



**HAL**  
open science

# Proposition d'une méthodologie d'amélioration du Processus de Développement de Produits basée sur une approche Lean

Sarah El Gamoussi

► **To cite this version:**

Sarah El Gamoussi. Proposition d'une méthodologie d'amélioration du Processus de Développement de Produits basée sur une approche Lean. Autre. Université Paris Saclay (COMUE), 2016. Français. NNT : 2016SACLC052 . tel-01397028

**HAL Id: tel-01397028**

**<https://theses.hal.science/tel-01397028>**

Submitted on 15 Nov 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NNT : 2016SACL052

THESE DE DOCTORAT  
DE  
L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY  
PREPAREE A  
CENTRALESUPELEC

ECOLE DOCTORALE N° 573 INTERFACE  
Interfaces : approches interdisciplinaires / fondements, applications et innovation

Spécialité Sciences et technologies industrielles

Par

**Mlle Sarah EL GAMOUSSI**

Proposition d'une méthodologie d'amélioration  
du Processus de Développement de Produits basée sur une approche Lean

**Thèse présentée et soutenue à Saint-Ouen, le 5 juillet 2016 :**

**Composition du Jury :**

M. Caillaud Emmanuel	Professeur des Universités, Université Strasbourg	Rapporteur
M. Gourc Didier	Professeur des Universités, Ecole des Mines d'Albi	Rapporteur
M. Pellerin Robert	Professeur, Polytechnique Montréal	Examineur
M. Yannou Bernard	Professeur des Universités, CentraleSupélec	Président du jury
M. Cheutet Vincent	Professeur des Universités, INSA Lyon	Directeur de thèse
Mme Costa Affonso Roberta	Maître de Conférences, SUPMECA Paris	Co-encadrante de thèse



## REMERCIEMENT

Ce travail de recherche n'aurait pas pu aboutir sans l'encadrement et l'encouragement de mon directeur de thèse Mr Vincent CHEUTET, que je remercie vivement de m'avoir fait confiance en me confiant ce sujet si pertinent ainsi que la responsabilité d'enseigner le module « Maîtrise Statistique des Procédés » qui était une expérience très intéressante et enrichissante dans ma carrière. Je tiens à remercier également ma co-encadrante Mme Roberta COSTA AFFONSO de m'avoir encadrée et aidée dans mes travaux de recherche.

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'être présents le jour de ma soutenance en personne ou via la téléconférence. Comme j'adresse mes sincères remerciements aux rapporteurs : Mr Emmanuel CAILLAUD et Mr Didier GOURC d'avoir pris le temps de lire mon manuscrit et de me donner des remarques très précieuses et pertinentes pour la continuité de mes travaux de recherche.

J'adresse mes remerciements également à l'équipe de travail au bureau d'étude d'Exxelia Technologies et plus particulièrement à : Razane, Aziza, Alexandre et Jonathan qui ont contribué à faciliter mon insertion en entreprise et à appliquer mes hypothèses de recherche dans le milieu industriel. Sans oublier de remercier l'équipe de recherche du laboratoire QUARTZ qui m'ont offert un environnement de travail apaisant et des conseils précieux en matière de recherche et d'enseignement.

Durant toute la période de ma thèse j'ai eu la chance d'être entourée d'amies formidables qui m'ont tellement encouragé. Un grand merci à toi : Safae, Leila, Ahlam, Ouafae, Dounia, Widad, Imane, Aicha... (je m'excuse pour ceux que je n'ai pu citer).

Mes grands remerciements sont adressés à mes chers parents qui ont tout fait pour que je réussisse. Ils m'ont toujours dégagé des ondes positives à travers leur optimisme et encouragement. Merci Papa et Maman je vous aime. Je n'oublie pas mes deux très chères sœurs Imane et Yasmine et mon petit frère Mohammed qui ont toujours cru en moi et me soutiennent de tous leurs cœurs.

J'ai quitté mon pays et ma ville natale pour venir continuer mes études loin de mes parents. Mais en réalité la France a toujours été mon deuxième pays dans lequel j'étais entourée par mes grands-parents, tante, oncles, amis et collègues. Merci à ma grand-mère qui a toujours su me consoler pendant les moments les plus difficiles, merci à mon cher grand-père qui était toujours fier de moi et qui malheureusement nous a quitté avant que je puisse lui annoncer ma réussite.

Un grand merci à mon adorable tante Nora qui a partagé avec moi tous mes moments de joie et d'épreuve durant ma thèse. Je n'oublie pas de remercier également mes chers oncles : Boufelja, Mohammed et Abdelkader qui m'ont toujours soutenu avec leur encouragements.

Je ne peux conclure mes remerciements sans exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à mon cher mari Fahd qui a eu un rôle crucial dans l'accompagnement moral durant ma thèse. Ses encouragements, ses conseils et sa sagesse m'ont donné de la force pour atteindre mes objectifs.

Enfin, je remercie toute personne qui de près ou de loin a contribué à la réussite de ce travail de recherche.



# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b>	<b>10</b>
---------------------	-----------

<b>CHAPITRE I : LE PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUITS, CREATION DE VALEUR ET METHODES D'AMELIORATION</b>	<b>14</b>
--	-----------

<b>I. LE PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUITS</b>	<b>14</b>
1. DEFINITION	14
2. LES SPECIFICITES DU PDP	17
2.1 Connaissances et Flux virtuels	17
2.2 Environnement incertain et prises de décision	18
2.3 Flux multidimensionnels avec itérations	18
2.4 Projets de longue durée et de niveaux d'innovation différents	19
<b>II. L'AMELIORATION DU PDP</b>	<b>20</b>
1. LES METHODES DE MAITRISE DU PDP	21
2. LEAN PRODUCT DEVELOPMENT	23
2.1 Du Lean Manufacturing au Lean Thinking	23
2.2 Lean Product Development	25
3. SYNTHESE	29
<b>III. LA CREATION DE VALEUR</b>	<b>29</b>
1. QUELLE DEFINITION DE LA NOTION DE VALEUR DANS LA LITTERATURE ?	30
2. LA NOTION DE VALEUR EN LPD	33
3. ETUDE EMPIRIQUE AU SEIN D'EXXELIA TECHNOLOGIES	34
<b>IV. SYNTHESE DE L'ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE</b>	<b>36</b>
1. SYNTHESE	36
2. CONTEXTE	37
3. VERROUS SCIENTIFIQUES	37
4. HYPOTHESES	37

<b>CHAPITRE II : METHODOLOGIE D'AMELIORATION DU PDP BASEE SUR UNE APPROCHE LEAN</b>	<b>40</b>
---	-----------

<b>I. PRINCIPE 1 : CADRE DE DEFINITION DE LA VALEUR CREEE EN PDP</b>	<b>41</b>
1. NATURE DE LA VALEUR	41
2. LA CREATION DE VALEUR EN PDP D'UN POINT DE VUE STRATEGIQUE	42
3. LA CREATION DE VALEUR EN PDP D'UN POINT DE VUE TACTIQUE ET OPERATIONNEL	47
<b>II. PRINCIPE 2 : CARTOGRAPHIE DE LA CREATION DE VALEUR DANS LE PDP</b>	<b>50</b>
1. CRITERES D'EVALUATION DE L'OUTIL	50

2.	LES DIFFERENTS OUTILS DE CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS	52
2.1	La Value Stream Mapping	52
2.2	Product Development Value Stream Mapping	53
2.3	Business Process Model and Notation	53
2.4	Integration Definition For Function Modeling	54
2.5	Réseau GRAI	56
2.6	Synthèse	57
3.	PROPOSITION DE L'OUTIL DE CARTOGRAPHIE DE LA VALEUR EN PDP VSM4PDP	58
3.1	Niveau I du VSM4PDP	60
3.2	Niveau II du VSM4PDP	61
3.3	Niveau III du VSM4PDP	62
3.4	Synthèse	62
4.	METHODE DE STRUCTURATION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE POUR LE PDP	63
4.1	Besoin d'indicateurs de performance	63
4.2	Méthodologie de structuration des indicateurs de performance en PDP	63
<b>III.</b>	<b>ADAPTATION DES AUTRES PRINCIPES</b>	<b>66</b>
1.	PRINCIPE 3 : FLUX CONTINUS	66
2.	PRINCIPE 4 : TIRER ET POUSSER LES FLUX PAR LE BESOIN DES PARTIES PRENANTES	66
3.	PRINCIPE 5 : VISER LA PERFECTION	66
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>67</b>
 <b>CHAPITRE III : APPLICATION CHEZ EXXELIA TECHNOLOGIES</b>		<b>68</b>
<b>I.</b>	<b>PRESENTATION DU PARTENAIRE INDUSTRIEL</b>	<b>68</b>
1.	LE GROUPE EXXELIA	68
2.	EXXELIA TECHNOLOGIES	69
3.	PRESENTATION DU BUREAU D'ÉTUDES (BE)	72
4.	SYNTHESE	73
<b>II.</b>	<b>MISE EN ŒUVRE DE LA METHODOLOGIE D'AMELIORATION</b>	<b>74</b>
1.	LES INDICATEURS DE PERFORMANCES DANS LE BE	74
1.1	Introduction	74
1.2	Les indicateurs opérationnels	75
2.	APPLICATION DE LA METHODOLOGIE DANS LA BU-FILMS	79
2.1	Niveau I de la VSM4PDP	81
2.2	Niveau II de la VSM4PDP	83
2.3	Niveau III de la VSM4PDP	84
2.4	Synthèse	86
3.	APPLICATION DE LA METHODOLOGIE DANS LA BU-FILTRES	87
3.1	Niveau I de la VSM4PDP	89
3.2	Niveau II de la VSM4PDP	91

3.3 Niveau III de la VSM4PDP	92
3.4 Indicateur I <sub>2</sub> sur les opérations routinières	92
3.5 Synthèse	93
<b>III. CONCLUSION</b>	<b>94</b>
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE</b>	<b>98</b>
<b>ANNEXE 1 : INTERVIEW PRESENTATION ON EXPECTED VALUE FROM THE PDP</b>	<b>102</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>104</b>



## INTRODUCTION

Depuis les années 70, les progrès industriels ne cessent d'augmenter suite aux nouvelles technologies et à la hausse de la consommation. Par conséquent, la concurrence devient de plus en plus rude entre les entreprises. Ces dernières doivent répondre à des besoins de clients de plus en plus exigeants, tout en assurant la bonne qualité du produit ou service et en réduisant les coûts et temps de réalisation. Des efforts remarquables ont été fournis pour améliorer les systèmes de production, notamment avec l'apparition de l'approche *Lean Manufacturing* introduite par le *Toyota Production System* (TPS) [Womack & Jones, 2010]. Cette approche repose sur l'amélioration continue du processus, son principe est de contrôler continuellement la chaîne de valeur et d'éliminer ou réduire au maximum les opérations ne rajoutant pas de valeur pour le processus, celles-ci étant considérées comme gaspillage [Ohno, 1988]. Le *Lean Manufacturing* a permis de réaliser des exploits non négligeables dans l'histoire de l'industrie et il continue à impressionner les industriels de tous les domaines (automobile, aéronautique, agroalimentaire, pharmaceutique, cosmétique, etc.).

En revanche, malgré les progrès atteints dans l'amélioration des systèmes de production, il ne faut pas négliger que d'une part, cette phase est fortement dépendante de la phase amont qui est le Processus de Développement de Produit (PDP). D'autre part, pour gagner des parts de marché, l'entreprise doit concevoir des produits qui attirent les clients d'un point de vue nouveauté, innovation et rapidité à arriver sur le marché. D'où le rôle important et crucial du PDP dans la concurrence industrielle.

Ainsi, le PDP est le lieu de conversion du besoin client en solutions techniques, ce qui explique l'importance de cette étape dans la réussite ou l'échec de l'introduction du produit ou service sur le marché. De plus, les décisions prises lors du PDP peuvent impacter les autres services concernés, vu que les choix de la technologie, de l'assemblage, du contrôle ainsi que des matières premières sont faits au niveau du PDP, et ces décisions vont orienter par conséquent le fonctionnement des services production, achats, approvisionnement, qualité etc. [Schomberger, 1982] montre ainsi que 85% des problèmes survenus au niveau du processus de production sont liés principalement aux décisions prises lors du PDP. Donc, les opportunités d'améliorations sont importantes dans cette phase.

Plusieurs méthodes de maîtrise du PDP (souvent nommées Théories et Méthodologies de Conception - TMC) ont été développées pour rendre le système de résolution de problèmes plus efficient [Tomiya et al., 2009], ainsi que les outils, potentiellement numériques, supportant ces méthodes. Par contre, **une méthodologie de pilotage de l'amélioration du PDP**, pour savoir quand et où déployer ces méthodes de maîtrise pour

plus d'efficacité, **reste un challenge scientifique et industriel non résolu**. Car le PDP est aussi un enchaînement d'activités interdépendantes et dont l'organisation nécessite d'être améliorée pour viser que la création de valeur et réduire toutes les contraintes qui retardent le processus.

[Womack & Jones, 2010] met en évidence que le *Lean Thinking* peut être appliqué avec succès à d'autres domaines en dehors de ceux liés au processus de production, et notamment au PDP où l'application peut apporter des bénéfices considérables. Néanmoins, l'application directe des outils Lean dans ce contexte reste difficile, du fait de la complexité du PDP, qui réside dans ses activités majoritairement basées sur les connaissances [Tomiyama et al., 2009], la virtualité de ses flux, les différentes interactions avec l'ensemble des services de l'entreprise, les prises de décisions dans un environnement incertain et bien d'autres spécificités encore. C'est pour ces raisons que le *Lean Product Development* commence seulement à émerger comme principe d'amélioration du processus de conception [Baines et al., 2006].

Dans notre travail de recherche, **nous proposons donc une méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean**, où nous adaptons aux spécificités du PDP les deux premiers principes du Lean [Womack & Jones, 2010], à savoir la définition de la valeur durant le PDP et sa cartographie dans le processus. Cette adaptation a commencé par définir les spécificités du PDP pour ensuite pouvoir proposer un cadre de définition de création de valeur dans ce processus et enfin concevoir un outil de cartographie, qui permet de matérialiser les flux de ce processus. Cette contribution scientifique a été complétée par une application de notre méthodologie chez notre partenaire industriel Exxelia Technologies dans le cadre du dispositif CIFRE.

### **Structure du manuscrit**

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres. Au sein de chaque chapitre, une décomposition hiérarchique des thèmes est réalisée en « partie », « section » et « sous-section ».

Le premier chapitre, intitulé « **Processus de Développement de Produits, création de valeur et méthodes d'amélioration** », présente un état de l'art sur le PDP, ses spécificités, les méthodes de maîtrises de ce processus et le Lean Product Development. Dans ce chapitre, nous évoquons aussi la notion de création de valeur dans le PDP que nous complétons avec une étude empirique chez notre partenaire industriel. Puis, nous clôturons ce chapitre avec une synthèse sur l'état de l'art et la problématique de recherche que nous avons identifié.

## Introduction

Le second chapitre, « **Méthodologie d'amélioration du PDP basée sur une approche Lean** », décrit nos principales contributions scientifiques, à savoir le cadre de définition de la création de valeur dans le PDP et l'outil de cartographie de cette valeur, qui prennent en considération les spécificités du processus étudié. Ces deux premiers principes du Lean, associés à notre proposition de méthodologie de structuration d'indicateurs de performance adaptée au PDP, permettent d'initier et de piloter des chantiers d'amélioration dans le PDP visant la maximisation de la création de valeur et la réduction des coûts.

Le troisième chapitre, « **Application chez Exxelia Technologies** », détaille les chantiers d'amélioration menés chez notre partenaire industriel. Notre méthodologie a été appliquée sur plusieurs entités (Business Unit) de l'entreprise et sur plusieurs projets de conception de produit conçus à la demande et donc sur des projets non récurrents.

Enfin, ce manuscrit est conclu par une synthèse sur les apports de notre contribution scientifique et industrielle ainsi que sur la proposition des perspectives de recherche.



## CHAPITRE I : LE PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUITS, CREATION DE VALEUR ET METHODES D'AMELIORATION

### *I. Le Processus de Développement de Produits*

#### 1. Définition

Le **Processus de Développement de Produits** (PDP) est le lieu de définition du produit ou service à partir de la conversion du besoin client en solutions techniques. Ce processus est constitué d'un enchaînement de plusieurs activités qui se basent sur les besoins clients exprimés et sur les ressources internes de l'entreprise (connaissances, savoir-faire, technologies, moyens...) pour concevoir un produit (ou service) permettant le meilleur compromis entre la satisfaction du client et la faisabilité industrielle.

Parmi tous les modèles et approches présents dans la littérature (voir [Tomiyama et al., 2009] pour plus de détails), nous détaillerons ici le modèle de [Ulrich & Eppinger, 2015] qui propose un PDP allant de la définition du besoin client au lancement de production (i.e. toutes les étapes avant la mise sur le marché du produit/service). Plus particulièrement, [Ulrich & Eppinger, 2015] regroupent les différentes activités du PDP dans six grandes phases (tableau 1.1).

#### **Phase 0 : Planification**

C'est l'étape qui précède le début du projet de développement d'un nouveau produit, durant laquelle les enjeux stratégiques sont pris en compte en évaluant le développement technologique et les objectifs du marché. A l'issue de cette phase, le livrable est l'énoncé de mission du projet, qui spécifie le marché ciblé par le produit, les objectifs commerciaux ainsi que les principales hypothèses et contraintes.

#### **Phase 1 : Concept de développement**

Durant cette phase, les besoins du marché cible (ou du client) sont identifiés, les concepts produits alternatifs sont générés et évalués pour en sélectionner un ou plusieurs qui seront par la suite développés et testés d'avantage.

#### **Phase 2 : Conception système**

Cette étape comprend la définition de l'architecture du produit ainsi que sa décomposition en sous-systèmes et composants. Le livrable de cette phase contient une vue générale de la géométrie du produit, la spécification fonctionnelle de chaque sous-système du produit ainsi qu'une version préliminaire représentant le diagramme des opérations du procédé d'assemblage final.

Chapitre I : Le processus de Développement de Produits, création de valeur et méthodes d'amélioration

	<b>Phase 1</b> Concept Development	<b>Phase 2</b> System-Level Design	<b>Phase 3</b> Detail Design	<b>Phase 4</b> Testing and Refinement	<b>Phase 5</b> Production Ramp-up
<b>Marketing</b>	Define market segments, Identify lead users, Identify competitive products.	Develop plan for product options and extended product family.	Develop marketing plan.	Develop promotion and launch materials, Facilitate field testing.	Place early production with key customers.
<b>Design</b>	Investigate concept feasibility, Develop industrial design concepts, Build and test experimental prototypes.	Generate alternative product architectures, Define major sub-systems and interfaces, Refine industrial design.	Define part geometry, Choose materials, Assign tolerances, Complete industrial design control documentation.	Do reliability, life, and performance testing, Obtain regulatory approvals, Implement design changes.	Evaluate early production output.
<b>Manufacturing</b>	Estimate manufacturing cost, Assess production feasibility.	Identify suppliers for key components, Perform make-buy analysis, Define final assembly scheme.	Define piece-part production processes, Design tooling, Design quality assurance processes, Begin procurement of long-lead tooling.	Facilitate supplier ramp-up, Refine fabrication and assembly, Train work force, Refine quality assurance processes.	Begin operation of entire production system
<b>Other functions</b>	Finance: Facilitate economic analysis. Legal: Investigate patent issues.	Finance: Facilitate make-buy analysis, Service: identify.		Develop promotion and launch materials, Facilitate field testing.	

Tableau 1.1 : Modèle de PDP générique [Ulrich & Eppinger, 2015]

### Phase 3 : Conception détaillée

A ce stade, les spécifications complètes concernant la géométrie, la matière et la tolérance de chaque composant du produit ainsi que l'identification de tous les composants standards à commander chez les fournisseurs sont établis. Cette phase comprend aussi la réalisation des gammes de fabrication et la conception des outillages pour chaque pièce destinée à être produite au sein du service production. Lors de cette étape, deux enjeux critiques sont abordés : le coût de la production et la robustesse de la performance.

## I. Le Processus de Développement de Produits

### **Phase 4 : Test et perfectionnement**

A cette étape, les multiples versions des prototypes du produit sont évaluées. En général, deux types de prototypes sont distingués.

Les « Alpha » prototypes permettent de vérifier si le produit fonctionne comme prévu dans la conception et s'il répond aux spécificités du client. Ils sont réalisés en collaboration avec le service production en se basant sur les spécificités géométriques et les propriétés des matériaux déterminés lors de la conception. Ces prototypes seront fabriqués tel qu'il est prévu pour la version finale de fabrication du produit mais pas nécessairement en respectant les procédés prévus d'être utilisés dans la phase de production du produit final.

Les « Beta » prototypes sont des prototypes avancés, généralement construits avec des pièces fournies par les procédés de production envisagés mais qui ne peuvent pas être assemblées en utilisant le procédé d'assemblage final prévu. Les Beta prototypes sont largement évalués en interne et sont aussi généralement testés par les clients dans leur propre environnement d'utilisation. L'intérêt majeur de ces prototypes est de répondre aux questions liées à la performance et la fiabilité du produit conçu afin de lui apporter des modifications et conclure la version finale du produit.

### **Phase 5 : Lancement en production**

A cette étape, le produit est fabriqué en appliquant le système de production prévu pour la version finale. Le but de cette phase est de former la main-d'œuvre et de résoudre les problèmes restants dans le processus de production. Les produits résultants de cette phase sont parfois livrés aux clients privilégiés et sont soigneusement évalués pour identifier d'éventuels défauts. La transition de cette étape à celle de production normale se fait généralement d'une manière graduelle. Néanmoins, il se peut qu'au cours de cette transition, le produit lancé soit destiné pour la distribution à grande échelle.

Dans cet esprit, l'origine du besoin déclencheur du PDP peut être soit interne à l'entreprise (conception « poussée ») ou directement établi par un client final (conception « tirée »).

La **conception poussée** se base sur un besoin exprimé par les concepteurs en se basant sur les études marketing et donc « récurrent » sur le marché. Ce type de conception est destiné particulièrement pour la fabrication des produits de grandes séries. La conception à la demande (Engineering-to-order – ETO), ou **conception tirée**, est une stratégie industrielle où une entreprise propose des produits pour lesquels les spécifications clients nécessitent une conception spécifique, une personnalisation significative ou l'achat de nouvelles pièces

[Arnold et al., 2012], [Schönsleben, 2012]. Cette stratégie s'associe à des délais de développement très courts, car dans un environnement compétitif, il est très important de pouvoir proposer le plus tôt possible des produits innovants et répondants aux spécifications des clients.

Dans ces deux cas, il est primordial de maîtriser au mieux le PDP. Néanmoins, pour la conception poussée, il est beaucoup plus facile de prévoir les délais et ressources humaines et matérielles à engager sur le terrain. De plus, les risques majeurs sont étudiés en amont en prenant en compte les orientations stratégiques de l'entreprise, les technologies et ressources internes. Ce mode de conception donne aussi plus de liberté au concepteur pour allier ses compétences et les ressources internes afin de proposer un design optimal.

Par comparaison, le cas de la conception à la demande entraîne aujourd'hui une incertitude importante sur les délais et les ressources nécessaires à réaliser l'activité [Zorzini et al., 2008]. Ainsi, l'amélioration des processus de développement produit prend d'autant plus d'intérêt dans ce contexte de conception à la demande, où l'innovation doit être associée à la réactivité de l'entreprise.

Avant de proposer une méthodologie d'amélioration du PDP, nous analysons dans le prochain paragraphe l'environnement de ce processus afin d'en tirer ses spécificités, qui serviront de grille d'analyse pour la suite des travaux de recherche.

## 2. Les spécificités du PDP

Le PDP est l'un des processus les plus complexes de l'entreprise [Morgan & Liker, 2006], dont nous allons détailler les principales spécificités.

### 2.1 Connaissances et Flux virtuels

Le PDP est constitué d'un ensemble complexe d'activités enchaînées et interdépendantes basées sur les **connaissances** [Morgan & Liker, 2006], [Clark et al., 1987]. Durant ce processus, les concepteurs utilisent leurs connaissances, compétences et retours d'expériences pour transformer les besoins et les opportunités technologiques en solutions sous forme d'informations transférées à la production pour l'industrialisation du produit [Tomiya & Yoshikawa, 1987]. Ces informations comprennent les concepts du produit, les modèles de formes, les spécifications, les maquettes, les prototypes, les dessins techniques, la conception de processus, les outils et matrices, matériels, matériaux et logiciels nécessaires pour la concrétisation du design en production [Clark et al., 1987]. Selon [Clark et al., 1987], même le produit industrialisé n'est autre qu'un paquet d'informations incarné dans les matériaux. Ce transfert d'informations est assuré par des **flux virtuels** [Morgan & Liker, 2006], [Yang et al., 2008], [Hall et al., 2009]. Ces flux sont générés tout au long du

## I. Le Processus de Développement de Produits

processus par les activités du développement produit pour des données et des informations sur le besoin, le produit à concevoir et le livrable de chaque activité (solutions techniques et instructions de réalisation par exemple).

### 2.2 Environnement incertain et prises de décision

Dans le PDP nous pouvons distinguer deux types d'activités : celles de prise de décision et celles d'exécution.

Les **activités de prise de décision** sont majoritaires [Krishnan & Ulrich, 2001], durant lesquelles les concepteurs tentent d'optimiser un certain nombre de paramètres de performance dans un **environnement incertain** [Clark et al., 1987]. Ces décisions sont fréquemment liées aux choix de la technologie appropriée pour le produit, aux méthodes d'industrialisation, à l'affectation de l'équipe et du chef de projet, la sélection des variables et produit à développer, etc. Cette incertitude associée aux autres aléas du métier notamment l'utilisation d'une mauvaise information ou les retards de réception des données nécessaires peut entraîner de nombreuses itérations et élargir ainsi le lead time des projets.

Les **activités d'exécution** succèdent souvent les prises de décision car elles se basent sur les décisions prises pour compléter ou modifier la ou les solutions choisies.

### 2.3 Flux multidimensionnels avec itérations

Le PDP implique de **nombreux acteurs, avec des compétences et des niveaux hiérarchiques différents** et donc le livrable d'un acteur peut dépendre des livrables des autres. De plus, lors de la réalisation de l'activité, le concepteur est amené à échanger avec les employés de différents services de l'entreprise (marketing, commercial, achats, production, qualité, etc.). Ces échanges peuvent être soit virtuels, et visent à chercher des informations nécessaires pour l'exécution de l'activité ou la prise de décision, soit matériels, suites aux retours des tests sur les matériaux, outils et prototypes.

De fait, le PDP est considéré comme le carrefour de l'entreprise, d'où l'importance de la coordination de ces flux d'information potentiellement **multidimensionnels**. En effet, chaque information erronée ou chaque retard de réception peut entraîner de nombreuses **itérations** et par la suite des retards tout au long des activités du processus.

Le PDP est le lieu d'interactions entre plusieurs parties prenantes internes à l'entreprise ou externe (clients, fournisseurs, sous-traitants, etc.) que nous classons comme suit (nous n'intégrons ici que les acteurs techniques du PDP) (Figure 1.1) :

- **Client externe** : tous les clients finaux et externes à l'entreprise à qui le produit développé est destiné ;

- **Client interne** : tout service interne à l'entreprise sollicitant le PDP pour le développement d'une solution, l'amélioration de leur processus, l'apport d'expertise, etc. On peut citer la production comme exemple ;
- **Acteur du PDP** : tout employé impliqué dans le PDP. En plus des concepteurs, plusieurs employés d'autres services de l'entreprise peuvent être amenés à réaliser des tâches pour le PDP telles que : les tests de validation dans la production, les passations de commandes de matières premières par le service achat, la validation par le service qualité, etc. ;
- **Support externe** : Tous fournisseurs et sous-traitants externes qui interviennent dans le PDP.

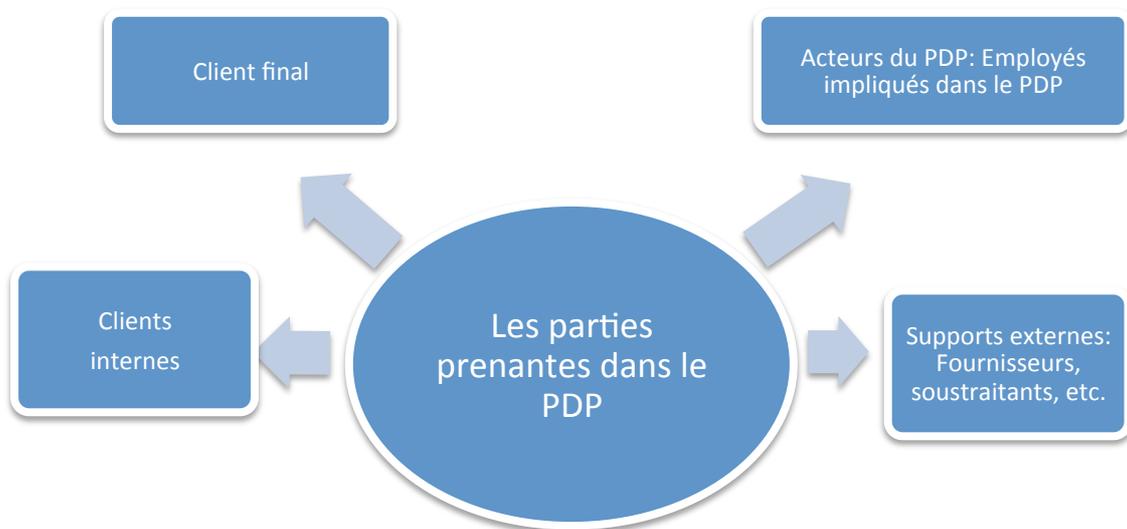


Figure 1.1 : Les parties prenantes du PDP

#### 2.4 Projets de longue durée et de niveaux d'innovation différents

Les projets dans le PDP se caractérisent par leur **longue durée** de traitement, qui peut aller de semaines à des années, contrairement aux opérations de production qui sont de l'ordre de la seconde à la minute.

De plus, ces projets présentent divers degrés d'**innovation** souvent non récurrents. En se basant sur les travaux de [Brown & Chandrasekaran, 1985] et [Coyne et al., 1990], [Gero, 1990] propose trois niveaux d'innovation dans les projets de conception :

- **La conception routinière** : « *Routine design can be defined as the design that proceeds within a well-defined state of potentials designs. That is, all the variables and their applicable ranges, as well as the knowledge to compute their values, are all directly instantiable from existing design prototypes* ».

## II. L'amélioration du PDP

- **La conception innovante** : « *Innovative design can be defined as non-routine design that proceeds within a well-defined state of potential designs. This distinction is produced by manipulating the applicable ranges of values for variables* ».
- **La conception créative** : « *Creative design can be defined as non-routine design that uses new variables producing new types and, as a result, extending or moving the space of potential designs* ».

A partir de ces définitions, [Louis-Sidney et al., 2012] propose une vision composite de l'innovation dans le PDP. En effet, si nous supposons que chaque projet de conception est unique, il existe nécessairement une partie de l'innovation (deuxième ou troisième type) supportée par un ou plusieurs métiers, les autres corps de métier réalisant des tâches relevant du premier niveau d'innovation, voire de la reprise pure et simple de l'existant.

[Skarka, 2007] et [Bluntzer et al., 2009] estiment que 80% des tâches d'un processus de conception sont des tâches de routine.

En conclusion, de par ses spécificités, le PDP est l'un des processus les plus complexes de l'entreprise alors qu'il est au cœur des enjeux stratégiques de l'entreprise, pour répondre au mieux aux attentes du marché. De plus la complexité du PDP (flux virtuels, la diversité des employés impliqués, l'enchaînement et l'interdépendance de ses activités, les prises de décisions et l'incertitude, etc.) fait de lui un lieu favorable pour la multiplication des dysfonctionnements organisationnels et logistiques de l'information.

Il est donc primordial que les entreprises développent des méthodologies efficaces pour maîtriser de mieux en mieux leurs processus et de les améliorer en continu, et en particulier, une méthodologie rigoureuse de pilotage qui permet de prendre la décision de où, quand et comment mettre en place les méthodes de maîtrise de la conception.

### ***II. L'amélioration du PDP***

Le potentiel d'amélioration du PDP reste aujourd'hui très important. Ainsi, [Schomberger, 1982] montre que 85% de défauts qui apparaissent en phase de production sont souvent liés aux décisions prises en phase de conception. [Oehmen & Rebentisch, 2010] établit que, durant le PDP, les activités d'ingénierie sont passives 62% du temps, principalement en raison de l'attente de données nécessaires ou de la réception de données d'entrée défaillantes. Ils ajoutent que les ingénieurs passent environ 40% de leur temps d'activité sur du gaspillage, 29% sur des tâches nécessaires mais à non-valeur ajoutée, et seulement 31% sur des tâches à valeur ajoutée. Donc, au cours du développement d'un produit, 12% du temps en moyenne est consacré à des activités à valeur ajoutée, 11% sur

des tâches nécessaires mais à non-valeur ajoutée, et 77% du temps est gaspillé (Figure 1.2). Selon [Evers et al., 1998], les ingénieurs passent 33% du temps de conception sur les activités à valeur ajoutée, 38% sur des activités nécessaires mais à non-valeur ajoutée, et 29% sur du gaspillage.

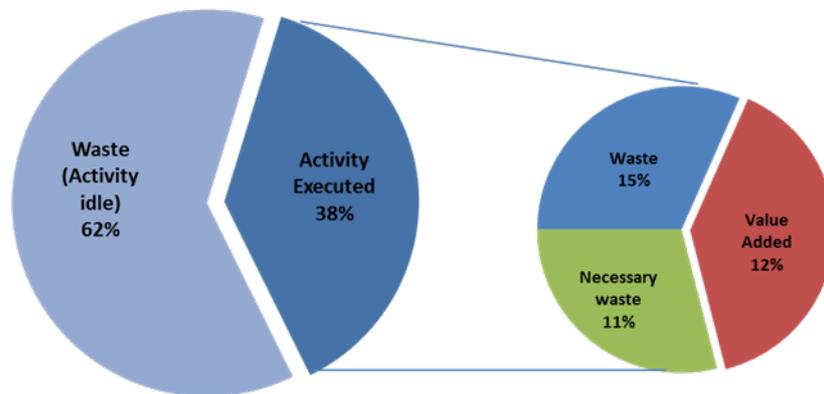


Figure 1.2 : Partage du temps entre différents types d'activité dans le PDP [Oehmen & Rebentisch, 2010].

Mettre l'accent sur la maximisation des activités de création de valeur et l'élimination des gaspillages pourrait donc permettre des améliorations significatives dans le PDP. Analysons dans un premier temps les approches et méthodologies existantes permettant de piloter le PDP.

### 1. Les méthodes de maîtrise du PDP

Plusieurs méthodologies et approches du PDP ont été développées afin de maîtriser et piloter ce processus [Tomiya et al., 2009], telles que l'Axiomatic Design, le Design for X ou le modèle de Pahl et Beitz pour ne citer que les plus connues (Figure 1.3).

	General	Individual
Abstract	Design theory (GDT, UDT)	Math-based methods (optimization, Axiomatic Design, Taguchi Method, Computer programs)
Concrete	Design methodology (Adaptable Design, Characteristics-Properties Modeling of Weber, Contact and Channel Model of Albers, Emergent Synthesis, Hansen, Hubka and Eder, Integrated Product Development of Andreasen, Koller, Muller, Pahl and Beitz, Roth, TRIZ, Ullman, Ulrich and Eppinger) Methodology to achieve concrete goals (Axiomatic Design, Design for X, Design Decision-Making Methods, DSM, FMEA, QFD, Total Design of Pugh) Process methodologies (Concurrent Engineering, DSM)	Design methods

Figure 1.3 : Classification des méthodes et théories de la conception [Tomiya et al., 2009]

Parmi toutes ces méthodologies, les suivantes ont attirés ces dernières années beaucoup d'intérêt :

- **Concurrent Engineering (CE)** : est une approche qui vise à réduire le temps de développement et à améliorer la qualité du produit en visant à prendre en considération

## II. L'amélioration du PDP

l'ensemble du cycle de vie du produit. Ceci s'applique par le fait d'impliquer le plus tôt possible d'équipes multi-compétence dans des activités de conception de fabrication et de production planifiées en parallèle [Hartley, 1992].

- **Set-Based Concurrent Engineering (SCBE)** : est une approche appliquée par Toyota pour mener à bien son processus de conception. A contrario de l'approche de type point-based [Malak et al., 2009], le SCBE est une méthode robuste qui se base sur le développement d'un ensemble de solutions possibles pour ensuite restreindre le champ de possibilités de résolution et converger vers la solution optimale [Sobek et al., 1999]. De plus, le fait de développer plusieurs solutions permet d'intégrer des connaissances provenant de plusieurs interfaces et donc de prendre en compte différents facteurs comme : les limitations du processus, les variations et contraintes d'industrialisation, etc. Ces facteurs sont intégrés le plus tôt possible dans le cycle de vie du produit (ou conception) afin de réduire les demandes de modifications.
- **Ingénierie système** : est une méthode utilisée pour formaliser la conception des systèmes complexes. Elle suit une approche interdisciplinaire qui englobe l'ensemble des activités nécessaires pour concevoir le produit [AFIS, 2011]. Nous pouvons la définir aussi comme étant un processus de résolution de problème orienté système, c'est-à-dire qui prend en considération l'ensemble organisé de logiciels, matériels, ressources et compétences humaines et les processus en interactions (intra-disciplinaires) pour aboutir à une solution optimale économiquement sur l'ensemble du cycle de vie du système.

Pour soutenir ces méthodologies, le PDP peut compter sur un nombre croissant d'outils numériques de plus en plus complexe en termes de diversité. On peut regrouper les logiciels utilisés en conception en plusieurs familles de produits :

- **Les outils d'authoring** : regroupent l'ensemble des outils de conception assistée par ordinateur (CAO), de simulation et de prise de décision. Ces outils ont pour but d'aider le concepteur à créer des données techniques pour définir le produit et tester ses performances virtuellement ;
- **La gestion de données techniques** : tels que les systèmes Product Data Management (PDM). Ces outils permettent l'organisation, le partage et la capitalisation des données créées ;
- **Le pilotage des activités de conception** : ce processus permet d'organiser les tâches et d'assurer la circulation des flux d'informations entre les activités. Tels que le MS Project pour la gestion de projet à moyen/long terme de temps ou les logiciels orientés métiers et workflows pour les processus à courte échelle ;
- **Les outils de gestion des connaissances** : sont des outils essentiels à l'activité de conception car ils permettent de capitaliser et réutiliser une partie du patrimoine de

connaissances de l'entreprise. Parmi ces outils, on peut citer les **KMT** (*Knowledge Management Tool*) qui sont principalement sous forme de base de données permettant de stocker et partager des documents formalisant de la connaissance [Vaccaro et al., 2010].

Ces types d'outils informatiques sont souvent en interaction, sachant que les tâches en gestion de projet génèrent des données (sur le projet ou le produit) sur la base de connaissances déjà capitalisées et dont la modification peut déclencher des workflows (suivi ou validation). De fait, les informations liées au produit se retrouvent alors dispersées dans ces outils, avec des risques potentiellement élevés de redondance et/ou de désynchronisation [Cheutet, 2012].

L'ensemble de ces méthodes de maîtrise de la conception a fait preuve d'efficacité dans les applications industrielles, tant du point technique du PDP (en proposant des démarches pour optimiser la qualité du produit conçu et sélectionner la solution optimale lors de la résolution des problèmes) qu'organisationnel. Néanmoins, ces méthodes proposent une vision idéale et statique du PDP. De fait, une entreprise doit plus subir une révolution qu'une évolution des processus de l'entreprise pour s'adapter à une telle méthodologie. De même, ces méthodologies ne proposent pas ou que très peu une démarche de construction de l'environnement nécessaire à la pleine réalisation du potentiel de l'approche choisie. D'où le besoin d'une méthodologie qui permet de **piloter l'amélioration dans un tel environnement virtuel afin de savoir où et quand apporter de la maîtrise technique et l'amélioration organisationnelle.**

## 2. Lean Product Development

Dans notre approche nous nous sommes inspiré de la démarche Lean qui a fait ses preuves dans l'amélioration des processus de production mais qui reste encore assez peu développée dans son application dans le PDP.

### 2.1 Du Lean Manufacturing au Lean Thinking

L'approche **Lean Manufacturing** est une démarche très réputée qui a fait ses premiers pas dans les milieux des années 50 par Taiichi OHNO puis Shigeo SHINGO ingénieurs à Toyota. Ohno est parti des théories de Ford pour les améliorer et créer les concepts de « Pull system », « d'élimination des gaspillages » et de « juste à temps » qui constituent le Toyota Production System (TPS). Le TPS a pour objectif majeur d'accroître le rendement de la production tout en éliminant les gaspillages (Muda en japonais). Bien que l'application de ce système chez Toyota ait commencé juste après la deuxième guerre mondiale, il n'attire l'attention des industries japonaises qu'en cours de la première crise pétrolière de 1973.

## II. L'amélioration du PDP

C'est donc durant cette émergence économique que les managers japonais ont aperçu les progrès de Toyota dans sa lutte contre la baisse de production par l'élimination continue des gaspillages [Ohno, 1988].

En 1990, James WOMACK professeur du MIT introduit le toyotisme à l'occident en publiant son ouvrage avec ses co-auteurs Daniel T. Jones et Daniel Roos « La machine qui a changé le monde » qui est devenu un best-seller [Womack et al., 1990]. Ensuite, en 1992, ils ont publié « Lean Thinking » dans lequel ils synthétisent les concepts de ce système et lui attribuent une nouvelle appellation « Lean Manufacturing » [Womack & Jones, 2010].

Le Lean Manufacturing peut se comprendre comme une philosophie de travail qui se base sur une structure rigoureuse dont le but est d'améliorer continuellement le processus de production pour plus de performance. Cette amélioration vise l'augmentation de la productivité pour répondre aux besoins des clients tout en réduisant les coûts d'industrialisation. La philosophie Lean suit cinq principes fondamentaux [Cusumano, 1985], [Fujimoto, 1999], [Womack & Jones, 2010].

### 1. Définir la valeur ajoutée

[Womack & Jones, 2010] définit la valeur ajoutée comme « la capacité à fournir le produit voulu au client au moment et prix voulu tel que défini dans chaque cas par le client ». Donc la notion de valeur ajoutée est attribuée aux activités (opérations) qui permettent d'ajouter des fonctionnalités demandées par le client au produit dont il est prêt à payer le coût. Par conséquent, toutes les opérations qui n'ajoutent pas de valeur et donc qui ne répondent pas au besoin client sont considérées comme des activités à non-valeur ajoutée, aussi nommées gaspillages ou *muda* [Ohno, 1988].

### 2. Identifier le flux de valeur ajoutée

Cette étape vise à cartographier le processus de production en allant de la réception de la matière première jusqu'à la livraison du produit en passant par les différentes opérations de transformation du produit, stockage et contrôle, etc. Cette présentation visuelle (appelée VSM – *Value Stream Mapping*) permet d'identifier et d'analyser le flux de valeur ajoutée dans le processus afin d'identifier et éliminer les opérations à non-valeur ajoutée dites gaspillages.

Sept formes de gaspillages ont été identifiées dans le processus de production : productions excessives, attentes, transports et manutentions inutiles, productions inutiles, stocks, mouvements inutiles et production défectueuses.

### 3. Flux continus

Une fois que les activités qui ajoutent de la valeur sont identifiées dans la cartographie, l'objectif est de garder un rythme de production caractérisé par un flux de valeur ajoutée continu sans interruptions causées par les gaspillages. Sur le plan pratique, ceci se traduit par la définition d'un flux idéal (VSD – *Value Stream Design*), puis l'élaboration d'un plan d'action pour l'atteindre ou s'en approcher le maximum.

### 4. Flux tirés

La démarche Lean repose sur le principe du juste-à-temps (JIT – *Just In Time*) qui s'applique en produisant que la quantité demandée par le client au bon moment et au bon endroit. Par ailleurs, ce principe se traduit sur le terrain par le fait d'actionner chaque poste en amont par le poste de l'aval et formant ainsi un flux tiré par la demande. Ce type de flux se caractérise par un écoulement beaucoup plus fluide et rapide pour plus de réactivité à la demande du client.

### 5. La poursuite de la perfection

Conscient que l'excellence n'est jamais acquise, la méthodologie Lean s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue qui implique la poursuite des efforts pour viser la perfection en luttant continuellement contre les gaspillages.

Le **Lean thinking**, comme extension du Lean Manufacturing à l'ensemble de l'entreprise, ne cesse d'attirer l'attention de plusieurs chercheurs et industriels qui ont donné lieu à l'apparition de nombreuses publications et ouvrages [Womack & Jones, 2010], [Howell & Ballard, 1997], [Abdulmalek & Rajgopal, 2007], [Holweg, 2007], [Mo, 2009]. Dans son application aux processus de production, il a pu révolutionner l'industrie qui est passé d'une production de masse (Fordisme) à une production tirée par le besoin (Toyotisme) et ainsi atteindre des hauts niveaux dans les progrès industriels.

## 2.2 Lean Product Development

L'application du Lean thinking au PDP, i.e. le **Lean Product Development** (LPD), reste quant à lui un concept qui se développe progressivement mais lentement, malgré le potentiel d'amélioration qu'il peut apporter au PDP. [Morgan & Liker, 2006] synthétise quelques spécificités du PDP, par rapport au processus de production, qui peuvent expliquer ce décalage (tableau 1.2).

Le premier article sur le LPD a été publié par [Karlsson & Ahlström, 1996], dans lequel ils identifient les difficultés et les éléments favorables à la mise en œuvre du principe Lean dans le PDP. Depuis, [Baines et al., 2006] ont identifié 24 articles pertinents sur le sujet du

## II. L'amélioration du PDP

LPD entre 1999 et 2005. Le PDP étant avant tout un processus orienté projet, les travaux listés s'appuient essentiellement sur l'approche de la gestion de projet et seuls quelques-uns tentent une adaptation des cinq principes du Lean. Ce sont ces derniers qui nous intéressent aujourd'hui.

<b>Product Development Process</b>	<b>Traditional manufacturing process</b>
Virtual data flow	Physical product flow
Weeks and months	Seconds and minutes
Primarily knowledge-based work	Physical manufacturing
Non-linear and multi-directional flows	Linear evolution
Large, widely diverse groups of technical specialists	Primarily manufacturing organizations

Tableau 1.2 : Comparaison entre le PDP et le processus de production [Morgan & Liker, 2006].

[Costa & Cheutet, 2011] analyse cette partie de la littérature et arrivent à la conclusion que la notion de valeur en conception reste mal définie, qu'il est difficile de créer un flux de valeur pour l'activité de conception et que tirer la valeur par le client n'est peut-être pas pertinent dans ce contexte. La suite de cette section analyse leurs conclusions sur les deux premiers principes du Lean.

### **Définir la valeur**

Le Lean Manufacturing considère toute activité comme étant créatrice de la valeur si elle permet d'ajouter de la fonctionnalité au produit pour répondre au besoin client dans les délais, quantité, qualité, lieux et prix voulus. Si nous appliquons cette définition pour définir la valeur dans le PDP celle-ci se traduira de la manière suivante : la valeur dans le PDP réside dans toute activité qui permet de développer des fonctionnalités pour le produit afin de répondre au besoin client, car une conception qui ne répond pas aux exigences du client est considérée comme un gaspillage. Par contre, durant le processus de conception un ensemble de connaissances est généré et ce même suite à des projets non concluants à travers lequel les concepteurs pourront éviter de reproduire des erreurs lors des futurs projets s'il y a un moyen pour capitaliser et exploiter ces connaissances. De plus, selon [Browning et al., 2002] fournir de la bonne information nécessaire au bon moment peut aider le concepteur à prendre des bonnes décisions et ainsi créer de la valeur en réduisant les risques. Donc, il est clair que nous ne pouvons pas appliquer au PDP une définition de la valeur telle qu'elle est représentée dans le Lean Manufacturing. Car dans un tel

environnement complexe plusieurs facteurs entrent en jeu pour pouvoir définir la valeur. D'où l'intérêt d'une étude approfondie de la valeur qui prend en considération toutes les parties prenantes dans le PDP.

Quoique la définition de la notion de valeur soit le premier principe dans la démarche Lean, la plupart des publications sur ce sujet ont plutôt mis l'accent sur la détermination des types de gaspillage [Morgan, 2002], [Bauch, 2004], [Graebisch et al., 2007], [Pessôa et al., 2009], [Oehmen & Rebentisch, 2010]. Ainsi, en fusionnant les formes de gaspillages dans le PDP définies par [Morgan, 2002] et [Oehmen & Rebentisch, 2010], nous obtenons les 12 gaspillages d'information suivants (tableau 1.3) :

- la surproduction de l'information (« trop d'information tue l'information »),
- le sur-traitement de l'information,
- le manque de communication de l'information,
- le sur-stockage de l'information,
- la génération des informations défectueuses,
- la correction des informations,
- l'attente,
- les mouvements inutiles d'employés,
- les tâches d'organisations de travail,
- des tailles de lots (nombre de projets en cours) importants,
- un système peu structuré,
- les fortes variations dans le processus.

### **Identifier la valeur dans le PDP**

L'exercice d'identification de la valeur ajoutée dans le processus de production est beaucoup plus accessible grâce à la matérialisation des flux. Donc, il est plus simple de cartographier les flux et conclure pour chaque opération si elle rajoute de la valeur ou du gaspillage. Par contre, ce n'est pas évident dans un environnement virtuel comme le PDP d'appliquer ce deuxième principe du Lean. D'où la nécessité de matérialiser ces flux virtuels générés dans le PDP en développant une cartographie qui prenne en considération la complexité de l'environnement.

## II. L'amélioration du PDP

Categories of Waste	(Pessoa, 2008)	(Bauch, 2004)	(Kato, 2005)	(McManus, 2005)	Millard (2001) [cited from (Oppenheim, 2004)]	Morgan (2002) [cited from (Oppenheim, 2004)]	(Morgan and Liker, 2006)	(Anand and Kodali, 2008)	(Ohno, 1998)
<b>Overproduction of information</b>	Overproduction Unsynchronized processes	Overproduction Re-invention	Overproduction of information Re-invention	Overproduction	Overproduction: Creating Unnecessary information	External quality enforcement	Overproduction or early production	Overproduction	Overproduction
<b>Overprocessing of information</b>	Overprocessing Re-invention	Overprocessing Re-invention	Overprocessing Re-invention	Overprocessing	Overprocessing: Working more than necessary to produce the outcome	Re-invention waste	Processing Inappropriate processing or poor process design	Processing Inappropriate processing or poor process design	Processing itself
<b>Miscommunication of information</b>	Transport Handoff	Transport Handoff	Transportation of information Hand-offs	Transportation	Transportation: inefficient transmittal of information	Hand off: Transfer of process between parties Transaction waste Ineffective communication	Conveyance Transportation or movement	Conveyance Transportation or movement	Transportation
<b>Stockpiling of information</b>	Inventory	Inventory	Inventory of information	Inventory	Inventory: Keeping more information than needed.	Inventory	Inventory	Inventory	Stock on hand
<b>Generating defective information</b>	Defects	Defects	Defective information	Defective product	Defects: Insufficient quality of information, requiring rework	High process and arrival variation	Defects	Defects	Making defective products
<b>Correcting information</b>	Correction	Correction	Rework			Correction	Correction	Correction	
<b>Waiting of people</b>	Waiting	Waiting	Waiting of people	Waiting	Waiting: For information, data, inputs, approvals, releases etc	Waiting Large batch sizes System overutilization and expediting Unsynchronized concurrent processes	Waiting or delays	Waiting or delays	Time on hand
<b>Unnecessary movement of people</b>	Movement	Movement	Motion of people	Unnecessary movement	Unnecessary movement: People having to move to gain access to information	Motion	Unnecessary motion or inefficient performance of design	Unnecessary motion or inefficient performance of design	Movement
<i>Not part of this framework</i>	Wishful thinking External events	Limited IT resources Lack of system discipline				Lack of system discipline			

Tableau 1.3 : les différentes formes de gaspillage en LPD [Oehmen & Rebentish, 2010]

### 3. Synthèse

Dans notre travail de recherche, nous avons mis l'accent sur les deux premiers principes du Lean pour les adapter à l'environnement du PDP. Car nous considérons que la définition de la notion de valeur dans le PDP est le premier pas à franchir pour pouvoir appliquer sereinement le reste des principes. La prochaine section développera ce point de vue.

Si nous n'avons pas développé dans le présent travail de recherche l'adaptation des trois derniers principes du Lean d'une manière formelle (continuité des flux, flux tirés et amélioration continue), ils ont été appliqués lors du déploiement des chantiers d'améliorations au sein du PDP de notre partenaire industriel Exxelia Technologies.

### **III. La création de valeur**

[Penrose, 1959] atteste que la capacité de chaque entreprise à créer de la valeur dépend de son habilité à implémenter des stratégies qui répondent aux besoins (opportunités) du marché en exploitant leurs ressources internes et capacités. Donc, il est clair que les orientations stratégiques de l'entreprise visent les activités créatrices de la valeur pour atteindre les objectifs définis. Porter soutient ce constat en considérant que la création de valeur est le cœur d'une stratégie [Magretta, 2013]. Il positionne la valeur unique que chaque entreprise propose à sa clientèle comme étant le premier critère de succès d'une stratégie. Cette valeur unique est concrétisée par des activités différentes de celles des concurrents.

Les orientations stratégiques étant liées principalement à la création de la valeur, chaque entreprise doit se concentrer sur **ses activités créatrices de la valeur et les orienter afin de concrétiser ses objectifs, piloter et contrôler la performance de ses processus à travers l'atteinte de ces objectifs**. D'où l'intérêt de définir et analyser les activités créatrices de la valeur prioritaires dans les processus de l'entreprise.

La création de valeur est présente tout au long de la chaîne de valeur de l'entreprise, de la réception de la demande commerciale (client ou marketing) jusqu'à la livraison du produit ou service. Ces activités peuvent avoir un impact plus ou moins important sur les enjeux stratégiques. Parmi les activités les plus porteuses en termes de création de valeur pour le produit (ou fonctionnelle) sont celles présentes en PDP.

Dans cette optique, pour pouvoir appliquer l'approche Lean au PDP et ainsi différencier les activités créatrices de valeur de celles qui génèrent du gaspillage, la première étape est de définir la valeur générée dans ce processus. Or, il est complexe de définir la

### III. La création de valeur

valeur, à cause des spécificités du PDP citées précédemment (section I.1.2), d'où la nécessité d'un travail d'analyse approfondie du PDP.

Nous considérons donc que **la création de valeur a lieu durant le PDP et que la concrétisation de cette valeur (d'un potentiel de valeur à une valeur réelle) aura lieu durant la production** (par ajout progressif au produit dans chaque étape du processus) (Figure 1.4).

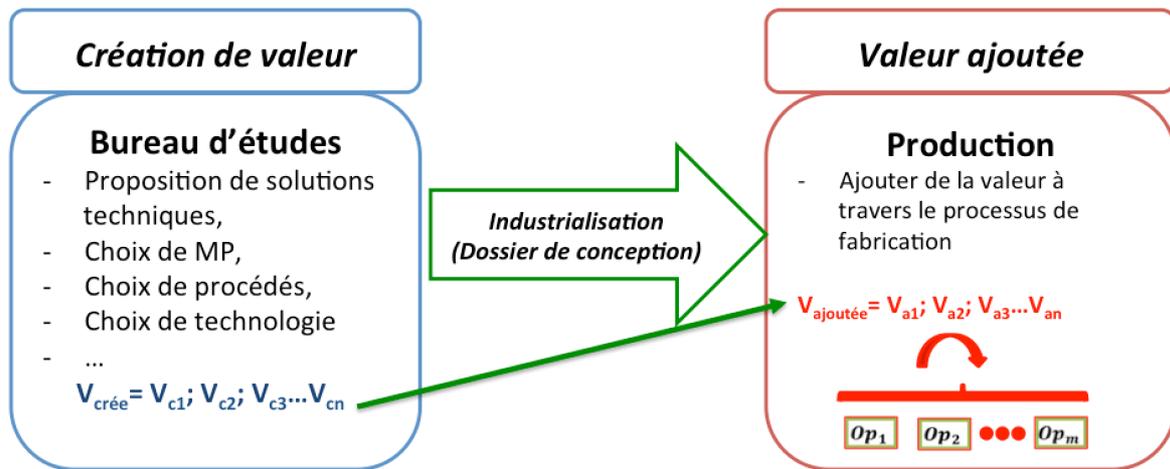


Figure 1.4 : Création de valeur en PDP.

#### 1. Quelle définition de la notion de valeur dans la littérature ?

Selon le contexte d'utilisation et les perspectives de chacun, la valeur peut prendre une définition multi-facette. La valeur d'un système tout au long de son cycle de vie dépendra de nombreux facteurs contextuels [Browning & Honour, 2008]. Avant de définir la valeur dans le PDP, il sera intéressant de synthétiser ces différentes définitions dans différents contextes.

Selon le dictionnaire OXFORD<sup>1</sup> la valeur est :

- *The amount of some commodity, medium of exchange, etc., which is considered to be an equivalent for something else; a fair or adequate equivalent or return.*
- *A standard of estimation or exchange; an amount or sum reckoned in terms of this; a thing regarded as worth having.*

Le dictionnaire LAROUSSE<sup>2</sup> définit quant à lui la valeur comme étant : « Caractère de ce qui produit l'effet voulu ». Ainsi, la notion de valeur est souvent utilisée comme un critère pour évaluer des objets, des services ou des principes.

<sup>1</sup> Oxford English Dictionary, 2nd Edition (1989), s.v. "value".

<sup>2</sup> Dictionnaire Larousse

En sociologie, [Navran, 1992] définit la valeur comme étant des  **croyances fondamentales**  utilisées comme normes pour statuer sur ce qui est bien, bon et juste. Il argumente aussi que la morale est une valeur attribuée à un système de croyances, qui tirent leur autorité de « systèmes ou des autorités » plus élevées généralement un système religieux ou politique.

De manière générale, les économistes partent de l'affirmation suivante : «  **la valeur d'un bien est égale (ou proportionnelle) à la quantité de travail qui est nécessaire pour le produire**  » [Perrin, 2001]. La théorie de la valeur-travail (Adam Smith, David Ricardo et Karl Marx) régnait dans le 18<sup>ème</sup> siècle et a ensuite été redécouverte à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle par Carle Menger. Les approches traditionnelles en économie et gestion se sont plus concentrées sur la provenance de la valeur des produits et services, celle-ci pouvant être exogène (venant de la valorisation du client final) ou endogène (par le coût de production au sein de l'entreprise). Par contre [Schmitt & Bayad, 2003] propose de fusionner ces deux visions avec un cadre de définition basé sur la dialectique.

En marketing, la notion de  **valeur perçue par le client**  est définie comme étant la différence entre d'une part l'efficacité, la qualité, ou les bénéfices et d'autre part les coûts perçus lors de l'achat des produits ou utilisation des services par les clients [Anderson & Gerbin, 1988], [Gale 2010]. En 1984, [Dodds & Monroe, 1985] présente pour la première fois le modèle le plus connu du concept de la valeur perçue. Selon les auteurs de cette étude, il y a une relation positive entre la qualité perçue et la valeur perçue, et une relation négative entre la valeur perçue et le sacrifice associé. Cette approche conceptuelle unidimensionnelle de la valeur perçue par le client est généralement basée sur le rapport bénéfice-coût ou le compromis entre la qualité perçue et le sacrifice associé [Dodds & Monroe, 1985], [Monroe & Chapman, 1987]. Cependant, cette approche n'est finalement plus adéquate en raison de la nature complexe de la valeur perçue. Des chercheurs ont donc développé un modèle multidimensionnel de la valeur perçue par le client. Ainsi, [Sweeney & Soutar, 2001] propose l'échelle PERVAL en se basant sur quatre dimensions de valeurs distinctes : Performance / Qualité, prix / valeur pour l'argent, la valeur émotionnelle, et la valeur sociale. Ces dimensions sont utilisées pour évaluer la perception du client de la valeur des produits, dans les phases de pré- et post-achat.

La valeur perçue peut donc être considérée comme l'opinion du client sur la valeur du produit ou service. La valeur perçue et la confiance sont des déterminants importants de la satisfaction du client [Deng et al., 2010].

[Rouse & Boff, 2001] propose une définition tridimensionnelle de la valeur dans les organisations de la R&D: la qualité des produits, la productivité et la capacité d'innovation.

### III. La création de valeur

En conception de produits, des approches, telles que **l'analyse de la valeur** ou Value Management [AFNOR, 2000], [Yannou & Bigand, 2004], cherchent à optimiser la performance d'un produit, d'un système ou d'un service vis-à-vis d'une part des attentes des clients et des usagers et d'autre part des coûts associés à son développement. On est ici dans une vue très orientée produit et non processus. Les travaux de [Elhamdi, 2005] définissent la valeur en conception de produit comme "multi-parties, subjective et multicritère" et utilisent les réseaux de valeur comme support d'analyse.

Dans le domaine de génie industriel, la **valeur ajoutée** est le premier des cinq principes du Lean Manufacturing définies par [Womack & Jones, 2010], qui associent la valeur aux activités qui ajoutent des fonctionnalités au produit acheté par le client. La valeur ajoutée est associée à toutes les activités permettant de donner un résultat qui répond aux besoins du client et que le client est prêt à payer. L'inverse est appelé non-valeur ou gaspillage, qui comprend « tous les éléments qui augmentent le coût sans valeur ajoutée » [Ohno, 1988].

En mettant l'accent sur la maximisation des activités à valeur ajoutée et la réduction des gaspillages, les industriels ont réalisé des gains significatifs et substantiels dans la réduction des coûts d'industrialisation et du lead-time, ce qui a conduit à une plus grande satisfaction du client et à la performance du processus de production. Cependant, l'approche Lean dans le PDP est encore un nouveau concept qui a besoin de plus de développement. Tous les travaux à cet égard se concentrent sur l'élimination des gaspillages et non sur l'amélioration et l'optimisation des activités de création de valeur, puisque nous supposons que la valeur maximale du produit est déterminée par le PDP.

Dans le contexte de la gestion de projet, la valeur a été exprimée en termes d'efficacité des projets, les bénéfices pour les clients, les bénéfices pour l'organisation et la préparation de l'avenir [Pinto & Slevin, 1988]. [Marques et al., 2011] propose une évaluation multicritère de la performance d'un projet de développement de produits.

En synthèse, la valeur est une notion subjective et contextuelle. Dans les différentes approches traditionnelles, les éléments liés à la conception ont été souvent négligés [de Terssac, 1996], alors que les situations que rencontrent les acteurs de l'entreprise « ressemblent de plus en plus à celles qui caractérisent la conception et le développement de nouveaux produits » [Martinet, 1996]. Etant donné que la conception est au carrefour des aspects stratégiques et des aspects plus opérationnels, elle intervient directement dans le processus de détermination de la valeur. Voilà pourquoi la définition de la valeur dans le PDP a besoin d'une analyse approfondie de l'environnement du processus.

## 2. La notion de valeur en LPD

La plupart des travaux de recherche sur le LPD se concentrent plus sur la détermination des types de gaspillages dans le processus que sur la notion de valeur en elle-même. Cependant, la réduction seule des gaspillages n'est pas suffisante pour atteindre la performance du processus désirée. Car, nous pouvons également agir sur les activités créatrices de la valeur pour plus d'amélioration, et ceci de manière à créer la valeur souhaitée dans les plus brefs délais tout en utilisant un minimum de ressources. En plus de la réduction des gaspillages, l'approche LPD est également concernée par l'amélioration de la capacité à créer de la valeur [Browning, 2003]. En outre, les gestionnaires du PDP ont besoin d'une vue plus claire de leur processus afin de prendre les meilleures décisions; ils ont donc besoin de connaître et de visualiser la valeur créée dans leurs processus.

Bien que la définition de la valeur soit le premier principe de l'approche Lean, les études conduites sur ce sujet dans le PDP ne couvrent pas toutes les facettes attendues. [Siyam et al., 2015] a analysé la définition de la valeur et le concept Lean dans le PDP, en faisant valoir que la difficulté de définir la valeur de ce processus est due à la distinction ambiguë entre la valeur et le gaspillage :

- Confusion entre les changements nécessaires et inutiles,
- Imprévisibilité et subjectivité de la valeur,
- Nécessité d'envisager l'opportunité et la portée des contributions de valeur

Ils proposent un cadre de définition pour analyser le processus de création de valeur dans le PDP (Figure 1.5). Ils mettent l'accent sur les rôles de la phase de définition, de création et de livraison. Car leurs rôles sont interconnectées et interdépendantes du moment que nous pouvons définir la valeur et ce qui peut être créé et livré.

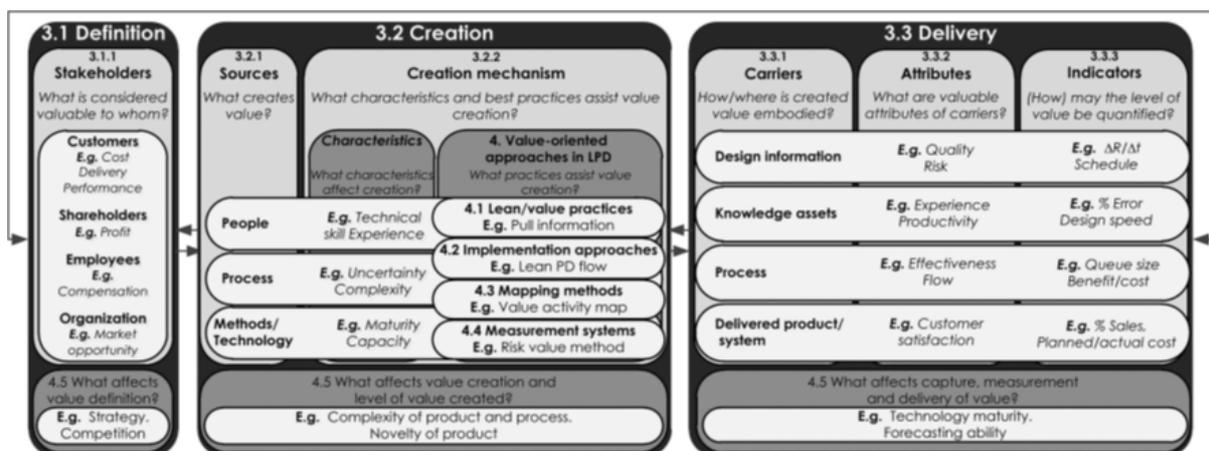


Figure 1.5 : Aperçu du cadre de définition du cycle de valeur [Siyam et al., 2015].

### III. La création de valeur

[Walton, 1999] définit la valeur en PDP par : « La bonne information sur le produit livrée au bon moment pour le processus en aval/clients qui est quantifiée par la forme, l'adéquation, l'emploi et la rapidité ». [Slack, 1999] quant à lui propose une perspective tridimensionnelle de la valeur en PDP : la valeur perçue par le client, les actionnaires et l'employé. La valeur perçue par le client dépend de la qualité du produit ou service, du prix et le time-to-market. Ensuite, la valeur perçue par les actionnaires est le résultat des ventes et les bénéfices tirés du produit ou du service. Quant à la valeur perçue par l'employé du PDP, elle concerne la qualité du travail et la compensation qu'il reçoit de l'entreprise [Donovan et al., 1998]. La valeur en PDP est aussi considérée comme étant subjective, incluant des aspects émotionnels et utilitaires [Gudem et al., 2011]. [Browning et al., 2002] considère qu'augmenter l'information en PDP permet de réduire les risques (liés au rework) et ainsi créer de la valeur, alors que du point de vue de [Gautam & Singh, 2008], la valeur perçue par les clients peut être maximisée à travers les modifications de conception.

Il n'existe donc pas de consensus dans la littérature pour définir précisément la notion de valeur dans le PDP et la lier à la stratégie de l'entreprise et son pilotage.

#### 3. Etude empirique au sein d'Exxelia Technologies

Pour comparer les définitions de la valeur dans la littérature et sa perception sur le terrain industriel, nous avons mené une étude empirique chez notre partenaire Exxelia Technologies (voir section III.1 pour plus de détails sur l'entreprise). Cette étude a pour but d'analyser quel sens peut avoir la valeur dans le PDP pour ses acteurs. Nous avons donc conduit une série d'entretiens avec différents acteurs de l'entreprise, pour analyser leur compréhension de la notion de valeur du PDP au sein de l'entreprise.

##### **Contexte**

Exxelia Technologies est spécialisée dans la conception et la production de produits de haute technologie avec une forte fiabilité : condensateurs, filtres mécaniques de précision, capteurs de position, collecteurs tournants et composants magnétiques bobinés. L'entreprise est divisée en plusieurs BU (Business Unit) correspondant à des technologies différentes. Les BE (Bureau d'Etudes) et BM (Bureau des Méthodes) de chaque BU ont été centralisés sur le même site, même si chacune a conservé son propre processus de développement.

Une des caractéristiques principales de l'entreprise est d'avoir un grand nombre de produit conçus à la demande dans leur CA. De fait, ils se concentrent principalement sur le pilotage et l'amélioration des indicateurs de satisfaction client (qualité, prix, Time-to-Market).

Enfin, l'entreprise a déployé ces 10 dernières années l'approche Lean sur l'ensemble de son périmètre et pas uniquement le département production. Le niveau de maturité de l'entreprise sur ce sujet est élevé mais hétérogène entre les différents départements.

### Population

Nous avons interviewé au total 25 employés, des concepteurs et des acteurs provenant de différents départements (production, achat, qualité) et à différents niveaux hiérarchiques (tableau 1.4).

### Typologie des entretiens

Nous avons questionné les concepteurs sur la valeur ajoutée du PDP et les acteurs des autres services sur la valeur qu'ils attendent du PDP.

Nous avons choisi des entretiens individuels, pour que chaque personne ne soit pas influencée par les réponses des autres et puisse librement mentionner les différentes défaillances ressenties du PDP. Chaque entretien a duré en moyenne 20 minutes.

Niveau hiérarchique	Développement de produit	Production	Achat	Qualité
Manager	2	1	1	
Ingénieur	11	2	2	3
Technicien	2	1		

Tableau 1.4 : Répartition des entretiens par profil.

### Résultats des entretiens

Le tableau 1.5 présente un extrait des réponses par département, l'annexe 1 résumant l'ensemble des réponses.

Les réponses indiquent clairement que le PDP est perçu au centre de l'entreprise. Chaque département sollicite le PDP pour les livrables. C'est aussi le lieu de conversion des besoins client en solutions techniques industrialisables. Le PDP est donc bien perçu comme créateur de valeur.

Définir cette valeur n'est cependant pas aussi facile qu'en production, où il est possible de détecter à chaque transformation du produit si l'activité ajoute de la valeur ou du gaspillage. La nature du PDP est si différente qu'elle crée cette difficulté.

#### IV. Synthèse de l'état de l'art et problématique

Département	Point de vue sur la valeur
Développement de produit	La valeur concerne toutes les activités de transformation des besoins clients en solutions techniques, toutes les innovations et toutes les activités qui sont cohérentes avec les compétences du concepteur
Production	Les fabricants demandent des documents complets et efficaces sur les solutions techniques et les spécifications de fabrication, ainsi qu'une amélioration continue pour faciliter le processus de production et ainsi réduire les délais et les coûts et maintenir la qualité des produits
Achat	Les acheteurs demandent une expertise technique pour choisir les composants et d'être impliqués dans les décisions sur les matières premières, les outils et les sous-traitants dans le PDP
Qualité	Les qualitatifs demandent de suivre les procédures de qualité et d'avoir une traçabilité du projet

Tableau 1.5 : Résumé des réponses aux entretiens

### ***IV. Synthèse de l'état de l'art et problématique***

#### 1. Synthèse

Conscients du rôle important du PDP dans la création de valeur et la concrétisation des orientations stratégiques de l'entreprise, nous nous sommes intéressés à l'amélioration continue de ce processus pour plus de performance en maximisant la valeur créée et éliminant les gaspillages. Notre démarche d'amélioration est basée sur l'approche Lean qui a fait ses preuves dans l'amélioration des systèmes de production. Or, le Lean Product Development reste un sujet ouvert, dont la plupart des études ont mis l'accent sur l'élimination des gaspillages sans analyser plus en détail les différents aspects de création de valeur. De notre point de vue, l'amélioration du PDP ne s'arrête pas à l'élimination des gaspillages mais concerne aussi les activités créatrices de valeur, en visant continuellement à maximiser le rapport « création de valeur / coût ». De plus, il serait plus efficace d'appliquer les outils d'amélioration et de maîtrise aux moments et étapes opportuns pour augmenter les gains. D'où la nécessité de développer une démarche rigoureuse de pilotage des améliorations dans le PDP qui permette d'orienter les efforts afin de maximiser les résultats escomptés.

Ainsi, dans nos travaux de recherche nous avons mis l'accent sur l'analyse et la définition de la création de valeur dans le PDP et sur la conception d'un outil de cartographie et des indicateurs pour piloter les améliorations dans un tel environnement si complexe.

Notre méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean est applicable dans n'importe quel processus de développement des produits et services dont les spécificités sont semblables à celles citées dans la section I.1. Elle vise à premièrement définir la valeur à créer dans le processus concerné, puis à cartographier les évolutions de cette valeur dans le PDP afin dans un troisième temps de piloter les améliorations en se basant sur la maximisation de la création de valeur et l'élimination des gaspillages.

## 2. Contexte

Dans notre étude, nous avons un partenariat industriel dans le cadre du dispositif CIFRE avec l'entreprise Exxelia Technologies, où nous avons pu mener nos analyses et observations ainsi que l'application de nos travaux empiriques. Donc, nous avons appliqué notre démarche dans un PDP basé sur la conception à la demande.

A cause de ce mode de conception et de sa stratégie, Exxelia Technologies rencontre divers dysfonctionnements d'ordre organisationnel, majoritairement présents au niveau du PDP. Ainsi de par la durée de ce processus et de la non récurrence des projets, les managers ne sont pas en mesure de donner des estimations assez fiables et précises du temps que pourra prendre le développement du produit demandé. Par conséquent, 25% des livraisons ne respectent pas les dates contractuelles.

## 3. Verrous scientifiques

Du fait de nos choix scientifiques, nous avons recensé les verrous scientifiques suivants :

- **Verrou 1** : Définir la valeur dans un processus de développement (de l'expression des exigences à la production) d'un nouveau produit, par une étude terrain et bibliographique ;
- **Verrou 2** : Définir une méthodologie de pilotage du PDP qui maximise cette valeur, en limitant au juste nécessaire les boucles de validation et les flux d'informations, et permettant une planification a priori ;
- **Verrou 3** : Proposer un support à cette méthodologie qui soit adapté aux différentes parties prenantes du PDP,
- **Verrou 4** : Valider la méthodologie dans les services R&D d'Exxelia Technologies, en tenant compte de la résistance au changement.

## 4. Hypothèses

L'approche Lean a longtemps été destinée à l'amélioration des processus de production dont les opérations se caractérisent par leur aspect répétitif, ce qui facilite dans un premier temps l'estimation de leur durée et l'analyse de l'environnement de leur

#### IV. Synthèse de l'état de l'art et problématique

réalisation. De plus, il est logique d'améliorer des processus routiniers qui vont se répéter dans le futur. La nature même du PDP ne respecte pas cette condition, puisqu'il traite de projets de différents niveaux d'innovation et non récurrents. Cependant, dans chaque projet, il est possible de retrouver des activités ou sous-activités qui sont familières et se répètent régulièrement. Par conséquent, dans notre approche **nous nous intéressons à analyser principalement les activités « routinières » du PDP**. Ainsi, toute amélioration apportée sur telle activité sera un gain réutilisable.

D'autre part, nous avons pris le parti **d'adapter les cinq principes du Lean à l'environnement complexe du PDP**. Dans ce travail de recherche, nous nous sommes concentrés sur les deux premiers principes, afin de proposer un cadre formel de définition de la valeur et de son évaluation dans le PDP. Nous n'avons pas pu formellement développer les trois autres principes, même si ils ont été appliqués de manière empirique dans la validation en contexte industriel.



## CHAPITRE II : METHODOLOGIE D'AMELIORATION DU PDP BASEE SUR UNE APPROCHE LEAN

Dans ce chapitre, nous présentons notre méthodologie pour le pilotage et l'amélioration du PDP qui se base sur une approche Lean. Dans cette méthodologie, nous nous inspirons des cinq principes du Lean pour les adapter et les appliquer dans l'environnement complexe du PDP. La figure 2.1 résume la méthodologie Lean générale et nos propositions dans cette démarche.

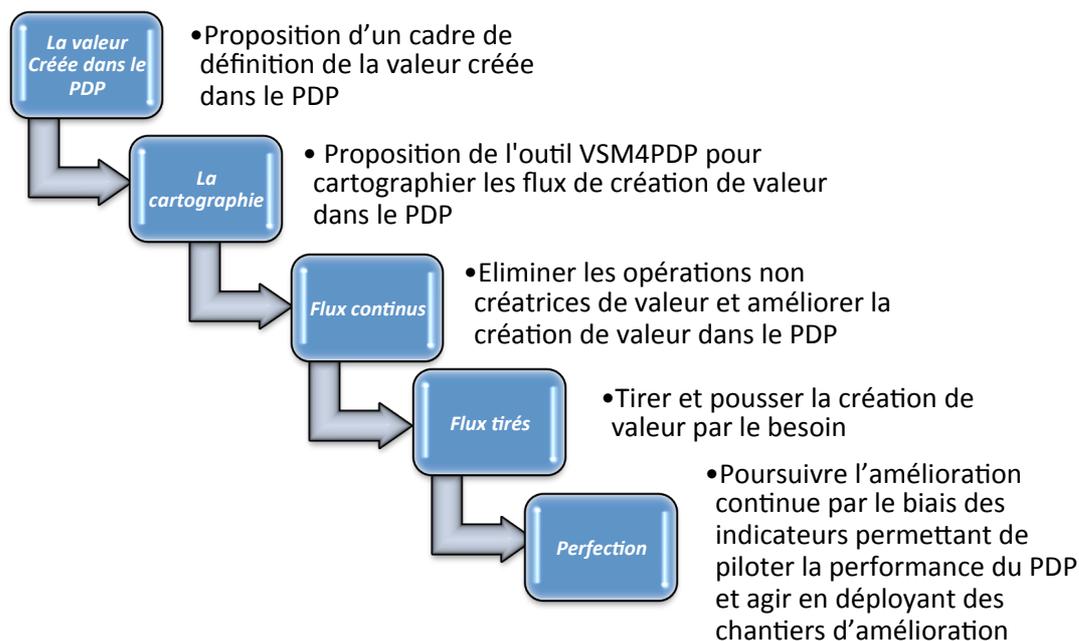


Figure 2.1 : La méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean

Dans un premier temps nous cherchons à **définir la notion de création de valeur dans le PDP**. Dans un second temps, nous visons à **cartographier les différents flux** du processus afin de bien le comprendre et visualiser le flux de la création de valeur. A cette étape, nous proposons aussi de structurer et classer des indicateurs de performance pour mesurer la performance du PDP et ainsi orienter les chantiers d'amélioration. Ensuite, grâce à la cartographie et aux indicateurs obtenus, nous passons à l'étape **d'élimination des gaspillages et d'amélioration de la création de valeur** (flux de valeur) pour un processus plus performant. L'avant dernier principe est de **tirer les flux par le besoin**, que ce dernier soit exprimé explicitement par le client (interne ou final) ou poussé par l'organisation (conception et service marketing). Enfin, la dernière étape est de **viser la perfection** en poursuivant les efforts dans une démarche d'amélioration continue par le biais des indicateurs de performance et agir en déployant des chantiers d'amélioration.

Dans le cadre des travaux de thèses, nous avons concentré les contributions sur les deux premières étapes de la démarche (définition de la valeur et cartographie), qui seront détaillées par la suite de ce chapitre.

### ***I. Principe 1 : Cadre de définition de la valeur créée en PDP***

#### 1. Nature de la valeur

Chaque entreprise suit une stratégie spécifique pour pouvoir exploiter intelligemment ses richesses internes (technologie, connaissances, compétences, main d'œuvre, etc.) pour répondre aux besoins de ses clients. Cette stratégie évolue dans le temps pour pouvoir suivre les progrès technologiques et économiques et pour avoir plus de réactivité face à des clients de plus en plus changeants et exigeants.

A ce stade, nous rappelons que le PDP est le carrefour qui lie la voix du marché (client) et les moyens internes de l'entreprise afin de proposer le produit ou le service adéquat. Donc le PDP est l'un des lieux de mise en place opérationnelle de la stratégie de l'entreprise par excellence. Ainsi, les objectifs liés à la création de valeur dans le PDP changent d'une entreprise à une autre selon la stratégie de chacune. Ces orientations peuvent aussi changer et évoluer dans le temps et d'un produit ou service à un autre, ce qui apporte un caractère dynamique à cette valeur dans le temps et dans l'espace.

Par conséquent, nous devons spécifier la création de valeur dans le PDP sur trois niveaux : **stratégique** (pour définir les orientations majeures de création de valeur), **tactique** (pour viser la création de valeur dans une ou plusieurs étapes du PDP) et enfin **opérationnel** (en analysant cette valeur de plus près dans chaque activité et sous-activité du processus).

De plus, la définition de la valeur à créer est **dynamique** car elle dépend de la stratégie de l'entreprise, qui évolue pour s'adapter à l'environnement concurrentiel du marché.

Enfin, et compte tenu des spécificités de l'environnement du PDP, plusieurs parties prenantes sont engagées lors du déroulement de ce processus: les clients (internes et finaux), les acteurs du PDP et les services support (Figure 1.1). Donc, afin de mieux comprendre et analyser ce processus, il faut d'abord définir le périmètre de la création de la valeur : la valeur est-elle uniquement créée pour les clients externes, ou également pour toutes les parties prenantes ? Dit autrement, **la valeur est-elle multidirectionnelle ?**

Prenons par exemple le cas où le PDP est explicitement sollicité pour répondre au besoin d'un client final externe, le livrable final peut être vu comme le résultat de la création de valeur pour ces clients. Le processus amenant à ce livrable est l'ensemble des activités réalisées par les acteurs du PDP avec le soutien de tous les supports internes et externes de l'entreprise. Dans ce cas, la question que nous pouvons nous poser est : pour qui le PDP

## I. Principe 1 : Cadre de définition de la valeur créée en PDP

crée-t-il de la valeur ? En effet, en œuvrant à réaliser le livrable, toutes les parties prenantes impliquées dans le PDP utilisent leur propre baguage de connaissances et savoir-faire en plus des informations collectées et les échanges entre elles. Mais face à des situations nouvelles, un employé peut aussi acquérir et/ou développer de nouvelles compétences, connaissances et savoir-faire. Ceci représente une création de valeur potentielle pour l'employé impliqué dans le PDP, pour son service et pour l'entreprise qu'il pourra utiliser dans les projets à venir [Roche & Pomian, 2003].

Au final, nous pouvons conclure que **la définition de la valeur à créer est multi-niveau et dynamique dans le temps, alors que la valeur est elle-même multidirectionnelle** (sur toutes les parties prenantes). Sur la base de cette conclusion, nous proposons dans la partie suivante un cadre de définition de cette création de valeur d'un point de vue stratégique. Ce cadre de définition permet à chaque organisation de se situer par rapport à sa stratégie actuelle et de sélectionner les dimensions de création de valeur prioritaires, afin de piloter et améliorer la performance de son PDP en adéquation. Par conséquent, le choix des dimensions à piloter sera dynamique et suivra l'évolution de la stratégie de l'organisation. Ensuite, nous passons à un niveau plus microscopique pour définir cette création de valeur d'un point de vue tactique et opérationnel dans les activités du PDP.

### 2. La création de valeur en PDP d'un point de vue stratégique

Suite à l'étude bibliographique [Clark et al., 1987], [Tomiyama & Yoshikawa 1987], [Morgan & Liker, 2006], [Yang et al., 2008], [Hall et al., 2009] décrite dans la section I.1 ainsi qu'à nos observations sur le terrain industriel décrites dans la section I.3, nous pouvons conclure que le PDP est un environnement complexe dans lequel la création de valeur se définit sur plusieurs dimensions.

Pour notre proposition, nous nous sommes inspirés du modèle de [Slack, 1999] qui se base sur l'idée que le PDP peut créer de la valeur pour toutes ses parties prenantes. Néanmoins, nous avons modifié ce modèle pour intégrer les acteurs du PDP, non considérés dans ce modèle.

Par conséquent, nous prenons en considération les parties prenantes pour lesquelles la création de la valeur peut s'adresser : les actionnaires (ou l'entreprise dans sa globalité), le client final, les clients internes et les acteurs du PDP (en mettant l'accent sur les concepteurs). La Figure 2.2 présente le cadre de définition de la création de valeur dans le PDP d'un point de vue stratégique et où les principales dimensions sont mentionnées. Les parties grisées sont les aspects que nous n'avons pas détaillé dans notre travail de recherche (car ne relevant pas de notre domaine de spécialité). Donc, par la suite, nous n'allons

évoquer que trois parties prenantes, à savoir le client final, les clients internes et les concepteurs.

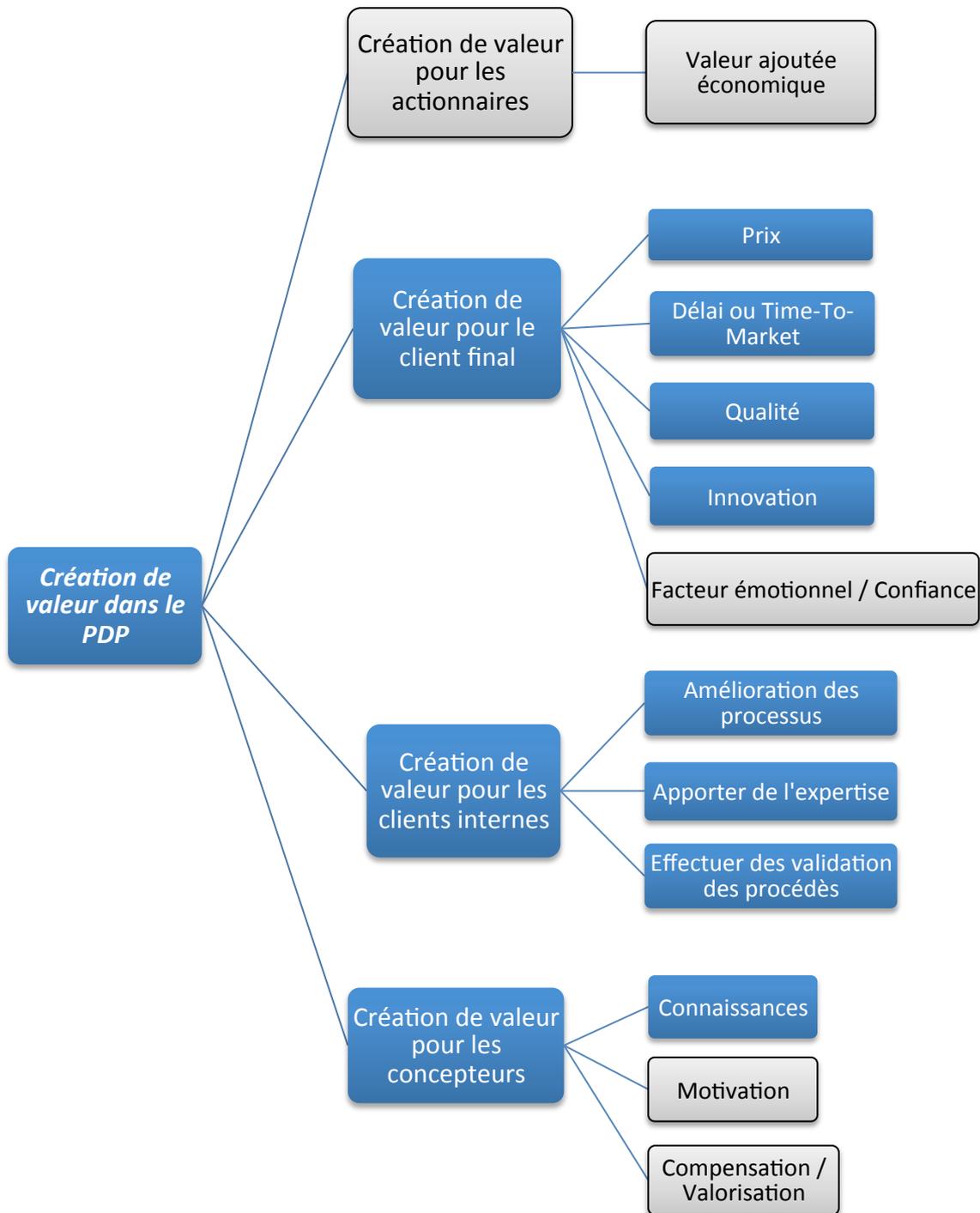


Figure 2.2 : Cadre de définition de création de valeur en PDP d'un point de vue stratégique.

## I. Principe 1 : Cadre de définition de la valeur créée en PDP

A partir de ce cadre de définition, l'entreprise concernée peut sélectionner parmi les dimensions de création de valeur celles qui sont prioritaires et en adéquation avec sa stratégie actuelle, afin de pouvoir par la suite piloter la performance de son PDP en améliorant continuellement sa chaîne de création de valeur.

### Valeur pour les actionnaires

La valeur que le PDP créé pour ses actionnaires est purement économique. Nous reprenons ici la définition de [Higgins, 2011] pour le concept de la Valeur Ajoutée Economique (VAE) comme suite :

$$VAE = EBIT * (1 - TaxRate) - Kw * C$$

Avec:

- $EBIT * (1 - TaxRate)$  : est le résultat d'exploitation de l'entreprise après impôts,
- $Kw$  : est son coût moyen pondéré du capital,
- $C$  : est le capital employé par l'entreprise (d'investissement des créanciers et des propriétaires).

Donc le PDP permet de créer de la valeur pour les actionnaires quand le produit conçu permet d'atteindre un résultat d'exploitation qui dépasse les coûts des capitaux employés.

### Valeur créée pour le client final

Cette dimension dépend largement de la catégorie du produit ou service demandé (standard, high-tech, luxe, etc.) et du mode de conception (tirée par le client ou poussée par l'entreprise) (tableau 2.1).

	Qualité	Délai	Prix	Facteur émotionnel	Confiance	Innovation
Produit conçu à la demande	X	X	X		X	X
Produit standard	X	X	X			X
Produit innovant	X		X	X		X
Produit de luxe	X			X	X	X

Tableau 2.1 : Valeurs créées pour le client final selon la nature du produit ou service.

Pour les produits standards ou dérivés de prototypes existants, la valeur que le PDP peut créer pour le client est principalement le triptyque **qualité, prix et délai** [Womack & Jones, 2010].

Par contre, pour les produits conçus à la demande, d'après nos observations dans le bureau d'étude d'Exxelia Technologies, nous avons constaté que la valeur créée pour le client a plutôt quatre dimensions : qualité, prix, délai et **confiance**. Cette dernière composante vient se rajouter car lors de la conception à la demande du produit, le client est souvent accompagné par les concepteurs (et les commerciaux) pour l'aider à mieux définir son besoin. Cet accompagnement permet de créer une atmosphère de confiance dans la relation client-entreprise, ce qui permettra par la suite au client de revenir vers la même entreprise qui comprend le mieux son besoin.

Si le produit est particulièrement innovant (on peut penser au smartphone dans l'histoire récente), il répond à un besoin client implicite. Dans ce cas, la valeur perçue par le client intègre cette notion d'**innovation** car c'est la caractéristique qui va distinguer le produit de ses concurrents sur le marché en orientant le choix des clients [Atuahene-Gima, 1996].

Pour le cas des produits de haute gamme (luxe), en plus de la qualité, du prix et du délai, le **facteur émotionnel** influence fortement les choix du client qui est souvent attiré par l'image de marque et par la valeur historique, émotionnelle ou culturelle du produit [Lemieux et al., 2012].

### **Valeur créée pour les clients internes**

Le PDP est sollicité par les clients internes qui formulent des demandes explicites de résolution de problèmes, rencontrés dans leurs processus, nécessitant l'expertise technique des concepteurs. Le PDP crée de la valeur pour ses clients internes aussi lors de la conception d'un modèle moins complexe à fabriquer en production (valeur créée pour le service production) et moins coûteux (création de valeur pour le service achat, approvisionnement).

Donc, le PDP crée de la valeur explicite pour ses clients internes en répondant à leurs besoins exprimés ou en créant de la valeur en répondant à leurs besoins implicites lors de la conception, en anticipant la réduction de leurs coûts générés par les décisions prises lors du PDP.

### **La valeur créée pour les acteurs du PDP**

Le PDP implique la participation de plusieurs employés de divers départements de l'entreprise ayant des compétences, niveaux hiérarchiques et objectifs différents.

Lors de la réalisation de l'activité (Figure 2.3), des interactions (« **échanges** ») sont générées par l'acteur (concepteur/ employé) pour solliciter les autres employés du même département ou d'autres (département internes, fournisseurs, client) et demander les

## I. Principe 1 : Cadre de définition de la valeur créée en PDP

informations nécessaires à la réalisation de son activité. Ces informations représentent des données d'entrée nécessaires pour l'élaboration des livrables telles que les contraintes d'industrialisation, la veille technologiques, etc.

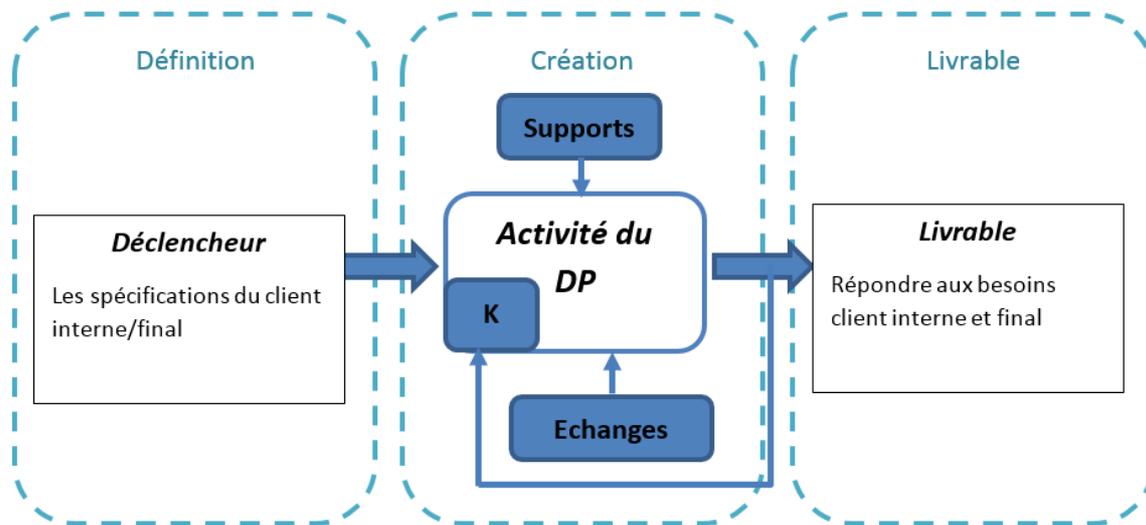


Figure 2.3 : Environnement de réalisation de l'activité du PDP.

Chaque employé participant à la réalisation d'un livrable pour le PDP peut acquérir de nouvelles connaissances (« K ») pour lui-même, pour son équipe ainsi que pour l'organisation. Dans ce cas, nous parlons d'une création de valeur « K » potentielle qui peut être exploitée ultérieurement dans les prochains projets sous forme d'expertise ou de retour d'expériences. En outre, plus le produit à concevoir est innovant, plus les employés impliqués dans son développement sont susceptibles d'acquérir de nouvelles connaissances et/ou de développer des compétences et savoir-faire, contrairement à la conception routinière où l'acquisition ou le développement de nouvelles connaissances est plus réduit.

La création de valeur pour l'employé peut être aussi constatée par l'augmentation de sa **motivation**, qui reste relative à chaque individu et qui peut apparaître suite à l'atteinte des objectifs, à la réalisation des activités qui sont en bonne adéquation avec ses compétences et donc enrichissantes pour lui selon son point de vue. La création de valeur pour un acteur peut aussi être liée à la **compensation** reçue de l'entreprise en contrepartie du travail fourni [Slack, 1999]. Ces deux derniers points relevant plus du domaine des ressources humaines, nous les évoquons dans notre travail sans en approfondir l'analyse.

Enfin, le PDP peut créer de la valeur sur une ou plusieurs dimensions à la fois. Cependant, les entreprises les plus performantes créent de la valeur pour toutes les parties concernées [Donovan et al., 1998]. Nous rappelons toutefois que dans nos travaux de recherche, nous nous concentrerons que sur trois parties prenantes : le client final, les clients internes et les concepteurs.

A partir de ce niveau stratégique, chaque entreprise sera en mesure de définir ses priorités de création de valeur dans le PDP (les parties prenantes prioritaires) et de pouvoir par la suite piloter les dimensions sélectionnées en approfondissant l'analyse du processus à un niveau plus microscopique. Ainsi, dans la partie suivante, nous allons passer aux niveaux tactique et opérationnel pour voir l'application concrète de l'orientation stratégique de création de valeur dans les activités du PDP.

### 3. La création de valeur en PDP d'un point de vue tactique et opérationnel

Les orientations stratégiques de création de valeur dans le PDP choisies par l'entreprise verront leur application d'une manière tactique dans l'enchaînement des activités du PDP et plus opérationnellement au niveau de chaque activité (et sous-activité).

Au niveau de chaque activité du PDP, la création de valeur peut être multidirectionnelle. Dans le tableau 2.2, nous déterminons les sept différentes combinaisons des possibles destinataires de la création de valeur dans le PDP (Figure 2.4). Par ailleurs, parmi les activités du PDP, il en existe qui ne créent pas forcément de la valeur mais qui sont nécessaires pour le bon fonctionnement du processus (souvent désignées comme activités à non-valeur ajoutée mais nécessaires dans le Lean Thinking, à la différence des muda).

Valeur créée $V_i^A$	$V_i^{CF}$	$V_i^{CI}$	$\sum_j V_{ji}^E$
Cas 1	X		
Cas 2		X	
Cas 3			X
Cas 4	X	X	
Cas 5		X	X
Cas 6	X		X
Cas 7	X	X	X

Tableau 2.2 : Les sept différents cas de création de valeur en PDP

Avec :

- $V_i^{CF}$  valeur créée pour le client final durant la réalisation de l'activité  $i$ ,
- $V_i^{CI}$  valeur créée pour les clients internes durant la réalisation de l'activité  $i$ ,
- $V_{ji}^E$  valeur créée pour l'employé  $j$  impliqué lors de la réalisation de l'activité  $i$

## I. Principe 1 : Cadre de définition de la valeur créée en PDP

- $V_i^A$  valeur totale créée durant la réalisation de l'activité i :  $V_i^A = \bigcup \left\{ V_i^{CF}, V_i^{CI}, \sum_j V_{ji}^E \right\}$

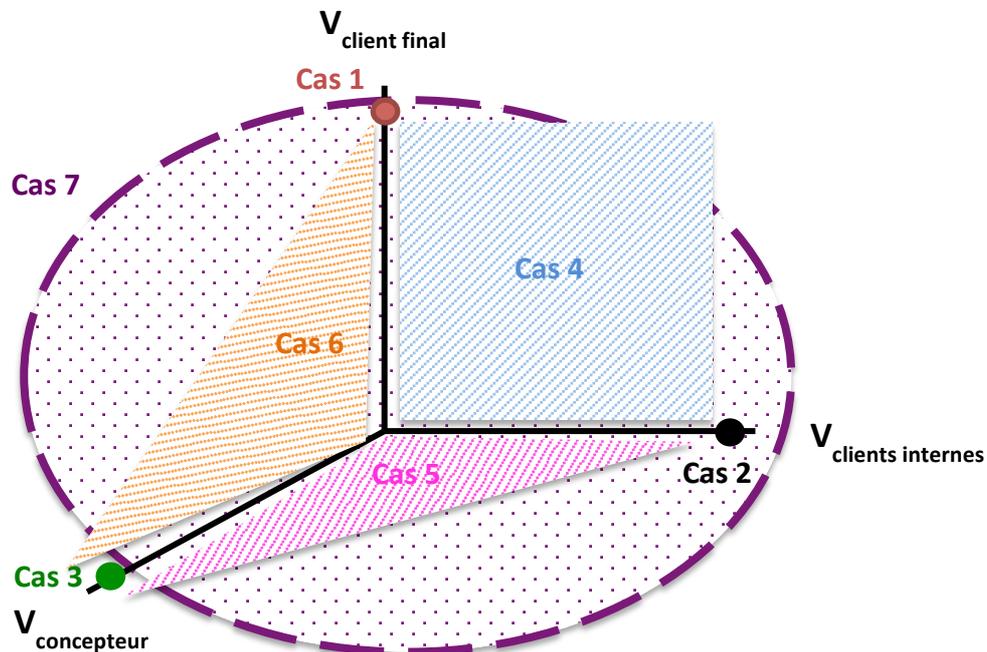


Figure 2.4 : Les sept cas de création de valeur dans le PDP.

### Cas 1

L'activité i permet de créer de la valeur uniquement pour le client final. Durant cette activité, le PDP répond au besoin du client final défini dans le cahier des charges. Les clients internes ne sont pas concernés dans ce cas de figure. Par contre, les concepteurs qui ont participé à la réalisation de cette activité n'ont pas acquis de nouvelles connaissances ou développé des compétences, ce qui est souvent le cas des activités de conception routinières.

### Cas 2

L'activité i crée de la valeur uniquement pour les clients internes. Ici, le concepteur répond à un besoin explicitement ou implicitement exprimé par les clients internes, comme le cas de résolution des problèmes d'ordre technique, demande d'expertise ou tout simplement demande d'information.

### Cas 3

L'activité i permet de créer de la valeur uniquement pour les concepteurs. Ce cas peut apparaître lors de la formation des employés au cours du processus de développement du produit, ou lors de la capitalisation de solutions non retenues pour les besoins exprimés mais potentiellement intéressantes pour des besoins futurs.

On peut remarquer que ces deux derniers cas peuvent potentiellement créer de la valeur indirectement pour les autres parties prenantes, en améliorant les performances du PDP et/ou du livrable sur les prochains développements.

### **Cas 4**

L'activité i crée de la valeur pour le client final et les clients internes. Autrement dit, dans l'activité, le concepteur répond au besoin client tout en réduisant les coûts de réalisation ou facilitant voire améliorant l'exécution du livrable par les autres services de l'entreprise. Par contre, dans ce cas il n'y a pas lieu de création de valeur pour le concepteur.

### **Cas 5**

L'activité i crée de la valeur pour les clients internes et le concepteur. Dans ce cas, le concepteur répond au besoin clients internes et en même temps cette activité lui permet de créer de la valeur pour lui-même.

### **Cas 6**

En répondant aux besoins client final, le concepteur peut acquérir de nouvelles connaissances et/ou développer ses compétences. Par contre il n'y a pas lieu à la création de valeur pour les clients internes. Ici, ils peuvent ne pas être concernés par l'exécution du livrable ou ce dernier n'a pas d'impact sur leur fonctionnement. Un autre cas serait qu'ils soient concernés par le livrable mais que leurs besoins et contraintes n'aient pas été pris en compte (e.g. proposer une conception qui répond au besoin client final et enrichissante pour le concepteur mais dont la fabrication est très complexe, ou encore avec des matières premières et des outillages choisis pour la réalisation qui sont rares et chers), ceci augmentant les coûts et le temps de fabrication. D'où l'importance de la communication avec les autres services connexes susceptibles d'être impactés par les décisions du PDP.

### **Cas 7**

C'est le cas idéal, car la réalisation de l'activité i permet de créer de la valeur pour les différentes parties prenantes : elle répond au besoin client final tout en concevant un produit moins complexe à industrialiser et qui permet aux employés d'acquérir des nouvelles connaissances ou de développer leurs compétences.

Finalement, le cadre de définition de la création de valeur dans le PDP est composé de plusieurs orientations (parties prenantes) et de dimensions majeures que chaque entreprise adapte à sa stratégie en se focalisant sur une ou plusieurs dimensions prioritaires dans le pilotage de son PDP. Donc, ce cadre de définition est dynamique et évolutif dans le temps suivant l'évolution de la stratégie de l'entreprise.

## ***II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP***

L'étape suivante de la démarche globale est la cartographie des activités du PDP, qui permet d'avoir plus de visibilité sur l'environnement de leur réalisation et ainsi de détecter les activités créatrices et non créatrices de valeur pour apporter des améliorations continues.

Mais compte tenu des spécificités du PDP, visualiser le processus de création de valeur n'est pas un exercice évident. D'où la nécessité d'un outil de cartographie du PDP orienté processus, qui permet de schématiser les activités et les flux virtuels du PDP tout en faisant apparaître les dimensions de création de valeur.

Par conséquent, nous définissons dans un premier temps les critères nécessaires pour l'élaboration de l'outil de cartographie adéquat. Puis, nous analysons les outils de cartographie des processus existants et pertinents dans ce contexte, pour ensuite les comparer vis à vis de la prise en compte des critères déterminés juste avant. Enfin, nous présentons notre outil de cartographie et la stratégie associée de choix et d'élaboration des indicateurs de performance.

### **1. Critères d'évaluation de l'outil**

Le principe de cartographier les processus est souvent utilisé pour matérialiser les flux virtuels dans les systèmes complexes afin de faciliter leur pilotage. Dans l'approche Lean, la Value Stream Mapping (VSM) est utilisée comme outil pour visualiser les différents flux d'information et de matières, afin de faciliter l'analyse du processus de production et détecter les opérations à valeur ajoutée et d'autres vues comme étant du gaspillage. A l'issue de cette détection, un plan d'action est construit pour lancer des chantiers d'amélioration. Ce principe peut être appliqué au PDP pour cartographier la création de valeur dans le processus.

Pour construire l'outil de cartographie du PDP adéquat, nous devons prendre en considération les spécificités liées à l'environnement du PDP (section I.1), celle liées à la nature de la création de valeur dans un tel processus (Figure 2.2) ainsi que les éléments nécessaires pour faciliter la compréhension et la présentation graphique du processus. Nous avons alors choisi les critères suivants à remplir pour élaborer l'outil de cartographie adapté au PDP (Figure 2.5) :

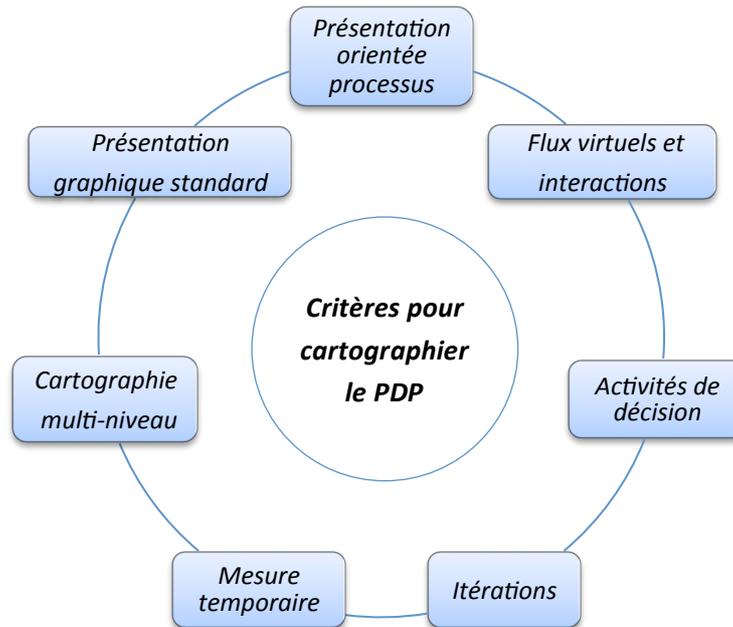


Figure 2.5 : Critères à remplir pour élaborer l'outil de cartographie adapté au PDP

- **Présentation orientée processus** : le PDP est un enchaînement de plusieurs activités dont l'ordre d'exécution est très important. D'où l'intérêt d'avoir une présentation orientée processus permettant ainsi de représenter le processus en respectant l'ordre séquentiel et chronologique des activités ;
- **Flux virtuels et interactions** : l'outil de cartographie doit être capable de matérialiser les différents flux virtuels, non-linéaires et multidirectionnels [Morgan & Liker, 2006], qui sont générés dans le PDP, des entrées d'information, des sorties de livrables ainsi que des interactions entre les différents postes ;
- **Activités de décision** : le PDP étant un processus dont une part importante de ses activités sont des prises de décision [Krishnan & Ulrich, 2001], l'outil de cartographie doit être en mesure de différencier ces activités tout en indiquant leur environnement de réalisation (les déclencheurs, les contraintes de choix, les variables de décisions...) ;
- **Itérations** : les itérations sont fortement présentes dans le PDP et l'outil de cartographie doit donc les représenter pour une image plus fidèle du processus ;
- **Mesure temporaire** : la mention du temps est une des dimensions de création de valeur présente pour toutes les parties prenantes, d'où l'intérêt de la représenter dans la cartographie du processus ;
- **Cartographie multi-niveau de la création de valeur** : la création de valeur dans le PDP est multi-niveau : stratégique, tactique et opérationnel. De plus, le PDP est un environnement trop complexe à représenter sur un seul niveau. Donc, une représentation multi-niveau s'impose ;

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

- **Présentation graphique standard** : pour avoir une cartographie claire complète et compréhensible par tout le monde, une présentation graphique standard est nécessaire pour établir un langage commun [Singh et al., 2006], [Wu, 2012].

### 2. Les différents outils de cartographie des processus

Il existe un grand nombre d'outils et de méthodologies permettant de cartographier un processus métier dans des contextes très différents. On pourra se référer en particulier à l'analyse de [Aguilar-Saven, 2004] pour une liste plus exhaustive. Nous avons fait le choix dans ce document d'analyser les outils les plus courants dans le PDP.

#### 2.1 La Value Stream Mapping

La **Value Stream Mapping (VSM)** est un outil du Lean Manufacturing permettant de visualiser et comprendre les différents flux de matières et d'informations dans le processus de production [Rother & Shook, 1998], (Figure 2.6). Cet outil s'utilise le plus souvent dans une méthodologie en deux temps. Après une cartographie de l'état actuel du processus et d'identification des activités à valeur ajoutée et celles qui représentent du gaspillage, une cartographie d'un état futur « idéal à l'instant t » à atteindre (appelée le plus souvent **Value Stream Design – VSD**) est définie et permet la mise en place d'un plan d'action suivi des chantiers d'amélioration.

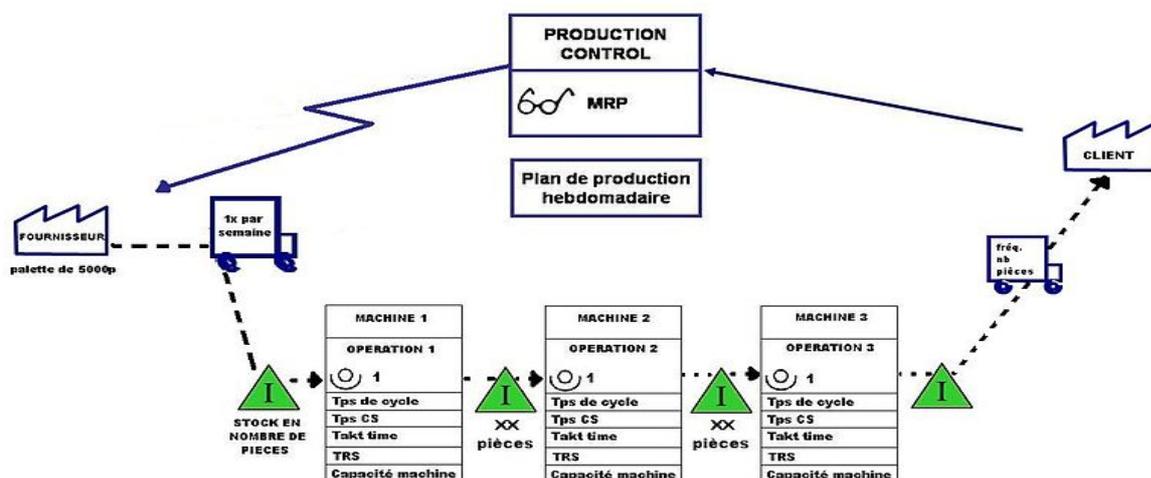


Figure 2.6 : Exemple de VSM en processus de production.

Orientée processus, la VSM permet de présenter les flux de matières et d'informations générés entre les différents postes de travail ainsi que des informations pertinentes à propos de chaque poste (le lead time de l'opération, la cadence, capacité, les stocks...) et ce de la réception de la commande à la livraison du produit fini. Cette représentation utilise des symboles graphiques standards pour créer un langage commun entre les utilisateurs et faciliter la compréhension du processus.

Grace à la matérialisation de la majorité des flux du processus de production, la VSM schématise tous les processus sur une seule carte, où seules les activités d'exécution sont présentées sans s'intéresser aux interactions entre les activités (car les interactions entre les postes de travail en production sont rares).

## 2.2 Product Development Value Stream Mapping

Etant donnée la complexité des flux dans le PDP, l'application de la VSM dans un tel environnement nécessite l'adaptation de celle-ci. Ainsi la **Product Development Value Stream Mapping (PDVSM)** a été proposée par [Morgan, 2002], (Figure 2.7).

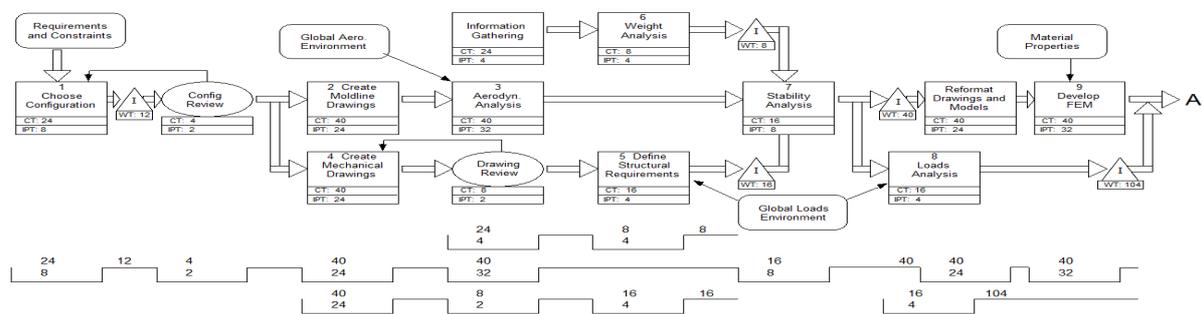


Figure 2.7 : Exemple d'une PDVSM [Morgan, 2002].

Sur le même principe que la VSM, la PDVSM est un outil orienté processus qui utilise des symboles graphiques standards pour présenter les informations et le lead time des différentes activités du processus. Sa spécificité est la prise en compte des activités de décision.

Par contre, comme la VSM, la PDVSM ne représente que l'information sur les entrées et sorties sans détailler les interactions qui peuvent avoir lieu entre les différents acteurs impliqués dans le processus (par conséquent la valeur créée pour les employés impliqués dans le PDP ne sera pas visualisée). En outre, la PDVSM modélise le PDP sur une seule carte ce qui rend l'analyse visuelle d'un tel processus complexe difficile sur une cartographie aussi condensée.

## 2.3 Business Process Model and Notation

Le langage **Business Process Model and Notation (BPMN)** est une représentation graphique utilisée pour spécifier les processus métier dans un modèle de processus d'affaires très similaire au diagramme d'activité dans le langage UML (Figure 2.8). Les principaux objectifs du BPMN sont de créer un langage de communication standard et commun entre tous les acteurs à l'intérieur d'une organisation, et d'assurer la communication entre la modélisation des processus métier et la mise en place des procédures [OMG, 2010], [Chinosi & Trombetta, 2012].

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

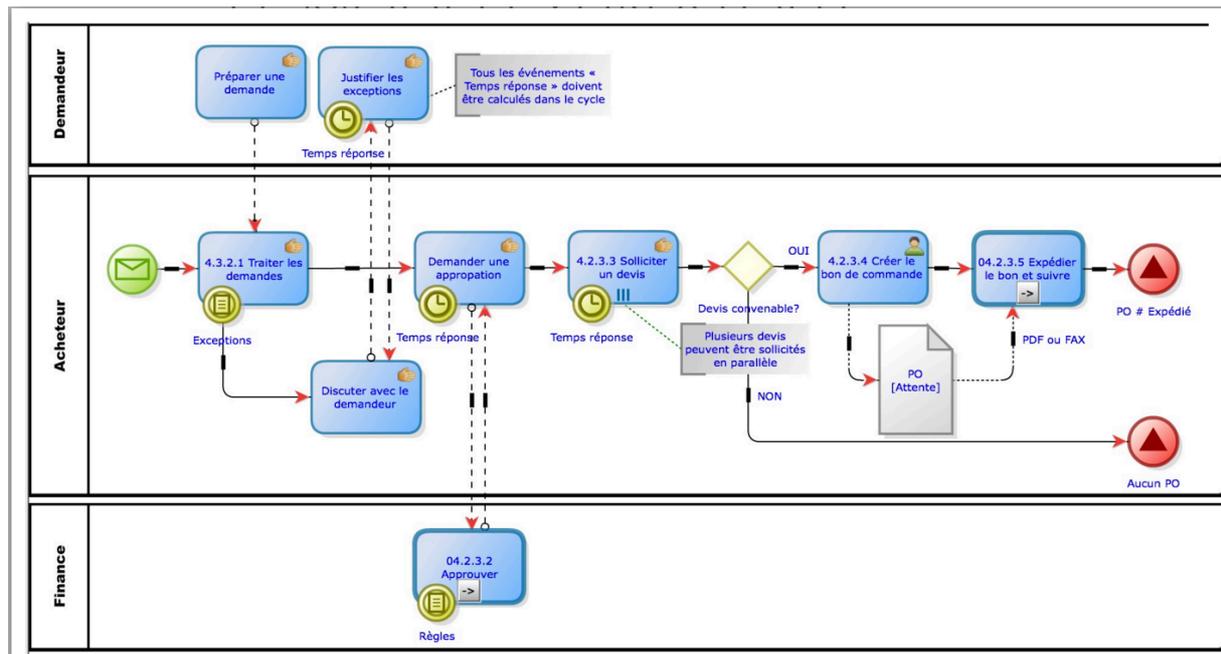


Figure 2.8 : Exemple de projet modélisé sous BPMN (version 2.2).

Par nature, le BPMN est orienté processus. Il permet de modéliser à la fois les flux physiques et d'information. Ce langage est aussi capable de représenter les interactions humaines, de mesurer la durée des opérations et de proposer une modélisation multi-niveau.

Néanmoins, ce langage n'est pas suffisant pour pouvoir identifier la création de valeur dans les PDP car il ne permet pas de représenter d'une manière bien détaillée les activités de prise de décision dans le processus.

### 2.4 Integration Definition For Function Modeling

[NIST, 1993] présente le concept d'**Integration Definition For Function Modeling** (IDEF0), connu également sous le nom de **Structured Analysis and Design Technique** (SADT). C'est un outil de modélisation qui permet de décrire les différentes tâches d'un projet et leurs interactions. Cet outil est le plus souvent utilisé pour la modélisation des processus de production et de service. Il permet une description du système en vue de l'explorer, le créer ou encore le modifier. Cette modélisation prend en compte les parties constituantes du système, leurs objectifs, leur fonctionnement ainsi que les interfaces existantes entre eux. L'idée est que le système étudié est non seulement considéré comme étant une collection d'éléments indépendants, mais aussi comme une organisation structurée avec un but précis.

La méthode se base sur deux principes :

- Procéder par une analyse top-down : cette technique se base sur une structure hiérarchique en analysant graduellement le processus en partant de son plus haut niveau

(souvent général et abstrait) vers le plus bas niveau (le plus détaillé). Cette modélisation renseigne toutes les utilités du système étudié, les fonctions nécessaires pour l'implémentation ainsi que le processus de réalisation ;

- Définir le périmètre de l'analyse : il est nécessaire de spécifier le contexte et les limites du système étudié, puis de déterminer l'objectif de l'analyse avant d'entamer la description du système.

Dans la Figure 2.9, nous avons un exemple de modélisation IDEF0 où les activités sont représentées par des rectangles. Les entrées et sorties sont interprétées par des flèches venant successivement de gauche et sortant de droite, tandis que les flèches qui viennent du haut font référence à des contrôles et celles qui viennent du bas à des mécanismes.

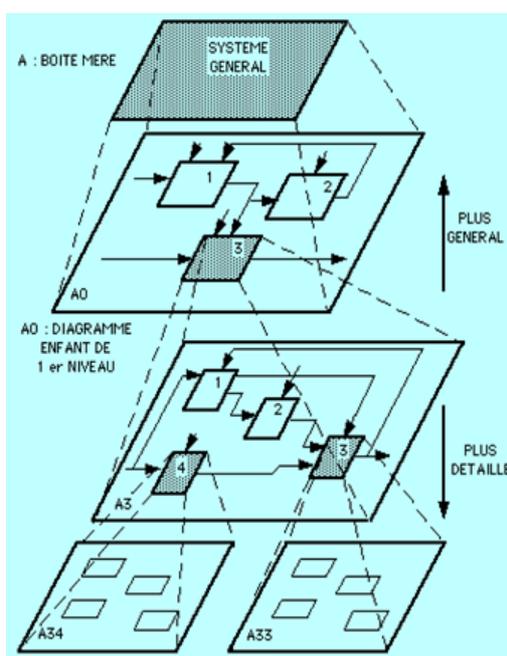


Figure 2.9 : Exemple de modélisation par IDEF0.

Un modèle IDEF0 consiste en un empilement de niveaux. Le premier niveau est une représentation générale et abstraite du processus, qui est ensuite divisé en sous-fonctions pour une analyse plus structurée du système. Cette décomposition fait généralement figurer trois à six éléments qui représentent les activités. Après chaque nouvelle décomposition, la boîte précédente devient mère.

Par contre, cette technique ne permet pas d'avoir des informations sur l'ordre chronologique du déroulement des activités, ce qui fait d'elle une méthode non orientée processus. Elle ne permet pas non plus de présenter les différentes interactions du processus ni l'estimation du temps de réalisation des activités.

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

### 2.5 Réseau GRAI

La méthode **Graph with Results and Activities Interrelated** (GRAI) [Chen and Doumeingts, 1996] est une démarche structurée de modélisation du fonctionnement d'une entreprise. Elle a pour but de concevoir ou d'améliorer tout ou partie d'une activité de production. Cette méthode consiste à mettre en évidence la partie décisionnelle du système en vue d'améliorer ses performances. Comme elle utilise un formalisme graphique afin de représenter et interpréter efficacement les activités du système étudié.

Le modèle GRAI est composé de la grille GRAI et du réseau GRAI (figure 2.10) :

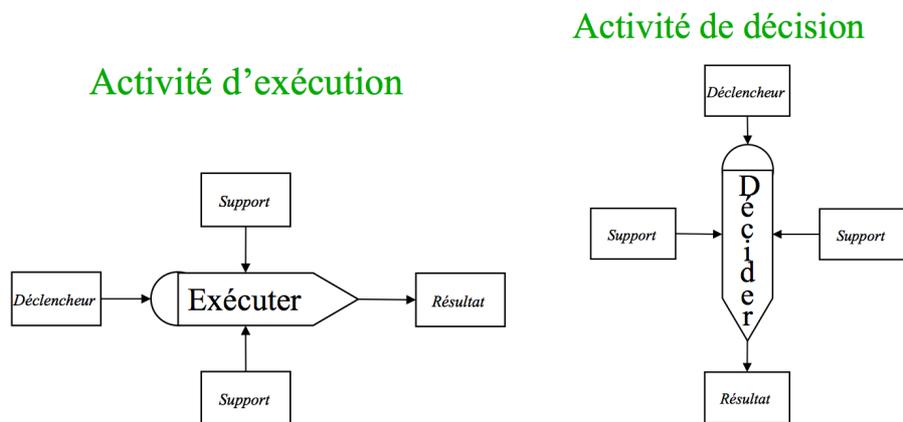
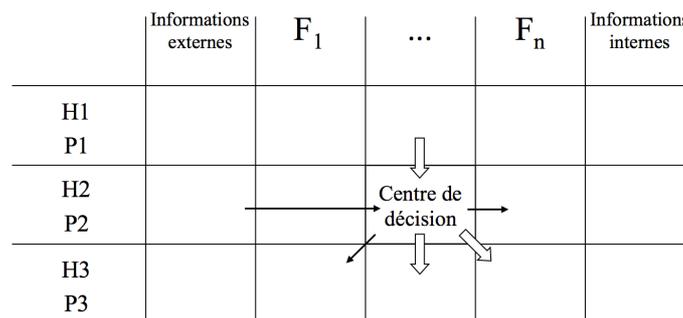


Figure 2.10 : Exemple de modèle GRAI.

- **Grille GRAI** : comme son nom l'indique, c'est une grille dont les colonnes représentent les fonctions et les lignes les niveaux de décisions. Chacune de leurs intersections forme un centre de décision. Dans ce cadre on précise les objectifs attendus de la décision, les variables de décision, les contraintes et les critères. Cette grille met en confrontation le cadre fonctionnel et informatif avec le niveau de décision.
- **Réseau GRAI** : permet de détailler chaque centre de décision défini dans la grille GRAI, en indiquant les informations concernant les déclencheurs de l'action, les supports de réalisation, les objectifs, les décisions de variables, les contraintes, les critères de choix ainsi que le résultat de l'action. Grâce aux symboles graphiques spécifiques, le réseau

GRAI permet de distinguer entre les activités d'exécution (symbole horizontal) et celles de prise de décision (symbole vertical).

Dans notre étude nous nous intéressons à la modélisation des processus, donc à l'enchaînement des activités. De ce fait nous ne sélectionnons que le réseau GRAI pour la suite de notre étude. Ce réseau modélise le processus d'un centre de décision sous forme d'une séquence chronologique d'activités d'exécution et de prise de décision. Cette modélisation offre une approche structurée qui insiste en particulier sur l'analyse et la conception des systèmes d'aide à la décision. Néanmoins, elle ne représente pas les différentes interactions et itérations qui peuvent avoir lieu, ainsi que le temps de réalisation des activités.

### 2.6 Synthèse

La complexité du PDP qui est due à la multitude des acteurs impliqués dans cette phase, aux différentes interactions, itérations, aux flux virtuels générés ainsi qu'au caractère multi-niveau de la création de valeur dans ce processus, rend la modélisation du processus plus difficile.

Par conséquent, la représentation d'un tel processus riche en informations en une seule carte (ou niveau), comme c'est le cas dans la VSM et la PDVSM, n'est pas la solution la plus judicieuse. Il est donc important de concevoir un outil permettant de procéder à une cartographie multi-niveau du processus pour plus de visibilité et de rigueur lors de l'analyse de la cartographie. Ce principe de modélisation multi-niveau est bien présent dans la méthode IDEFO. Néanmoins, cet outil reste limité pour répondre à nos critères tant qu'il ne représente pas les activités dans un ordre séquentiel et chronologique et n'indique aucune information sur la mesure du temps de leur réalisation.

Concernant le BPMN, c'est un outil orienté processus, il suit une modélisation multi-niveau et il représente la mesure du temps des activités. Par contre les activités de prise de décision ne sont pas mises en évidence par cet outil. En revanche, La méthode GRAI prend en compte l'aspect de prise de décision, offrant grâce à son réseau GRAI une approche structurée pour représenter l'environnement dans lequel les décisions sont prises. En effet, le réseau GRAI est l'outil le plus approprié pour modéliser les activités de prise de décision dans le PDP quoiqu'il faut l'adapter en intégrant la mesure du temps (manquante dans la version actuelle du réseau GRAI) ainsi que la représentation des itérations.

Au cours de la réalisation d'une activité du PDP, le concepteur a besoin de se procurer des données et informations pour pouvoir concevoir la solution technique (Création de valeur) d'où les multiples interactions avec plusieurs autres entités externes (autres employés

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

du même service ou autres services, clients, fournisseurs, consultants...) et internes à son poste (outils informatiques, ERP, CAO, base de données...). Par contre le temps d'attente des réponses peut être un handicap dans ce type d'échange et avoir un impact négatif sur le TTM. Pour cela, l'outil de cartographie du PDP doit nécessairement représenter l'environnement de réalisation de ces différentes interactions afin de mettre en évidence l'identification des dysfonctionnements et les sources de retard.

Le tableau 2.3 présente un résumé de l'évaluation des outils de modélisation des processus cités ci-dessus en utilisant l'échelle suivante :

- -1 : L'outil ne répond pas aux critères voulus et il n'est pas possible de l'adapter ;
- 0 : L'outil ne répond pas aux critères voulus mais il est envisageable de l'adapter ;
- 1 : L'outil répond aux critères voulus, mais il nécessite d'être amélioré ;
- 2 : L'outil répond parfaitement aux critères voulus.

À l'issue de cette comparaison des outils de cartographie nous réalisons qu'il n'existe pas vraiment un outil qui prend en considération tous les critères cités (figure 2.5). Pour cela, et en se basant sur ces critères et sur la comparaison établie des outils existants, nous proposons la **Value Stream Mapping tool for Product Development Process (VSM4PDP)**. Cet outil a pour but de faciliter la compréhension du processus complexe de développement produit, puis de permettre l'identification des activités créatrices et non créatrices de valeur dans le processus. Enfin, grâce à cet outil, la cartographie du processus futur (idéal à l'instant t) pourra être réalisée et atteinte via le suivi des indicateurs de performance et l'élaboration des plans d'action suivis desancements des chantiers d'amélioration.

L'outil	Orienté processus	Prise de décision	Flux virtuels	Interaction	Mesure du temps	Représentation Multi-niveau	Itérations	Représentation graphique standard
Réseau GRAI	2	2	2	0	0	0	0	2
BPMN	2	1	2	0	1	0	0	2
IDEFO	-1	-1	1	-1	0	2	0	1
PDVSM	2	1	2	0	2	0	0	2

Tableau 2.3 : Comparaison des outils de cartographie des processus.

### 3. Proposition de l'outil de cartographie de la valeur en PDP VSM4PDP

L'outil de cartographie de la valeur en PDP, nommé **Value Stream Mapping tool for Product Development Process (VSM4PDP)**, est composé de trois niveaux (figure 2.11) [El Gamoussi et al., 2014] :

- **Niveau I** : ce niveau permet une vue globale et générale du PDP étudié. Seules les grandes étapes majeures d'exécutions et de prise de décision sont représentées. A cette étape nous pouvons déterminer les orientations stratégiques de la création de valeur dans le PDP ;
- **Niveau II** : après avoir sélectionné une ou plusieurs étapes importantes du niveau I, le niveau II permet de cartographier plus en détail. Cette étape sélectionnée subit ensuite une micro-décomposition en représentant l'enchaînement des activités d'exécution et de prise de décision. Ainsi, dans ce niveau nous pouvons déterminer la création de valeur dans le PDP d'un point de vue tactique ;
- **Niveau III** : la cartographie consiste ici à détailler les différents flux générés lors de la réalisation de l'activité par son acteur, d'où la présence des interactions avec les différents services internes ou externes au PDP. Etudier chaque activité à ce niveau permet de définir le niveau opérationnel de la création de valeur.

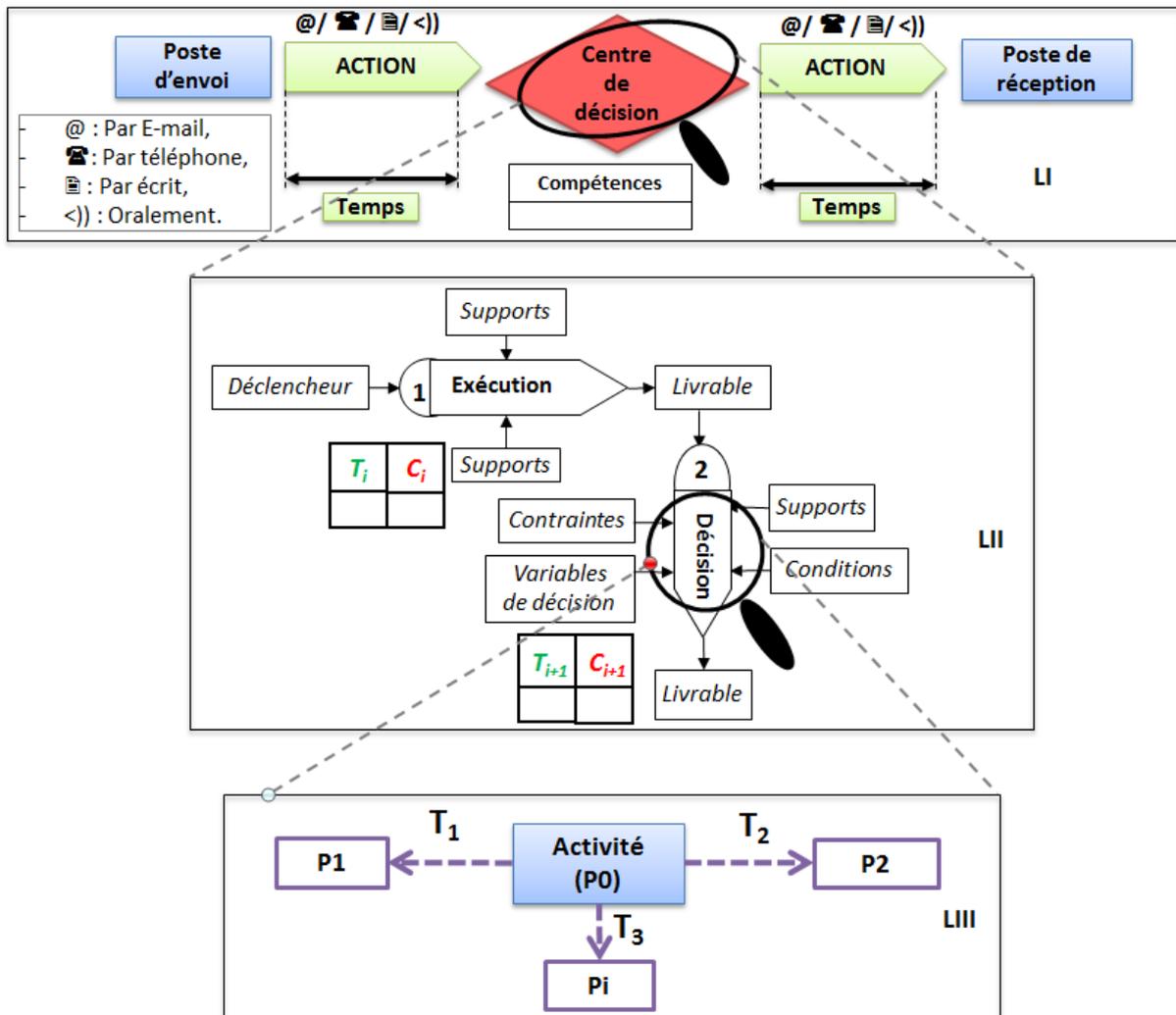


Figure 2.11 : L'outil de cartographie de la valeur dans le PDP VSM4PDP.

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

### 3.1 Niveau I du VSM4PDP

Nous nous sommes inspirés des modèles PDVSM et BPMN pour concevoir le niveau I de VSM4PDP, dans lequel nous distinguons (Figure 2.12) :

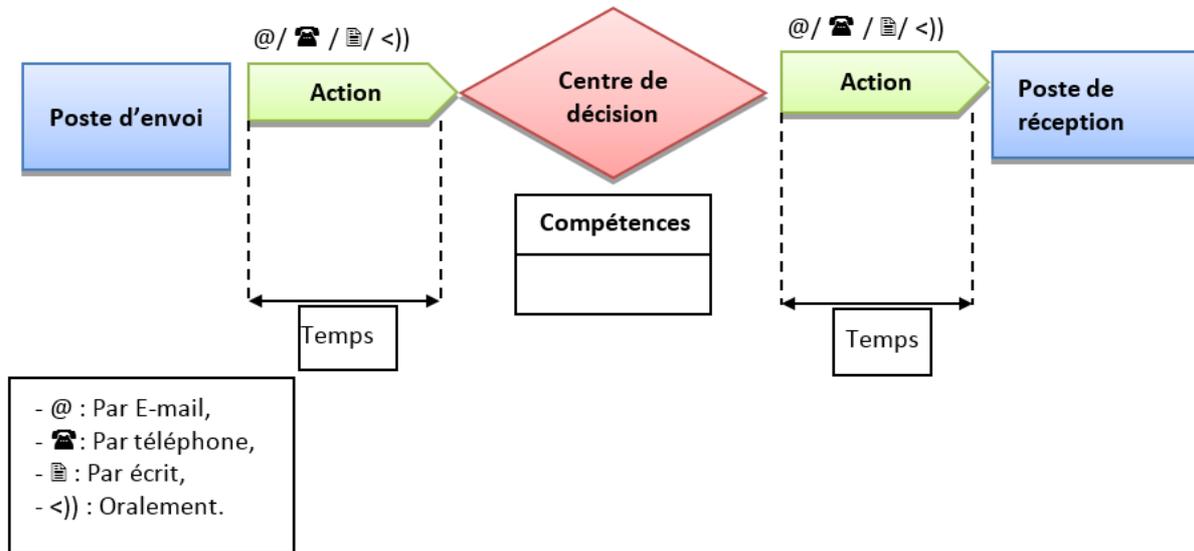


Figure 2.12 : Niveau I du VSM4PDP.

- **Les actions** (flèches en couleur verte) qui spécifient les livrables (mentionnés à l'intérieur des flèches), leurs supports de transmission (juste en haut des flèches) et l'estimation de temps de réalisation de chaque action (en bas des flèches),
- **Les centres de décision** (losanges rouges) dans lesquels l'acteurs de chaque activité est mentionné (à l'intérieur du losange) ainsi que les compétences requises pour une telle prise de décision (en bas du losange),
- **Les centres d'envoi et de réception** (rectangles bleus) dans lesquels nous mentionnons les acteurs récepteurs ou émetteur des livrables,
- **Les itérations** (flèches rouges) qui reviennent vers les étapes précédentes tout en indiquant le numéro de l'itération (Figure 2.13).

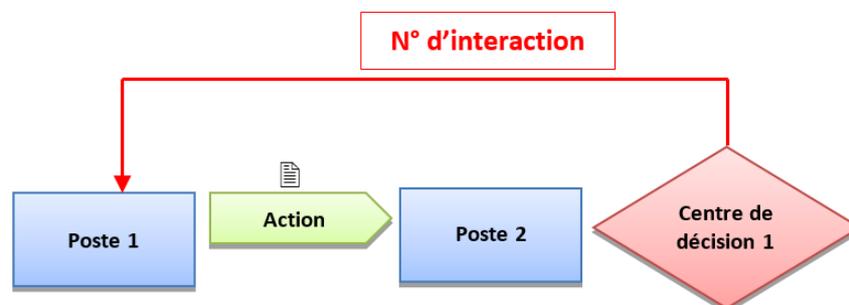


Figure 2.13 : Une interaction au niveau I du VSM4PDP.

L'objectif de ce premier niveau est d'avoir une image globale du PDP permettant ainsi de le comprendre et faciliter la macro détection des grandes étapes de création de valeur

dans le processus. A partir de ce niveau, les étapes visées et nécessitant plus d'approfondissement sont sélectionnées pour passer au deuxième niveau tactique de cartographie.

### 3.2 Niveau II du VSM4PDP

A ce niveau, l'étape sélectionnée au niveau I est détaillée en utilisant une extension du réseau GRAI (Figure 2.14) par l'ajout de la mesure du temps. A ce stade, les activités d'exécution et de prise de décision sont bien spécifiées tout en précisant les conditions, les contraintes, les variables de décision et les livrables. L'analyse du modèle permet de donner des conclusions sur l'exhaustivité et la cohérence des informations nécessaires et générées durant chaque opération.

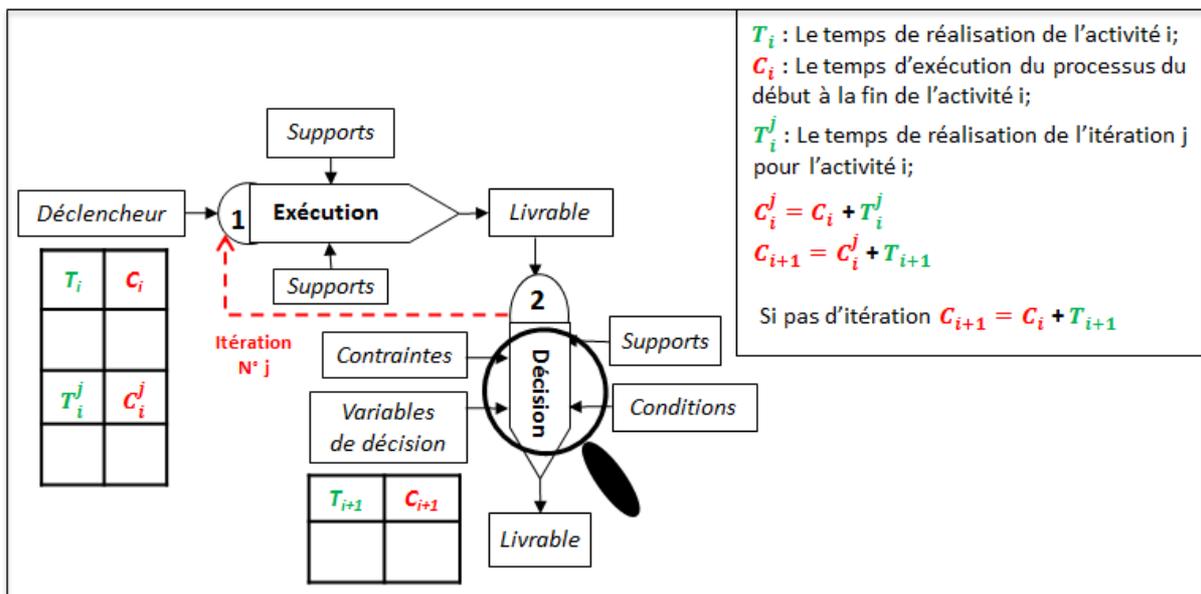


Figure 2.14 : Niveau II du VSM4PDP.

De plus nous avons intégré deux indicateurs de temps au réseau GRAI :  $T_i$  qui indique le temps de réalisation de l'opération i, et  $C_i$  qui représente le cumul de temps de réalisation de l'opération 1 à i. Cette mesure estimative du temps peut aider à souligner les dysfonctionnements lors de la réalisation de l'opération. Et lors des itérations, celles-ci sont représentées par des flèches qui reviennent vers les activités précédentes tout en indiquant le numéro de l'itération (j) et en indiquant le temps de réalisation de l'opération et le cumul suite à cette itération ( $T_i^j$  ;  $C_i^j$ ).

A ce niveau un certain nombre de dimensions de création de valeur peuvent être déterminées grâce aux informations contenues dans ce deuxième niveau de cartographie :

- Le lead time de l'activité ;

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

- La création de valeur pour les parties prenantes : grâce au déclencheur et au livrable, nous pouvons déterminer si la création de valeur est destinée au client final ou au client interne. Mais, pour déterminer s'il y a lieu à la création de valeur pour le réalisateur de l'activité, il faut analyser la nature de l'activité. Plus celle-ci est non routinière, plus il y aura de la création de valeur potentielle pour le réalisateur.

Pour détailler encore plus chaque activité et avoir plus d'information sur son déroulement, le troisième niveau de la cartographie permet de détailler les différentes interactions entre le poste réalisateur de l'activité et les autres postes ou outils.

### 3.3 Niveau III du VSM4PDP

A ce niveau, le diagramme d'interactions permet de modéliser toutes les interactions qui ont lieu entre le poste réalisateur de l'activité étudiée et les supports utilisés (outils informatiques, bases de données, ERP, CAO...) et/ou les autres postes (acteur du PDP, autre service internes, service externe) (Figure 2.15).

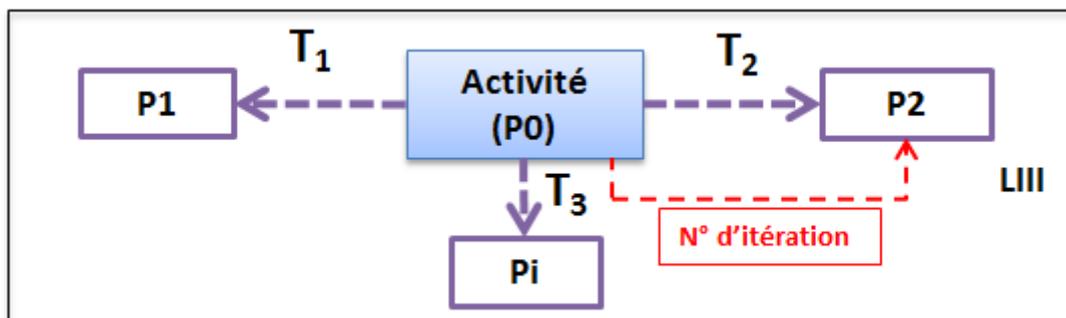


Figure 2.15 : Niveau III du VSM4PDP.

Les supports utilisés ou demandés sont représentés également par des rectangles autour du poste concerné (rectangle centrale) auquel ils sont liés par des flèches (dans le schéma elles sont unidirectionnelles car nous traitons que les demandes émises par le poste concerné). Les itérations sont également représentées par des petites flèches accompagnées par un numéro qui s'incrémente suivant le nombre de l'itération.

Enfin, associé à chacune de ces interactions, un indicateur du temps nécessaire à la réalisation de l'interaction est ajouté.

### 3.4 Synthèse

A ce stade nous sommes en mesure de définir la notion de création de valeur dans le PDP, suivant le premier principe du Lean dans le PDP. Puis, nous sommes capables de cartographier cette création de valeur dans le PDP pour déterminer les activités créatrices de valeur et celles non créatrices. Etant donné que la création de valeur est tirée par le besoin des parties prenantes, toute activité ne répondant à aucun besoin et non nécessaire devrait

être éliminée. Par contre, les activités créatrices de valeur nécessitent d'être améliorées pour assurer une meilleure création de valeur pour les différentes parties prenantes.

Ainsi, pour lancer les chantiers d'amélioration continue, nous avons besoin de mettre en place un système de mesure de performance qui servira de tableau de bord pour contrôler et piloter les activités modélisées dans la VSM4PDP au cours du temps et guider les chantiers d'amélioration. La partie suivante sera consacrée à la présentation de notre réflexion à propos de la méthode de structuration des indicateurs de performance dans le PDP.

### 4. Méthode de structuration des indicateurs de performance pour le PDP

#### 4.1 Besoin d'indicateurs de performance

Afin de piloter et améliorer un processus, il est nécessaire de posséder un ensemble cohérent de mesures fiables sur ce processus, qui permet de comprendre les potentiels d'amélioration et donc de choisir les chantiers d'amélioration. Ces mesures sont obtenues grâce à des indicateurs de performance.

Il existe aujourd'hui une grande quantité d'indicateurs de performance pour le PDP, avec des objectifs très différents [Maranzana et al., 2008], [Arena et al., 2009], [Lauras et al., 2010], [Tolonen et al., 2015]. Le problème est alors de pouvoir sélectionner ceux qui assurent une vue cohérente par rapport à nos besoins, voire de proposer de nouveaux indicateurs. Nous avons donc besoin d'une **méthodologie de structuration des indicateurs de performance, adaptée au PDP**.

#### 4.2 Méthodologie de structuration des indicateurs de performance en PDP

La première étape est de définir la performance dans notre contexte. Pour cela, nous nous appuyons sur une vision de gestionnaires, qui considèrent que valeur et coût participent à la même réalité économique [Schmitt & Bayad 2003]. Par conséquent, pour améliorer la performance opérationnelle dans le PDP, nous nous intéressons à améliorer le rapport entre la valeur créée et les coûts générés. Ce raisonnement s'inscrit bien dans la philosophie Lean qui vise à augmenter la productivité (la valeur) tout en réduisant les coûts d'industrialisation [Womack & Jones, 2010].

Dans nos travaux, nous considérons que la valeur créée ne concerne pas uniquement la valeur économique mais elle représente toutes les dimensions de création de valeur dans le PDP que nous avons définies (figure 2.3). Donc, la mesure de cette performance ne sera pas forcément chiffrable (quantifiable) à chaque fois, mais elle permettra de comparer entre la valeur créée et les coûts associés. Avant de proposer les indicateurs de performance, nous devons fixer les objectifs stratégiques sur le premier niveau du VSM4PDP, puis les traduire

## II. Principe 2 : Cartographie de la création de valeur dans le PDP

tactiquement sur un ensemble d'activités du deuxième niveau du VSM4PDP et enfin passer à l'étape opérationnelle qui se fait localement pour chaque activité afin de déduire les indicateurs de performance.

En parlant des coûts générés suite à la création d'une valeur, nous pensons naturellement aux coûts monétaires mais, lors de la réalisation des activités dans le PDP, les coûts ne sont pas liés uniquement aux dépenses d'argent. Au final, nous proposons de prendre en compte les coûts suivants :

- **Le temps de développement** : La notion du temps est très importante dans le PDP car c'est cette composante qui va permettre ou non de respecter les dates contractuelles établies entre le client et l'entreprise dans le cas de la conception à la demande ainsi que dans le cas de réduction du TTM pour pouvoir gagner le marché en premier et défier les concurrents. D'où, l'intérêt de réduire ce temps de développement global, ce qui se traduit par la réduction locale du temps de réalisation des activités, la réduction du nombre d'itérations ainsi que l'organisation de leur réalisation.
- **L'utilisation des compétences** : Les activités du PDP sont majoritairement basées sur les connaissances [Clark et al., 1987], [Morgan & Liker, 2006]. Le concepteur y utilise ses compétences, son savoir-faire, les retours d'expérience et ses connaissances en plus des données d'entrée (des données du cahier des charges, des données reçues lors des interactions). Donc, il serait plus intéressant qu'une personne hautement qualifiée ne passe pas beaucoup de temps à réaliser des tâches routinières ou qui ne sont pas en bonne adéquation avec ses compétences. On peut citer par exemple un expert dans la conception 3D qui passe le tiers de sa journée à saisir des références d'outils et de composants dans une base de données. L'activité est certes nécessaire car elle permet de faciliter le traitement des commandes par le service approvisionnement/achat puis par le service production, mais elle coûte plus cher en termes de compétences utilisées suite à « l'exploitation » d'une source hautement qualifiée dans une activité routinière de saisie d'information. De fait, cet exemple sous-entend aussi une comparaison entre la valeur créée pour le concepteur et les autres dimensions de valeur créée dans le PDP.
- **Les coûts générés par les décisions établies lors du PDP** : Chaque décision prise lors du PDP peut générer des coûts dans les autres services connexes. On peut penser par exemple au choix d'une matière première spécifique (non standard) qui va coûter plus cher pour le service achat et dont le temps d'approvisionnement peut être plus important. Comme autre exemple, le choix d'un design (assemblage des composants) complexe peut générer la multiplication des opérations au niveau du processus de fabrication et potentiellement augmenter la complexité de l'industrialisation du produit. Donc, cette comparaison entre la création de valeur dans le PDP et les coûts

d'industrialisation engendrés permet aussi de comparer avec la création de valeur pour les clients internes d'un point de vu coûts et complexité de mise en place des décisions du PDP.

Pour synthétiser toutes ces dimensions de la performance, nous proposons une matrice 3D (Figure 2.16) :

- les lignes représentent les coûts associés à la création de valeur dans le PDP à savoir le temps de développement, l'utilisation des compétences et les coûts engendrés par les décisions établies lors du PDP ;
- les colonnes représentent la création de valeur dans le PDP pour le client final, interne et le concepteur ;
- la troisième dimension permet de définir les dimensions stratégiques, tactiques et opérationnelles à piloter.

K/J	Création de valeur pour le client final	Création de valeur pour les clients internes	Création de valeur pour les concepteurs	Niveau stratégique	Niveau tactique	Niveau Opérationnel
Temps du développement	Cas 1	Cas 4	Cas 7			
L'utilisation des compétences	Cas 2	Cas 5	Cas 8			
Les coûts engendrés par les décisions établies lors du PDP	Cas 3	Cas 6	Cas 9			

Figure 2.16 : Matrices 3D de la performance du PDP.

Prenons un exemple de notre partenaire industriel pour comprendre la structure de la matrice : le cas 1 (valeur pour le client final et coûts liés au temps de développement). Au niveau stratégique, l'indicateur de performance choisi par Exxelia Technologies est l'indicateur **OTD** (On-Time Delivery) qui mesure le nombre de projets de produits livrés et qui respectent les dates de livraisons contractualisées avec le client final. Cet indicateur est lié au niveau tactique à l'indicateur **Lead-time** qui mesure pour chaque projet l'avancement du projet en cours de réalisation (et donc permet de voir si le projet est en retard ou non). Enfin, au niveau opérationnel et pour chaque activité du projet, l'indicateur **I<sub>1</sub>** (qui sera

### III. Adaptation des autres principes

détaillé dans le chapitre III.2.1) mesure le ratio entre le temps de gaspillage et le temps de réalisation de l'activité, ce qui permet de voir le retard s'accumuler sur la tâche en question.

Ainsi, il est possible de positionner les indicateurs de performance dans une case de cette matrice, de valider la cohérence des indicateurs choisis en fonction des objectifs d'amélioration et des moyens de mesure.

### ***III. Adaptation des autres principes***

Comme nous avons pu le détailler dans l'introduction de cette section, nous n'avons pas modélisé ni proposé une adaptation formelle des trois autres principes du Lean Thinking. Néanmoins, ces trois principes n'ont pas été oubliés dans notre approche et la présente section illustre quelques points que nous avons pu prendre en compte.

#### 1. Principe 3 : Flux continu

Dans nos travaux de recherche nous avons mis l'accent sur l'amélioration des activités routinières dans le PDP. Ce choix est basé d'une part sur le fait que le déroulement et le lead time des activités routinières peuvent être plus aisément estimés. D'autre part, il est plus pertinent de tenter d'améliorer des activités qui vont se répéter dans les projets futurs que sur des activités spécifiques qui ne se répèteront que rarement.

Néanmoins, ces tâches peuvent être analysées et capitalisées, suivant la stratégie choisie par l'entreprise.

#### 2. Principe 4 : Tirer et pousser les flux par le besoin des parties prenantes

Dans le cas du PDP, le besoin peut être tiré par le client (conception à la demande) ou poussé par l'entreprise. De plus, les bénéficiaires de cette création de valeur sont multiples et pas seulement le client final. Donc, chaque activité créatrice de valeur doit prendre en considération toutes les parties prenantes de telle façon à leur créer de la valeur et d'éviter de créer du gaspillage.

#### 3. Principe 5 : Viser la perfection

Le pilotage du PDP via l'outil VSM4PDP et les indicateurs de performance vont permettre de poursuivre les efforts dans une démarche d'amélioration continue de type PDCA (Plan, Do, Check, Act).

#### ***IV. Conclusion***

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre méthodologie d'amélioration du PDP qui se base sur une approche Lean. Nous nous sommes basés sur les cinq principes du Lean pour les adapter à l'environnement complexe du PDP, en mettant l'accent sur les deux premiers principes.

Dans un premier temps, nous avons analysé le processus de création de valeur dans le PDP pour aboutir à la proposition d'un cadre de définition de cette création de valeur. Ce cadre de définition est composé de trois niveaux, dont le niveau stratégique qui représente les dimensions majeures de création de valeur pour chacune des parties prenantes. A ce niveau, les orientations stratégiques de création de valeur spécifiques à chaque stratégie d'entreprise sont sélectionnées pour les piloter ensuite de plus près au niveau tactique et opérationnel.

Ensuite, nous avons proposé l'outil VSM4PDP, adéquat pour cartographier le PDP et visualiser les flux de création de valeur sur trois niveaux. Et pour renforcer le pilotage de l'amélioration de création de valeur dans le PDP, nous avons présenté notre réflexion à propos de la méthodologie de structuration des indicateurs de performance pour mesurer la performance du PDP basée sur la maximisation de la création de valeur.

Cette méthodologie a pu être appliquée dans plusieurs PDP chez notre partenaire industriel Exxelia Technologies, applications que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

## CHAPITRE III : APPLICATION CHEZ EXXELIA TECHNOLOGIES

Comme nous l'avons mentionné précédemment, notre projet de recherche est dans le cadre du dispositif CIFRE en collaboration avec l'entreprise Exxelia Technologies à Chanteloup-en-Brie, qui fait partie du groupe Exxelia.

Ma mission principale était l'analyse des flux d'information dans le Bureau d'Etudes (BE) de l'entreprise dans le cadre de mon sujet de thèse afin de proposer une méthodologie pour améliorer le PDP et pouvoir réduire le temps de développement.

### *I. Présentation du partenaire industriel*

#### 1. Le groupe Exxelia

Le groupe Exxelia est spécialisé dans la conception et la fabrication de solutions électroniques et électromécaniques performantes et innovantes, à fiabilité élevée : condensateurs, filtres mécaniques de précision, capteurs de position, collecteurs tournants et composants magnétique bobinés. Ces solutions sont destinées à différents secteurs : spatial, aéronautique, défense, transport, ferroviaire, médical, énergie, exploration pétrolière, télécommunications, etc.

Le groupe est composé de plusieurs sociétés en France et à l'étranger (Figure 3.1) :

- **Exxelia Technologies (ex EUROFARAD)** : société-mère d'Exxelia Group, elle est spécialisée dans la conception et la fabrication de composants passifs : condensateurs céramiques, films plastiques, mica, filtres, capteurs de position, collecteurs tournants et mécanique de précision ;
- **Exxelia RAF Tabtronics** : est leader de la conception et de la fabrication de transformateurs électromagnétiques, inductances, bobines et ensembles de conversion de puissance ;
- **Exxelia N'Ergy** : est spécialisée dans la conception et la fabrication de composants électromagnétiques passifs spécifiques, en petite et moyenne série ;
- **Exxelia Maroc** : met à la disposition de ses clients une offre de sous-traitance basée sur ses trois domaines de compétences :
  - L'assemblage de composants ou sous-ensembles électroniques complexes,
  - L'assemblage de ces fonctions requérant l'utilisation de technologies pointues,
  - La fabrication de composants magnétiques ;
- **Exxelia Dearborn** : est le leader américain de la fabrication de condensateurs Film qui sont caractérisés par leur stabilité, leur fiabilité et leur pérennité ;

- **Exxelia Tantalum** : est fabricant de condensateurs au tantale et maîtrise les deux technologies principales dans cette famille, à savoir les condensateurs tantale à électrolyte solide (en technologie à fils ou CMS) et les condensateurs à électrolyte gélifiés, qui offrent des gammes de capacité-tension supérieures et une excellente tenue en haute température ;
- **Exxelia Microspire** : conçoit, industrialise et fabrique depuis des composants bobinés : transformateurs et inductances, électroaimants, rotors et stators ;
- **Exxelia Sic Safco** : est un acteur majeur international de la conception et de la fabrication de condensateurs électrolytiques aluminium spécialement conçus pour répondre aux besoins en transfert d'énergie ;
- **Exxelia Temex** : est spécialisée dans la conception, la fabrication d'une large gamme de composants électroniques passifs radiofréquences et hyperfréquences, et condensateurs céramiques ;
- **Exxelia Vietnam** : propose aux clients d'Exxelia Group des solutions Low-Cost pour des marchés aéronautiques, militaires et ferroviaires à forte technicité et à haut niveau de qualité. Exxelia Vietnam est aussi un centre de production pour Exxelia Group. Ce site est actuellement dédié à la fabrication de composants magnétiques bobinés.

L'acquisition de ces PMI est très récente (à partir de 2007), ce qui fait du groupe Exxelia un groupe en pleine phase de croissance et qui est toujours en recherche active d'acquisition de nouvelles sociétés. Le groupe Exxelia vise actuellement à instaurer la politique groupe sur chacune de ses entités, en standardisant les méthodes de travail dans ces différentes sociétés. Néanmoins, la diversité des stratégies, du savoir-faire et des habitudes propres à chaque entreprise, en plus du facteur culturel (entreprises installées en France, aux USA, au Maroc et au Vietnam) rendent cette tâche délicate. D'où l'intérêt d'un travail de fond pour le groupe pour élaborer une méthodologie de standardisation des pratiques afin qu'elles soient facilement applicables aux différentes sociétés du groupe.

## 2. Exxelia Technologies

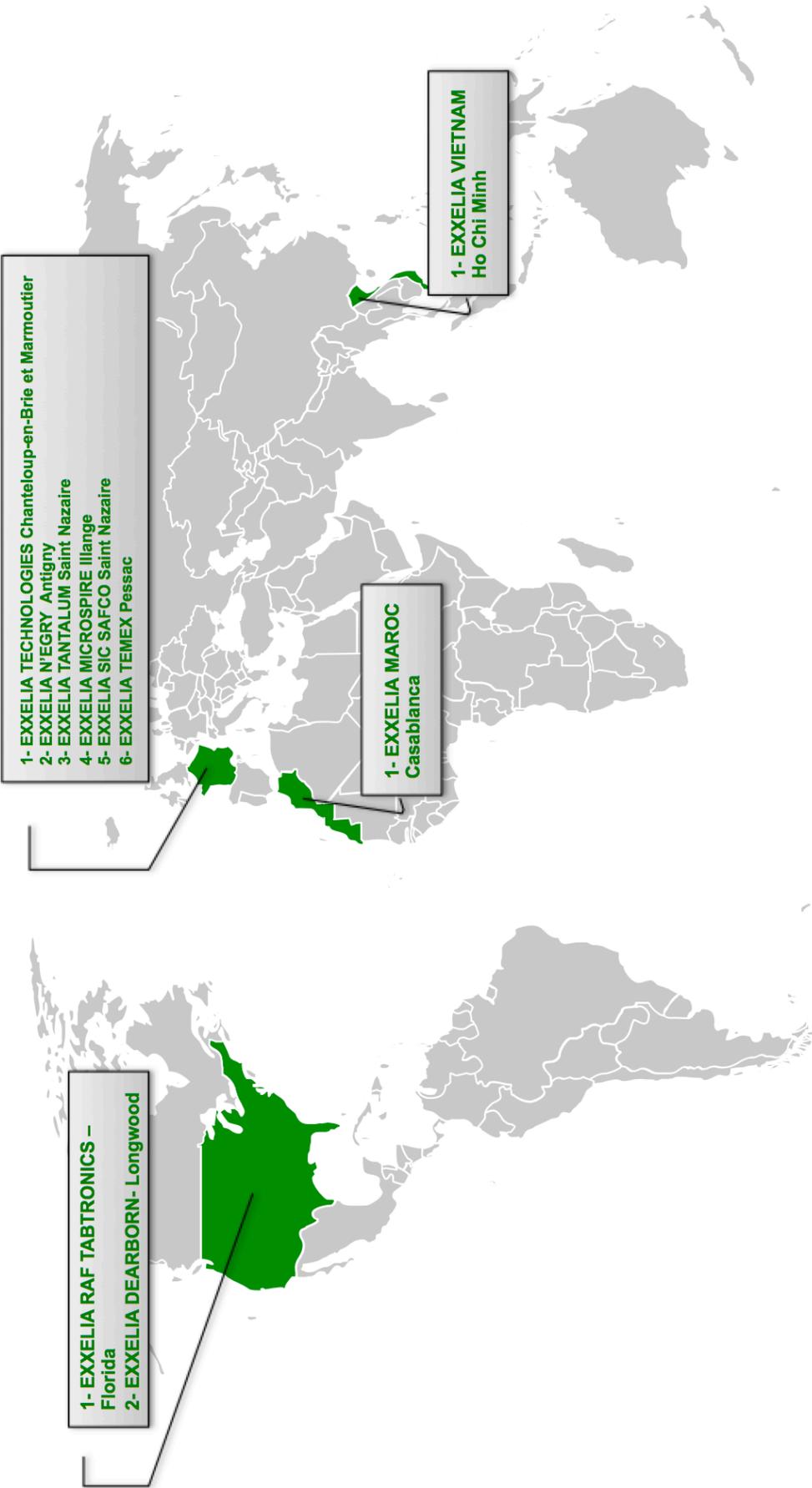
Exxelia Technologies (en tant qu'Eurofarad) a été créée en 1965, suite à la fusion de quatre petites entreprises, devenues aujourd'hui quatre *Business Unit* (BU) :

- **BU Films** : est spécialisé dans la conception des films plastiques et mica ;
- **BU Filtres** : est spécialisé dans la conception des filtres mécaniques ;
- **BU CSA** : est spécialisé dans la conception des collecteurs tournants et mécanique de haute précision ;
- **BU Céramique** : est spécialisée dans la conception des condensateurs céramiques.

I. Présentation du partenaire industriel

Figure  
Les

3.1 :



implantations des sociétés du groupe Exxelia dans le monde.

Elle est une entreprise fortement orientée ETO (*Engineering To Order*), et donc elle traite souvent des projets de développement non récurrents et elle lance des petites séries de production.

De par son histoire, chaque BU continue à travailler presque indépendamment comme c'était le cas avant la fusion, en ayant par exemple sa propre équipe de concepteurs dans le Bureau Etude (BE) et son propre atelier de production au sein de l'entreprise. Lors du déménagement sur le site de Chanteloup-en-Brie en 2008, la direction a proposé une nouvelle organisation d'Exxelia, en rassemblant dans un même *open-space* l'ensemble des concepteurs des BUs d'Exxelia (Figure 3.2). Mais en 2011, le constat était que cette proposition n'avait pas été suffisante, d'où le travail présenté.

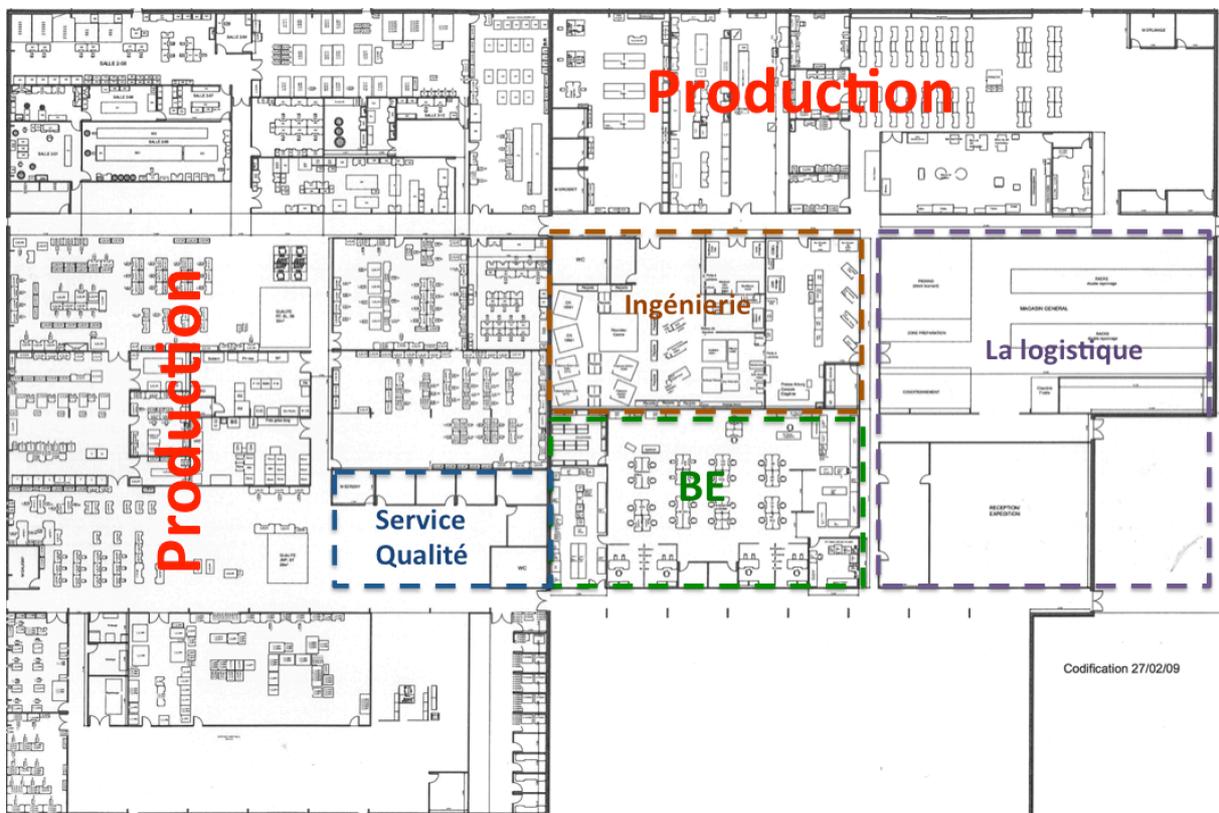


Figure 3.2 : Plan du site d'Exxelia Technologies Chanteloup-en-Brie.

Le déploiement de notre méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean vise donc deux objectifs :

- permettre d'une part de piloter et d'améliorer le processus avec l'objectif de favoriser la création de valeur (choix des dimensions prioritaires et adéquates avec la stratégie de l'entreprise) et la réduction des coûts ;
- permettre d'autre part de s'inspirer des bonnes pratiques et des améliorations réalisées dans chaque BU pour les déployer dans les autres BUs et ainsi viser à standardiser les pratiques dans l'ensemble des BUs.

## I. Présentation du partenaire industriel

### 3. Présentation du Bureau d'Etudes (BE)

Au sein du BE d'Exxelia Technologies, les quatre BUs ne suivent pas le même PDP. Ces différences sont dues d'une part aux différences techniques et aux compétences spécifiques de chaque BU et d'autre part à l'histoire d'Exxelia Technologies. En effet, chaque BU a conservé son PDP historique et c'est uniquement ces dernières années qu'une volonté forte de la direction de l'entreprise essaie d'unifier les BE en un seul service homogène et donc un PDP commun.

Néanmoins, le processus des quatre BUs passe par quatre grandes étapes, de la réception de la demande client jusqu'à la livraison de la commande (Figure 3.3) :

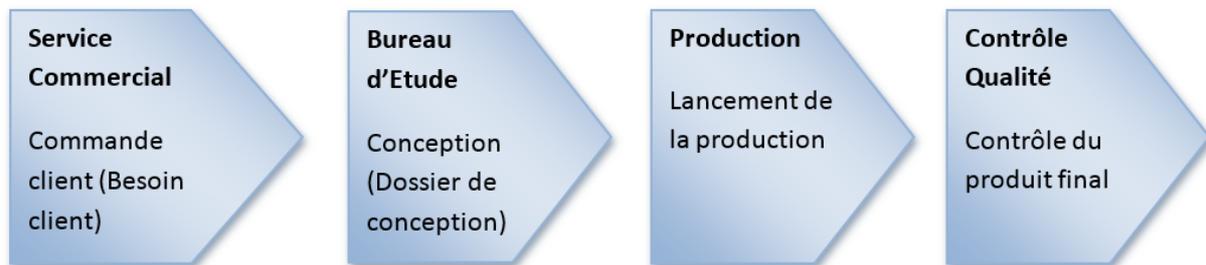


Figure 3.3 : L'acheminement classique d'une commande.

- **Réception de la demande** : La demande des clients externes est reçue par le service commercial, qui est censé être la seule interface entre le client externe et l'environnement interne de l'entreprise et notamment le BE. Et pour plus de polyvalence, des **Responsables Business Development (RBD)** sont intégrés dans chaque BU. Ayant une double compétence technique et commerciale, ils ont pour mission de filtrer les demandes entrantes pour ensuite la transférer aux concepteurs avec des détails plus clairs. Les RBD relient donc les concepteurs et les clients externes dans les deux sens : introduire la demande au BE et solliciter les clients externes pour demander de plus amples informations nécessaires pour la conception. Par contre, quand la commande est faite sur catalogue, elle est directement transférée à la production, sauf dans les cas où il y a des Demandes De Modifications (DDM) de conception en cours liées au produit catalogue demandé,
- **La conception au BE** : Une fois la demande formalisée auprès du BE, les concepteurs commencent par une étude de faisabilité puis établissent une proposition avec devis au client. Si celle-ci est retenue et validée par le client, le dossier d'étude associé change de statut, et on lui attribue un numéro de commande. Puis, les concepteurs continuent le processus de développement en détaillant et mettant en œuvre la solution proposée, tout en anticipant la partie approvisionnement des matières premières, des composants et des outillages nécessaires à la fabrication du produit. Le livrable de cette phase est le dossier de conception qui contient :

- Les nomenclatures,
  - Les plans et la fiches techniques,
  - La SPR (Spécification Particulière de Réalisation),
  - La SPC (Spécification Particulière de Contrôle).
- **La phase de production** : Quand le BE finalise le dossier de conception du produit, il lance une demande de réalisation d'un prototype au niveau de la production, qui va permettre de s'assurer du bon fonctionnement et apporter des modifications au dossier de conception avant de valider la production de la commande. Par contre, quand il s'agit d'une conception basée sur un produit déjà existant, la production est généralement lancée directement sans passer par un prototype,
  - **Contrôle qualité** : Un contrôle qualité est réalisé en cours et en fin de production pour s'assurer du bon fonctionnement, du respect des normes et de l'aspect esthétique du produit.

Le BE traite des projets de différents degrés d'innovation. On y distingue quatre niveaux d'innovation :

- **N1** : Ce niveau concerne les études menées par le BE dans le cadre de la veille technologie,
- **N2** : Ce niveau concerne les études de développement de nouveaux produits spécifiques,
- **N3** : Ce niveau concerne les produits dérivés de produit existants nécessitant des modifications minimales ou importantes,
- **N4** : Ce niveau concerne les études/tâches liées à un besoin de la production ou imposées par les circonstances, sans être liées à la veille technologique.

Malgré la différence du niveau d'innovation des projets, une part importante des activités et sous-activités du PDP sont répétitives, notamment les activités d'ordre administratif ou de formulation des solutions techniques sur des supports.

Dans le cadre de l'application de notre méthodologie d'amélioration du PDP, nous avons privilégiés les projets de développement de produits conçus à la demande, donc de niveau N2 et N3.

#### 4. Synthèse

L'audit réalisé en début des travaux de recherche nous a permis de comprendre l'intégralité du fonctionnement du PDP de Exxelia Technologies, ainsi que les différents flux de matières et d'informations entre le BE et les autres services de l'entreprise. Exxelia Technologies est une PMI qui est en phase de croissance avec une histoire récente très riche, ce qui peut expliquer la présence de dysfonctionnements d'ordre organisationnel dans les

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

processus interne, notamment au niveau du BE et entre le BE et les autres services. Parmi ces dysfonctionnements, on peut citer :

- Le manque de communication entre le service achat et le BE (veille technologique et information sur le marché des matières premières),
- Le manque du contact direct entre le concepteur et le client externe, qui génère des retards dans la réception des informations lors des échanges et parfois la déformation des données échangées,
- Des retards dans la réception des informations nécessaires pour le PDP,
- Le manque d'outil de capitalisation et d'exploitation des documents de projets réalisés,
- Des responsabilités et missions de chacun qui ne sont souvent pas clairement déterminées, ce qui provoque des retards en cherchant qui s'occupe de quoi...

Ces dysfonctionnements génèrent des retards très importants dans les traitements des commandes clients surtout que c'est la phase de conception qui consomme le plus de temps, ce qui engendre pour Exxelia Technologies la nécessité d'une méthodologie de pilotage et d'amélioration du PDP.

La conduite du changement a été au cœur des enjeux lors du déploiement des chantiers d'amélioration du PDP sur le terrain. Pour cela, nous avons commencé par mettre en place des « petits » chantiers d'améliorations en impliquant les employés du BE, comme par exemple :

- La réalisation d'une base de données virtuelle pour capitaliser les dossiers de conception de la BU Filtres et faciliter la recherche par critère ;
- La mise en place du management visuel pour faciliter la recherche des dossiers papier de la BU Filtres.

Ces petites améliorations ont permis d'introduire notre démarche dans le BE et pouvoir par la suite réaliser des chantiers pour valider notre méthodologie.

## ***II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration***

### 1. Les indicateurs de performances dans le BE

#### 1.1 Introduction

Etant orientée ETO, Exxelia Technologies doit assurer la création de valeur pour ses clients en répondant à leurs besoins et en réduisant le temps de développement. Elle doit aussi assurer sa rentabilité, surtout quand il s'agit de longs projets de développement non récurrents et de lancement de petites séries de production. Par conséquent, les indicateurs de performance stratégiques et tactiques se représentent ainsi :

- **Stratégique** : respecter les dates contractuelles (Indicateur : taux de respect des dates contractuelles actuellement de 75%, avec un objectif à 95% sur 3 ans) et augmenter le chiffre d'affaires,
- **Tactique** : réduire le temps de développement des produits (Indicateur : Lead time des projets) et réduire les coûts d'industrialisation,

Au niveau opérationnel, nous avons visé la création de valeur pour le client final tout en réduisant les coûts, ce qui se traduit sur le tableau 3.1 par le choix de se concentrer sur les temps de développement, l'utilisation des compétences et les coûts engendrés par les décisions établies lors du PDP. Ceci a donné lieu à trois indicateurs opérationnels  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  que nous allons présenter plus en détail dans la partie suivante.

Création de Valeur Coûts	Création de valeur pour le client final	Création de valeur pour les clients internes	Création de valeur pour les concepteurs
Temps du développement	Cas 1	Cas 4	Cas 7
L'utilisation des compétences	Cas 2	Cas 5	Cas 8
Les coûts engendrés par les décisions établies lors du PDP	Cas 3	Cas 6	Cas 9

Tableau 3.1 : Les indicateurs opérationnels de performance PDP sélectionnés

## 1.2 Les indicateurs opérationnels

### 1.2.1 Bon du premier coup

En Lean Manufacturing, refaire une opération est considéré comme un gaspillage. Par exemple, si suite à un mauvais assemblage, l'opérateur doit refaire son travail, ceci va entraîner un retard dans la livraison ainsi qu'un coût supplémentaire (temps main d'œuvre).

Or, durant le PDP, le concepteur est souvent confronté à des rectifications ou des changements du design. Cette action est réalisée soit pour améliorer le design (par exemple réduire les coûts de fabrication), soit suite à une donnée erronée (besoin mal exprimé ou mal traduit, manque d'information, etc.). Le premier type permet de créer de la valeur en développant un design plus efficient et économique, et dans le même temps pour le concepteur de potentiellement développer de nouvelles compétences et d'acquérir un nouveau savoir. Pour le deuxième cas, le *rework* est dû à une anomalie qui a perturbé le processus et donc qui a plutôt causé un gaspillage (prolonger le temps de conception, consommation de main d'œuvre, coût de *rework*...) et aucune création de valeur. Donc pour

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

éviter ce gaspillage, il faut assurer un bon environnement de réception de l'information et du déroulement de l'activité (Figure 3.4).

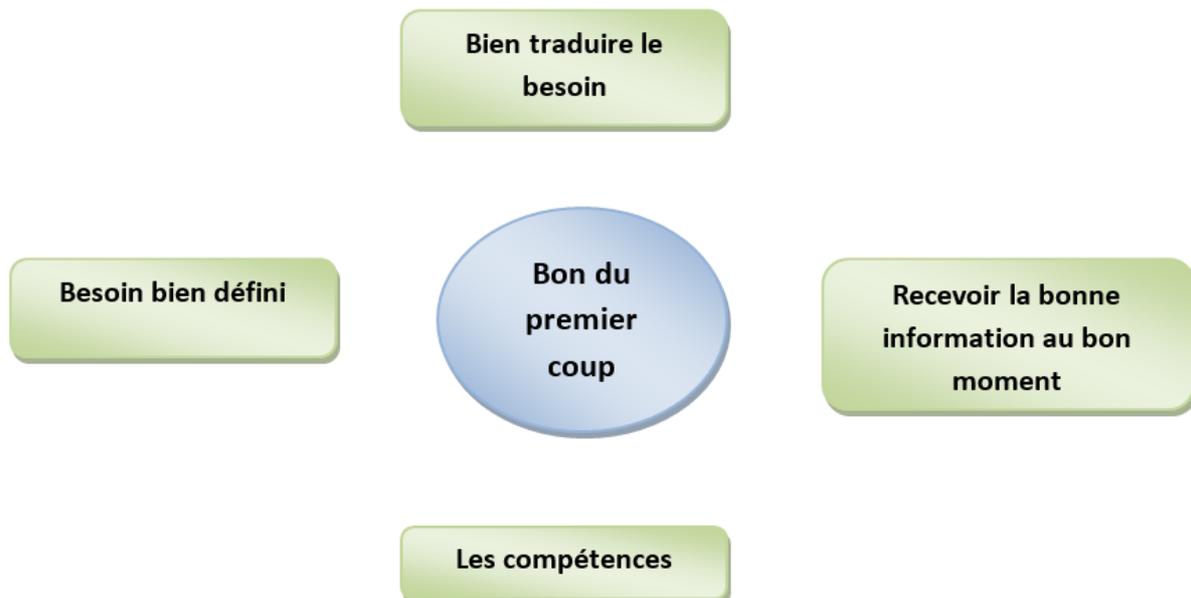


Figure 3.4 : L'environnement nécessaire pour réaliser le bon du premier coup.

Une activité de conception mal réalisée est souvent due à une entrée erronée : soit un besoin mal défini par le client (interne ou externe), ce qui nécessite un bon accompagnement du client lors de la définition du besoin, soit la réception d'une information erronée et/ou en retard. Les anomalies de l'activité de conception peuvent aussi être dues aux causes intrinsèques du poste lui-même, comme des difficultés dans la traduction du besoin client (souvent liées au manque d'expérience), le manque de compétences, de formation ou à l'ergonomie des outils utilisés dans la réalisation de l'activité.

L'analyse de ces anomalies permet de détecter les causes afin d'agir et mettre en place des améliorations pour les réduire, d'où l'intérêt de concevoir des indicateurs. Dans notre cas, le nombre d'itérations entre le concepteur et le client ou le concepteur lui-même dans son poste avant la validation de l'activité donne l'information sur les difficultés rencontrées lors de la réalisation. Donc, l'indicateur  $I_1$ , défini à partir du nombre d'itérations avant validation, est intéressant pour signaler les anomalies et ses sources.

$$I_1 = \frac{\text{Nombre d'itérations avant validation}}{\text{Temps de réalisation}}$$

### 1.2.2 Analyse des interactions (Bonne information reçue au bon moment)

Lors de la réalisation de l'activité, le concepteur est en interaction avec différentes parties prenantes : avec les supports techniques (logiciel, CAO, ERP) pour l'aide à la décision et l'exécution de l'activité, avec les collaborateurs du même service ou d'autres services de

l'entreprise pour solliciter des informations nécessaires (données entrantes) pour la réalisation de l'activité (prise de décision).

Or, chaque retard dans la réception de l'information peut prolonger le délai de l'activité et par conséquent le délai du PDP, vu que les activités sont dépendantes entre elles [Morgan & Liker, 2006]. Si les échanges d'information se font d'une manière souple efficace et sans retard, le PDP n'en sera que plus efficient d'un point de vue réduction du lead time.

Dans ce sens, pour évaluer et analyser ces interactions, nous nous sommes posé les trois questions suivantes qui nous ont amené à définir trois critères d'évaluation de performance :

- La demande d'information (ou la relance) émise par le poste demandeur est-elle nécessaire ou est-il possible de trouver l'information sans demander ? Sans elle, l'acteur pourra-t-il avancer dans son activité ?
  - Notion d'urgence ;
- La réponse à la demande est-elle disponible chez le poste demandé ?
  - Notion de disponibilité ;
- Combien de temps a pris l'acheminement de la réponse ?
  - Notion de temps de réponse.

Nous avons donc conçu l'indicateur  $I_2$  pour évaluer chaque interaction, défini de la manière suivante :

$$I_2 = \frac{(Urgence; Disponibilité)}{Temps de réponse}$$

Le tableau 3.2 illustre l'échelle de valeur que peut prendre chacun des deux indicateurs d'urgence et de disponibilité (l'indicateur temps prenant directement comme valeur le temps pris par l'interaction).

Valeur de l'indicateur	1	2	3
<b>Urgence</b>	L'information n'est pas urgente, elle peut n'être que indicative	L'information est nécessaire mais elle peut être reçue ultérieurement pour compléter l'activité.	Sans cette information, l'activité ne peut se déclencher.
<b>Disponibilité</b>	L'information est disponible chez le poste demandé, il suffit de l'envoyer.	L'information doit être traitée par le poste demandé avant envoi.	L'information n'est pas disponible chez le poste demandé, qui doit la transmettre ailleurs.

Tableau 3.2 : Echelle de valeur des indicateurs Urgence et Disponibilité.

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

En fonction de la disponibilité, l'urgence et le temps achevé pour réceptionner l'information demandée nous pouvons conclure les trois cas résumés dans le tableau 3.3. L'indicateur d'interaction permet donc de visualiser les conditions dans lesquelles la demande d'information et la réception de la demande sont réalisées. Ainsi, il donne l'information sur les dysfonctionnements afin d'apporter des améliorations.

	<b>Urgence 1</b> L'information n'est pas très urgente, donc le concepteur peut réaliser son travail en attendant de l'avoir.	<b>Urgence 2</b> Avec l'information demandée, l'activité sera mieux développée	<b>Urgence 3</b> Sans l'information demandée l'activité ne pourra être réalisée
<b>Disponibilité 1</b> L'information est disponible il suffit de la transmettre à son demandeur	Cette action de transférer l'information ne doit pas prendre beaucoup de temps d'autant plus si la demande est urgente. Si ce n'est pas le cas c'est qu'il y a une contrainte qui bloque le transfert de l'information.		
<b>Disponibilité 2</b> L'information n'est pas disponible au poste demandé mais il a les données pour la concevoir et l'envoyer	Le temps de réception dépendra de la complexité de l'information et de la disponibilité du poste demandé.		
<b>Disponibilité 3</b> L'information n'est pas disponible au poste demandé et il n'a pas les données pour la concevoir	Dans ce cas la contrainte est bien déterminée...		

Tableau 3.3 : Analyse des différents cas

### 1.2.3 La proportion de temps passé sur les activités routinières

Comme cela a été expliqué auparavant, le PDP est constitué de plusieurs activités interdépendantes. Chaque activité a pour but de répondre à un besoin (qui l'a déclenché). Le résultat (ou livrable) de l'activité peut témoigner de la valeur créée par l'activité. Cette valeur peut être perçue par une ou plusieurs parties : le déclencheur de l'activité (client interne, client externe) et/ou l'acteur de l'activité.

Supposant que toutes les activités réalisées par l'acteur apportent de la valeur pour les déclencheurs, cette activité apportera-t-elle automatiquement de la valeur pour son acteur ? Sachant que les concepteurs sont généralement des employés avec des profils hautement qualifiés et dont les activités sont basées principalement sur leurs connaissances pour traduire le besoin client en solutions techniques réalisables, ceci fait d'eux les créateurs principaux de la valeur. En plus des activités techniques basées sur les connaissances et les

compétences du concepteur, ce dernier est aussi amené à réaliser des opérations qui ne lui créent pas de valeur mais qui peuvent plutôt nuire à son rendement et sa créativité. Entrent dans cette catégorie des opérations routinières qui sont deux types :

- celles qui créent de la valeur pour une autre partie prenante (ex : calcul de la résistance à partir des caractéristiques connues). Certes, cette opération est importante pour donner la solution technique pour les clients, mais elle ne crée pas de nouvelles connaissances ou compétences pour l'acteur en question.
- Et celles qui ne créent pas de la valeur mais nécessaires pour le bon déroulement du PDP (ex : un processus de validation).

L'idéal serait de libérer les concepteurs des activités routinières pour qu'ils consacrent plus de temps à des activités plus innovantes et créatrices de nouvelles compétences et connaissances. Par contre, les activités routinières qu'elles soient techniques ou ne relevant pas de leurs compétences ne font que démotiver les concepteurs et par la suite diminuer leur rendement.

Réduire le temps d'exécution des opérations routinières va rendre le PDP plus performant, car les concepteurs vont consacrer plus de temps à des activités qui vont leur permettre de développer et d'acquérir de nouvelles compétences et connaissances et par conséquent augmenter le rendement. En plus, viser l'amélioration des opérations routinières sera rentable car ces opérations vont être répétées dans les autres projets.

Dans ce contexte, nous proposons un indicateur de performance  $I_3$  qui va permettre d'estimer la proportion du temps passé sur les opérations routinières par rapport au temps passé sur tout le projet en fonction de son niveau d'innovation :

$$I_3 = \frac{\text{Temps routinier}}{\text{Temps total}}$$

#### 1.2.4 Synthèse

Les indicateurs que nous avons proposés vont nous permettre de compléter l'utilisation de l'outil de cartographie VSM4PDP, car ils permettent d'analyser et orienter les acteurs vers les opportunités d'améliorations dans le PDP.

Dans les deux applications des chantiers d'amélioration (BU Films et BU Filtres) que nous allons présenter dans la partie suivante, nous avons pu utiliser les deux indicateurs  $I_2$  et  $I_3$ , le troisième indicateur  $I_1$  étant actuellement en déploiement dans le BE

## 2. Application de la méthodologie dans la BU-Films

La BU-Films divise le processus de développement du produit en trois grandes phases (Figure 3.5) :

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

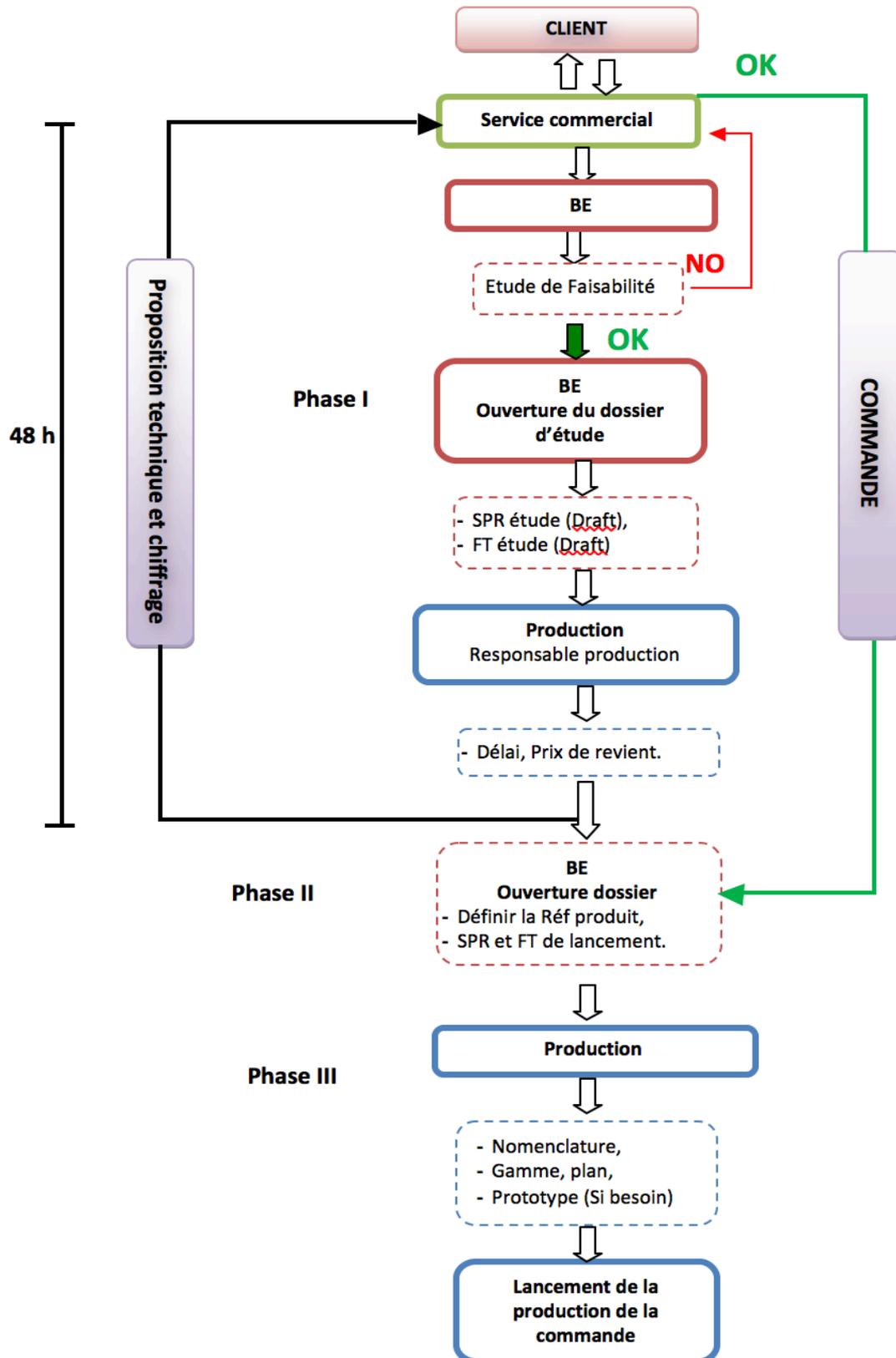


Figure 3.5 : Cartographie du PDP de la BU-Films

- **Phase I - Dossier d'étude** : Réalisation de la SPR et de la FT (Fiche Technique) en mode étude de la faisabilité de la demande client, dans un délai contractuel de 48h,

- **Phase II - Dossier de commande** : Une fois la proposition technique acceptée par le client et après validation de la commande, un numéro de spécification est attribué au dossier pour passer de l'état étude à l'état commande. Ensuite, le processus de développement continue pour apporter des modifications s'il y en a afin de valider la SPR et la FT.
- **Phase III - Nomenclature et gamme** : en lien avec la production.

Après échange avec les concepteurs de la BU-Films, nous avons pu constater que les tâches qui consomment le plus de temps sont :

- Le temps consacré pour l'étude des normes exigées par le client ou la vérification des mises à jour des normes existantes,
- La CAO, par manque de personnel,
- Le flux de validation des FT et SPR (circuit de signature) qui est très long et manque de moyen de suivi et de visualisation,
- La recherche d'information.

Nous avons donc commencé l'application de la méthodologie d'amélioration du PDP que nous avons proposé au processus de développement de la BU-Films en choisissons un projet de développement d'un produit dérivé dont la majorité des activités sont routinières. Mais avant l'application, j'ai introduit la méthodologie en la présentant à l'ensemble de l'équipe. Ensuite j'ai réalisé la cartographie VSM4PDP avec l'ensemble des concepteurs de la BU-Films.

### 2.1 Niveau I de la VSM4PDP

Avec l'ensemble de l'équipe, nous avons réalisé le niveau I de la VSM4PDP en ne cartographiant que les grandes parties du processus, que nous avons piloté par la suite avec les objectifs suivant (Figure 3.6) :

- Maximiser la création de valeur pour le client : réduire le temps de réponse au client,
- Maximiser la création de valeur pour les clients internes : en réduisant les coûts de réalisation

Suite à l'analyse du niveau I de la VSM4PDP sur un projet spécifique, la BU-Films a mis une vingtaine de jours ouvrés pour finaliser le dossier de conception et le transmettre à la production pour réalisation. Par contre, le BU-Films a envoyé une proposition technique au client après quatre jours. Donc, l'objectif de répondre à la demande client dans maximum les 48 heures n'a pas été respecté. Ainsi, notre priorité était d'améliorer la partie « proposition technique » que nous allons analyser plus en détail dans le niveau II de la VSM4PDP.

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

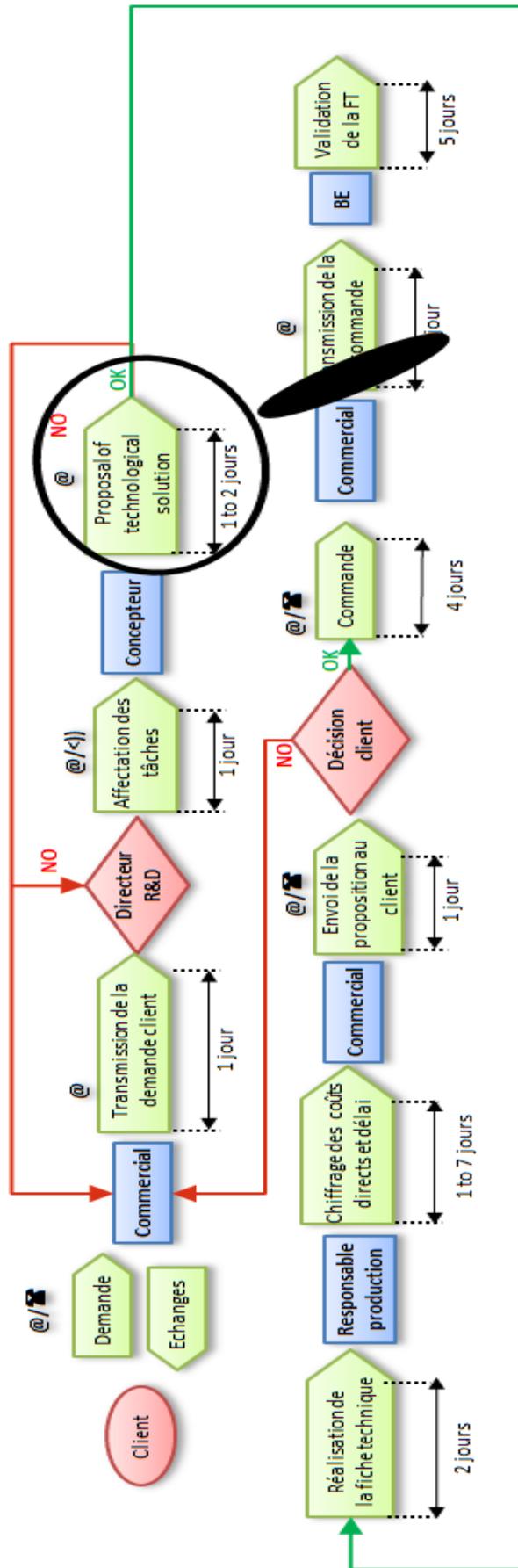


Figure 3.6 : Le niveau I de la VSM4PDP appliqué sur le PDP de la BU FILMS (innovation N2)

## 2.2 Niveau II de la VSM4PDP

Dans ce niveau II de VSM4PDP, nous avons pu détailler l'activité « Proposition de la solution technique », présente au niveau I, qui se décompose en trois sous-activités principales (Figure 3.7) :

- **Analyse des documents et besoin client** : cette activité fait partie du processus d'exécution consistant à rassembler les informations nécessaires pour la définition du besoin client,
- **Choix de matières premières** : une fois le besoin client est défini, l'activité consiste à prendre la décision sur le choix de matières premières à utiliser dans cette application, sachant que les propriétés de la matière première influencent fortement sur les caractéristiques techniques du produit final. A ce stade, le concepteur doit faire un choix qui à la fois permet de répondre aux exigences du client, qui soit adapté à la technologie utilisé en interne et rentable économiquement,
- **Réalisation de la fiche technique (Draft)** : Quand le choix de matière première est effectué, le concepteur établit la fiche technique en mode Draft où il présente la solution technique.

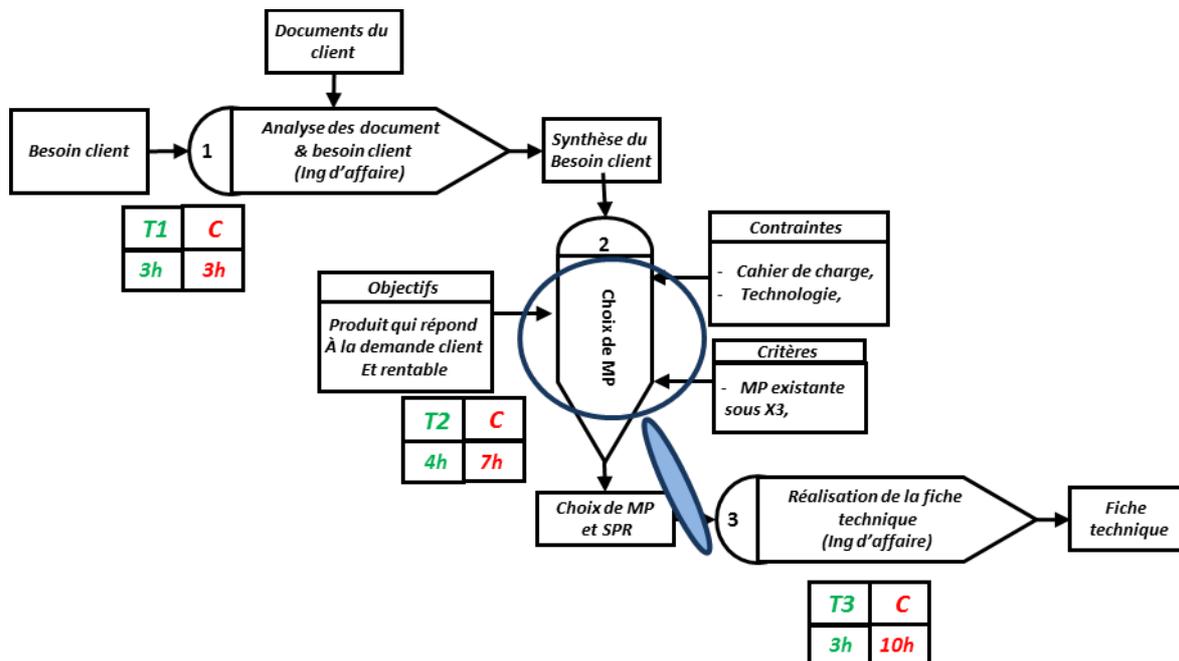


Figure 3.7 : Le niveau II de la VSM4PDP appliqué sur l'activité « Proposition de la solution technique »

En se basant sur l'indicateur du temps de réalisation de chacune des activités ( $T_i$ ), sur celui de cumul de temps (C) et des retours d'expérience des concepteurs, nous avons pu conclure que l'activité « Choix de matière première » était souvent la plus consommatrice du temps de développement. Donc, nous avons besoin de connaître l'environnement de

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

réalisation de cette activité, notamment les interactions du concepteur avec les outils et les autres postes. D'où, la réalisation du niveau III du VSM4PDP.

### 2.3 Niveau III de la VSM4PDP

A ce niveau, nous avons pu représenter les différentes interactions que le concepteur effectue pour avoir les informations nécessaires à la réalisation de l'activité « Choix de matière première » (Figure 3.8).

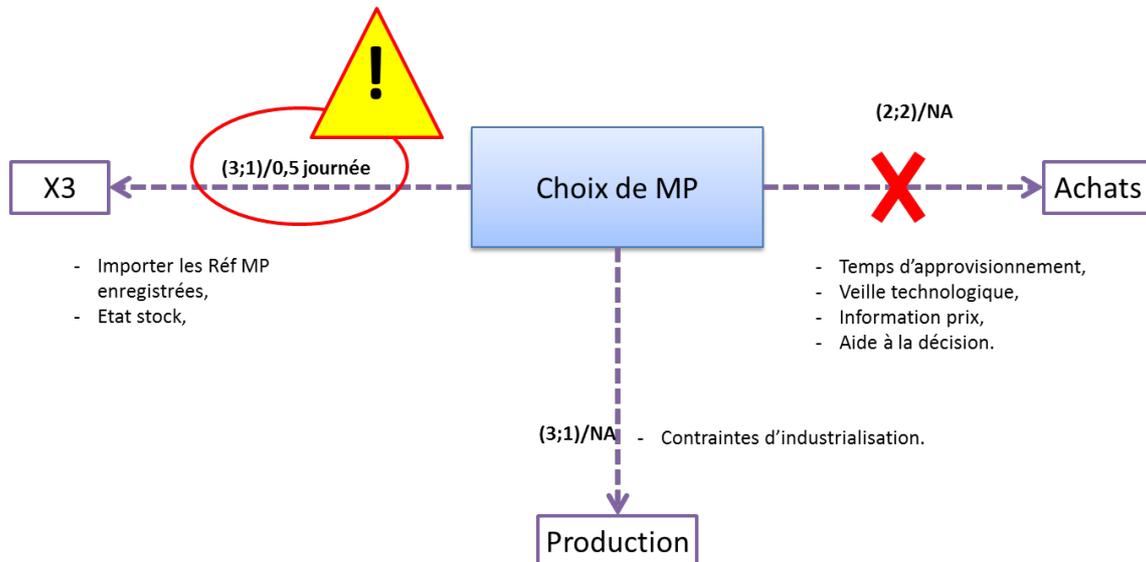


Figure 3.8 : Le niveau III de la VSM4PDP appliqué sur le l'activité de « Choix de MP »

Ces interactions sont :

- **Avec la production** : Le concepteur échange souvent avec le service production par téléphone et il a les réponses instantanément,
- **Avec le service achats** : Le concepteur a exprimé son besoin d'informations nécessaires en terme de veille technologique sur le marché des matières premières pour l'aider à prendre des décisions fiables afin d'éviter de retravailler cette activité si le service achat n'arrive pas à trouver la matière première validée par le BE. Mais actuellement, il n'y a pas d'échange entre le BE et le service achat, vu que ce dernier était en phase de réorganisation.
- **Avec le système d'information X3 (ERP)** : Qui englobe toutes les informations sur les stocks de matières premières, produits semi-finis et produit finis. Ainsi, le concepteur utilise cette base de données pour chercher les matières premières existantes dans les stocks ou qui ont déjà été utilisées dans le passé. Cette action est routinière car le choix de matière première est présent dans tous les projets de commande client, d'où l'utilisation régulière de X3. L'indicateur  $I_3$  des interactions (Urgence ; Disponibilité/ Temps) montre bien que la demande « Recherche des références de matières premières

enregistrées et leur état de stocks » est urgente (U=3) pour faire le choix de matières premières et que cette information est disponible sur X3 (D=1) (il suffit de l'extraire). Or, le concepteur passe jusqu'à une demi-journée pour trouver l'information. Cette sous-activité est nécessaire mais elle ne crée pas de valeur pour le concepteur car elle ne fait pas partie des tâches techniques qui créent de nouvelles connaissances. D'où l'intérêt de réduire son temps d'exécution afin que le concepteur se consacre sur d'autres activités plus importantes en terme de créativité et d'innovation. Cette réduction de temps pourra par la suite contribuer aussi dans la réduction du temps de réponse à la demande client.

Suite à la détection de cette anomalie, nous avons initié un chantier d'amélioration pour trouver la source de ce dysfonctionnement et l'améliorer. Et après observation de la sous-activité de recherche des références de matières premières sur l'outil X3, il s'est avéré que le concepteur cherche les matières premières en se basant sur des caractéristiques techniques calculées à partir du cahier des charges client (longueur, épaisseur, technologie souhaitée, etc.). Normalement ces caractéristiques sont mentionnées dans la nomenclature de chaque matière première dans X3 sous cette forme :

<u>XXXX</u>	<u>XX</u>	<u>XX</u>	<u>XX</u>	<u>XX</u>	<u>XX</u>	<u>XXX</u>	<u>X</u>	<u>XXX</u>	<u>XXXX</u>	<u>XXXXX</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Avec :

1. Le type de matière (en lettres)
2. L'épaisseur de la MP (en chiffres)
3. Longueur de la MP (en chiffres)
4. Largeur de la marge latérale de la MP (En chiffres)
5. Largeur de la marge centrale de la MP (En chiffres)
6. Largeur utile de la MP (En chiffres)
7. La résistance (Lettres et chiffres)
8. Nombre de séries (En chiffre)
9. Le diamètre de la MP (en chiffres)
10. Les spécificités de la MP (Lettres et chiffres)
11. Les observations (Lettres et chiffres)

Ce constat nous a emmené à formuler les observations suivantes :

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

- **Un manque d'ergonomie de l'outil informatique** : la nomenclature de la référence matière première très longue est condensée d'information, surtout que X3 permet de faire le tri que par type de MP et non par caractéristique ;
- **Des références mal renseignées et non homogènes** : les nomenclatures des références de matières premières sont effectuées manuellement. Donc, les fautes de frappe sont fortement présentes, en plus du non-respect de l'ordre de l'emplacement des caractéristiques dans la nomenclature ;
- **Perte de temps énorme dans la recherche et augmentation des stocks du magasin lors de la recréation des références** : cette base de données est alimentée continuellement et compte aujourd'hui plus de 3000 référence de matière première, ce qui explique le temps fastidieux que passe le concepteur à parcourir les centaines de références par type pour chercher celle qui convient. Mais face à un tel nombre de références le concepteur peut passer devant la bonne référence de MP sans l'apercevoir et ainsi la recréer et augmenter par la suite le stock de matières premières.

Face à ce dysfonctionnement, nous avons mis en place une solution qui permet de régler le problème à la source, en créant un configurateur qui contient des champs à renseigner sur les différentes caractéristiques de la matière première et créer automatiquement la référence. Ensuite, la recherche peut être réalisée directement sur X3 en renseignant les caractéristiques recherchées ou en exportant sous Excel et utiliser les capacités de cet outil (filtre, etc.). De plus, ce configurateur permet d'alerter l'utilisateur lors de la création d'une référence déjà existante.

Ainsi, l'utilisation de ce configurateur permet aujourd'hui aux concepteurs de réaliser leurs recherches en moins de 10 minutes au lieu d'une demi-journée auparavant.

### 2.4 Synthèse

A travers la cartographie du PDP de la BU-Films, nous avons pu visualiser les flux générés lors de ce processus et certaines dimensions de création de valeur correspondants aux choix liés à la stratégie de l'entreprise : la création de valeur pour le client final (réduction du délai, qualité, prix) et la réduction des coûts de réalisation de la solution technique nous ont permis de piloter les améliorations dans ce chantier.

Ainsi, au niveau I, nous avons détecté avec les équipes que l'activité « Proposition de la solution technique » dont le livrable est destiné au client final (création de valeur pour le client final) n'a pas respecté le Lead time maximal de 48 heures (Dimension de création de valeur = délai). Pour cela, cette activité a été sélectionnée pour étudier plus en détail ses sous-activités dans le niveau II de la VSM4PDP.

Au niveau II, grâce à l'indicateur du temps de réalisation de chaque sous-activité, sa nature (exécution ou prise de décision) et la discussion avec les concepteurs qui apportent leurs retours d'expériences, nous avons pu cerner que la sous-activité « Choix de matière première » est créatrice de valeur pour le client final (Dimension : qualité) mais consomme le plus de temps et est récurrente dans presque tous les projets de développement de la BU-Films.

Enfin, au niveau III, après avoir étudié les différentes interactions du concepteur avec les autres postes et outils lors de la réalisation de cette sous-activité et à l'aide de l'indicateur  $I_3$  d'interactions, nous avons pu détecter la cause principale du retard et proposer par la suite une solution. Cette solution a permis de réduire le temps de réalisation de la tâche.

### 3. Application de la méthodologie dans la BU-Filtres

Le processus de conception et de fabrication des filtres passe en général par les trois mêmes grandes étapes que les autres BU de BE. Toutefois, il existe des différences en phase de conception par rapport aux autres BU (Figure 3.9). La phase de conception des filtres consiste à développer deux parties : une partie électrique pour répondre au besoin fonctionnel du client et une partie mécanique pour concevoir le boîtier qui va contenir le filtre. Ces deux parties sont souvent conçues en parallèle. Suite à ce genre de projets, les contraintes qui peuvent allonger le délai du PDP sont :

- Les risques de modification de matière première après les tests,
- Les temps de réponse des fournisseurs (vu que les MP et/ou l'outillage sont spécifiques),
- La modification des caractéristiques au cours du PDP et après le contrôle du 1<sup>er</sup> fabriqué.

Dans le but de piloter le PDP au niveau de la BU-Filtres pour maximiser la création de valeur pour le client final (réduire le délai de réponse) et les clients internes (réduire les coûts de réalisation), nous avons appliqué notre méthodologie d'amélioration du PDP au processus de conception de la BU-Filtres sur un projet de niveau d'innovation N2. Dans ce projet de développement, le client a confié à la BU-Filtres un produit M qu'il utilisait mais qui ne convient plus actuellement à ses applications. Donc, l'objectif de la BU-Filtres est de se baser sur ce produit M, la définition du besoin client et l'analyse de l'environnement d'utilisation pour pouvoir concevoir un nouveau produit M'.

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

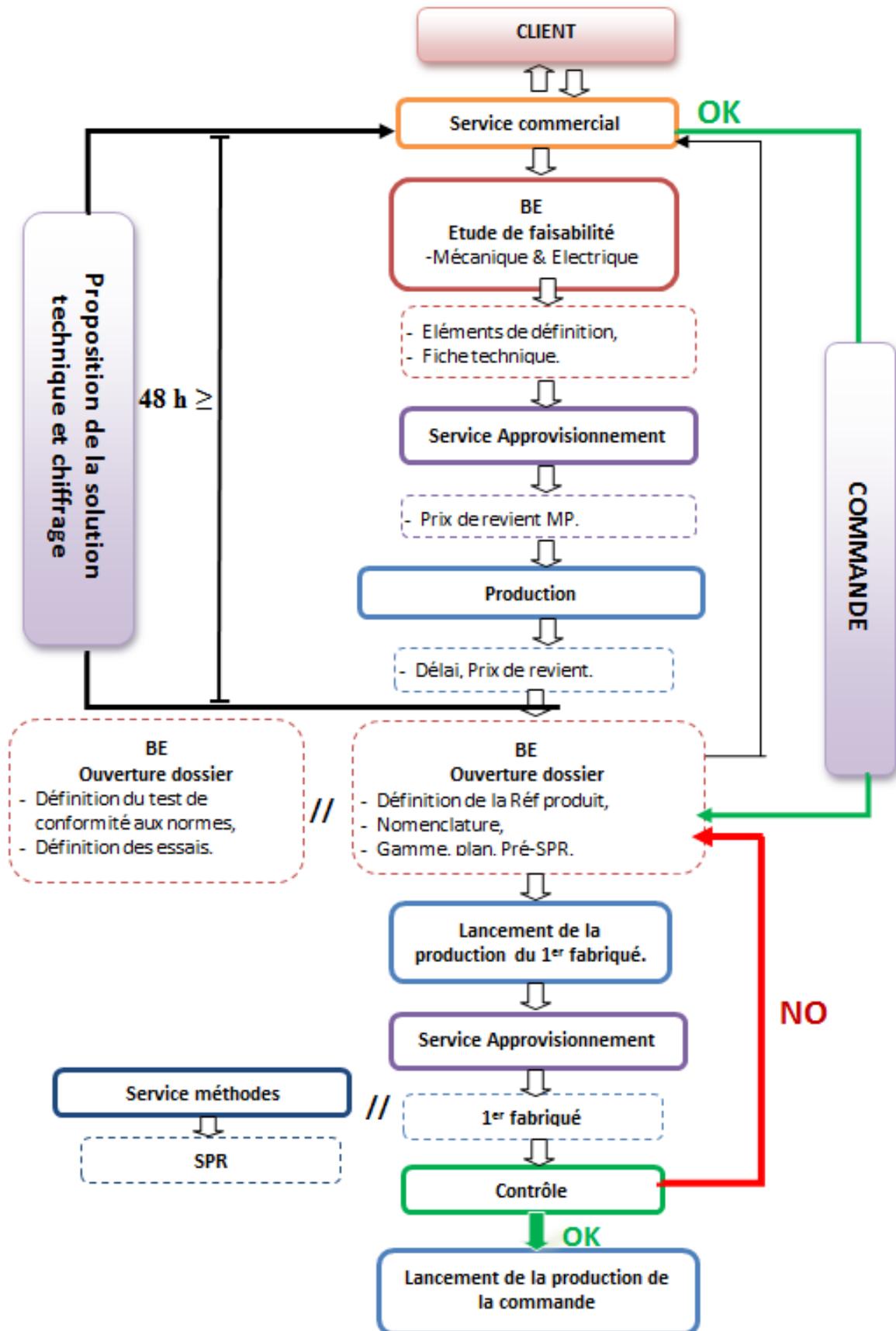


Figure 3.9 : Cartographie du PDP de la BU-Filtres

La première étape consiste à étudier les documents envoyés par le client, connaître l'environnement dans lequel le produit sera utilisé et la fonction attendue par le produit dans l'application du client. Cette phase consiste à faire une étude de faisabilité et répondre au client dans les meilleurs délais (48 heures). Si le client valide la proposition technique et le devis, la commande est lancée et le BE continue le développement de M' en réalisant deux prototypes pour les tester en interne (P1 = test de vibration et P2 = test en température) puis chez le client, avant de valider définitivement la conception et lancer la commande du client.

Ce projet spécifique de niveau d'innovation N2 est très enrichissant en termes de nouvelles connaissances mais aussi consommateur d'un temps de développement important (Début du PDP le 02/06/2014 et fin du PDP le 26/11/2014). Néanmoins, le BE doit envoyer une proposition au client dans un meilleur délai (i.e. inférieur à 48 heures) pour pouvoir gagner la commande et continuer le processus de développement.

### 3.1 Niveau I de la VSM4PDP

En réalisant le Niveau I de la VSM4PDP sur ce projet (Figure 3.10), nous avons remarqué des retards sur certaines activités (« envoi de la proposition du cadre général de la solution technique et chiffrage », « test de qualification de température pour le P2 ») ainsi que de nombreuses itérations, suites aux demandes de changement venant du client ou suite à la détection d'un oubli.

Mais la priorité est d'envoyer la proposition du cadre général de la solution technique et le chiffrage dans les meilleurs délais au client. Pour cela, nous avons mis l'accent sur l'activité « Pré-étude/ Faisabilité », durant laquelle le concepteur réalise une étude de faisabilité. Ainsi, cette activité a pris 19,5 jours de réalisation, et le client a donc reçu une réponse presque un mois après sa demande. Ce temps de traitement est très long et on peut craindre que le client ait une réponse plus rapide de la part d'un concurrent et qu'Exxelia Technologies perde la commande.

Cette activité sera donc étudiée plus en détail dans le niveau II de la VSM4PDP pour diminuer ces risques.



### 3.2 Niveau II de la VSM4PDP

Au niveau II de la VSM4PDP, nous remarquons que l'activité « Pré-étude/Faisabilité » se décompose en trois sous-activités (Figure 3.11) :

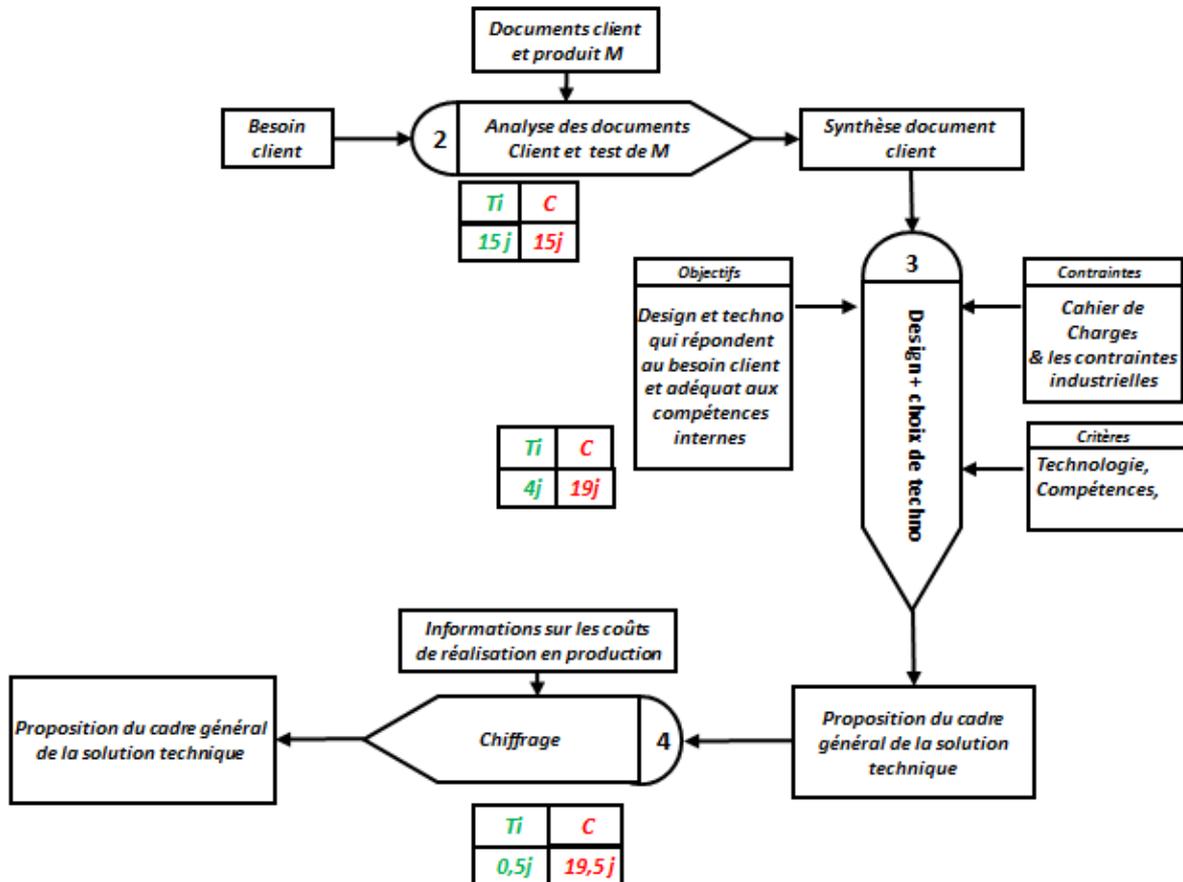


Figure 3.11 : Niveau II de la VSM4PDP pour la BU-Filtres.

- **Analyse des documents du client et test** : Cette phase consiste à étudier les documents fournis par le client, définir l'environnement dans lequel sera utilisé le produit demandé, chercher des informations sur des supports internes et sur internet, puis réaliser des tests sur le produit M fourni par le client. La synthèse de cette sous-activité permet par la suite au concepteur de proposer le design et la technologie du produit qui va répondre au besoin client. Donc, cette sous-activité est nécessaire pour que le concepteur puisse cerner le besoin client et elle est créatrice de valeur pour le concepteur (dimension = connaissances) ;
- **Design et choix de technologie** : En se basant sur la synthèse de l'analyse des documents client, sur les compétences internes d'Exxelia Technologies et sur les coûts de réalisation, le concepteur propose le cadre général de la solution technique. Cette sous-activité est créatrice de valeur pour le client final (dimension = qualité), le concepteur (dimension = connaissances) et les clients internes (dimension = coûts de réalisation, faisabilité) ;

## II. Mise en œuvre de la méthodologie d'amélioration

- **Chiffrage** : cette sous-activité consiste à chiffrer le coût de réalisation de la solution technique. Elle est donc créatrice de valeur pour le client final (dimension = prix).

L'indicateur de temps de réalisation des sous-activités à ce niveau montre que la première sous-activité prend le plus de temps (15 jours), ce qui nécessite une analyse approfondie en passant au niveau III de la VSM4PDP et étudier les différentes interactions entre le concepteur et les différents supports.

### 3.3 Niveau III de la VSM4PDP

Avant de commencer la recherche de la solution technique, le concepteur analyse la demande client en se référant aux documents reçus et en testant le produit M. À ce stade, nous remarquons qu'il y a des interactions établies avec le service commercial et l'outil internet pour demander des informations complémentaires (Figure 3.12). Néanmoins, les retours du service commercial sont tardifs et des fois sans réponse et ceci est dû à :

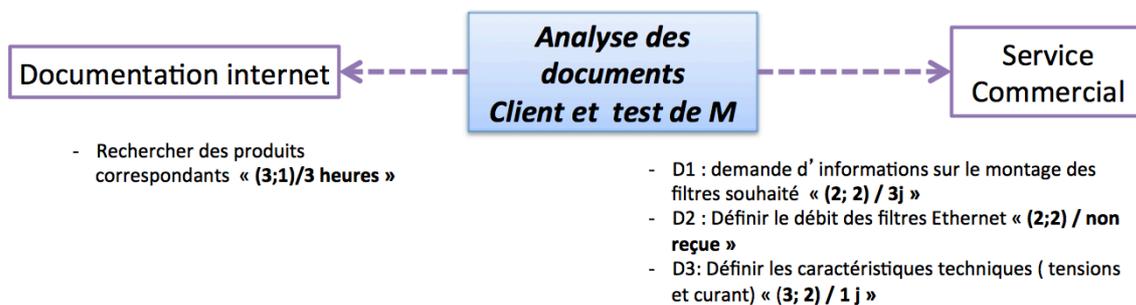


Figure 3.12: Niveau III de la VSM4PDP pour la BU-Filtres.

- La charge de travail du service commercial ne permet pas de répondre aux demandes de BE dans les meilleurs délais
  - il faut donc revoir la charge de travail du service commercial ;
- Le manque de contact direct entre le concepteur et le client final allonge le temps de réponse aux demandes de compléments d'information et parfois à la déformation de la demande
  - On peut envisager un contact direct entre le concepteur et le client.

### 3.4 Indicateur I<sub>2</sub> sur les opérations routinières

Nous avons remarqué lors de notre cartographie du PDP que le concepteur est souvent en retard sur les activités spécifiques et qui demandent le plus de compétences, car le concepteur ne peut pas estimer précisément leur temps de déroulement à l'avance. Pour remédier à cela, nous visons la réduction du temps des activités récurrentes et qui sont le plus souvent consommatrices de temps afin que le concepteur alloue assez de temps pour les activités demandant plus de compétences et d'innovation.

Sur cette BU, nous avons appliqué l'indicateur  $I_2$  de proportion de temps passé sur les activités routinières par rapport au temps total de développement du projet. Le tableau 3.4 représente les différentes activités réalisées par un des concepteurs de la BU-Filtres et l'estimation de temps effectif (sans compter les temps d'attentes de réception des informations) de leur réalisation durant tout le projet.

Le calcul de l'indicateur  $I_3$  donne le résultat suivant :

$$I_3 = \frac{\text{Temps routinier}}{\text{Temps total}} = \frac{52 \text{ h}}{103 \text{ h}} \cong 50\%$$

Donc le temps passé sur les activités routinières et qui ne créent pas de valeur pour le concepteur représente la moitié du temps global du projet. Ce pourcentage n'est pas négligeable, ce qui oriente le lancement des chantiers d'amélioration continue pour réaliser ces activités en moins de temps. Ainsi, le concepteur consacra ce temps gagné pour avancer sur les activités créatrices de connaissances et demandant plus d'innovation.

### 3.5 Synthèse

La cartographie du PDP de la BU-Filtres pour ce projet aéronautique de niveau d'innovation N2 nous a permis de détecter un retard pour envoyer la proposition du cadre général de la solution technique et le chiffrage au client. Ceci est le livrable de l'activité « Pré-étude/faisabilité) qui est créatrice de valeur pour le client final (dimension = délai) et aussi pour le concepteur (dimension = connaissances) et les clients internes (dimension = coûts). Donc, nous avons sélectionné cette activité pour l'améliorer en cherchant la source du retard.

Après réalisation du niveau II de la VSM4PDP, il s'est avéré que la sous-activité « Analyse des documents client et test du produit M » consomme énormément de temps. Cette activité ne crée pas de valeur directe pour le client final mais elle permet au concepteur de bien comprendre et cerner le besoin client et donc se créer de la valeur (dimension = connaissances).

Par conséquent, le niveau III de la VSM4PDP nous a permis d'étudier les différentes interactions avec les supports que le concepteur sollicite pour acquérir les informations complémentaires et nécessaires à son analyse. Et grâce à l'indicateur d'interactions nous avons pu détecter que les réponses du service commercial sont tardives et souvent la demande du concepteur ne reçoit pas de réponses.

Nous avons aussi déterminé que le temps de déroulement des activités routinières n'apportant pas de valeur pour le concepteur représente la moitié du temps alloué à tout le projet, d'où l'intérêt de réaliser des améliorations continues sur ces activités.

### III. Conclusion

<i>Activité</i>	<i>Routine</i>	<i>Création de valeur pour le concepteur</i>	<i>Temps de réalisation</i>
Essai sur le produit M fourni par le client	Non	Oui	25h
Rédaction du rapport d'essai	Oui	Oui	2h
Mise à jour du cahier des charges	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	4h
Réalisation des schémas des composants déjà définis	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	6h
Réalisation du prototype en production (réalisé par le concepteur)	Non	Non	18h
Réalisation de la fiche technique en Draft	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	4h
Réalisation de la fiche technique indice A	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	3h
Création de documents pour la fabrication	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	25h
Modification de la SPR suite à modification	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	4h
Test de qualification température et vibration	Non	Oui	6h
Rédaction du rapport de test de qualification température et vibration	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	6h
<b>Temps total de développement</b>			<b>103h</b>
<b>Temps total d'activités routinières non créatrices de valeur pour le concepteur</b>			<b>52h</b>

Tableau 3.4 : Temps passé sur les activités du projet aéronautique de la BU-Filtres

### III. Conclusion

L'application de la VSM4PDP pour les BU-Films et BU-Filtres nous a permis de valider l'utilisation de la cartographie VSM4PDP sur les trois niveaux, ce qui a permis de prendre en considération l'ensemble des critères de cartographie du PDP (tableau 3.5) et la plupart des dimensions de la valeur (Figure 3.13).

L'outil	Orienté processus	Prise de décision	Flux virtuels	Interaction	Mesure du temps	Représentation Multi-niveau	Itérations	Représentation graphique standard
VSM4PDP	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 3.5 : Validation des critères de cartographie du PDP par l'outil VSM4PDP.

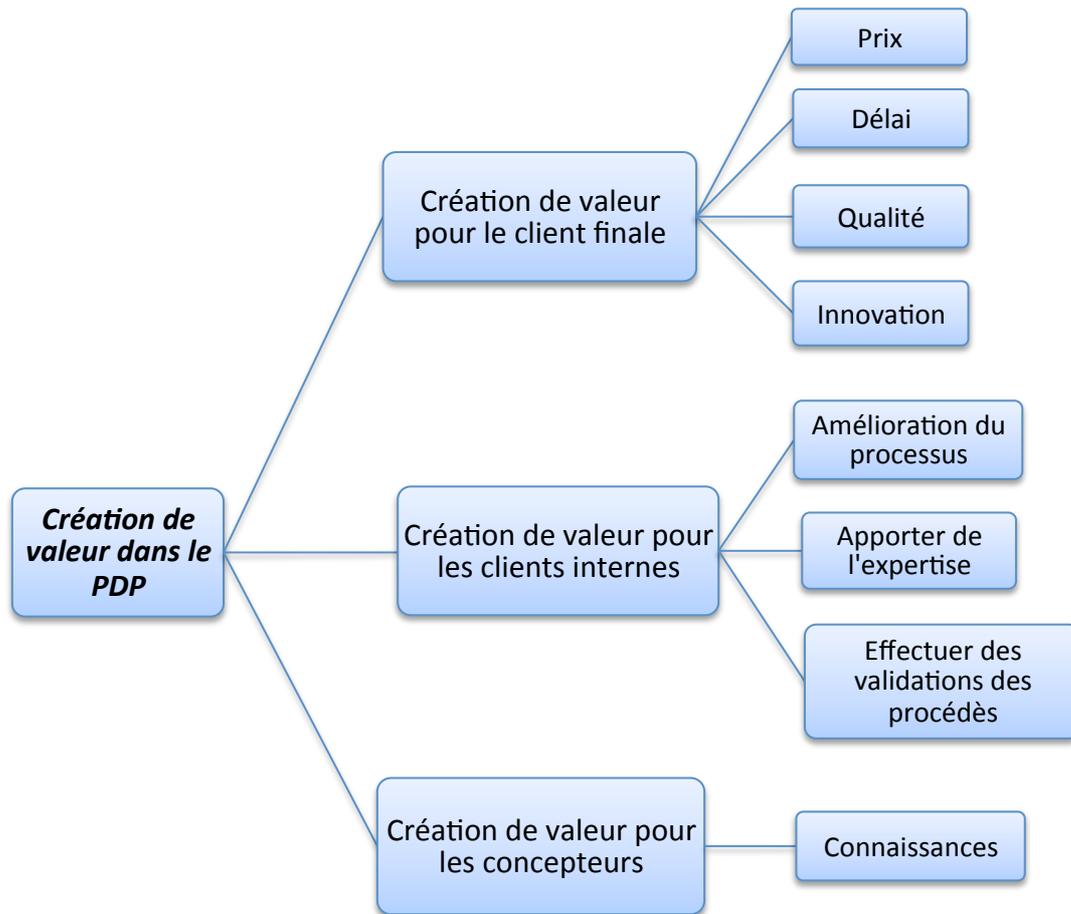


Figure 3.13: Les dimensions de création de valeur validées dans nos travaux

La cartographie des PDP au sein du BE d'Exxelia Technologies a permis de visualiser la création de valeur pour :

- **Le client final** :
  - la dimension prix est présente lors de la réalisation de la sous-activité chiffrage ;
  - la dimension délai est présente dans le lead time des activités ;
  - la dimension qualité du produit est présente dans la validation de la commande par le client suite à la proposition du BE ce qui atteste la satisfaction du client ;
  - la dimension innovation du produit demandé est défini dès la réception de la demande (attribution de l'indice d'innovation : N2 ou N3) et le client en est bien conscient ;
- **Les clients internes** : les dimensions associées ont été traités de manière indirecte sur les exemples décrits dans ce travail. Par exemple, la création du configurateur de nomenclatures MP a créé de la valeur pour les services production et achats de type amélioration du processus ;

### III. Conclusion

- **Les concepteurs** : même si l'accent était sur la valeur pour le client final, la dimension connaissances a été transverse à la majorité des chantiers d'amélioration mis en place. Ainsi, nous avons pu détecter des sous-activités qui ne créent pas de valeur pour le concepteur mais importante pour le processus (e.g. Chercher les nomenclatures de MP sur X3 pour la BU-Films), que nous avons amélioré pour les réaliser dans un temps plus réduit.

La mise en place de notre méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean sur les deux PDP de niveau d'innovation N2 et N3 nous a permis de valider notre outil de cartographie VSM4PDP. Cet outil de cartographie a pu représenter le PDP tout en prenant en compte ses spécificités. Puis les trois niveaux de la VSM4PDP ont bien justifié la nécessité d'un tel outil multi-niveau pour passer de la détection de l'activité à améliorer à partir du niveau le plus général (niveau I) pour la décomposer en sous-activités dans le niveau II et ensuite sélectionner la sous-activité qui mérite d'être améliorée en analysant son environnement grâce au diagramme d'interactions (niveau III).

Le pilotage de ces améliorations est basé sur la création de valeur, en déterminant les dimensions de valeur à améliorer. Ainsi nous avons pu détecter dans la cartographie la majorité des dimensions de valeur définies dans le cadre de définition de valeur proposé.

Enfin, les indicateurs de performance nous ont aidés à analyser la cartographie de la création de valeur dans le PDP dans le but de la maximiser tout en réduisant les coûts de réalisation.



## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le Processus de Développement de Produit (PDP) est une phase pleine d'enjeux stratégiques, où les concepteurs reçoivent les besoins client (ou du marché) pour les traduire en solutions techniques industrialisables. Ces solutions techniques doivent être en bonne adéquation avec la stratégie de l'entreprise d'un côté et avec les ressources et capacités internes de l'entreprise (technologie, compétence, etc.) d'un autre côté. Donc, le PDP est la phase de prises de décisions majeures sur le choix de technologies, matières premières, procédés de fabrication et de contrôle, etc. Ainsi, toute décision mal prise ou en retard au niveau du PDP peut avoir des conséquences sur le fonctionnement des autres services connexes et notamment en production. D'où l'intérêt de veiller sur le bon déroulement du PDP.

Plusieurs méthodes de maîtrise du PDP ont été développées [Tomiya et al., 2009]. Ces méthodes permettent de maîtriser le processus de résolution des problèmes pour proposer des solutions techniques optimales. Par contre, le PDP manque de méthodologie d'amélioration qui permet de piloter l'application de ces méthodes de maîtrise au moment opportun et de gérer les contraintes organisationnelles associées (retards, informations erronées, problèmes de communications, itérations, etc.).

Dans notre travail de recherche, nous nous sommes inspirés de la démarche Lean Manufacturing qui depuis des années, continue à prouver son efficacité dans l'amélioration des systèmes de production. Cette démarche a pour but de se concentrer sur la chaîne de valeur ajoutée dans le processus de production et éliminer toutes les sources de non-valeur ajoutée (gaspillage). Les progrès industriels atteints grâce à cette méthodologie peuvent être encore plus considérables si les améliorations continues commencent dès la phase amont qui est le PDP.

Par définition, le PDP est un enchaînement d'activités interdépendantes et majoritairement basées sur les connaissances qui nécessite d'être amélioré pour plus d'efficacité. Néanmoins, la complexité de ce processus qui réside dans ses flux virtuels, les multiples interactions transverses avec les différents services de l'entreprise, les prises de décisions dans un environnement incertain et les projets de développement de longue durée

et non récurrents rendent l'application brute de la démarche Lean dans le PDP un exercice délicat.

Conscients de la complexité du PDP, nous avons commencé par étudier les spécificités de ce processus pour lui adapter la démarche Lean et ainsi proposer une méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean. Nos contributions scientifiques consistent à adapter les deux premiers principes du Lean à l'environnement complexe du PDP à savoir :

- **La définition de la notion de valeur** : Avant de commencer les chantiers d'amélioration dans le PDP, ceux-ci doivent être pilotés par la notion de valeur. Nos recherches bibliographiques [Clark et al., 1987], [Tomiya & Yoshikawa 1987], [Morgan & Liker, 2006], [Yang et al., 2008], [Hall et al., 2009] décrites dans la section I.1 ainsi que nos observations sur le terrain industriel décrites dans la section I.3 nous ont permis d'introduire la notion de création de valeur dans le PDP en analogie avec la notion de valeur ajoutée dans le processus de production. Nous avons donc proposé un cadre de définition de la création de valeur dans le PDP qui se caractérise par son aspect multidimensionnel (à travers la prise en compte de toutes les parties prenantes du PDP) et dynamique dans le temps, pour s'adapter à la stratégie de l'entreprise.
- **La cartographie de la valeur** : Pour visualiser le processus de création de valeur dans le PDP, nous avons proposé l'outil de cartographie VSM4PDP qui prend en considération les spécificités du processus. Cet outil permet de cartographier le PDP en partant du niveau le plus stratégique (niveau I) pour donner une vue globale sur le processus étudié. Ce niveau permet d'orienter les améliorations vers les étapes les plus intéressantes, en se basant sur les dimensions de création de valeur choisies selon la stratégie de l'entreprise. Ensuite, l'étape choisie du niveau I (ou les étapes) est détaillée dans le niveau II de la cartographie pour la décomposer en sous-activités et distinguer entre celles d'exécution et de prise de décision. En se basant sur l'indicateur de temps de réalisation de chaque sous-activité et sur l'expertise des concepteurs qui participent au chantier d'amélioration, nous sélectionnons la sous-activité (ou les sous-activités) qui nécessite d'être améliorée en étudiant les différentes interactions survenues lors de sa réalisation. Cette analyse des interactions au niveau III de la cartographie permet de déterminer les causes de dysfonctionnement. Enfin, et partant de l'hypothèse que la performance du PDP se mesure par le rapport création de valeur et coûts générés nous avons proposé une démarche de structuration des indicateurs de performance. Ces indicateurs seront complémentaires à l'outil VSM4PDP pour mener à bien le pilotage et le contrôle de la chaîne de création de valeur dans le PDP.

Notre méthodologie proposée intitulée **Méthodologie d'amélioration du PDP basée sur l'approche Lean** a pu être appliquée sur le terrain chez notre partenaire industriel Exxelia Technologies. Et ainsi, nous avons pu valider à la fois le cadre de définition de la valeur et l'outil de cartographie, et initier des chantiers d'amélioration sur l'ensemble du périmètre de l'entreprise et en partenariat avec les acteurs du PDP.

La gestion du changement a été au cœur du déploiement industriel de notre méthodologie car la mise en place et le suivi sont réalisés sur un processus basé sur les connaissances et actionné par l'humain. De plus, le PDP a souvent été considéré comme le lieu de liberté pour les concepteurs pour innover et créer. Notre méthodologie, en portant un œil critique sur les pratiques des concepteurs dans le but de les améliorer, peut paraître du premier abord intrusive et limitatrice à la créativité du concepteur. D'où l'importance de bien introduire la méthodologie et impliquer au plus tôt l'ensemble des acteurs du PDP, pour expliquer que son but est de maximiser la création de valeur et notamment libérer le concepteur des activités récurrentes ne lui créant pas de connaissances pour se consacrer plus sur les activités d'innovation et de créativité. Enfin, pour gagner la motivation des employés du PDP il faut absolument que la méthodologie soit soutenue par la direction de l'entreprise, impliquer les employés lors du déploiement et commencer par des petites améliorations qui prouvent l'intérêt de telle méthodologie.

Notre contribution scientifique et industrielle nous a permis de proposer les perspectives de recherche suivantes :

- **Comment identifier et modifier le référentiel de valeur** : Dans notre proposition, nous avons mentionné que le cadre de définition de création de valeur dans le PDP est dynamique et que les orientations stratégiques de chaque entreprise vont orienter le choix de dimensions de création de valeur qui vont piloter par la suite les améliorations continues dans le PDP. Or, nous avons pu actuellement appliquer et valider notre méthodologie que chez un seul industriel. Il est donc important de l'appliquer chez différents secteurs industriels ayant des stratégies distinctes et faire évoluer notre méthodologie ;
- **Structuration d'une « boîte à outil d'améliorations » pour l'environnement PDP** : Il existe un grand nombre d'outils d'amélioration des processus, qu'ils viennent du Lean ou des travaux de recherche sur le PDP. Le nombre et la diversité de ces outils posent la

question du choix de l'outil en fonction du contexte. Ce problème est assez peu traité dans la littérature, que ce soit dans le Lean et le PDP. On peut évoquer la maison du TPS (Figure C.1) qui essaie de proposer une structure des outils Lean, mais sans réel fondement scientifique et uniquement orientée production. Nous proposons donc de continuer nos travaux de recherche par la structuration des outils d'améliorations du PDP en lien avec notre définition de la valeur, les orientations stratégiques de l'entreprise et les réalités du terrain d'application ;

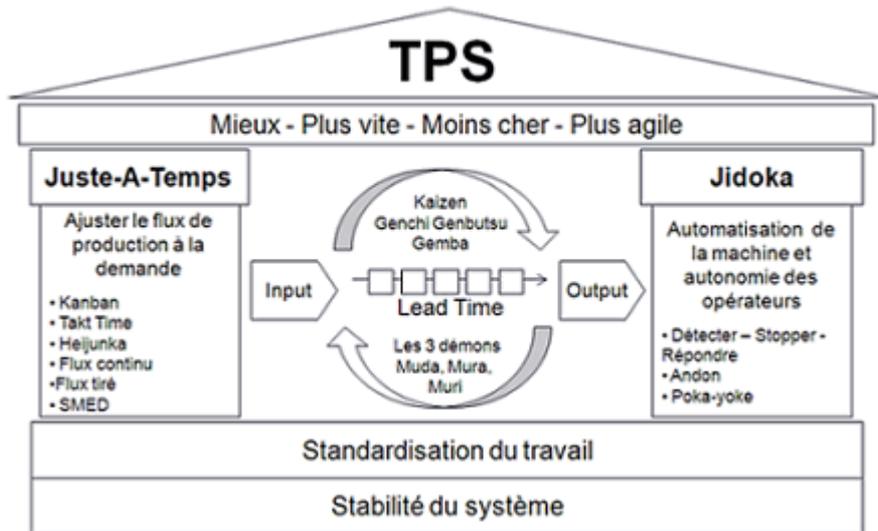


Figure C.1 : La maison TPS

- **Intégrer la cartographie des projets du PDP dans un système d'information :** Durant l'application de notre cartographie VSM4PDP dans le PDP, nous étions confrontés à la contraintes du suivie des opérations et à leur estimation de temps de réalisation, ce qui nécessitait beaucoup de patience et de rigueur. Pour cela, nous proposons l'idée d'intégrer la traçabilité des activités et les interactions survenues lors des projets du PDP dans le système d'information de l'entreprise, pour faciliter le traitement des informations et l'estimation de temps nécessaire pour la réalisation de la VSM4PDP et son analyse ;
- **Outil d'aide à la décision pour le choix des améliorations :** par l'introduction de cette méthodologie, nous introduisons une complexité supplémentaire à la mise en œuvre de la stratégie d'une entreprise par l'ajout d'informations supplémentaires sur la performance de l'entreprise. Un support à la prise de décision est intéressant dans ce cadre, et il serait donc d'analyser les outils d'aide à la décision multicritères pour assister l'analyse des cartographies et le déploiement des chantiers.

## **ANNEXE 1 : INTERVIEW PRESENTATION ON EXPECTED VALUE FROM THE PDP**

### ***Manufacturing***

- Provide efficient and complete documents on manufacturing specifications
- Perform activities that provide information for the manufacturers, with the aim of reducing costs and lead time
- Find solutions to technical problems
- Give technical training to production staff
- Evolve the design of future products by taking into account the constraints of manufacturing
- Ensure reactivity
- Anticipate informing manufacturers about specific means of control to prepare ahead

### ***Product Development***

- Develop a product that meets the customer's needs and the present and future requirements of the market
- Develop new products
- Translate customer needs to serve manufacturers
- Convert customer needs into technical solutions
- Note that differentiating factors that may be an asset in competition (product, processes, financial, policy, standards, logistics, etc.)

### ***Commercial***

- Adapt the standard product to the customer needs
- Refer to the customers to define their needs
- Gain experience and expertise through new development projects
- Provide technical solutions to industrialization problems
- Meet with production to validate the technical solution proposed by designers
- Create a functional production unit: implement functional dimensions on CAD
- Technical test: calculation, measurements, prototypes, etc.
- Draw up technical documents
- Undertake field trips for product adaptation
- Provide support for manufacturing workstations

### ***Purchasing***

- Technically validate the selection of items

- Collaborate with the PDP to choose the optimal raw materials and tools

***Quality***

- Comply with ISO quality standards and standards specified by the customer
- Ensure the traceability of the project
- Find ways to improve non-conforming products

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdulmalek F.A., Rajgopal J., 2007. **Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study.** International Journal of Production Economics, 107(1), pp. 223-236.
- AFIS - Association Française de l'Ingénierie Système, 2011. **Ingénierie Système**, <https://www.afis.fr/nm-is/Pages/Ing%C3%A9nierie%20Syst%C3%A8me/Ing%C3%A9nierie%20Syst%C3%A8me.aspx> (accessible en Avril 2016)
- AFNOR, 2000. **Value management.** NF EN 12973:2000-06.
- Aguilar-Saven R. S., 2004. **Business process modelling: Review and framework.** International Journal of Production Economics, 90(2), pp. 129-149.
- Anderson J.C., Gerbing D.W., 1988. **Structural equation modeling in practice: a review and recommended two-step approach.** Psychological Bulletin, 103(3), pp. 411-423.
- Arena M., Duque Ciceri N., Terzi S., Bengo I., Azzone G., Garetti M., 2009. **A state-of-the-art of industrial sustainability: definitions, tools and metrics.** International Journal of Product Lifecycle Management, 4 (1-3), pp. 207–251.
- Arnold J.R.T., Chapman S.N., Clive L.M., 2012. **Introduction to Materials Management.** ed. Pearson, Seventh edition.
- Atuahene-Gima K., 1996. **Market orientation and innovation.** Journal of Business Research, 35(2), pp. 93 – 103.
- Baines T., Lightfoot H., Williams G.M., Greenough R., 2006. **State-of the-art in lean design engineering: a literature review on white collar lean.** Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B: Journal of Engineering Manufacture, 220(9), pp. 1539-1547.
- Bauch C., 2014. **Lean Product Development: Making Waste Transparent.** Diploma Thesis, LAI and Technical University of Munich.
- Bluntzer J. B., Sagot J. C., Mahdjoud M., 2009. **Knowledge Based Enginerring Approach Through CAD Systems: Result of two years of experimentation in an industrial design office.** Proceedings of CIRP Design conference, Cranfield (UK).

- Brown D.C., Chandrasekaran B., 1985. **Expert systems for a class of mechanical design activity**. In: Knowledge Engineering in computer-aided design, J.S. Gero (Ed.), North Holland, pp. 259-282.
- Browning T.R., 2003. **On customer value and improvement in product development process**. Systems Engineering, 6(1), pp. 49–61.
- Browning T.R., Deyst J.J., Eppinger S.D., Whitney D.E., 2002. **Adding value in Product Development process by Creating Information and reducing Risk**. IEEE Transactions on Engineering Management, 49(4), pp. 443-458.
- Browning T.R., Honour E.C., 2008. **Measuring the life-cycle value of enduring systems**. Systems Engineering, 11(3), pp. 187-202.
- Chen D., Doumeingts G., 1996. **The GRAI-GIM reference model, architecture and methodology**. In : Architectures for Enterprise Integration, pp. 102-126, Springer US.
- Cheutet V., 2012. **Contribution à la continuité des flux d'informations et de connaissances dans le lien conception-production**. Habilitation à Diriger des Recherches, UT Compiègne.
- Chinosi M., Trombetta A., 2012. **BPMN: An introduction to the standard**. Computer Standards & Interfaces, 34(1), pp. 124-134.
- Clark K.B., Chew W.B., Fujimoto T., 1987. **Product Development in the World Auto Industry**. Brookings Papers on Economic Activity, No. 3, Brookings Institution Press.
- Costa Affonso R., Cheutet V., 2011. **Lean Product Development: analyse et confrontation aux méthodes de conception**. Proceedings of CIGI conference, Montreal (Canada).
- Coyne R.D., Rosenman M.A., Radford A.D., 1990. **Knowledge-Based Design Systems**. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Cusumano M.A., 1985. **The Japanese automobile industry: technology and management at Nissan and Toyota**. Harvard East Asian Monographs, 122, Harvard University Press, Boston, MA.
- Deng Z., Lu Y., Wei K.K., Zhang J., 2010. **Understanding customer satisfaction and loyalty: An empirical study of mobile instant messages in China**. International Journal of Information Management, 30(4), pp. 289-300.
- Dodds W.B., Monroe K.B., 1985. **The effect of brand and price information on subjective product evaluations**. Advances in consumer research, 12(1), pp. 85-90.

## Références bibliographiques

- Donovan J., Tully R., Wortman B., 1998. **The Value Enterprise: Strategies for Building a Value-Based Organization**. McGraw-Hill.
- El Gamoussi S., Costa Affonso R., Cheutet V., Lelievre A., 2014. **Mapping the product development process for dysfunction identification**. Proceedings of International Design Conference, Dubrovnik (Croatie).
- Elhamdi M., 2005. **Modélisation et simulation de chaînes de valeurs en entreprise - Une approche dynamique des systèmes et aide à la décision : SimulValor**. Doctorat de l'Ecole Centrale Paris.
- Evers J.H., Oehler G.M., Tucker M.G., 1998. **Improving engineering productivity: a time study of an engineer's typical work day**. Proceedings of IEMC'98, pp. 377-383, San Juan (USA).
- Fujimoto T., 1999. **The evolution of a manufacturing system at Toyota**. Oxford University Press, Oxford.
- Gale B.T., 2010. **Managing Customer Value: Creating Quality and Service That Customers Can See**. Free Press, New York.
- Gautam N., Singh N., 2008. **Lean Product Development: Maximizing the customer perceived value through design change (redesign)**. International Journal of Production Economics, 114(1), pp. 313-332.
- Gero J.S., 1990. **Design Prototypes: A knowledge representation schema for design**. AI Magazine, 11(4), pp. 26-36.
- Graebisch M., Seering W.P., Lindemann U., 2007. **Assessing Information Waste in Lean Product Development**. Proceedings of 16<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design (ICED 07), Paris (France).
- Gudem M., Steinert M., Welo T., Leifer L.J., 2011. **Customer value is not a number—investigating the value concept in lean Product Development**. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design (ICED 11), Copenhagen (Denmark).
- Hall A., Lamouri S., Costa Affonso R., 2009. **Lean Product Development Theory**. Proceedings of International Conference on Software, Knowledge and Information Management and Application (SKIMA 2009), Fes (Morocco).
- Hartley J.R., 1992. **Concurrent Engineering**. Productivity Press, Portland.
- Higgins R.C., 2011. **Analysis For Financial Management**. McGraw-Hill Education, 10<sup>th</sup> edition.

- Holweg M., 2007. **The genealogy of lean production**. Journal of Operations Management, 25(2), pp. 420–437.
- Howell G., Ballard G., 1997. **Lean Production Theory: Moving Beyond 'Can-Do'**. Lean construction, pp. 17-23.
- Karlsson C., Ahlström P., 1996. **The difficult path to Lean Product Development**. Journal of Product Innovation Management, 13, pp. 283-295.
- Krishnan V., Ulrich K.T., 2001. **Product development decisions: A review of the literature**. Management science, 47(1):1-21, 2001.
- Lauras M., Marques G., Gourc D., 2010. **Towards a multi-dimensional project performance measurement system**. Decision Support Systems, 48(2), pp. 342-353.
- Lemieux A.A., Lamouri S., Pellerin R., Simon L., 2012. **A Lean-based analysis framework oriented towards the upstream supply chain for the luxury industry**. Supply Chain Forum: An International Journal, 13(4), pp. 14-24.
- Louis-Sidney L., Cheutet V., Lamouri S., Puron O., Mezza A., 2012. **A conceptual model for the implementation of IKOES (an Inter-Knowledge Objects Exchange System) in automotive industry**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 5(5), pp. 1090-1101.
- Magretta J., 2013. **Understanding Michael Porter: the essential guide to competition and strategy**. Harvard Business Press.
- Malak R.J. Jr, Aughenbaugh J.M., Paredis C.J.J., 2009. **Multi-attribute utility analysis in set-based conceptual design**. Computer-Aided Design, 41(3), pp. 214-227.
- Maranzana N., Dubois S., Gartiser N., Caillaud E., 2008. **Proposal of a system of indicators to measure performance of problem solving process in design**. Proceedings of International Design Conference-DESIGN 2008.
- Marques G., Gourc D., Lauras M., 2011. **Multi-criteria performance analysis for decision making in project management**. International Journal of Project Management, 29(8), pp. 1057-1069.
- Martinet A.C., 1996. **Préface**. In: Les stratégies de coopération industrielle, Aliouat B., Economica, Paris (France).
- Mo J.P.T., 2009. **The role of lean in the application of information technology to manufacturing**. Computers in Industry, 60(4), pp.266-276.

## Références bibliographiques

- Monroe K.B., Chapman J.D., 1987. **Framing effects on buyers' subjective product evaluations**. *Advances in consumer research*, 14(1), pp. 193-197.
- Morgan J.M., 2002. **High performance product development: a systems approach to a lean product development process**. University of Michigan.
- Morgan J., Liker J.K., 2006. **The Toyota Product Development System: Integrating People, Process, and technology**. Productivity Press.
- Navran F., 1992. **Your role in shaping ethics**. *Executive Excellence*, 9, pp. 11–13.
- NIST (National Institute of Standards and Technology), 1993. **Integration DEfinition for Function modeling (IDEF0)**.
- Oehmen J., Rebentisch E., 2010. **Waste in Lean Product Development**. Lean Advancement Initiative.
- Ohno T., 1988. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Productivity Press.
- OMG (Object Management Group), 2010. **Business Process Model and Notation (BPMN)**. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/Beta2/> [accessed July 2015].
- Penrose E.T., 1959. **The Theory of the Growth of the Firm**. John Wiley, New York (USA).
- Perrin J., 2001. **Analyse de la valeur et valeur économique des biens et services**. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 20(2), pp. 9-20.
- Pessôa M.V.P., Seering W., Rebentisch E., Bauch C., 2009. **Understanding the Waste Net: A Method for Waste Elimination Prioritization in Product Development**. In: *Global Perspective for Competitive Enterprise, Economy and Ecology*, Ed. Shuo-Yan Chou, Amy Trappey, Jerzy Pokojski and Shana Smith, Springer London.
- Pinto J.K., Slevin D.P., 1988. **Project success: definitions and measurement techniques**. Project Management Institute.
- Roche C., Pomian J., 2003. **Connaissance capitale management des connaissances**. Editions L'Harmattan.
- Rother M., Shook, J., 1998. **Learning to See**. The Lean Enterprise Institute, Brookline, MA.
- Rouse W.B., Boff K.R., 2001. **Strategies for value: Quality, productivity, and innovation in R&D/technology organizations**. *Systems engineering*, 4(2), pp. 87-106.

- Schmitt C., Bayad M., 2003. **L'importance de la conception dans la détermination de la valeur : entre vision stratégique et traduction.** Proceedings of 12<sup>ième</sup> Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique, Tunis (Tunisie).
- Schomberger R.J., 1982. **Japanese manufacturing techniques: nine hidden lessons in simplicity.** Macmillan.
- Schönsleben P., 2012. **Methods and tools that support a fast and efficient design-to-order process for parameterized product families.** CIRP Annals-Manufacturing Technology, 61(6), pp. 179–182.
- Singh R.K., Kumar S., Choudhury A.K., Tiwari M.K., 2006. **Lean tool selection in a die casting unit: a fuzzy-based decision support heuristic.** International Journal of Production Research, 44(7), pp. 1399-1429.
- Siyam G.I., Wynn D.C., Clarkson P.J., 2015. **Review of Value and lean in Complex Product Development.** System Engineering, 18(2), pp. 192-207.
- Skarka W., 2007. **Application of MOKA Methodology in Generative Model Creation Using CATIA.** Engineering Applications of Artificial Intelligence, 20(5), pp. 677-690.
- Slack R.A., 1999. **The lean value principle in military aerospace product development.** The Lean Aerospace Initiative, Report Series PR99-01-16.
- Sobek, D.K., Ward, A.C., Liker, J.K., 1999. **Toyota's principles of set-based concurrent engineering.** Sloan Management Review, 40(2), pp. 67–83.
- Sweeney J.C., Soutar G.N., 2001. **Consumer perceived value: The development of a multiple item scale.** Journal of retailing, 77(2), pp. 203-220.
- de Terssac G., 1996. **Le travail de coopération : de quoi parle-t-on ?.** In : de Terssac G., Friedberg E., Coopération et conception, Octores Editions, p. 1-22.
- Tolonen A., Shahmarichatghieh M., Harkonen J., Haapasalo H., 2015. **Product portfolio management – Targets and key performance indicators for product portfolio renewal over life cycle.** International Journal of Production Economics, 170(B), pp. 468-477.
- Tomiyaama T., Yoshikawa H., 1987. **Extended General Design Theory.** In: Yoshikawa H, Warman E.A., eds. Design Theory for CAD. North-Holland, Amsterdam, pp. 95–130.
- Tomiyaama T., Gu P., Jin Y., Lutters D., Kind C., Kimura F., 2009. **Design methodologies: Industrial and educational applications.** CIRP Annals-Manufacturing Technology, 58(2), pp. 543–565.

## Références bibliographiques

- Ulrich K.T., Eppinger S.D., 2015. **Product Design and Development**. McGraw-Hill Education, 6<sup>th</sup> edition.
- Vaccaro A., Parente R., Veloso F.M., 2010. **Knowledge Management Tools, Inter-Organizational Relationships, Innovation and Firm Performance**. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7), pp. 1076-1089.
- Walton M., 1999. **Strategies for lean product development**. Working paper, Lean Aerospace Initiative.
- Womack J.P., Jones D.T., Roos D., 1990. **The machine that changed the world**. Simon and Schuster.
- Womack J.P., Jones D.T., 2010. **Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation**. Simon and Schuster.
- Wu B., 2012. **Manufacturing systems design and analysis**. Springer Science & Business Media.
- Yang W.Z., Xie S.Q., Ai Q.S., Zhou Z.D., 2008. **Recent development on product modeling: a review**. *International Journal of Production Research*, 46(21), pp. 6055-6085.
- Yannou B., Bigand M., 2004. **A curriculum of value creation and management in engineering**. *European Journal of Engineering Education*, 29(3), 355-366.
- Zorzini M., Corti D., Pozzetti A., 2008. **Due date (DD) quotation and capacity planning in make-to-order companies: Results from an empirical analysis**. *International Journal of Production Economics*, 112(2), pp. 919–933.



**Titre :** Proposition d'une méthodologie d'amélioration du Processus de Développement de Produits basée sur une approche Lean

**Mots clés :** PDP, Lean, Création de valeur, Performance, Amélioration continue

**Résumé :** Le monde industriel actuel connaît des changements fréquents et parfois brutaux suite aux progrès que connaissent la science et les technologies et aux besoins des clients, qui sont de plus en plus exigeants. Par conséquent, pour faire face à ces perturbations et assurer leur compétitivité, les industriels développent des méthodes pour maîtriser et améliorer leur processus pour plus de performance. Le Lean management est une de ces méthodes qui a pu faire ses preuves dans le pilotage et l'amélioration des processus (en particulier de production). Néanmoins, le Processus de Développement de Produit (PDP) reste le socle des enjeux industriels car c'est à ce stade que les grandes décisions liées à la stratégie, l'organisation, les délais et les coûts de conception et de fabrication sont prises, d'où l'intérêt de développer des méthodes pour piloter et améliorer ce processus. Or, la complexité du PDP rend difficile l'application directe des méthodes Lean déjà existantes.

De ce fait, notre projet de recherche a pour objectif de proposer une méthodologie de pilotage et d'amélioration du PDP, basée sur une approche Lean et visant la gestion de la création et de la transformation de la valeur dans ce processus. Cette méthodologie adapte en particulier les deux premiers principes du Lean, à savoir la définition de la valeur et sa cartographie dans le processus considéré. Nous avons donc pu proposer un cadre de définition de la valeur qui puisse s'adapter au cours du temps à la stratégie d'une entreprise. Cette définition vise à une prise en compte exhaustive des parties prenantes du PDP, pour que la valeur soit partagée par tous. Nous avons aussi proposé un outil de cartographie de cette valeur sur le PDP, qui répond aux spécificités du PDP et de la définition de la valeur. L'ensemble de ces travaux ont pu être testés au sein de notre partenaire industriel, Exxelia Technologies.

**Title :** Proposition of an improvement methodology of the Product Development Process based on a Lean approach

**Keywords:** Product Development Process, Lean, Value creation, Performance, Continuous improvement

**Abstract:** The current industrial world is facing frequent changes, which are sometimes abrupt. This is due to the scientific and technical progresses and increasingly challenging needs of customers. Therefore, to deal with these disruptions and ensure competitiveness, manufacturers are developing methods to control and improve their processes for greater performance. Lean management is one of such methods that has proven its effectiveness in controlling and improving process (especially in manufacturing process). However, the Product Development Process (PDP) remains one of the most important industrial challenges, since it is where PDP actors take the major decisions related to strategy, organization, delay, development and manufacturing costs. That is why methods to control and improve this process have to be developed. Nevertheless, the PDP complexity makes direct application of existing Lean methods difficult.

Thus, this research project aims at proposing a methodology for controlling and improving the PDP based on a Lean approach in order to manage the creation and the transformation of the value in this process. This methodology adapts especially the first two principles of Lean, namely the definition of value and its mapping in the given process. We so propose a framework for defining value that can be adapted to the evolutions of the company's strategy. This definition tries to exhaustively take into account all the PDP stakeholders, so that the value is shared by everyone. We also propose a value mapping tool for the PDP, which complies with PDP specificities and proposed value definition. All these research works have been tested in the industrial partner, Exxelia Technologies

