d'affaires pour les pistes d'amélioration proposées dans ce travail . . . . .	46

# 1 Introduction

La société GDTech S.A. est une PME de la région liégeoise, qui propose des services dans l'analyse numérique de pointe et dans la sous-traitance intellectuelle. Safran Aero Boosters est un client majeur dans ce dernier domaine et ce travail s'attache à l'étude d'une équipe de 5 sous-traitants effectuant une prestation journalière au sein du bureau d'étude exploitation de Safran Aero Boosters.

Une présentation du contexte (§2) de cette équipe, de son fonctionnement et des enjeux clés liés à celle-ci permettra d'identifier des problèmes devant être solutionnés. La démarche de la roue de Deming sera initiée en déterminant les causes de ces problèmes. Dans ce but, le LEAN et en particulier le Kaizen seront utilisés comme outils de base. L'analyse de la culture d'entreprise et du management de l'organisation apportera une touche plus humaine à cette analyse et permettra de dégager des problèmes liés aux ressources humaines. Une revue de littérature (§3) de ces concepts est présentée, afin de faciliter la compréhension de l'étude qui suivra.

L'analyse (§4) se déroulera en 3 étapes : une analyse de la culture d'entreprise et de l'aspect gestion des ressources humaines, une analyse des actions composant le traitement courant d'une demande afin d'identifier les actions chronophages ou improductives et enfin une analyse de la demande, pour dégager des informations sur la charge de l'équipe.

Suite à cette analyse, des propositions d'amélioration (§6) seront définies pour les différents causes, ce qui clora l'étape de planification. Le suivi de l'évolution de l'efficacité et de la performance de l'équipe sera alors présenté, de manière quantitative et qualitative. Pour conclure ce travail, des pistes d'amélioration à plus long terme et de réflexion seront également proposées, mais ne seront pas mises en oeuvre dans le cadre de ce travail.





## 2 Contexte et présentation de la situation

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il est important de décrire la société GDTech en présentant ses départements, son organigramme et la position de l'équipe faisant partie du bureau d'études exploitation au sein de cet organigramme. Une fois cette contextualisation réalisée, les enjeux clés seront présentés, tant d'un point de vue rentabilité qu'humain.

### 2.1 Présentation de GDTech S.A.

GDTech S.A. est une entreprise liégeoise, située sur le site d'Alleur. GDTech est un bureau de prestation de services d'ingénierie et elle propose ses services dans l'analyse numérique, de par sa maîtrise forte des outils tels que la Conception Assistée par Ordinateur (CAO), la mécanique des fluides, les calculs éléments finis et dynamiques. GDTech offre ses services dans divers domaines techniques tels que l'aéronautique, la défense, le spatial et autres. Afin d'y voir plus clair, la Figure 1 présente l'organigramme simplifié de la société, sur lequel se trouvent les postes clés et les postes notables du département technique, au sein duquel se trouve l'équipe en sous-traitance du bureau d'études exploitation.

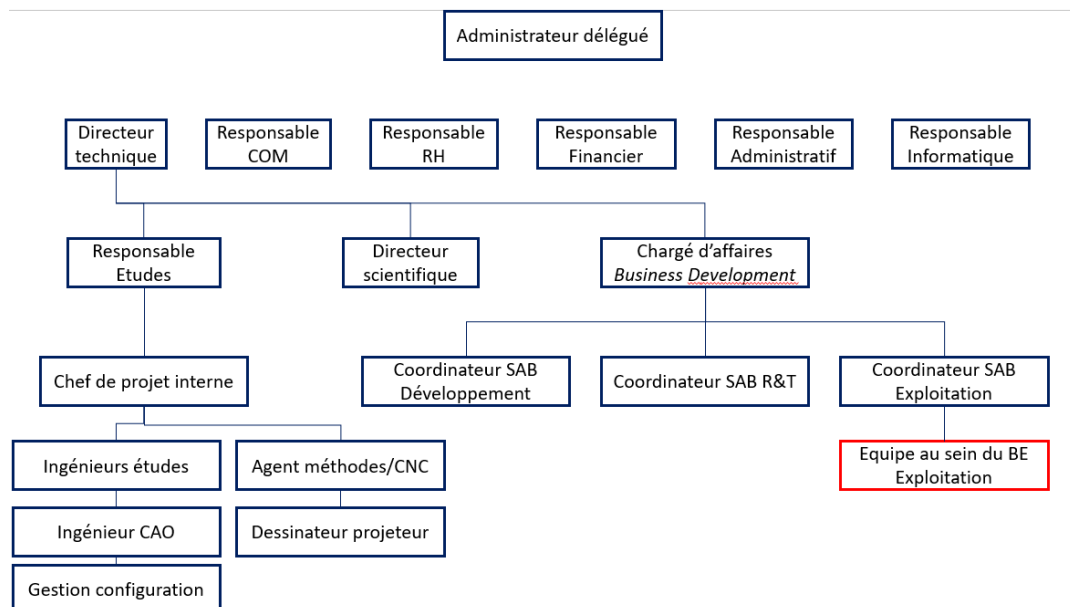


FIGURE 1 – Organigramme GDTech S.A.

Au sein du département technique, on retrouve 2 pôles principaux. D'une part, les équipes internes, qui sont multi-projets et travaillent en coordination sous la direction d'un chef de projet. Leurs clients sont nombreux et variés. D'autre part, les équipes en sous-traitance pour un client fixe (tels que Safran Aero Boosters (SAB), SONACA, Amos,...). Ces employés sont soit sur le site du client ou bien ils travaillent par correspondance depuis les bureaux de GDTech. Safran Aero Boosters est le client principal de GDTech du point de vue de la sous-traitance intellectuelle. En ce qui concerne l'équipe faisant l'objet de ce travail, elle est située sur le site du client, Safran Aero Boosters, dans les bureaux du bureau d'études exploitation.

## 2.2 Présentation de Safran Aero Boosters et description du bureau d'études exploitation

Pour information, Safran Aero Boosters conçoit des boosters de moteur d'avion (il s'agit du module à l'amont du moteur, appelé également compresseur basse-pression). La conception d'un nouveau moteur passe par 3 étapes : le développement technologique, les essais de certification sur le produit fini et la production. Plus en détail, le développement est réalisé par le bureau d'études développement, qui construit un design de booster permettant de répondre au cahier des charges du moteur (cahier des charges qui est fourni par le motoriste<sup>1</sup>). Ce développement s'appuie sur des outils technologiques tels que la CAO et les logiciels de calculs éléments finis (simulation des contraintes au sein d'une pièce, sous un chargement donné). Une fois le design figé, un premier prototype est produit et subi la série de tests définis par les autorités aéronautiques. Sans rentrer dans le détail, la FAA (Federal Aviation Administration) définit une vingtaine d'essais certifiant les moteurs pour le vol. Le bureau d'études développement s'assure, a priori des essais, que le booster répondra avec succès aux requis de ces tests, grâce aux outils de prévision par ordinateur.

Une fois la phase de design terminée et les essais certifiants passés avec succès, la phase de production démarre. La production s'appuie sur les plans de définition dessinés par le bureau d'études développement. Chaque cote du plan est définie avec un intervalle de tolérance, qui accorde à la production une certaine latitude (il est impossible de réaliser une pièce au micron près, vu la qualité finie des outils de production). Après la production, le département qualité procède à des contrôles dimensionnels de la pièce, pour s'assurer que les dimensions réelles soient en adéquation avec les dimensions théoriques du plan. Lorsqu'une dimension (une cote) sort de son intervalle de définition, une dérogation est émise par le département qualité. C'est à ce moment que le bureau d'études exploitation intervient.

Le département qualité envoie des demandes de dérogation au bureau d'études exploitation, dans lesquelles se trouvent les cotes relevées hors de l'intervalle de définition ainsi que des commentaires pouvant faciliter le traitement de la demande. Le rôle du bureau est alors de vérifier que les études et calculs réalisés lors du développement sont toujours valides et que les points de certification restent vérifiés malgré les écarts présents sur la pièce. Bien qu'on l'appelle bureau d'études, celui-ci diffère fortement de la vision classique d'un bureau d'études. En règle générale, un bureau d'études développe de nouveaux produits *ex nihilo*. Dans le cas présent, le bureau d'études exploitation est support à la production.

En outre, lorsque les moteurs sont vendus aux motoristes, la FAA oblige ceux-ci à réaliser des inspections routinières après un nombre de cycles de vol défini (un cycle de vol correspond à toutes étapes du vol entre le décollage et l'atterrissage). Lors de ces inspections, les défauts et

---

1. Les motoristes sont ceux qui assemblent toutes les parties d'un moteur et les vendent aux compagnies aériennes. Ex : GE, Pratt & Whitney, Safran et Rolls Royce

anomalies relevés sur le booster (usure d'une pièce, coup suite à l'ingestion d'un corps étranger, griffe lors d'un démontage,...) sont reportés au BE exploitation pour connaître l'impact sur la tenue mécanique de la pièce. Ce type de demande est appelé cas support en service ou cas après-vente. Le BE exploitation a donc 2 rôles principaux de support de la production et support en service.

Le périmètre de responsabilité du BE exploitation contient tous les moteurs ayant terminé leur phase de développement et qui sont certifiés. Les moteurs concernés sont : le CFM56, le GE90, le CF34, le GP7000 et le GEnx. Sur ces moteurs, tout ou partie du booster sont de responsabilité Safran Aero Boosters. Le nombre de pièces varie selon le moteur, suite à l'accord signé contractuellement avec le motoriste.

L'équipe est composée de 8 ingénieurs internes (dont un manager pour le bureau d'études) et de 5 sous-traitants GDTech (6 en 2017). En tant que consultant, l'équipe GDTech reçoit des demandes de traitement de la part des ingénieurs internes. Il s'agit soit de demandes de dérogations reçues du département qualité, soit de demandes de cas pour le support en service. Dès leur réception, un délai de fin est négocié et les ingénieurs GDTech suivent le mode de fonctionnement suivant :

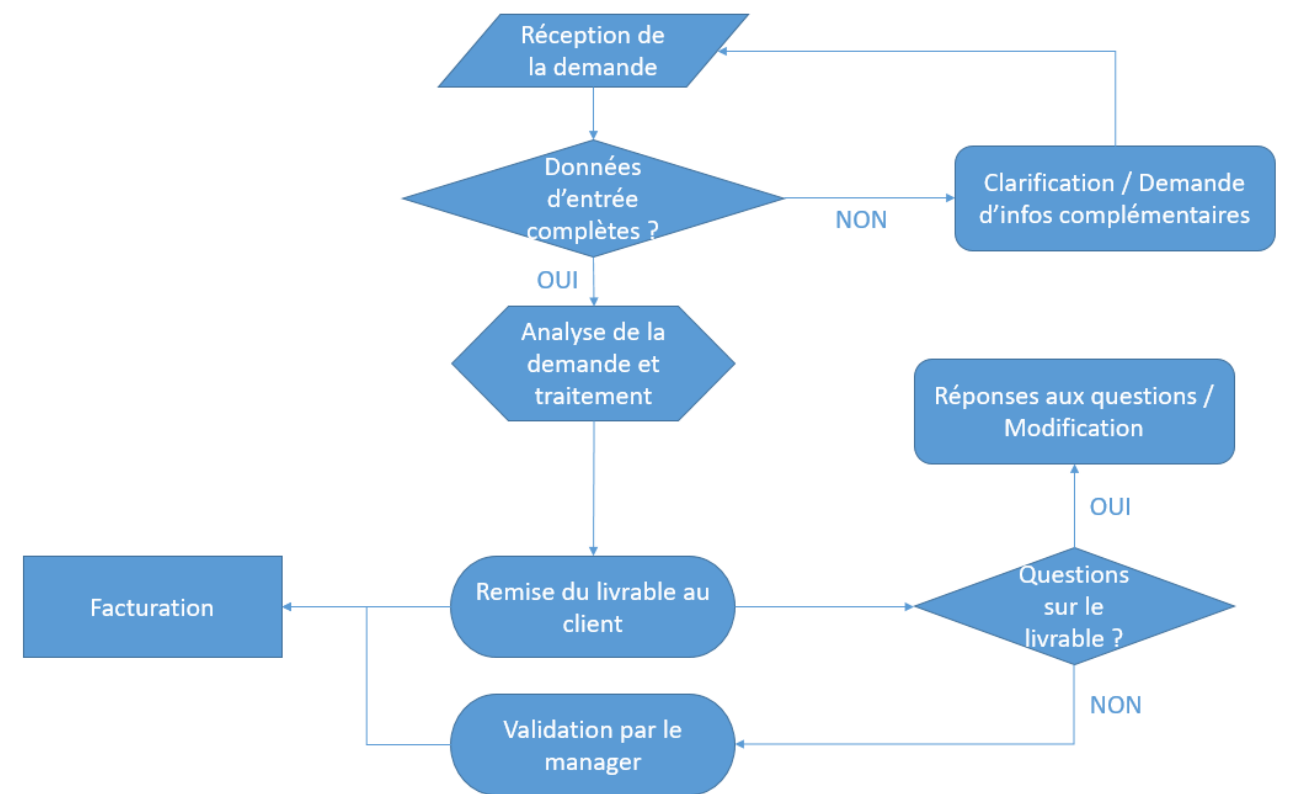


FIGURE 2 – Logigramme du traitement d'une demande

Pour compléter ce logigramme, on peut détailler le traitement d'une demande en 3 étapes : la réception de la demande (et les clarifications nécessaires), le traitement et la rédaction du livrable. Afin de permettre la validation du livrable par le manager, le client (un membre de

l'équipe interne SAB) demande parfois des clarifications ou des suppléments d'analyse. Ce logigramme donne une vision globale du traitement d'une demande. Une dissection de ce logigramme est présentée au §4.3, où les temps moyens nécessaires pour chaque étape du traitement sont estimés.

Concrètement, pour les dérogations, le traitement consiste à comprendre les écarts qui sont déclarés (grâce aux indications de la demande), puis de décider en accord avec client de la méthodologie à suivre pour la validation de ces écarts. Au vu du temps limité pour fournir une réponse, deux types de méthodologie sont suivies. D'une part, une méthodologie analytique qui se base sur les formules analytiques de détermination des contraintes selon la mécanique du solide. Cette méthodologie est souvent privilégiée car elle est très rapide. L'utilisation de ces formules (qui dépendent de quelques paramètres seulement) permet de quantifier une variation par rapport aux modèles éléments finis ayant servis à la certification. Ensuite, sur base des mêmes critères que lors de la certification, on juge de l'acceptabilité de cette variation.

D'autre part, une méthodologie par calcul, où les écarts sont modélisés par éléments finis et les calculs de certification sont relancés avec la géométrie modifiée. Dans ce cas, c'est un spécialiste du calcul par éléments finis qui se charge de l'étude. Il s'agit d'une méthodologie beaucoup plus longue, de l'ordre de 2 à 3 jours de travail. Le traitement des cas après-vente est plus bref et il est très rare de recourir à des calculs éléments finis. La méthodologie analytique est principalement utilisée car elle donne des estimations suffisantes pour s'assurer de la tenue de la pièce.

Une fois le livrable validé, les employés GDTech facturent leur travail au client. Le système de facturation est un système tarifaire selon le livrable fourni. Par exemple, un cas après-vente est facturé 3h ou 5h de travail alors qu'une demande de dérogation représente une charge de 8h. Il est donc nécessaire de maîtriser son temps de travail et d'être capable de rendre un livrable mature, complet, tout en respectant les temps de travail stipulés dans le contrat entre GDTech et son client. En effet, si l'employé GDTech passe 10h sur une dérogation, il ne pourra facturer à Safran Aero Boosters que 8h de travail, ce qui génère une perte de 2h pour GDTech.

Les membres de GDTech sont donc contraints de plusieurs façons. La qualité du livrable, le respect du délai du client et enfin le respect du timing facturable de l'analyse sont 3 contraintes qui doivent être respectées.

Bien qu'une partie des demandes soit récurrente, il est tout de même difficile de respecter les barèmes tarifaires du contrat. De plus, suite à ce problème et aux délais parfois très courts (moins d'une journée), il est difficile pour l'équipe de sortir des livrables de qualité parfaite. En effet, il est rare d'échapper à une itération avec le client afin de modifier une tournure de phrases ou d'ajouter un point d'analyse.

Il est donc nécessaire de passer plus de temps sur le fond de l'analyse et du livrable et de passer moins de temps sur des actions chronophages (qu'il faut identifier). Il s'agit d'un problème d'optimisation de la qualité et de suppression des déchets. L'apport de la méthode LEAN dans ce contexte semble le bienvenu.

Un autre problème rencontré au sein du bureau d'études et non pas de l'équipe GDTech est une surcharge de travail. En effet, vu le nombre important de demandes de dérogations et de cas support en service reçus, la charge de l'équipe (internes et externes) ne permet pas d'assurer un plein effort sur les actions à long terme telles que les changements de définition ou les études approfondies. L'intérêt de réduire le temps de traitement est donc nécessaire afin de libérer de la charge pour traiter plus d'études approfondies, nécessitant une valeur ajoutée plus importante. Ainsi, l'équipe GDTech est souvent amenée à travailler sur une majorité d'actions à très court terme et très rarement des actions à long terme et à haute valeur ajoutée. Cette constatation est antagoniste avec le métier d'ingénieur qui demande un profil créatif, autonome et qui apporte une haute valeur ajoutée. L'analyse de la culture d'entreprise permettra d'identifier les problèmes liés à cet antagonisme.



### 3 Revue de littérature

Comme susmentionné, l'équipe GDTech en place au sein de l'équipe Exploitation du client fait face à des demandes à court terme, demandant un temps de traitement et d'expertise de quelques jours tout au plus. Ainsi, le mode de management de l'équipe s'apparente plus à une chaîne de production (demande assez constante, traitement bref et livrables à sortir dans des délais courts). Il est donc important de rappeler des concepts liés au management de la production tels que le LEAN, les outils de planification et d'optimisation de la qualité.

#### 3.1 LEAN et principes dérivés

Le LEAN est un principe japonais, ayant pour origine la méthode TPS (Toyota Production System) de l'entreprise Toyota. Le but principal de cette philosophie est la réduction des déchets au sens large : Gain de temps, diminution des rebuts, réduction des opérations inutiles et des stocks pour minimiser les coûts. Ce principe a été formalisé aux Etats-Unis, par John Krafcik ([7]) dans un article du *Massachusetts Institute of Technology*. Cette méthode rencontre un grand succès dans les entreprises industrielles américaines. Le LEAN ou LEAN management sont des concepts vastes, regorgeant d'outils dérivés selon les entreprises ou les nations.

Un outil très important du LEAN Management, dans une approche d'amélioration continue est le *Kaizen*. Cet outil a été développé au Japon, lorsque le pays tentait de relancer son économie suite à la seconde guerre mondiale. Le Kaizen a été formalisé par Masaaki IMAI dans son ouvrage ([8]). Si on traduit littéralement le mot Kaizen, il signifie Changement (« Kai ») pour s'améliorer (« Zen »).

Dans son livre, Masaaki IMAI définit le Kaizen comme une amélioration continue, pas à pas, de la production. Pour ce faire, plusieurs outils sont disponibles : la roue de Deming (Plan – Do – Check – Act), le TQC (Total Quality Control), les outils de résolution de problème. Etudions plus en détail ces outils.

##### 3.1.1 Roue de Deming

La roue de Deming (également appelée « cycle PDCA ») est une des composantes du Kaizen, elle a été rendue célèbre par William Deming dans le courant des années 50. Deming insistait fortement sur l'interaction nécessaire entre les départements d'une entreprise (production, développement, achats, ...). Ainsi, en suivant sa roue (illustration à la Figure 3), on a le cheminement suivant vers l'amélioration continue :

1. Plan : Prévoir ses actions et établir des indicateurs à suivre pour voir la réalisation du projet.
2. Do : Suivre et appliquer au mieux le plan d'action.

3. Check : S'assurer de la bonne réalisation du plan et que les objectifs sont bien atteints.
4. Act :
  - Si on constate des écarts par rapport au plan et aux objectifs fixés, il est nécessaire de comprendre d'où viennent les écarts et d'établir un nouveau plan pour obtenir les résultats voulus depuis le début.
  - Si on a atteint les objectifs, déterminer les processus qui pourraient être améliorés et refixer de nouveaux objectifs pour arriver à ces améliorations.

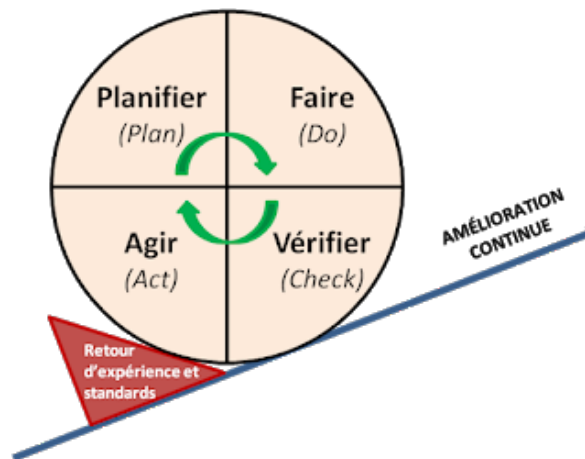


FIGURE 3 – Roue de Deming (image tirée du site [4])

### 3.1.2 Total Quality Control

Le concept de TQC vise une amélioration des performances managériales à tous les niveaux de l'entreprise. Parmi les objectifs du TQC, on peut citer : la qualité des produits, la sécurité, la réduction des coûts, la satisfaction de la demande. Tous ces objectifs mènent à la mission de base du TQC.

### 3.1.3 Outils de résolution des problèmes

Comme le suggère la roue de Deming, la première étape pour l'amélioration est l'identification des causes du ou des problèmes. Pour identifier celles-ci, deux approches sont possibles. La première est une approche analytique, qui s'appuie sur des faits, des nombres. La seconde approche est plus philosophique et demande une expérience dans la résolution de problèmes. Dès lors que des données sont disponibles, la première approche est toujours privilégiée. On utilise alors les « Sept Outils Statistiques » définis dans le livre de IMAI ([8]) :

1. Le diagramme de Pareto :

Dans son ouvrage [10], Vilfredo PARETO a remarqué que 20% de la population possédait 80% des richesses. Ce concept est ensuite réutilisé par Joseph JURAN qui postule



que 80% des effets proviennent de 20% des causes. L'expression *principe de Pareto* est couramment utilisée pour les problèmes qui répondent à cette loi de 80-20.

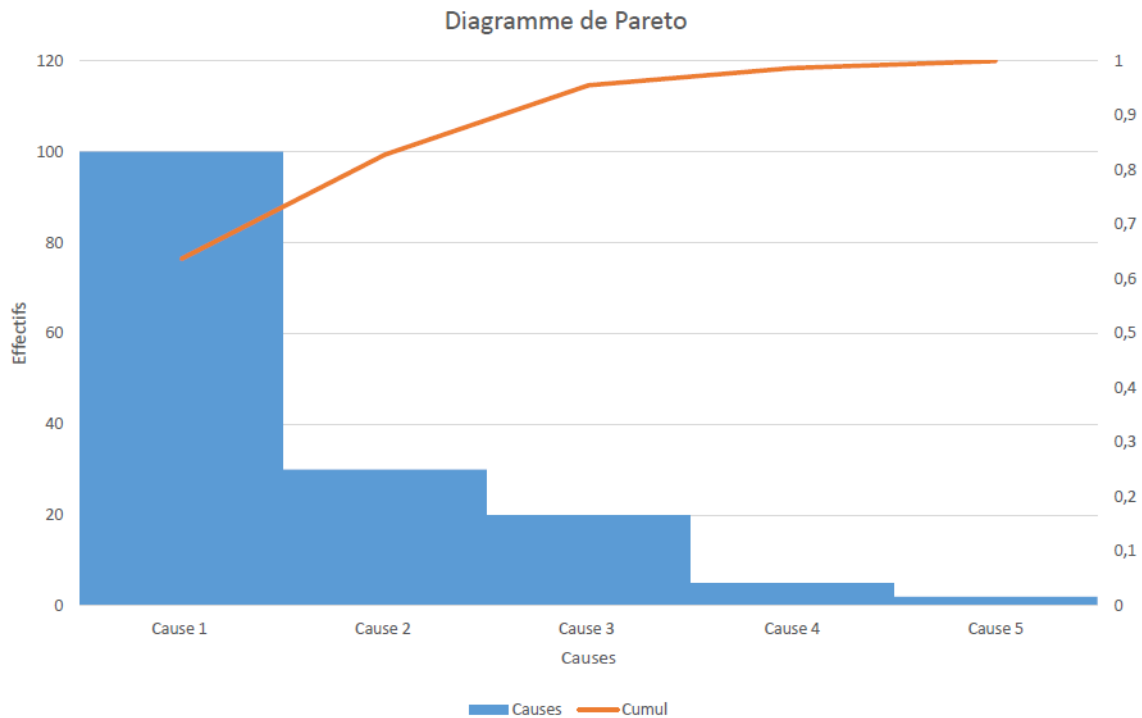


FIGURE 4 – Diagramme de Pareto

Un diagramme qui permet d'exposer ce principe est le diagramme de Pareto (voir Figure 4). Il s'agit d'un diagramme en bâtonnets, qui présente les causes d'un problème avec leur fréquence respective. Ainsi, l'analyse de ce genre de diagramme permet de dégager les causes devant être résolues et il est plus aisé de consacrer ses efforts sur 20% des causes pour obtenir une amélioration significative de la productivité.

## 2. Le diagramme Cause-Effet

Ce diagramme (exemple à la Figure 5) tente de trouver d'où proviennent les causes du problème, en balayant le plus de domaines possibles et en essayant de hiérarchiser les causes selon leur probabilité.

## 3. Les histogrammes :

Les histogrammes (voir Figure 6) permettent d'analyser la dispersion des mesures, qui pourrait expliquer un problème. Une forme classique d'histogramme est la courbe de Gauss. Sur cette courbe, on peut mesurer des informations statistiques pertinentes comme la moyenne ou l'écart-type.

## 4. La carte de contrôle :

Outil statistique attaché à un processus, qui montre l'évolution d'une caractéristique et permet de voir si celle mesurée se trouve dans l'étendue acceptable du processus. Cet outil assure une maîtrise du procédé.

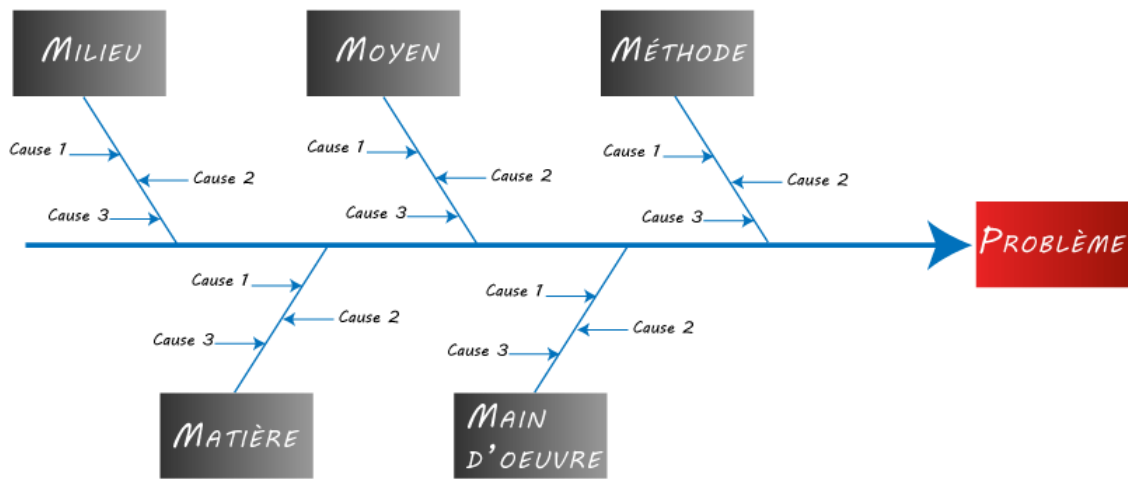


FIGURE 5 – Diagramme Cause-Effet tirée de [1]

5. Le diagramme de corrélation ou de dispersion :

Schéma qui illustre la relation entre 2 caractéristiques et qui permet de voir si une corrélation existe entre celles-ci. En cas de corrélation positive, on peut alors se concentrer sur une caractéristique pour influencer favorablement la seconde. Une illustration de diagramme de corrélation est présentée à la Figure 6

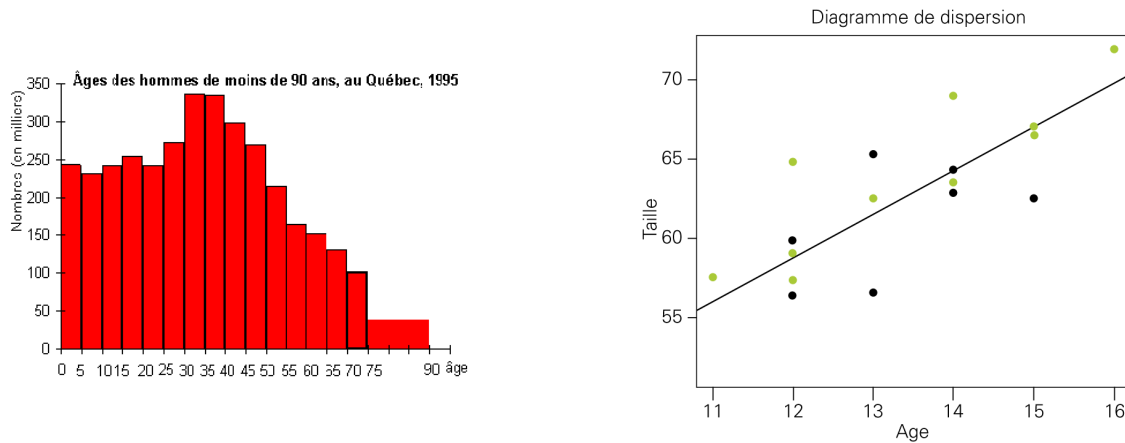


FIGURE 6 – Exemples d'histogramme et de diagramme de corrélation tirés de [2] et [?]

6. Les graphiques :

En général, tous les graphiques disponibles permettent de récupérer des informations sur les éventuelles causes. Par exemple, des évolutions temporelles, des diagrammes en bâtonnets, des diagrammes circulaires. Pour évaluer la variabilité d'une demande, un diagramme d'évolution temporel est particulièrement parlant. De même, pour voir la proportion de demande d'un pièce par rapport à d'autres, un diagramme circulaire est essentiel. Ces graphiques permettent donc de dégager des tendances ou des observations utiles, mais qui doivent être approfondies par d'autres moyens.

## 7. Les feuilles de relevés :

Feuilles complétées pour chaque machine, sur lesquelles apparaissent les défauts, les retards. Ces feuilles permettent de récolter des données utiles pour l'analyse des causes de problème et peuvent être réutilisées pour les graphiques évoqués ci-dessus.

Ainsi, par le biais de certains de ces outils, il est possible d'identifier les causes du problème que l'on souhaite résoudre. Ces 7 outils sont utiles pour des procédés maîtrisés ou existants. Pour le développement de nouveaux procédés, d'autres outils sont disponibles, que l'on appelle « The New Seven ». Puisque le département exploitation concerne les moteurs ayant terminé leur développement, ces derniers ne seront pas utiles et ne seront donc pas présentés.

Grâce aux outils du Kaizen, les éléments à améliorer sont identifiés. Il faut ensuite mettre en œuvre des outils de suivi et de planification afin de suivre l'évolution des processus et pouvoir mesurer une amélioration.

Le premier outil de planification est le Tableau de bord [5] (ou Tableau de bord opérationnel). Ce tableau permet, par le biais d'indicateurs qualitatifs ou quantitatifs, de suivre la vie d'un projet et de la performance d'une équipe, au jour le jour. On y retrouve trois informations : les objectifs chiffrés, les résultats réels et les écarts entre les objectifs théoriques et les valeurs réelles de ceux-ci.

Afin d'établir les objectifs, une construction structurée du tableau est nécessaire. Les objectifs (liés à la politique de la société) doivent laisser transparaître la vision de l'entreprise. Une fois les objectifs identifiés, il faut utiliser des indicateurs mesurables, qui permettront de suivre l'évolution vers la réalisation des objectifs. Plusieurs indicateurs peuvent être attachés au même objectif. Lors de la phase de construction, il faut bien s'assurer que chaque objectif est lié à un ou plusieurs indicateurs et que des indicateurs ne sont pas obsolètes.

Une variante du Tableau de bord est la Balanced Scorecard. Il s'agit également d'un outil de pilotage mais avec une vocation centrée sur le déploiement stratégique. Ce type de tableau a été inventé par Kaplan aux Etats-Unis. Il demande une coordination forte entre les départements afin de viser le même objectif stratégique. La mise en œuvre est très lourde et demande une application dans toute la société. Pour ces raisons, la Balanced Scorecard ne sera pas utilisée dans ce travail.

## 3.2 Culture d'entreprise et management des organisations

Un point important dans l'analyse d'une société est sa culture d'entreprise et le management de cette organisation. En effet, selon le groupe d'appartenance, il est possible d'expliquer des comportements pouvant donner lieu à des problèmes. Prenons l'exemple du LEAN ; lors de son invention, le LEAN était très bien accueilli par le peuple japonais, car ce type de management est directement lié à la philosophie de la population. Lors de son arrivée aux Etats-Unis, le LEAN a été mal accueilli, car les façons de travailler et les mentalités sont différentes entre les 2 pays.

Ainsi, en étudiant la culture d'entreprise et le management des organisations de GDTech, il sera possible d'identifier un modèle de fonctionnement de l'entreprise et des employés et d'étudier celui-ci.

### 3.2.1 Culture d'entreprise

Les premiers modèles de culture d'entreprise apparaissent dans le courant des années 80 et un ouvrage particulièrement intéressant est celui de Quinn et Rohrbaugh [6]. Dans cet article, sur base d'expérience de plusieurs entreprises, les auteurs définissent un cadre des valeurs en concurrence (*Competing Values Framework* en anglais) :

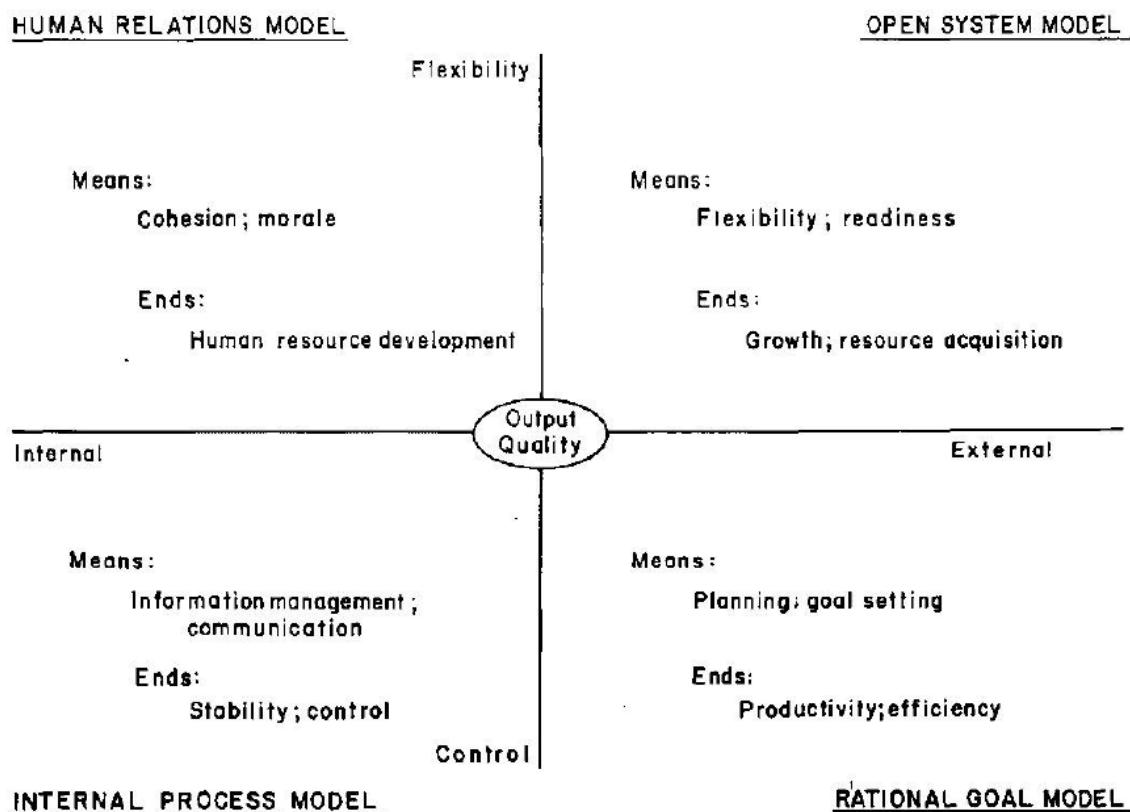


FIGURE 7 – Cadre des valeurs en concurrence tiré de [6]

Sur ce graphique, l'axe horizontal montre l'aspect relationnel : à gauche, l'accent est porté sur le bien-être personnel de chaque employé alors qu'à droite, l'accent est porté au développement de l'organisation (objectifs économiques). L'axe vertical donne la dimension structurelle de l'entreprise : en bas, la stabilité et l'ordre (rigueur et standardisation des tâches) sont primordiaux alors qu'en haut, la flexibilité est plus importante (autonomie personnelle et liberté d'action). A chaque quadrant correspondant un type de culture d'entreprise :

- Modèle des Relations Humaines (*Human Relations Model*) : grande liberté d'action et importance du bien-être et du développement personnel
- Modèle de Système Ouvert (*Open System Model*) : flexibilité dans un but de réussite de l'entreprise (rentabilité et croissance de l'entreprise)
- Modèle de But Rationnel (*Rational Goal Model*) : contrôle rigoureux pour atteindre les objectifs de l'entreprise
- Modèle de Processus Interne (*Internal Process Model*) : contrôle important des employés mais en accordant de l'importance à leur bien-être

### 3.2.2 Modèle organisationnel

En analysant l'organisation du travail dans une entreprise, il est possible de mettre en évidence des caractéristiques qui se rapportent à un modèle organisationnel type. Comme vu au cours de Management des organisations [9], les caractéristiques à étudier pour déterminer le modèle organisationnel sont :

- Division du travail
  1. Horizontale : chaque opérateur est attaché à une tâche ou celui-ci est-il polyvalent ?
  2. Verticale : y-a-t-il une division entre la conception, la prise de décision et l'exécution ?
- Coordination du travail :

Mécanismes	Taille des unités	Niveau de qualification	Type de contrôle
Ajustement mutuel	Petite	Elevé	Absent
Supervision directe	Petite	Faible	Permanent
Standardisation des procédés	Grande	Faible	Permanent
Standardisation des résultats	Grande	Moyen	A posteriori
Standardisation des qualifications	Grande	Elevé	A priori
Standardisation des valeurs	Grande	Elevé	A priori

FIGURE 8 – Différents types de coordination du travail tirés de [9]

- Différenciation inter-unités
  1. Horizontale : forte si les départements sont nombreux

- 2. Verticale : forte si de nombreux échelons hiérarchiques sont présents dans la société
- Liaisons inter-unités : les liaisons se font-elles par formalisme (et donc pas d'interaction physique) ou par relations interpersonnelles (groupes de projet, comités, agent de liaison) ?
- Prise de décision : centralisée (les décisions stratégiques, managériales et décisionnelles sont aux mains de la même personne) ou plutôt décentralisée (distribution des pouvoirs)
- Buts de l'entreprise :
  1. De mission : propres aux tiers (clients, fournisseurs, concurrents)
  2. De système : internes à la société
  3. Officiels : ceux qui apparaissent dans les discours de la société, visibles de tous
  4. Opérants : Non communiqués mais qui peuvent se ressentir dans les actions, les décisions prises.
- Caractéristiques du marché : est-il stable ou en croissance/perte, les concurrents sont-ils nombreux, le marché est-il facilement accessible ou complexe ?

Sur base de ces caractéristiques, on peut rattacher la société à un seul modèle ou un hybride entre plusieurs modèles organisationnels.

## 4 Analyse de la situation actuelle

Avant de parler des causes de déchets lors du traitement d'une demande, il est important d'évoquer l'aspect ressources humaines. Notamment, est-ce que la culture d'entreprise est compatible avec le mode de fonctionnement de l'équipe ? Quels sont les enjeux importants derrière l'amélioration de l'équipe ? Quelle est la vision à long terme de l'équipe ? Quels sont les enjeux de cette amélioration pour GDTech. La réponse à ces questions permettra de motiver la mise en place du Kaizen.

### 4.1 Culture d'entreprise et modèle organisationnel de GDTech

Sur base des données disponibles sur le site GDTech [3], du vécu dans l'entreprise et de précisions apportées par les ressources humaines, une étude de la culture d'entreprise et du modèle organisationnel est réalisée ci-après.

Le modèle organisationnel est tout d'abord étudié car les éléments de son analyse serviront à l'étude de la culture d'entreprise.

Si on résume les caractéristiques présentées au §3.2.2, le tableau ci-dessous est obtenu. Il faut noter qu'il s'appuie sur l'organisation de l'équipe Exploitation.

Caractéristique	GDTech	Commentaires
Division du travail	Horizontale Faible et Verticale Faible	Les ingénieurs sont polyvalents et maîtres de leurs actions
Coordination du travail	Standardisation des qualifications avec un peu de supervision directe	De part la qualification (master ou bachelier) des employés, ils disposent d'une grande autonomie mais un responsable s'assure du respect des dates butoirs
Différentiation inter-unités	Hybride	La départementalisation est par input mais au sein du département R&D, elle est par output selon le client
Liaisons inter-unités	Groupes de projet	Pour les domaines hors expertise (matériau ou mécanique des fluides), les autres départements sont consultés
Prise de décision	Décentralisée contrôlée	Les décisions opérationnelles sont laissées aux employés
Buts de mission et de système	Priorité aux buts de mission	Les buts de mission visent le développement de nouveaux secteurs d'expertise, sur base des acquis passés. Ceux de système sont d'assurer un chiffre d'affaire suffisant et de conserver le niveau d'expertise.
Marché	Concurrentiel pour la sous-traitance & Niche pour la simulation	Guerre de prix pour la sous-traitance à cause des grosses sociétés françaises dans le secteur aéronautique et de la défense. La simulation est un marché de niche, difficilement accessible de part les coûts d'investissement conséquents qui sont nécessaires.

TABLE 1 – Modèles organisationnels dominants

Au vu de ce tableau, on peut affirmer que GDTech présente un modèle organisationnel hybride entre le modèle professionnel et le modèle adhocratique. Ces modèles sont compatibles car ils reposent sur du personnel qualifié, autonome et avec une liberté sur les décisions opératoires. Ces modèles laissent présager une certaine difficulté à la migration vers les principes de Kaizen, tout comme ce fût le cas pour les américains. Il est important de tenir compte de ce modèle organisationnel lorsque les actions de changement seront entamées.

En s'appuyant sur le Tableau 1, on peut également trouver un modèle culturel auquel GDTech appartient. Du point de vue relationnel, on est dans un schéma externe (droite du tableau). L'atteinte des objectifs de l'entreprise est la préoccupation principale même si l'aspect bien-être n'est pas négligé et permet d'atteindre ces objectifs.

D'autre part, la flexibilité et l'autonomie sont des principes importants, tout en respectant des règles horaires précises (régime de travail 38h), on est donc situé dans la partie haute du graphique de Quinn et Rohrbaugh. Sur base de ces observations, GDTech présente une culture d'entreprise de type Open System Model. Les résultats sont importants mais en laissant une latitude de gestion aux employés. Ce qui est bien le cas de l'équipe Exploitation qui doit facturer le travail qu'elle effectue mais qui est assez libre dans la mise en oeuvre des moyens pour y arriver. Cette culture d'entreprise est propice à la créativité et à l'innovation et permet d'être adaptative aux situations. Elle est donc cohérente avec les buts poursuivis par l'entreprise. En effet, dans sa logique d'expansion, il est important pour GDTech d'être capable de s'adapter et de tirer profit des acquis passés pour développer de nouveaux domaines d'expertise.

De plus, on voit une certaine cohérence entre la culture d'entreprise et le modèle organisationnel. En effet, flexibilité, créativité et foi en les compétences des employés, pour atteindre les objectifs de l'entreprise, sont des caractéristiques inhérentes aux 2 modèles.

#### 4.1.1 Enjeux liés à la culture d'entreprise et à GDTech

Comme c'est le cas pour certaines entreprises de ce modèle, la créativité et l'autonomie sont des caractéristiques importantes du point de vue des employés. D'autant plus pour des profils tels que les ingénieurs, des tâches répétitives peuvent devenir lassantes et mener à des changements de poste à court terme. Sur les trois dernières années, on compte pas moins de 5 changements dans l'équipe GDTech au sein du bureau d'études exploitation, pour une équipe qui est composée de 6 personnes au départ (5 personnes désormais). Il est donc important d'essayer de réduire le temps passé sur les tâches répétitives pour prendre en charge des activités à plus haute valeur ajoutée. D'un point de vue motivationnel également, l'augmentation des tâches à haute valeur ajoutée permettra aux employés de mettre en application plus de créativité et de garder leur intérêt en leur poste plus longtemps.



D'autre part, le turn-over élevé peut entraîner des surcoûts liés à la formation. Les moteurs du bureau d'études sont assez anciens et on pourrait donc se dire que la connaissance est déjà bien établie et qu'un transfert de connaissances doit être aisé. Cependant, les bases de données et autres documents de transfert de connaissances sont peu nombreux (plus de détails au §4.3) voir inexistant. Le plan de formation consiste donc à lire des documents choisis comme pertinents, pour se familiariser aux vocabulaires du client et aux concepts de base du traitement de dérogation. Les premières demandes sont chapeautées par une personne expérimentée de l'équipe, qui relit les livrables du nouveau venu.

Les conséquences financières peuvent être conséquentes. En effet, l'arrivée d'un nouvel employé GDTech va avoir plusieurs conséquences financières. En général, on considère qu'il devient productif (c'est-à-dire qu'il facture le nombre d'heures qu'il preste) après 3 mois, dont le premier mois où il se forme et facture moins de 25% de ses heures prestées. Ce sont donc trois mois durant lesquels le bénéfice engendré par l'employé ne permet pas de balancer son coût salarial. Pour avoir un ordre de grandeur, pour un mois de 20 jours de travail, le chiffre d'affaire d'un ingénieur au sein du BE exploitation est de 8000 €. Si on considère que pendant un mois, il pointe 25% et les 2 mois suivants, 50%, cela représente une perte de CA de 10 000 €.

De plus, le suivi par une personne expérimentée peut avoir une incidence sur la rentabilité des collègues (retard dans leur travail ou temps de traitement supérieur à la valeur facturable du livrable).

Il serait donc intéressant d'optimiser l'accueil et la formation d'un nouveau venu, par le biais de documents de transfert de connaissances par exemple. La possibilité de ces documents est étudiée au §5.4.

Hormis cet enjeu lié au bien-être et à la motivation des employés, l'intérêt du LEAN pour maintenir la position de GDTech au sein de Safran Aero Boosters n'est pas négligeable. Depuis une année, SAB entame des modifications importantes de ses bâtiments afin de se préparer au début de la production du LEAP, son nouveau moteur qui fait face à un carnet de commande conséquent. Suite à ces modifications d'infrastructure et au passage du développement vers la production, SAB souhaite se libérer d'une partie des sous-traitants. La concurrence se fait donc de plus en plus forte, surtout par les entreprises de sous-traitance françaises qui peuvent proposer des prix cassés suite à l'aide de l'état français et leurs contrats VIE (Volontariat International en Entreprise) qui réduisent la charge salariale pour l'entreprise (l'état français paie environ la moitié du salaire).

Il est donc important pour GDTech de solidifier sa position au sein de SAB puisqu'il s'agit de son client majoritaire en sous-traitance intellectuelle. En libérant de la charge sur les actions récurrentes ou grâce à des outils, il sera possible pour l'équipe GDTech au sein du bureau exploitation de récupérer une plus grande charge sur les études à long terme. En collaboration

avec les ingénieurs calculs des équipes internes de GDTech, qui disposent d'outils de calcul de dernier cri, la réalisation de ces études long terme et la valeur ajoutée que peut apporter GDTech sur ces points sont des atouts indéniables pour solidifier les contrats avec SAB. Le point de vue ressources humaines est un motif important pour l'application de la méthode Kaizen, autant d'un point de vue individuel (augmentation de la motivation et réduction du turn-over) qu'à l'échelle de l'entreprise (solidification de la position de GDTech chez SAB).

La prochaine étape de cette démarche est l'application du LEAN à proprement parler.

## 4.2 Analyse de la demande

Afin de déterminer les causes des *déchets* (au sens large), certains des Outils d'analyse statistiques évoqués au §3.1 sont utilisés, comme décrit par le Kaizen. En particulier, des diagrammes d'analyse de la demande pour chaque moteur, des diagrammes de Pareto pour identifier des écarts récurrents ou majoritaires et un diagramme Cause-Effet pour le traitement d'une demande. Les diagrammes de Pareto permettront d'identifier les cas les plus récurrents, pour lesquels il serait judicieux d'automatiser certaines actions. D'autre part, les diagrammes Cause-Effet pourront mettre en évidence les actions étant à la base du retard ou de la perfectibilité des livrables.

Les demandes reçues sont de trois types :les dérogations sur les pièces de production, les cas support en service et enfin, des études à long terme, telles que des changements de définition ou des améliorations de définition.

Puisque les études à long terme sont très hétérogènes et peu courantes, elles ne seront pas analysées dans ce travail. De plus, leur fréquence est très faible. Les dérogations et les cas après-ventes sont par contre beaucoup plus courants. Il est donc intéressant d'étudier ceux-ci de plusieurs façons. Premièrement, quelle est la fréquence, la quantité de ces demandes ? La réponse à cette question permettra d'estimer la charge de travail nécessaire, au sein du bureau d'étude, pour satisfaire la demande. De plus, en comparant les charges effectives de chaque périmètre (ou moteur, synonyme dans ce contexte), il sera aisé de voir les périmètres les plus conséquents qui demanderont une attention plus particulière. En effet, plus un périmètre occupe une charge importante au sein de l'équipe, plus il sera important d'améliorer l'efficacité de traitement des demandes s'y attachant.

Une fois la demande totale étudiée, chaque périmètre sera décortiqué afin de déterminer la charge par pièce. Cette étude permettra d'identifier les pièces critiques et de mettre en oeuvre des outils plus spécifiques si elles en présentent l'intérêt. Pour ces pièces critiques, certaines caractéristiques présentent plus souvent des écarts que d'autres. Les procédés de production mènent souvent à des non-conformités suivant une loi de Pareto. Ainsi, en utilisant le postulat

de Pareto, il est plus facile de fournir des efforts sur un nombre limité d'écart dans le but d'améliorer significativement les processus.

Il convient d'analyser les cas après-vente et les dérogations séparément car le temps de prise en charge est divisé par un facteur 2 ou 3. Ainsi, 100 demandes de cas CSC correspondent à une charge équivalente à 40 dérogations environ.

Pour pouvoir déterminer la charge nécessaire, il convient de déterminer le nombre de cas après-vente et de dérogations traités chaque année. Ensuite, les dérogations sont converties en heures réelles (8h), de même pour les cas après-vente (4h). Ces estimations sont optimistes car il arrive que certaines dérogations demandent plus de temps de traitement (calculs éléments finis par exemple) et il faut tenir compte des études éventuelles. Un des cinq membres de l'équipe est préposé aux tâches de modélisation et de dessins. Ces tâches représentent un équivalent temps-plein. La capacité de l'équipe est donc de 4 ETP, soit 600h de travail mensuel. Le coordinateur de l'équipe passe environ 30% de son temps à la gestion de l'équipe et à la répartition du travail. Ce qui réduit le temps de travail mensuel de l'équipe à 550h.

En 2017 (année s'approchant le plus de l'année courante et de la charge normale d'une année), la charge associée aux dérogations et cas après-vente est de 400h mensuelles (selon les hypothèses optimistes). Ce qui laisse 150h pour toutes les études non récurrentes et les dérogations complexes (nécessitant un calcul). On peut tirer deux conclusions de cette comparaison : les études complexes représentent 25% de la charge totale et l'adéquation charge-capacité semble tendre vers une surcharge légère. L'intervention du LEAN permettrait d'obtenir une adéquation plus cohérente de la charge-capacité voire même de libérer plus de temps pour augmenter la proportion d'études complexes.

#### 4.2.1 Cas après-vente

Les cas après-vente ne concernent que le CFM56. Le nombre de pièces sous responsabilité du bureau d'études est significativement plus important que le nombre de pièces soumise à dérogation. Le graphique suivant donne la répartition annuelle de chaque pièce ayant été soumise à une demande de cas après-vente. Toutes les pièces dont la demande est faible sont reprises dans la catégorie *Autres pièces*, par souci de lisibilité. De plus, un autre graphique, de la demande annuelle totale est présenté sur cette même figure. Il sera ainsi plus aisé de comparer la demande de chaque pièce à la demande annuelle.

Plusieurs observations peuvent être tirées de ces graphiques. Premièrement, on remarque qu'au cours des 4 dernières années, seules 6 pièces ont fait l'objet de plus de 100 demandes (soit 25 demandes par an). Les 4 pièces générant le plus de demandes (plus de 10% de la demande totale, par pièce) sont le Splitter, le Tambour, le RD1 et le Laby statique. Elles représentent plus

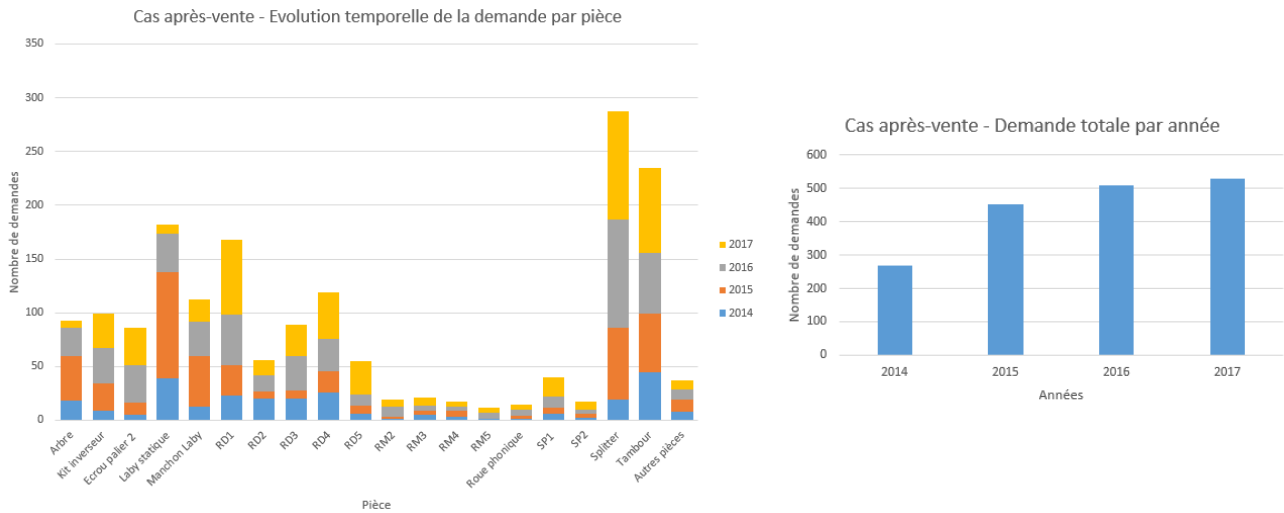


FIGURE 9 – Cas après-vente - Répartition annuelle de la demande par pièce et de la demande totale

de 40% de la charge totale des cas après-vente. Il est donc intéressant d'analyser plus finement ces 4 pièces, afin de dégager une non-conformité ou un écart qui pourrait expliquer la criticité de ces pièces. En ce qui concerne les autres pièces, les demandes concernant les RM (roues mobiles), les SP (support palier) et les autres pièces sont rares. Il sera donc difficile de trouver un écart récurrent à traiter afin de réduire la charge de travail. Le traitement de ces pièces ne sera pas amélioré dans le cadre de ce travail.

Pour chacune des pièces critiques identifiées ci-dessus, est-il possible de trouver des écarts récurrents ?

#### Tambour :

Comme cela peut être vu à la Figure 10, 4 groupes d'écarts peuvent être définis : les écarts d'usure sur la face amont, les écarts de plastification locale (dûs à un impact d'objet étranger en vol), les écarts sur les définitions matériaux et les écarts uniques. On peut directement éliminer les écarts uniques car ils demandent une analyse spécifique et ne sont pas récurrents. De même pour les écarts sur les définitions matériaux, car ils sont de l'expertise du bureau d'études du département matériaux. Les pistes de solution et les améliorations qui peuvent être apportées aux 2 premiers groupes d'écart sont discutées au §5.2.

#### Splitter :

Comme pour le tambour, le détail des demandes liées au splitter est présenté à la Figure 10. Dans ce cas, un type d'écart est majoritaire et compte pour 75% du total des demandes, il s'agit du *Dia B* (un diamètre mesuré lors des inspections routinières). Il est donc important de trouver une solution afin de faciliter le traitement de ce type d'écart. Vu la faible participation des autres écarts à la demande totale, ils ne seront pas étudiés dans ce travail.

#### RD1 :

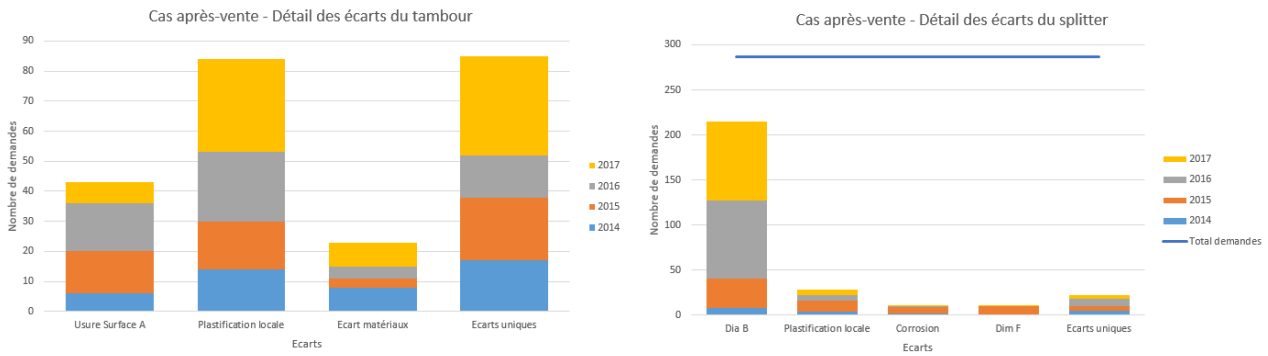


FIGURE 10 – Cas après-vente -Détail des écarts du tambour (gauche) et du splitter (droite)

Le RD1 présente des écarts plus hétérogènes (cfr. Figure 11). Néanmoins, on remarque que les plastifications locales et les dimensions *Dia F et Dim O* sont les écarts les plus courants. Il faut noter que ces 2 dimensions sont liées et dépendantes, ainsi, le traitement de ces 2 dimensions est réalisé conjointement.

Laby statique :

Comme pour le splitter, un type d'écart est majoritaire, ce qui facilite le choix de l'écart à étudier pour l'amélioration du traitement. Tous les diamètres fonctionnels, mesurés lors des inspections du moteur, représentent plus de 75% des demandes sur le laby statique. Les écarts matériaux (délamination du composite) sont également hors de la zone de responsabilité du bureau d'études exploitation.

L'étude de la demande des cas après-vente a permis de dégager plusieurs types d'écart récurrents. Les propositions d'amélioration du traitement de ces écarts sont présentées au §5.2.

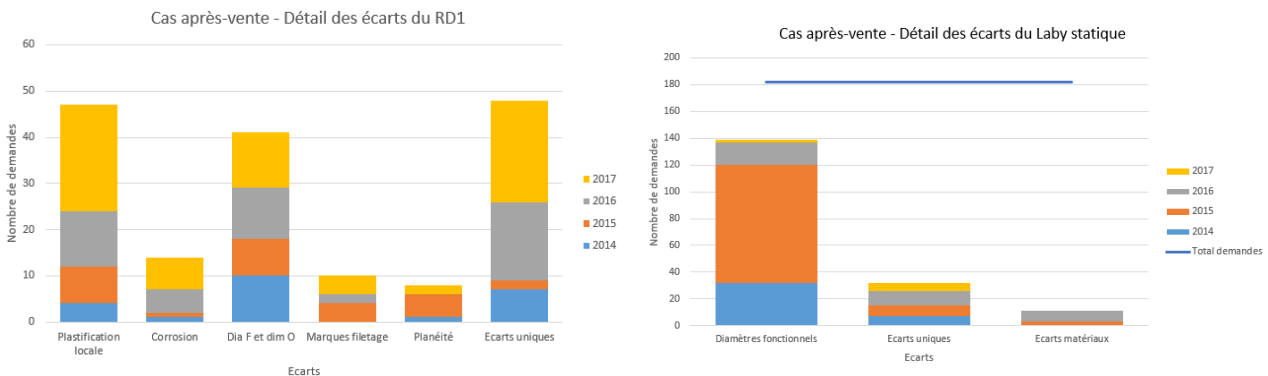


FIGURE 11 – Cas après-vente -Détail des écarts du RD1 (gauche) et du Laby statique (droite)

**4.2.2 Dérogations**

Contrairement aux cas après-vente, les dérogations portent sur tous les moteurs évoqués au début de cette section. La première étape est de comparer les demandes respectives de chaque moteur, sachant que certains moteurs comportent plus de pièces. Le graphique ci-dessous (Figure 12) reprend le nombre de demandes annuelles, pour chaque moteur, sur une période de 4

ans.

La demande annuelle, tous moteurs confondus, évolue entre 250 et 300 demandes, avec un pic en 2016. Hormis en 2014, on remarque que le CFM56 représente plus de 50% de la demande annuelle totale, ce qui montre la prédominance de ce moteur en terme de charge totale (dérogations mais également cas après-vente). Une étude détaillée des pièces du CFM56 est réalisée ci-dessous (§4.2.2).

Il est important de noter que les *Support Palier 1* ne sont pas repris dans ce graphique alors qu'ils représentent une charge conséquente (une cinquantaine de dérogations par an). En effet, depuis le début de l'année 2018, la charge de cette pièce a été reprise par le bureau d'études dédié aux enceintes (dont fait partie le Support Palier 1), afin de maintenir la maîtrise de cette pièce au sein d'un bureau d'études spécialisé dans le design de cette pièce. Ainsi, en omettant cette pièce, on évite de concentrer les efforts sur une pièce qui ne générera plus de demandes pour le bureau d'études exploitation.

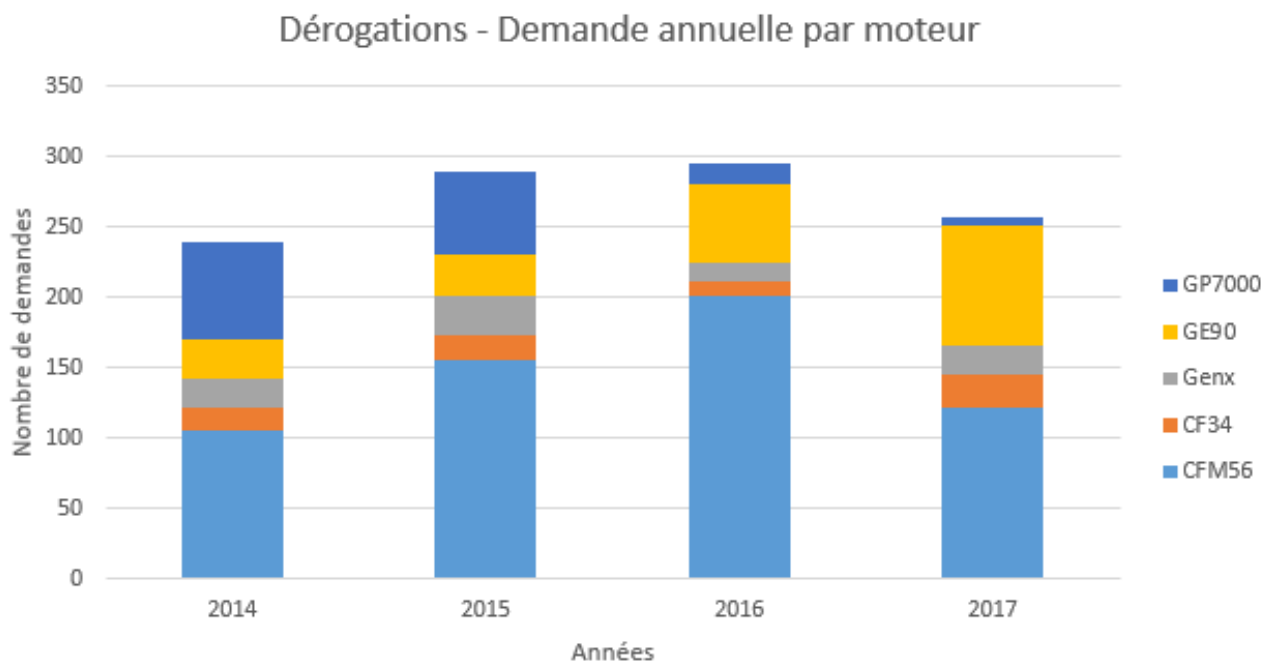


FIGURE 12 – Dérogations - Evolution de la demande annuelle par moteur

La seconde observation pouvant être réalisée est la disparition progressive du GP7000 qui passe de 70 demandes par an en 2014 à 6 demandes en 2017. La tendance se confirme en 2018 puisqu'à ce jour, aucune demande de dérogation n'a été reçue concernant ce moteur. Cette disparition résulte de la fin de la fabrication du GP7000. Etant donné qu'aucune pièce n'est produite, aucune demande de dérogation ne saurait être reçue. Le GP7000 commence à peine sa phase de vol sur avion, des cas après-vente sur ce moteur doivent arriver progressivement,

notamment en 2018 et surtout en 2019. Afin de prévoir cette demande croissante de cas après-vente, des études spécifiques sont réalisées dans le courant de cette année. Néanmoins, ce sujet sort du cadre de ce travail et ne sera pas évoqué plus en détail. En conclusion, on peut dire qu'aucune analyse poussée de ce moteur n'est nécessaire.

Si on s'attache au CF34 et au GENx, on remarque que la demande annuelle est proche de 20 dérogations. Les dérogations les plus courantes sur GENx concernent des soudures mal réalisées ou des sous-épaisseurs de matière de plateforme, amenant un écart sur les dimensions de la soudure. Pour réduire le temps de traitement de ces dérogations assez récurrente, le bureau d'études a déjà mis au point des outils de traitement génériques, permettant de réduire le temps de traitement de 20h à seulement 5h. Si on regarde la charge ayant été traitée au cours de l'année 2018, on remarque que sur 10 dérogations reçues, 7 concernent les 2 écarts évoqués ci-dessus. Une étude d'optimisation pour ce moteur est donc inutile puisque le temps traitement des seuls écarts dignes d'intérêt a déjà été minimisé. Le GENx ne sera donc pas étudié en détail ci-après.

Concernant le CF34, la demande est assez constante en 2014, 2015 et 2017 mais elle chute fortement en 2016. Cela peut s'expliquer par 2 hypothèses : les problèmes de certification de l'avion devant être équipé du moteur, ce qui a retardé les commandes et donc la production ; le développement de procédure de rectification (au niveau de la production) des diamètres de centrage, en 2015, sur tous les redresseurs. En parcourant rapidement les types d'écart générant ces dérogations, on remarque, hormis les diamètres de centrage, que les écarts sont uniques ou que maximum 2 dérogations portant sur des écarts identiques ont été reçues. Il est donc très difficile de dégager un écart récurrent ou même de présenter un diagramme de Pareto pour ce moteur.

Enfin, pour terminer, on observe que le dernier moteur du bureau d'études exploitation (GE90) a une demande fortement croissante, passant de 30 dérogations en 2014-2015 à 85 en 2017. En 2017, il représente donc 30% de la demande totale, ce qui est considérable. A eux deux, le CFM56 et le GE90 composent 80% de la charge en dérogations.

En ce qui concerne les raisons de l'augmentation importante de la demande, une évidente est la crise de production rencontrée sur les roues mobiles. En effet, le producteur de ces pièces s'est rendu compte, a posteriori, qu'il avait laissé échapper, aux contrôles qualités, des pièces présentant des écarts. On appelle cela un *Quality Escape*. Suite à cela, plusieurs demandes de dérogations de lots de roues mobiles ont été envoyées au bureau d'études. Au total, plus de 200 lots ont été traités entre 2017 et aujourd'hui (une demande de dérogation contient entre 5 et 10 lots de roues mobiles). Cet évènement explique l'absence de dérogations jusqu'en 2016 et l'arrivée de 17 dérogations en 2017 et une demande encore plus importante en 2018. Suite à cet évènement, une étude spécifique pour avis générique a été lancée, ce qui permettra de valider

une grande majorité des pièces et de rébuter l'autre minorité. Un outil d'optimisation du temps de traitement des roues mobiles est donc inutile puisque l'étude spécifique doit permettre de statuer en très peu de temps et sans faire appel aux services de GDTech.

L'augmentation de la demande des dérogations de tambours s'explique par la fin de la production de celui-ci. En effet, la production de pièces rotoriques (qui ont une durée de vie limitée et doivent être remplacées une fois cette durée atteinte) sert à deux buts : la préparation des moteurs devant être vendus et le stockage de pièces de rechange, qui remplaceront les pièces usées ou ayant atteints leur fin de vie, sur les moteurs déjà installés sous aile. La préparation des moteurs étant terminée, la production de tambour GE90 a augmenté afin de fournir suffisamment de pièces de rechange pour tous les moteurs ayant été vendus. Un nouveau moteur, destiné à remplacer le GE90 dans un horizon moyen terme (le *GE9X*), va commencer à être produit et par conséquent, la production de tambour a augmenté pour libérer la chaîne de production au GE9X dans un bref délai.

Bien que le design des tambours GE90 est de la responsabilité du bureau d'études exploitation, le flux de production et le planning de livraison sont de responsabilité de la maison-mère. La maison-mère a confirmé qu'une livraison minimale d'un tambour par semaine pour 2018 sera nécessaire (voire plus si un besoin supplémentaire apparaît). Pour des raisons propres à la maison-mère, une grande majorité des tambours présente des écarts. Ainsi, on peut s'attendre à une demande supérieure à 50-60 dérogations pour 2018. Ce qui motive le besoin d'étude approfondie pour les demandes du GE90, qui est proposée au §4.2.2

### **Dérogations - Analyse du CFM56 :**

Sur CFM56, la demande est composée des pièces suivantes : Tambour, redresseurs, roues mobiles et arbres (les Supports Paliers ont quitté le périmètre de responsabilité du bureau d'études exploitation). La répartition de la demande total du CFM entre ces 4 pièces est la suivante :

La répartition de la demande a fortement changé depuis 2014. Alors qu'on avait une répartition équitable entre tambour, redresseurs et arbre, la tendance c'est inversé au fil des années. Tout d'abord, le tambour a constitué 50% de la charge totale, en 2015 et 70% de celle-ci en 2016-2017. On peut donc affirmer que c'est la pièce la plus critique en terme de charge. Les roues mobiles constituent une charge négligeable (5 dérogations en 4 ans) et peuvent donc être négligées. La demande en dérogations des redresseurs est assez constante, entre 30 et 40 demandes par an. Une analyse détaillée des écarts rencontrés sur redresseurs pourrait mettre en évidence un écart courant, comme c'est le cas sur les redresseurs GENx par exemple.

Enfin, la demande pour les arbres a atteint le cap de 50 en 2015 mais a fortement chuté depuis pour atteindre 5 demandes en 2017 et la tendance se confirme en 2018 puisqu'une seule demande a été reçue. Cette diminution s'explique par le passage du CFM56 vers le nouveau



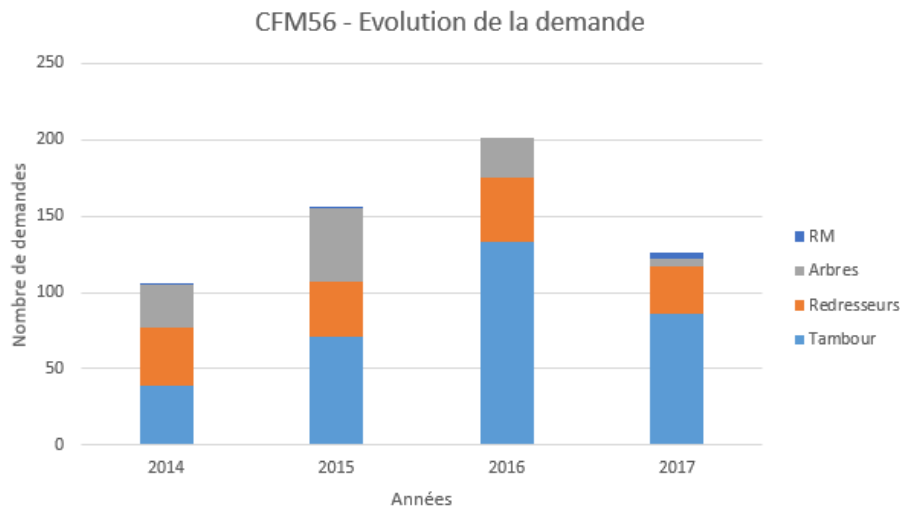


FIGURE 13 – Dérogations CMF56 - Répartition de la demande annuelle entre les pièces

moteur, le LEAP. En effet, le pic de production du CFM56 a eu lieu en 2015 (environ 2000 moteurs produits par an) mais depuis, on ne recense plus énormément de commandes de moteurs. La production s'affère donc à produire des pièces de rechange pour les moteurs déjà vendus avec une cadence beaucoup plus faible. La production devrait donc continuer de diminuer jusqu'à disparaître en 2021-2022.

Vu la tendance observée, une optimisation du traitement des arbres semble non pertinente. Puisque les pièces critiques sur CFM ont été déterminées, on peut passer à des analyses plus détaillées, sur des écarts. Pour ces analyses détaillées, des diagrammes de Pareto semblent pertinents.

### CFM56 - Analyse du tambour

Une demande de dérogation classique sur un tambour contient le template ci-dessous (extrait d'une demande) :

N° de sérial Serial number	Qté en anomalie Quantity with anomaly	N° Item base critère Item number	CODIF	Repère plan	Valeur Nomi. Nominal value	Tolér. Mini Low allow. tolerance	Tolér. Maxi High allowance	Valeur relevée Value taken	Classif. Classification	N° de récupération Salvage number	Décision technique Design decision	Commentaires Comments
HB457522	1		CO6510	PL5-F2	6,2	-0,04	0,04	6,15				CSF RM3 6.20±0.04 coté amont (cote encadrée) réalisé à 6.15 (CSF aval 6.20=6.16 ; 6.25 = 6.24 ; 2.20=2.193 ; 796.40 amont=796.422 ; 796.40 aval = 796.473 ; <b>ball</b> 0.05 = 0.033 ; PZ=784.122) Voir fichier Template

FIGURE 14 – Dérogations CMF56 - Exemple d'un template de demande

On retrouve plusieurs informations utiles à l'analyse de la demande : le numéro de série de la pièce (qui permet son identification), la CODIF (codification<sup>2</sup> de la cote en écart qui

2. Une codification est une appellation standard (X-lettres et Y-chiffres) qui est associée à une cote du plan de production

permet de référencer l'écart), la valeur au plan de cette cote (valeur nominale et intervalle de tolérance associé), la valeur mesurée de la cote (qui se trouve hors des bornes de définition) et des commentaires éventuels (mesures de cotes adjacentes par exemple ou description pour les écarts non dimensionnels). Toutes ces informations sont très importants pour la compréhension de la demande. Un plan de la pièce, appelé *Plan bullé* est fourni par le producteur de la pièce, sur lequel, à chaque cote est associé une bulle numérotée, pour faciliter l'identification. A ce plan est adjoint un fichier excel qui fournit l'équivalence entre la CODIF et la bulle numérotée. Ainsi, une fois que l'on reçoit la demande, on peut très rapidement visualiser la position de la cote et son influence sur le comportement de la pièce.

Sur base de ces CODIF, on peut facilement construire un diagramme de Pareto, pour les CODIF ayant fait l'objet d'une dérogation, ce qui donne le graphique de la Figure 15.

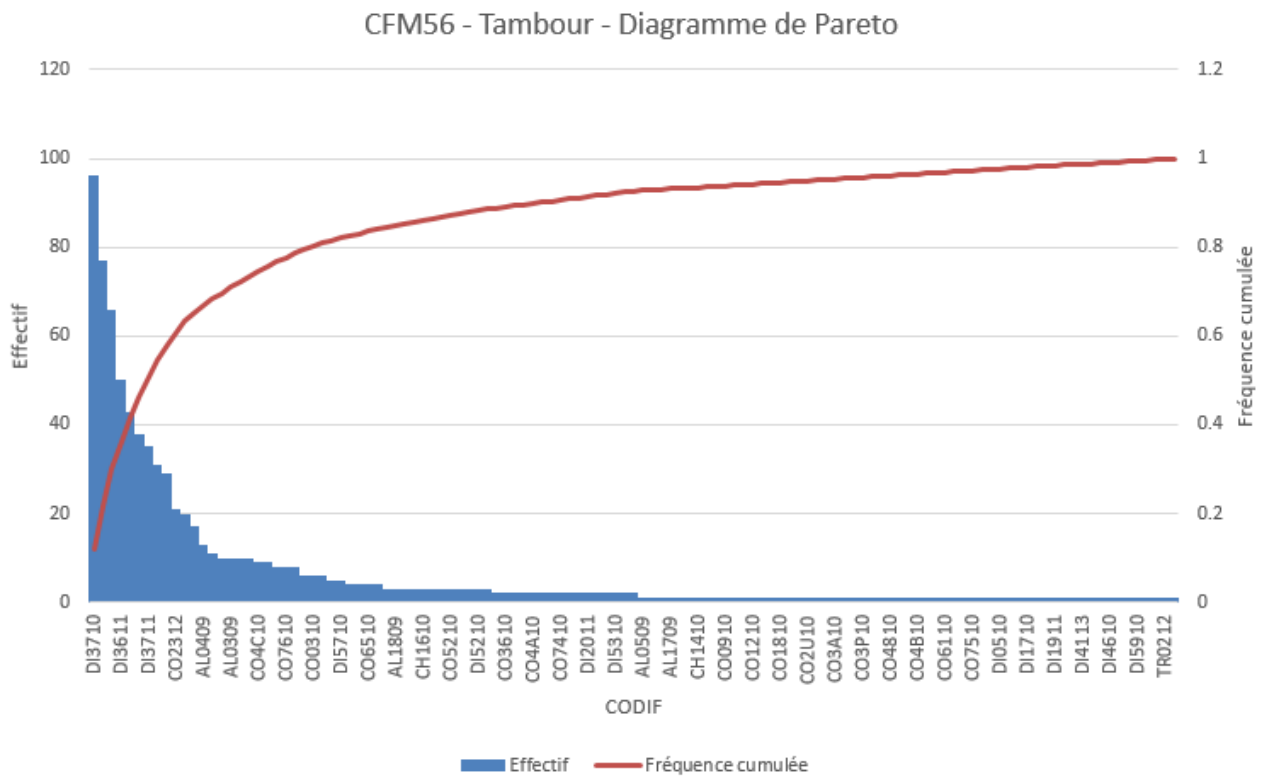


FIGURE 15 – Dérogations CFM56 - Détail des écarts du tambour

Si on se tient aux ratios théoriques de Pareto, on observe que 25 CODIF représentent 80% des causes de dérogation. Au total, 119 CODIF ont été traitée au moins 1 fois, ainsi, les 25 CODIF représentent 21%. La répartition suit donc parfaitement la loi de Pareto. Si on analyse ces CODIF, on remarque que 16 de celles-ci concernent la position absolue des alvéoles. Ces cotes sont liées entre elles et doivent être traitées de manière groupée. Parmi les 9 restantes, 3 concernent des cotes d'interface qui nécessitent un avis d'un autre bureau d'études, un avis générique n'est donc pas possible pour celles-ci. Enfin, les 6 dernières concernent des tolérances de forme des alvéoles et des encoches.

Il est donc très intéressant de trouver des solutions afin de traiter plus rapidement ces 22 CODIF, de manière à réduire drastiquement le temps de traitement de 80% des écarts. Des pistes de solutions sont présentées au §5.3.

**Déroptions - Analyse du GE90**

Si on s'attache à la répartition de la demande sur GE90, en excluant les roues mobiles pour les raisons évoquées plus haut (quality escape), on remarque que les demandes portant sur des tambours sont majoritaires par rapport à celles sur redresseurs. Hormis en 2015, les tambours représentent à chaque fois plus de 70% de la charge totale.

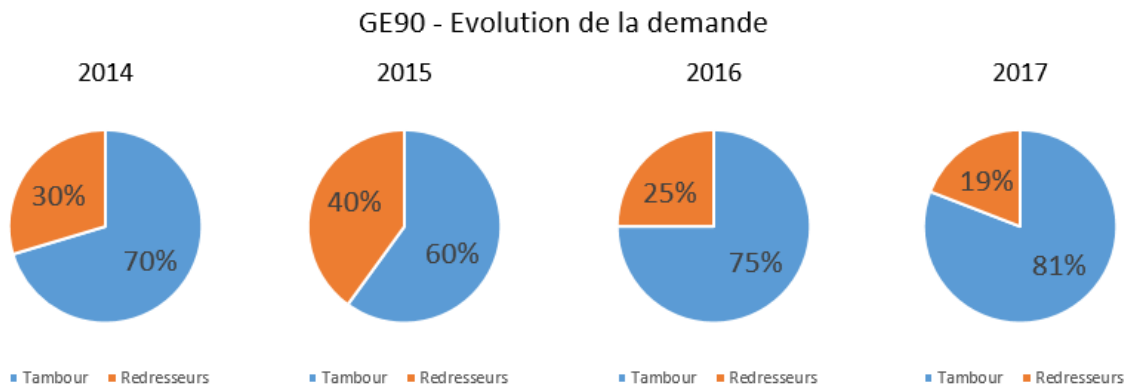


FIGURE 16 – Déroptions GE90 - Répartition de la demande annuelle par pièce

Malgré tout, les 2 pièces sont analysées, afin d'éventuellement mettre en évidence des écarts récurrents. La population de demandes sur redresseurs GE90 n'est pas suffisante pour tracer un diagramme de Pareto. Néanmoins, le diagramme circulaire de la Figure 17 présente la répartition des demandes des 4 dernières années. On remarque que 5 types d'écarts courants peuvent être identifiés. Les écarts uniques sont à étudier au cas par cas et ne sont pas retenus. De même, les coups représentent une faible proportion de la demande totale et ils sont localisés de manière aléatoire. Les propositions d'amélioration pour les types d'écart restant sont présentées au §5.3.

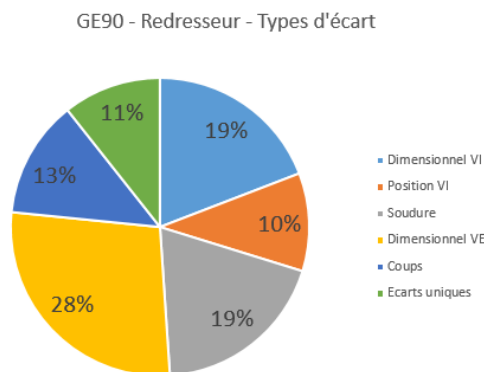


FIGURE 17 – Déroptions GE90 - Détail des écarts sur les redresseurs (tout étage confondu)

Les statistiques du tambour sont beaucoup plus fournies et l'apport des CODIF est très intéressant pour mettre en évidence les écarts les plus récurrents. On obtient ainsi le diagramme de Pareto de la Figure ???. Puisque qu'une dérogation peut présenter plusieurs écarts différents, c'est la récurrence de chaque CODIF (ou écart) qui est représentée sur le diagramme de Pareto. On peut observer sur celui-ci plusieurs informations pertinentes.

80% des non-conformités ont pour cause 52 CODIF différentes. Si on compare ces 52 CODIF aux 740 CODIF présentes sur le tambour, on a un rapport 10% - 80% ce qui dépasse largement la loi de Pareto. Pour être plus logique, on ne tient compte que des CODIF ayant été déclarées au moins une fois. Dans ce cas, l'échantillon de CODIF est de 145 (au lieu de 740). On a donc 80% des non-conformités causés par 35% des écarts. Ce ratio est légèrement supérieur à la loi de Pareto mais on peut malgré tout affirmer qu'une majorité des problèmes est causée par une minorité des écarts.

Vu le nombre important d'écarts (52), il est plus judicieux de choisir un nombre plus restreint d'écarts, tout en maximisant la quotité qu'ils représentent. Ainsi, en considérant uniquement les 16 écarts les plus fréquents, on couvre un peu plus de 50% de l'effectif total, ce qui est appréciable. Le formalisme des codifications permet de regrouper les écarts selon leur nature (par exemple, une codification ALxxxx se rapporte à une tolérance de forme d'une alvéole). Les 16 CODIF appartiennent à 3 groupes uniquement : 8 AL (forme alvéole), 5 DI (diamètre voile et léchette) et 3 EL (forme encoche). Les propositions d'amélioration se trouvent au §5.3

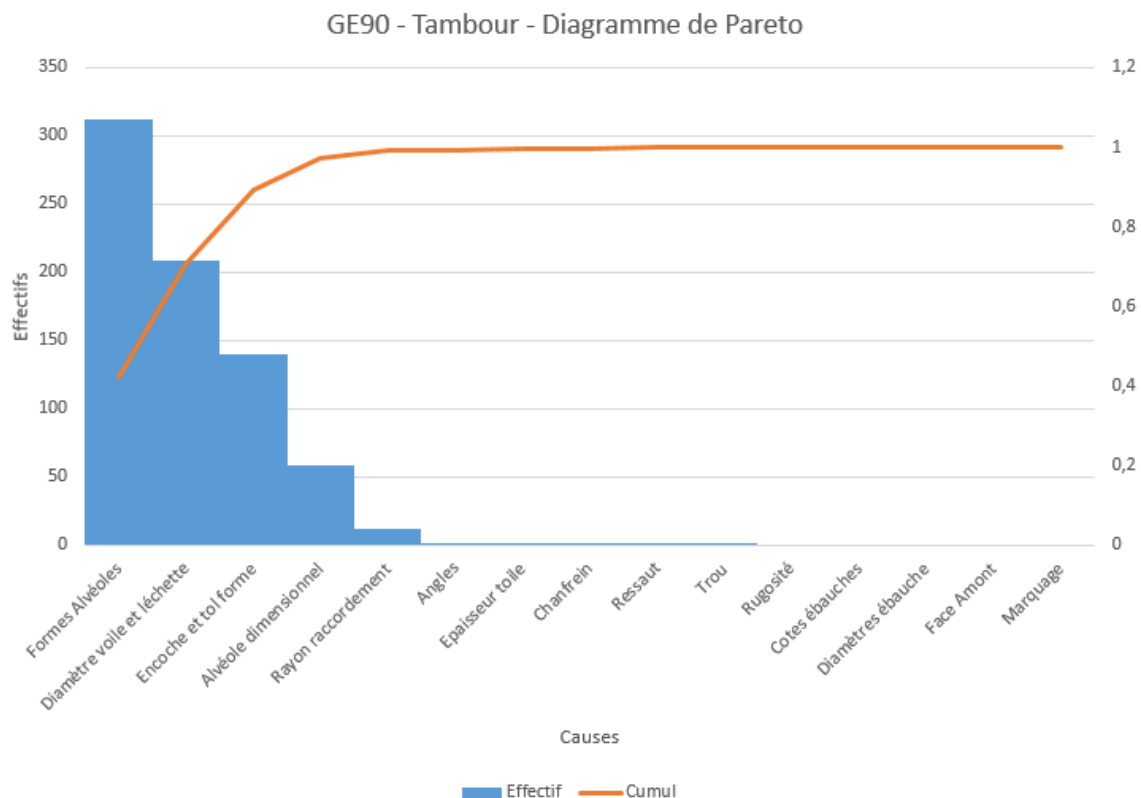


FIGURE 18 – Dérogations GE90 - Détail des écarts du tambour

### 4.3 Diagramme Cause - Effet

Le second outil du Kaizen qui est utilisé est le diagramme Cause - Effet. Ci-dessous, le diagramme Cause - Effet pour le traitement d'une demande est présenté, peu importe la nature de la demande (cas après vente ou en production).

4 axes principaux composent ce diagramme, dans l'ordre chronologique : la compréhension de la demande, l'analytique technique et les échanges client (simultanément) et enfin, l'écriture du livrable. Pour ces 4 axes, plusieurs sous-actions sont à entreprendre. Parmi ces sous-actions, certaines sont sous la responsabilité de tiers : les demandes d'informations complémentaires, les QRQC, les consultations d'autres bureaux d'étude (BE). Pour ces actions, il n'est pas évident de réduire les temps de traitement. Il reste donc onze sous-actions à étudier.

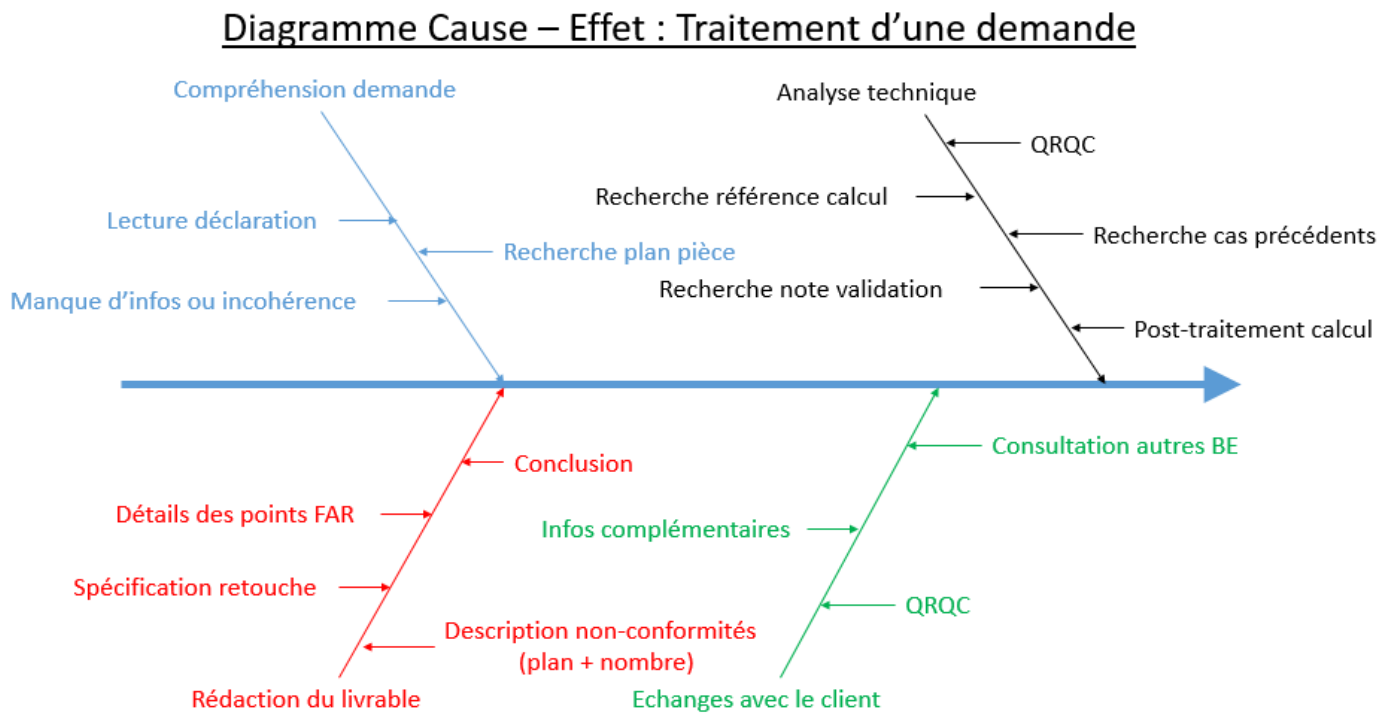


FIGURE 19 – Diagramme Cause - Effet appliqué au traitement d'une dérogation

A chacune de celles-ci, une estimation du temps de réalisation est associée. Il s'agit d'une borne supérieure, le temps effectif varie selon la connaissance du membre de l'équipe et du cas à traiter. Le tableau suivant reprend ces onze actions, le temps de réalisation et s'il est possible de réduire ce temps par un moyen quelconque.

Action	Temps réalisation	Réduction possible ?	Justification si non
Lecture déclaration	5 min	Non	Obligatoire
Recherche plan pièce	5 min - 15 min	Oui	/
Manque d'infos ou incohérence	15 min	Non	Propre au cas
Recherche référence calcul	15 min	Oui	/
Recherche note validation	15 min	Oui	/
Recherche cas précédents	30 min	Oui	/
Post-traitement calcul	30 min	Oui-Non	Propre au cas, pour les récurrences, peut être automatisé
Description des non-conformités	5-30 min (selon le nombre)	Oui	/
Spécification retouche	30 min	Non	Propre à chaque cas
Détails points FAR	Plusieurs heures	Oui-Non	Justification est propre à chaque cas mais on peut imaginer des wording génériques
Conclusion	5 min	Non	Propre à chaque cas

TABLE 2 – Diagramme Cause - Effet : actions critiques et temps de réalisation

Il reste donc 4 actions pour lesquelles une réduction du temps de réalisation est possible et 2 actions pour lesquelles des réductions sont possibles dans des cas particuliers. La proposition de solution pour ces actions est présentée au §5.1.

## 5 Propositions d'améliorations

Cette section présente quelques propositions d'amélioration pour les causes des problèmes identifiées au §4. Dans un premier temps, puisqu'elles sont communes aux cas après-vente et aux dérogations, ce sont les observations du diagramme Cause - Effet qui sont analysées pour émettre des propositions de solutions. Ensuite, les observations propres à chaque cas permettront de trouver des propositions de solutions plus ciblées.

### 5.1 Propositions d'amélioration - Diagramme Cause - Effet

Comme évoqué précédemment, il est possible de réduire le temps de traitement de 4 sous-actions. Celles-ci étant des actions de recherche, une solution évidente est la création de base de données et d'outils de recherche (de type feuilles EXCEL).

#### Sous-action 1 - Recherche des plans de pièces :

A l'heure actuelle, seul le CFM possède un dossier réseau reprenant les plans de chaque pièce. Pour les autres moteurs, il est nécessaire de chercher la référence du plan sur l'outil interne du client. Cet outil permet de chercher une référence selon certains critères (moteur, type de document, mot-clé,...). Pour les moteurs plus anciens tels que le CFM56 et le GE90, les plans sont uniquement disponible sur un outil du groupe Safran : *Product Manager*. Cet outil est peu pratique et nécessite de connaître la référence du plan pour avoir accès aux planches. Il est impossible de rechercher le plan selon les critères ci-dessus. De plus, cet outil est extrêmement lent car il renvoie vers un site sécurisé et chaque planche du plan doit être téléchargée individuellement.

Pour éviter de passer par cet outil, tous les plans du GE90 ont été téléchargés et placés dans le dossier réseau du département (ceux du CFM56 sont déjà sur ce dossier).

Afin d'éviter des hésitations et des recherches complexes, une base de données serait plus directe. Plus en détail, il s'agit d'un fichier EXCEL reprenant pour chaque moteur, les références des plans de chaque pièce. Pour chaque plan, un lien hypertexte renvoie soit vers l'outil interne de recherche, soit vers le dossier réseau contenant le plan désiré.

#### Sous-actions 2 et 3 - Recherche de référence de calcul et de notes de validation :

La majorité des moteurs présents au sein du bureau ont été développés avant les années 2000. Les documents de traçabilité des notes ayant permis la validation du moteur étaient, à l'époque, quasi inexistant. La recherche de notes de validation s'effectue donc d'une manière similaire à la recherche de plan, via l'outil interne. Une fois encore, la recherche est fastidieuse et plusieurs notes portent parfois sur le même point de validation. L'expérience du manager et des cadres du client sont parfois nécessaires pour trancher sur la note à utiliser. Il s'agit d'un savoir qui se transmet mais qui n'est pas parfaitement tracé par écrit.

Les moteurs plus récents (CF34 et GENx) possèdent des documents de traçabilité, qui reprennent, pour chaque point de certification, les notes ayant permis la validation ainsi que les rapports d'essai réalisés. Il est donc plus facile de trouver les notes à utiliser pour ces deux moteurs.

Malgré cela, puisque les anciens moteurs n'ont aucun document de traçabilité, deux fichiers excel, reprenant pour chaque moteur, d'une part les notes de validation (technique ou par des calculs éléments finis) de chaque point de certification, et d'autre part les notes de calcul existantes sur chaque pièce, apporteraient un précieux gain de temps et de certitude.

Concernant les notes de calculs, pour récupérer les fichiers de calculs, il faut procéder comme suit : chercher la référence de la note, ouvrir la note pour lire le paragraphe *Références* qui donne le nom du dossier dans lequel sont contenus les fichiers et enfin, aller prendre sur ce dossier le fichier de calcul. En outre, avant 2005, les notes de calcul étaient déjà stockées sur le réseau Safran Aero Boosters. Cependant, avec l'évolution de la société, les noms de dossier ont parfois changé et il arrive parfois de ne pas retrouver les calculs associés à une note (surtout pour les moteurs plus anciens).

Pour simplifier cette procédure, le fichier excel des notes de calcul contient, pour chaque note, le lien hypertexte vers le calcul à utiliser pour le traitement de la dérogation. Hormis le gain de temps évident, les liens hypertextes pointent directement vers le sous-dossier du calcul pertinent. En effet, certains notes présentent des calculs pour différentes configurations intermédiaires d'une même pièce et il faut lire la note de calcul en détail pour connaître la configuration utilisée pour valider la certification.

Le fichier excel de traçabilité des notes de validation fonctionne sur le même principe. Une fois encore, les moteurs anciens ont parfois été validés sur base de *Dossier d'étude et de conception, les DEC* qui sont disponibles soit sur le réseau soit en version papier dans la salle d'archive de bureau d'études exploitation. Le fichier excel indique où chercher ces documents plus anciens.

En résumé, les fichiers excel de traçabilité ont plusieurs avantages : un gain de temps par le biais des liens hypertextes, une suppression des recherches pour trouver les références de note et une certitude sur l'utilisation d'une note.

#### Sous-actions 4 - Recherche de cas précédents :

Le dernier type de recherches qui est effectué est la recherche de demandes déjà traitées, qui présentent des écarts identiques ou similaires aux nouvelles demandes. En effet, vu le délai de réponse parfois très court et dans un souci de continuité, il est utile d'avoir un cas précédent sur lequel s'appuyer. Lorsqu'un cas est reçu, le fichier de demande est stocké dans un dossier réseau, ce dossier est nommé de façon à décrire l'écart sur la pièce. Cette méthode trouve déjà



des limites lorsque plusieurs écarts sont présents sur la même pièce, car le nom du dossier est succinct. Toute la logique de traitement et le livrable final sont également placés dans ce dossier.

Ainsi, pour trouver un cas précédent, la logique courante consiste à effectuer une recherche par mot-clé dans le dossier du moteur. Cette recherche est complexe pour deux raisons : le nom du dossier n'est pas forcément évocateur ; un même écart dimensionnel peut être positif (une sur-matière de toile par exemple) ou négatif (manque matière de toile). Cette démarche de recherche est donc assez longue et ne mène parfois à aucun résultat, rendant l'action inutile et chronophage.

Pour les pièces qui présentent des codifications, la création d'un outil de recherche automatisé dans une base de données qui recense toutes les demandes précédentes, permettrait de gagner un temps considérable. Soit parce que la recherche aboutit sur un cas précédent plus conséquent (écart plus important) ou un cas précédent similaire. Soit parce que la recherche ne trouve aucun cas précédent et la perte de temps en recherche sera négligeable.

Ces bases de données sont possibles sur CFM56 et GE90. Sur GENx et CF34, un outil de recherche de cas précédents a déjà été développé.

## 5.2 Propositions d'amélioration - Cas après-vente

Vu les observations du §4.2.1, les propositions d'amélioration suivantes peuvent être énumérées :

1. Tambour : Fichier pré-rempli pour le traitement des usures sur la face amont. Les écarts de plastification sont à traiter au cas par cas puisqu'ils sont toujours situés à une localisation différente sur le tambour. Le temps de traitement passera à 1h grâce à cela.
2. Splitter : Un avis générique permettrait de réduire le nombre de cas pris en charge par le BE. De même, le temps de traitement est raccourci à 1h grâce à cela.
3. RD1 : Une étude spécifique avec plusieurs calculs de validation par éléments finis a permis de sortir un avis générique pour valider à la fois le *Dim O* et le *Dia F* puisque ces deux côtes sont liées. Le nombre de cas après-vente sur RD1 devrait donc baisser de 10 cas par an.
4. Laby : Les diamètres fonctionnels sont facilement traités et un fichier pré-rempli, pourrait être construit, dans lequel il suffirait d'inscrire la valeur relevée de ces diamètres. Le temps de traitement en est donc réduit à 1h une fois de plus.

Le gain de temps total et l'équivalence en terme de chiffre d'affaires sont donnés au §6.1.

### 5.3 Propositions d'amélioration - Dérogations

Une fichier d'analyse a été construit pour traiter les écarts dimensionnels sur la position des alvéoles puisqu'ils comptent pour plus de 50% des écarts sur le tambour CFM56. Ce fichier permet de traiter très rapidement la demande. En moyenne, une dérogation est traitée en 3h grâce à cet outil, lorsque seuls des écarts de ce type sont déclarés.

En outre, une base de données a été construite, sur base des cas reçus lors des 4 dernières années. Pour chaque demande de dérogation, les CODIF faisant l'objet d'écart sont notées, avec la valeur relevée et un commentaire éventuel. La recherche de cas précédents est beaucoup plus simple, comme expliqué ci-avant.

Une base de données identique a été construite pour les dérogations du tambour GE90 (il faut remarquer que les références de CODIF sont différentes entre les 2 moteurs).

Le diagramme de Pareto a mis en évidence la récurrence élevée des cotes sur la forme des alvéoles. Des études spécifiques ont été lancée sur ces écarts, un calcul éléments finis permettant de valider des écarts étant 2 fois supérieurs aux écarts déjà traités. Ces études permettront de ne plus devoir recourir à des calculs éléments finis et de pouvoir livrer un avis en 3h, cela pour 30% des écarts. En ce qui concerne les écarts sur les diamètres de voile et de léchette, des avis génériques sont possibles mais ils demandent des avis de bureau d'étude extérieurs à l'exploitation, ce qui risque de compliquer la tâche. Il faut néanmoins garder à l'esprit cette piste d'amélioration.

Sur redresseur GE90, plusieurs types d'écart sont rencontrés sur les redresseurs. Parmi ceux observés au §4.2.2, on retient les écarts dimensionnels sur la virole interne et externe ainsi que les soudures. De par la faible participation de la virole interne à la tenue mécanique du booster, il est assez aisé de préparer un fichier de traitement pour les écarts portant sur celle-ci. Cela permettrait de traiter une dérogation en 4 à 5h. Les écarts sur le dimensionnel de la virole externe ou sur les soudures sont plus complexes et ne seront pas traités dans le cadre de ce travail. Là encore, il faut garder à l'esprit cette possibilité pour le futur.

## 5.4 Propositions d'amélioration - Formation et transfert de connaissances

Plutôt que de devoir lire des documents de sources diverses et de rassembler des informations çà et là, il serait beaucoup plus simple pour un nouveau venu d'avoir toutes les informations dans un même document, qui renvoie aux références pour plus de détail. De manière exhaustive, les concepts à comprendre et à illustrer au bureau d'étude exploitation sont les suivants :

1. Fonctionnement de l'équipe exploitation : membres du personnel, périmètre d'activité.
2. Description de Safran Aero Boosters
3. Fonctionnement d'un moteur : principe global, explication des divers composants du booster et de leur fonctionnalité. Egalement préciser la responsabilité de Safran Aero Boosters dans le design et quand l'intervention d'autres bureaux d'études est nécessaire.
4. Certification d'un moteur et explication des points CCL/FAR
5. Présentation des calculs certifiants
6. Explication du contenu d'un livrable de dérogation ou de cas après-vente et comment ce livrable est construit.
7. Liens vers les fichiers excel de traçabilité (Recherche de plans, de notes de calcul et de validation) ainsi que les fichiers de base de données.

En accord avec les collègues de l'équipe, cette liste est suffisamment exhaustive pour assurer une productivité très rapide. Dans la continuité de l'amélioration continue, ce premier jet du document pourra être modifié par les membres du bureau d'études ou être soumis à des commentaires d'amélioration.



## 6 Mise en oeuvre de la roue de Deming

La Roue de Deming pour l'amélioration continue mise en place est présenté à la Figure 20. Les détails de chaque cadran sont donnés ci-dessous.

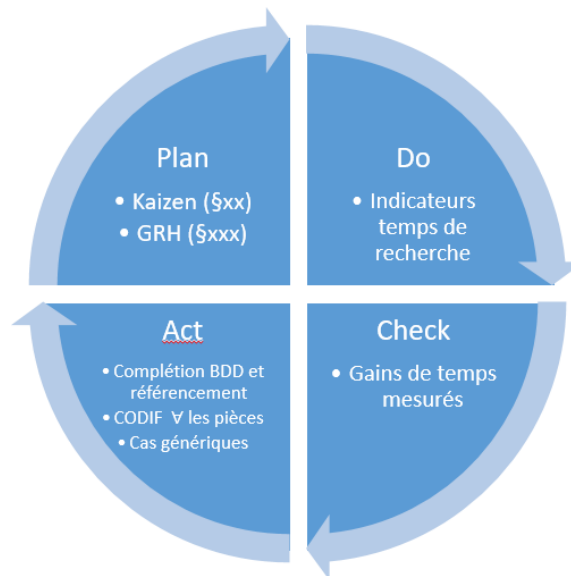


FIGURE 20 – Roue de Deming appliquée à l'équipe GDTech

Plan : La première partie de ce travail s'est attachée à identifier les déchets dans le traitement des demandes du client, à trouver des pistes d'amélioration et à les développer.

Do : Afin de suivre l'évolution du temps et de la qualité de traitement, les indicateurs suivants sont utilisés :

1. Temps de compréhension de la demande : réception de la demande, lecture des écarts et localisation de ceux-ci sur les plans.
2. Temps de recherche de cas précédent : recherche d'un cas précédent pouvant couvrir le cas reçu ou pouvant servir de base pour la méthodologie de résolution.
3. Temps de recherches des documents permettant la validation de chaque point de certification.
4. Durée nécessaire à la formation d'un nouvel employé

L'objectif sous-jacent des trois premiers indicateurs est de libérer 30 min de traitement afin de relire le livrable. Cette réduction de temps est réaliste et pourrait même être supérieure pour des écarts récurrents. Il faut remarquer que ces indicateurs dépendent fortement de la charge de la semaine. En effet, si pendant une semaine, la charge se compose de moteurs récents, le gain de temps sera inférieur aux 30 min. Si, par contre, la charge est composée de plusieurs moteurs anciens (CFM56 et GE90), le gain de temps pourrait largement dépasser les 30 min.

In fine, ce gain de temps pourrait donc permettre le deuxième objectif sous-jacent, l'adéquation entre les tarifs des livrables et le temps de travail effectif. Par exemple, une dérogation représente une journée de travail (8h), avec ce gain de temps, il serait donc parfois possible de traiter celle-ci en 7h tout en conservant une qualité supérieure.

En ce qui concerne le dernier indicateur, il n'a pas pu être mesuré car, malheureusement, aucun nouvel employé n'est arrivé au cours de la dernière année.

Check : Pendant une semaine, ces indicateurs ont été mesurés autant que possible, afin de déterminer un point de départ. Ensuite, les outils décrits au §6 ont été fournis et les indicateurs ont également été mesurés, dans un tableau de contrôle, durant deux semaines. L'évolution de ces indicateurs est présentée ci-dessous :

On voit que dès la première semaine, les différences sont perceptibles et le temps d'adaptation est très court. Le changement est facilité car les outils ne demandent pas de travail personnel des employés, comme pourrait le demander le 5S par exemple.

Le graphique suivant montre l'évolution des indicateurs et de la somme de ces indicateurs, pour chaque jour des 3 semaines. Les variations sont assez importantes car le temps de traitement dépend vraiment de la nature de la charge. C'est surtout l'analyse des tendances qui sera parlante pour juger d'une amélioration ou non.

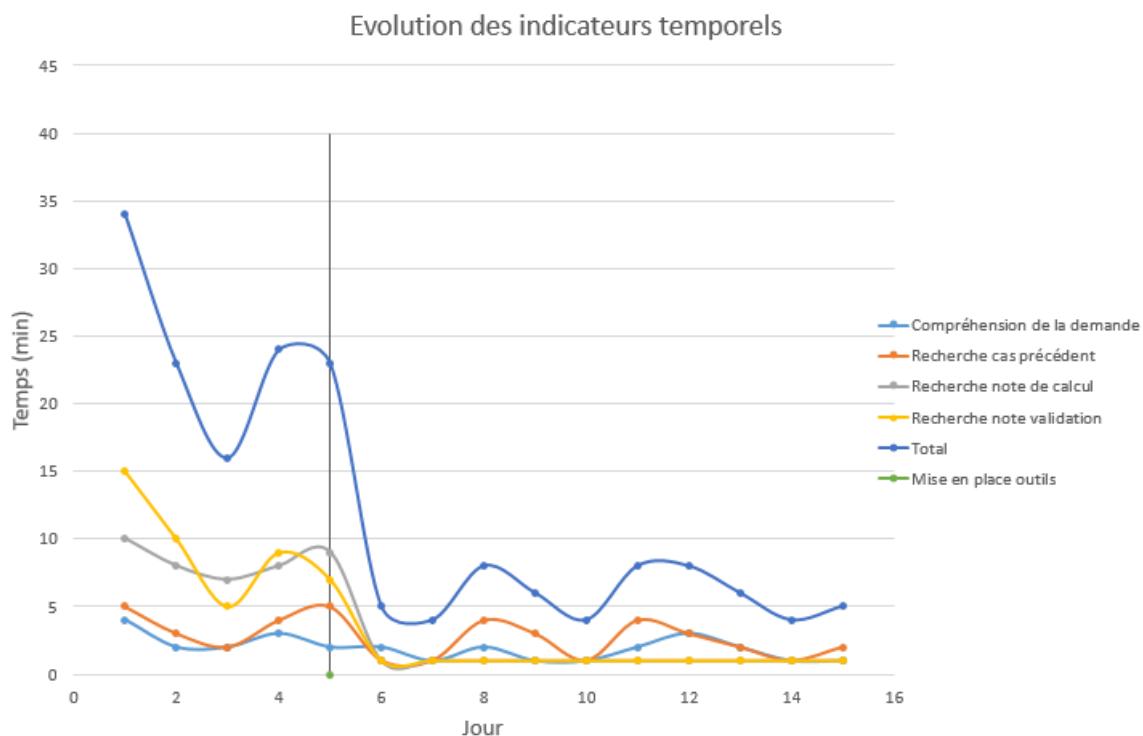


FIGURE 21 – Evolution des indicateurs temporels

On peut observer plusieurs résultats importants sur ce graphique. Tout d'abord, on voit que la recherche de notes (de calcul ou de validation) est le poste le plus conséquent avant la mise

en place des outils. Ces 2 types de recherches comptent pour plus de 75% du temps total, soit environ 20-25 min. Les 2 autres postes (recherche de plans et de cas précédents) représentent une charge de 5 à 10 min.

Après la mise en oeuvre des outils d'amélioration, on remarque que le temps de recherche de notes est réduit à 0 quasiment et que les autres temps de recherche sont réduits mais la réduction est beaucoup moins marquée puisque le temps de base est déjà assez faible.

Au total, on a réduction globale de plus de 20 min, ce qui est un peu moins qu'espéré mais une fois encore, il faut rappeler que les outils sont très performants pour les moteurs plus anciens et si par exemple, au cours d'une semaine, la charge totale est composée à plus de 50% de moteurs anciens, on pourrait largement dépasser les 30 min.

Dans une hypothèse pessimiste, on gagne donc 20 min par demande, sachant que la demande totale en cas après-vente et dérogations et de l'ordre de 750-800 demandes par an, le gain total est donc compris entre 250 et 260h par an. Ce gain total de temps ne tient pas compte des gains de temps supérieurs à 30min qui pourraient être obtenus pour les moteurs anciens ni de l'efficacité de l'outil de recherche de cas précédents. En effet, contrairement à la recherche classique (via l'explorateur *Windows*) qui peut faciliter mener à une absence de résultat, les bases de données permettent d'obtenir un cas précédent avec beaucoup plus de certitude que la méthode actuelle. Ainsi, le temps de traitement de la demande pourrait être fortement raccourci car la méthodologie serait connue.

D'un point de vue qualitatif, les outils de recherche sont performants et n'ont nécessité aucune période d'adaptation ni investissement personnel de la part des membres de l'équipe.

Act : La familiarisation avec les outils et bases de données est un succès. Les indicateurs présentés semblent désormais obsolètes et une nouvelle réduction des temps de recherche semble peu évidente grâce aux outils.

Dans une démarche d'amélioration continue, la mise en place de 5S pourrait s'avérer payante dans une logique de réduction du temps de traitement. De même, la mise en place de réunions de partage, pendant 10 min chaque jour, pourrait permettre un partage de connaissances efficace et éviter à une personne de l'équipe de s'interroger sur une méthodologie de traitement pour un cas non récurrent.

Evidemment, des actions telles que la complétion des outils lorsque de nouvelles notes sont utilisées ou écrites sont évidentes donc une optique d'amélioration continue. Ces actions demandent très peu d'investissement.

Une piste d'action importante est la mise en place d'équivalence de type CODIF pour toutes les pièces de production. En effet, des outils de recherche de cas précédents tels que ceux développer sur les tambours CFM56 et GE90 sont extrêmement utiles. Ils permettraient également de réduire les temps de recherche de plan et de compréhension de la demande puisque les écarts sont directement identifiables. L'utilisation des cas précédents permettra également de valider

des demandes sans faire d'étude mais en se couvrant par des demandes précédentes présentant des écarts supérieurs.

Il s'agit là de quelques pistes d'actions pour le futur, elles ne seront pas mises en oeuvre dans le cadre de ce travail.

## 6.1 Gains apportés par le Kaizen

Suite à l'observation des causes de déchets, on a obtenu 2 types d'amélioration : une réduction des cas récurrents (via les avis génériques) et une réduction du temps de traitement des livrables (via les outils de recherche et de référencement). Connaissant le prix horaire forfaitaire, il est aisé d'exprimer les gains de temps en terme de chiffre d'affaires. Le tableau ci-après présentent les solutions d'amélioration de ce travail, le gain de temps unitaire et pour chacune de celles-ci, le nombre de demandes impactées.

Action	Gain de temps unitaire (heure)	Nombre de demandes impactées (par an)	Gain CA (€)
Référencement documents utiles et base de données (§5.1)	20 min	750	12500 (250h)
Pré-analyse Usure Tambour (§5.2)	2	10	1000 (20h)
Pré-analyse Dia B Splitter (§5.2)	2	80	8000 (160h)
Pré-analyse Dia Fonctionnels Laby (§5.2)	2	10	1000 (20h)
Pré-analyse Dérogation Tambour CFM (§5.3)	5	40	10000 (200h)
Notes de calcul générique Tambour GE90 (§5.3)	5	15	3750 (75h)
Pré-analyse Redresseurs GE90 (§5.3)	3	3	450 (9h)

TABLE 3 – Gain en terme de chiffre d'affaires pour les pistes d'amélioration proposées dans ce travail

Au total, le gain chiffré est de 36700 € soit l'équivalent de 734h. Sachant qu'un équivalent temps-plein correspond à 150h de travail mensuel, cela représente tout de même près de 5 mois de travail, ce qui est considérable.



## 7 Conclusion

Sur base de motifs propres aux ressources humaines mais également pour des raisons de surcharge et de performance, une optimisation de l'équipe GDTech au sein du bureau d'études exploitation a été réalisée, grâce au LEAN et en particulier la méthode Kaizen. La mise en oeuvre d'une Roue de Deming a été menée pour optimiser le fonctionnement de l'équipe et sa performance.

La première étape consistait à déterminer les problèmes rencontrés au sein de l'équipe et surtout d'identifier les causes de ces problèmes. Dans ce but, les Outils statistiques recommandés par la méthode Kaizen ont été appliqués. Plus en détail, l'analyse des graphiques de la demande (Pareto et autres diagrammes de mise en évidence) et la construction d'un diagramme Cause-Effet ont permis d'identifier un grand nombre de causes des déchets.

Pour celles-ci, des pistes d'amélioration et des propositions de solutions ont été trouvées et mises en place au sein de l'équipe. Le suivi d'indicateurs de performance pour ces solutions a permis de mesurer l'amélioration du temps de traitement des demandes de l'équipe. De même, une estimation financière du bénéfice du LEAN a été présentée et évaluée à 36 700€ (l'équivalent d'une demi-année d'un ETP)

La dernière étape consistait à juger l'évolution des indicateurs de performances afin de statuer sur l'utilité future de ceux-ci. Des pistes d'amélioration pour le futur sont également proposées, afin de continuer la démarche d'amélioration continue entamée dans ce travail.

## Références

- [1] Diagramme cause-effet. <http://www.commentprogresser.com/outildiagrammecauseeffet.html>. Consulté : 6-8-2018.
- [2] Exemple d'histogramme. <http://www.ebsi.umontreal.ca/jetrouve/illustre/exhis1a.htm>. Consulté : 12-8-2018.
- [3] Gdtech engineering. <http://www.gdtech.eu>. Accessed : 9-8-2018.
- [4] Illustration roue de deming. <https://elcimai-conseil.blogspot.com/2016/01/les-chantiers-de-progres-et.html>. Consulté : 10-8-2018.
- [5] Chanteux Anne et Crutzen Nathalie. Tableau de bord de gestion. Séminaire de contrôle de gestion et stratégie d'entreprise, Ulg.
- [6] Quinn R; et Rorhbaugh J. A spatial model of effectiveness criteria : Towards a competing values approach to organizational analysis. Management Science, Vol 29, Issue 3, 1983.
- [7] Krafcik J. Triumph of the lean production system. Sloan Management Review, Vol 30, Issue 1, 1988.
- [8] IMAI Masaaki. Kaizen : The Key to Japan's Competitive Success. McGraw-Hill, 1ère édition, 1986.
- [9] Lisein Olivier. Modèles organisationnels. Management des organisations, Ulg.
- [10] Pareto V. Ecrits sur la courbe de la répartition de la richesse. Librairie Droz, 1ère édition, 1967.

### **Abstract**

In order to improve the performances and the efficiency of the exploitation design office team at GDTech S.A., the Kaizen principles were executed. They allowed to determine the causes of the wastes and some improvement propositions were presented.

On one hand, databases were created, to reduce the research times. On the other hand, for recurrent demands, preliminary analysis were conducted, in order to reduce the processing time of the analysis.

Thanks to the Deming cycle, performance indicators were measured, before and after the introduction of the two kinds of solutions. In the end, the impact of the Kaizen principles is a time gain of 730 hours per year.