

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

GESTION DES CHANGEMENTS
ET SYSTÈMES D'INFORMATIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT
DE PRODUITS COMPLEXES ET PERSONNALISÉS

SYLVAIN FOURNIER
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE MÉCANIQUE)
FÉVRIER 2007



Library and
Archives Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-47663-5
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-47663-5

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

GESTION DES CHANGEMENTS
ET SYSTÈMES D'INFORMATIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT
DE PRODUITS COMPLEXES ET PERSONNALISÉS

présenté par: FOURNIER Sylvain

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de:

M. MASCLE Christian, Doct.ès Sc., président

M. FORTIN Clément, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. THOMSON Vincent, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. RIVEST Louis, Ph.D., membre

Dédicace

Je souhaite dédier ce mémoire à mes parents, Louis et Louise, pour leur support tout au long de mes études.

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur M. Clément Fortin, de l'École Polytechnique, pour son enseignement, ses conseils précieux et son encouragement tout au long de ce projet.

Je tiens aussi à remercier mon co-directeur M. Vincent Thomson, de l'Université McGill, pour sa disponibilité, sa collaboration et son partage d'expertise concernant la modélisation et l'analyse des processus.

Je voudrais remercier M. Louis Rivest, de l'École de Technologie Supérieure, d'avoir assisté et participé activement aux présentations et avoir répondu à toutes mes questions durant mes recherches.

Merci à Grégory Huet, Imran Haider Malik et Mohamed Ali El Hani pour leurs conseils concernant la documentation et la rédaction et leur aide avec les différents logiciels de modélisation.

Je souhaite finalement dire merci, à tous les gens de chez Bombardier et IBM pour m'avoir accueilli dans leur environnement de travail et d'avoir pris de leur temps personnel pour répondre à mes questions, participer à mes entrevues et s'être assuré que mon séjour chez eux soit le plus agréable possible. Je tiens donc à remercier personnellement les personnes suivantes : Eric Bazinet, Martin Bedard, Catheline Bourques, Jonathan Caron, Yan Chalifoux, Andrew Dean, Francois Drolet, Martin Faucher, Chantal Filiatrault, Lyne Fortin, Lamine Foura, Francois Hebert, Josée Lachapelle, Claude Lambert, Sean Matera, Shari Mathewson, Alain Nadeau, Vincent Plante, Hani Raouda, Patrick St-Louis et Edith Turcotte.

Résumé

Qu'elles le veuillent ou non, les entreprises modernes œuvrant dans le secteur de l'aéronautique doivent faire face aux changements de design. Ces changements sont capables d'absorber une grande partie de l'effort de conception et des coûts de développements.

Cette étude sur la gestion du changement, réalisée dans le cadre du CRIAQ, se déroula au centre de finition Bombardier de Montréal. Le site fut sélectionné puisque les processus de l'usine sont uniques ; dû au fait que les produits qu'elle crée sont grandement personnalisés et que les fournisseurs sont abondamment impliqués dans leur conception.

L'objectif principal de ces recherches était d'étudier les différents processus de gestion des modifications et le fonctionnement du système de gestion des données d'ingénierie (CAO, SGDT, MPM et ERP) actuels au centre de finition de Bombardier Aéronautique. Le deuxième objectif de ce projet était de préparer les diagrammes de la gestion du changement des processus actuels, incluant les partenaires, de l'usine en question. Le troisième objectif de ce mémoire était de comparer les données recueillies au cours des recherches dans l'industrie avec ce qui existe dans la littérature.

Les données recueillies ont été représentées et analysées en utilisant trois méthodes différentes. Elles ont premièrement été représentées sous une forme de diagramme de processus qui était couramment utilisé par les gens de l'usine où l'étude se déroulait. Les données de ces diagrammes ont par la suite été transposées dans un modèle IDEF0, afin de mieux comprendre les interactions entre les différentes activités, départements, documents et applications informatiques présentes dans les processus. D'autres données, surtout concernant le temps d'exécution des processus, furent recueillies en utilisant des tables de calculs et représentées par des diagrammes de Gantt. Toutes les données et tous les résultats des méthodes mentionnées ci haut ont finalement servies à la modélisation IDEF3, qui permet de simuler les processus en question.

Cette série d'analyses a permis de tirer des conclusions assez intéressantes en ce qui concerne l'utilisation des différentes ressources dans les processus, les mécanismes de flux de travaux et le temps d'exécution des différentes tâches. Il fut aussi possible de comparer les processus étudiés avec ceux retrouvés dans la littérature.

Les différents résultats de ces recherches devraient être utiles autant dans le secteur académique que pour l'industrie. Du côté académique, les résultats ont permis de mieux comprendre les processus de changement pour des produits complexes et personnalisés. Ils ont aussi permis d'aborder le développement d'une méthodologie d'analyse de ce type de processus complexe dans un milieu industriel. Du côté industriel, ce travail est très utile pour l'amélioration des processus et des pratiques de gestion des modifications pour l'usine étudiée. Les résultats apportent aussi les données et les analyses nécessaires afin de pouvoir développer des solutions informatiques répondant mieux aux besoins du centre de finition Bombardier de Montréal.

Abstract

Change management is usually an important part of the design work for in the aerospace industry and it is often perceived as something negative. A good portion of the effort and resources available for the design of a new product is normally absorbed by those changes.

This study on change management, proposed by the CRIAQ, has taken place at the Bombardier Completion Center of Montreal (BCCM). This plant has been selected because of its change management processes and practices that are quite unique, mainly because the products that are developed there are customized for every client and the suppliers are highly involved in the design process.

The primary objective of the research was to gain a good understanding of the change management processes and of the information system (CAD, PDM, MPM and ERP) actually in place at the BCCM. A second objective was to provide to the company, updated diagrams of its change management processes. The third objective of this project was to compare the data collected at Bombardier with the content of articles already existing in the literature.

The hypothesis of the beginning, that the diagrams previously mapped by the company would greatly help the progression of this research, has revealed itself to be more or less true. A lot of information was missing and had to be collected by interviewing members of different departments.

The data collected has been represented and processed using a variety of methods. At first, a process mapping, using a representation method commonly used at the BCCM, was put together. The information contained in the process diagram has then been used to construct an IFEFØ function model, to better represent the interactions existing between the activities, departments, documents and IT applications existing in the change management processes of the plant. Other data, especially relating to the execution time of the processes, have been collected using computation tables and

represented using Gantt diagrams. All the data collected using the previous methods mentioned above, were used to construct IDEF3 models, to simulate the processes.

This series of analysis has permitted to compile some pretty interesting results concerning the use of the different resources used in the processes, the workflow mechanisms and the execution time of the different activities. It also made it possible to compare the documented processes with those that were found in scientific articles.

The different results obtained by this research project should be equally helpful for academic use as it should be for the industry. The collected data and computer results will be used for other research projects of the CRIAQ. It should also be used at Bombardier to optimize the change management processes and better design the next information system used at the BCCM.

Table des matières

Dédicace.....	iv
Remerciements.....	v
Résumé.....	vi
Abstract	viii
Table des matières.....	x
Liste des tableaux.....	xiv
Liste des figures	xv
Liste des sigles et des abréviations	xix
Introduction.....	1
1. Gestion du changement pour la conception de produits personnalisés et complexes	5
1.1. Le changement d'ingénierie.....	5
1.2. La personnalisation des produits.....	8
1.2.1. En aéronautique.....	9
1.2.2. Autres produits complexes.....	10
1.2.3. Structure de produit pour des produits personnalisés	10
1.3. Les caractéristiques des changements.....	12
1.3.1. Les sources de changement.....	12
1.3.2. Causes de problèmes avec le changement	19
1.3.3. Propagation du changement	21
1.3.4. La quantité, l'effort et le temps de changement.....	25
1.3.5. La prévision des changements	28
1.3.6. Les conséquences des changements.....	28
1.4. Les processus de gestion du changement d'ingénierie	29
1.4.1. Terminologie des processus de changement.....	29

1.4.2. Redondances dans les processus	29
1.4.3. Des processus génériques.....	30
1.4.4. La gestion de configuration selon le modèle CMII.....	32
1.4.5. L'exécution des changements	35
2. Système d'information pour le support des changements.....	37
2.1. Intégration des différents applications d'un système d'information.....	38
2.1.1. CAO/SGDT.....	38
2.1.2. MPM	42
2.1.3. MES/ERP	45
2.1.4. Les EAI/Web services.....	46
3. Méthodologie	49
3.1. Recherches	49
3.1.1. Collecte de données.....	50
3.1.2. Analyse de données.....	55
3.2. Méthodes de représentation	55
3.2.1. Diagrammes de processus.....	59
3.2.2. IDEF.....	61
3.2.3. Feuilles de calcul.....	69
3.2.4. Diagrammes de Gantt.....	70
3.3. Outils.....	71
3.3.1. Visio	71
3.3.2. AIØ WIN.....	72
3.3.3. Excel.....	73
3.3.4. Project	73
3.3.5. ProSim.....	73
3.4. Résumé.....	75
4. Présentation du système d'information et des ressources impliquées dans la gestion des changements	76

4.1.	Les applications informatiques	76
4.1.1.	Les applications générant les données de design	76
4.1.2.	Les mécanismes de gestion des flux de travaux.....	80
4.2.	Les départements.....	84
4.3.	Les documents.....	88
5.	Présentation des processus de gestion des changements d'ingénierie	91
5.1.	Les changements	91
5.2.	Les processus	93
5.3.	Diagrammes des processus	95
5.3.1.	Processus RFC	96
5.3.2.	Processus RFQ	102
5.3.3.	Processus DCP	108
5.3.4.	Processus PCR	111
5.3.5.	Processus global.....	111
5.4.	Modèles IDEFØ	112
5.4.1.	Premier niveau	113
5.4.2.	Deuxième niveau.....	116
5.4.3.	Troisième niveau.....	119
5.4.4.	Quatrième niveau	121
5.4.5.	Cinquième niveau	123
5.5.	Feuilles de calcul.....	125
5.5.1.	Collecte de données.....	125
5.6.	Diagrammes de Gantt.....	126
5.6.1.	Les jalons	126
5.7.	Modèles IDEF3	129
5.7.1.	Premier niveau	130
5.7.2.	Deuxième niveau.....	133
5.7.3.	Calcul des intervalles	135
5.7.4.	Calcul de la durée des activités	136

5.7.5. La durée du processus	137
5.7.6. Démonstration des calculs effectués par le modèle	138
5.8. Résumé	139
6. Analyse du système d'information de l'entreprise.....	141
6.1. Les échanges de données avec les fournisseurs	141
6.2. Interactions entre les bases de données et les départements	142
6.3. L'état des données avant et après le changement.....	143
6.4. Les flux de données inter-systèmes.....	144
6.4.1. Structure des données.....	145
6.4.2. Le volume d'information	146
7. Analyse des processus de gestion du changement de l'entreprise étudiée.....	148
7.1. Analyse temporelle.....	148
7.1.1. Fréquence d'utilisation des applications informatiques.....	148
7.1.2. Fréquence d'activité des différents départements.....	153
7.1.3. Utilisation des applications informatiques par les différents départements	
157	
7.1.4. Simulations IDEF3.....	159
7.1.5. Charge de travail	162
7.2. Vers une méthodologie d'analyse des processus de changement	163
7.2.1. Comparaison du processus Bombardier avec celui de l'Université	
Cambridge	164
7.2.2. Comparaison du processus Bombardier avec le modèle CMII.....	167
7.3. Résumé	167
Conclusion	170
Bibliographie.....	177

Liste des tableaux

Table 1: Matrice de changement entre différents systèmes	22
Table 2: Comparaison entre les différentes méthodes de représentation.....	58
Table 3: Les méthodes de la famille IDEF (O'Donovan et al. 2005).....	61
Table 4: Exemple de feuille de calcul.....	70
Table 5: Signification des différentes catégories de RFC.....	97
Table 6: Signification des différentes priorités de RFC.....	97
Table 7: Les catégories de changements dans le processus DCP	108
Table 8 : Calcul des intervalles de temps.....	127
Table 9: Utilisation des applications informatiques par les départements.....	158

Liste des figures

Figure 1: Exemple de structure de produit pour un produit personnalisable	11
Figure 2: Sources de changements durant le processus de conception d'un produit.....	13
Figure 3: Nombre de changements en fonction du temps.....	14
Figure 4: Coût des changements en fonction du temps.....	15
Figure 5: Problèmes dans le processus de design	17
Figure 6: Vue d'ensemble des systèmes d'un produit complexe	19
Figure 7: Exemple de réseaux de propagation des changements.....	21
Figure 8: Catégories de propagation du changement.....	23
Figure 9: Comportement d'absorption et de propagation d'un système	24
Figure 10: Arbre de propagation de systèmes possédant différents comportements	24
Figure 11: Nombre de changements en fonction du temps.....	26
Figure 12: Nombre de changements durant l'utilisation d'un produit	27
Figure 13: Un processus générique pour la gestion du changement.....	32
Figure 14: Processus de changement à boucle fermée selon CMII	34
Figure 15: Re-design partiel avant et inverse.....	35
Figure 16: Plateforme intégrée.....	38
Figure 17: Système PDM au coeur du développement de produits.....	39
Figure 18: Un exemple de structure de vente pour une automobile	42
Figure 19: GPF au coeur des axes de l'intégration.....	43
Figure 20: Intégration traditionnelle vs. Intégration avec EIA	47
Figure 21: Méthodologie de documentation des processus	53
Figure 22: Réorganisation des dates recueillies dans les bases de données.....	55
Figure 23: Diagramme des méthodes de représentation	57
Figure 24: Légende des symboles dans les diagrammes de processus	59
Figure 25: Exemple de diagramme de processus.....	60
Figure 26: Fonction et ICOM IDEFØ.....	63
Figure 27: Sémantique des ICOM IDEFØ.....	64

Figure 28: Sémantique IDEF3	65
Figure 29: Exemple de structure de décomposition.....	66
Figure 30: Lien IDEF0 dans un UOB	67
Figure 31: Exemple de décomposition des processus IDEF3.....	68
Figure 32: Jonctions IDEF3 en fonction de la structure IDEF0 initiale	69
Figure 33: Légende des symboles dans les diagrammes de Gantt.....	71
Figure 34: Exemple de matrice activité/concept dans AIO WIN	72
Figure 35: Résultat d'une analyse de temps dans ProSim pour un processus.....	74
Figure 36: Les composantes du système d'information.....	79
Figure 37: Les statuts de la base de données DCP.....	80
Figure 38: Flux de travaux en fonction des statuts de la BD RFQ	83
Figure 39: Flux de travaux en fonction des statuts du SGDT CDM.....	84
Figure 40: Classification des départements de l'usine	88
Figure 41: Les processus de gestion du changement du centre de finition.....	93
Figure 42: Processus de gestion des changements spécifiques à la personnalisation des produits.....	94
Figure 43: Investigation du « Request for Change »	99
Figure 44: Correction et approbation des dessins de la RFC.....	100
Figure 45: Avis de modification et libération des dessins de la RFC.....	101
Figure 46: Initiation du processus de RFQ	104
Figure 47: Estimation des matériaux du prix et signature du contrat par le client de la RFQ.....	105
Figure 48: Correction et approbation du design pour la RFQ.....	106
Figure 49: Avis de modification et libération des dessins de la RFQ.....	107
Figure 50: Processus DCP.....	110
Figure 51: Les cinq grandes étapes du processus PCR.....	111
Figure 52: Processus global de gestion du changement.....	112
Figure 53: Premier niveau de la représentation IDEFØ.....	115
Figure 54: Transition des diagrammes de processus vers les diagrammes IDEFØ	116

Figure 55: Deuxième niveau de la représentation IDEFØ	118
Figure 56: Troisième niveau de la représentation IDEFØ	120
Figure 57: Quatrième niveau de la représentation IDEFØ.....	122
Figure 58: Cinquième niveau de la représentation IDEFØ.....	124
Figure 59: Exemple d'un diagramme de Gantt pour le processus RFQ	128
Figure 60: Construction du diagramme IDEF3.....	131
Figure 61: Premier niveau du modèle IDEF3	132
Figure 62: Deuxième niveau du modèle IDEF3	134
Figure 63: Interrelations entre les applications de gestion du changement et départements	143
Figure 64: État des données avant et après le changement	144
Figure 65: Structure des données dans les différents SGDT.....	146
Figure 66: Représentation de l'estimé de la distribution des informations gérées par les SGDT	147
Figure 67: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus RFQ	149
Figure 68: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus RFC	149
Figure 69: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus DCP	150
Figure 70: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus PCR	150
Figure 71: Fréquence d'utilisation des applications informatiques lors de la résolution de problèmes techniques complexes et/ou multipartenaires.....	151
Figure 72: Fréquence d'utilisation des applications informatiques lors de l'exécution de requêtes de clients techniquement complexes ou impliquant des fournisseurs	152
Figure 73: Participation des départements dans les processus RFQ	153
Figure 74: Participation des départements dans les processus RFC	154
Figure 75: Participation des départements dans les processus DCP	154

Figure 76: Participation des départements dans les processus PCR	155
Figure 77: Participation des départements au cours de la résolution de problèmes techniques complexes et/ou multipartenaires.....	156
Figure 78: Participation des départements au cours de l'exécution de requêtes de clients techniquement complexes ou impliquant des fournisseurs.....	156
Figure 79: Temps d'exécution moyen des principales activités du processus RFQ.....	160
Figure 80: Temps d'exécution de différents échantillons du processus RFQ	161
Figure 81: Nombre de requêtes par statut de la BD RFQ	162
Figure 82: Comparaison entre le processus générique de l'Université Cambridge et celui de Bombardier	166
Figure 83: Lien entre les processus et le système TI	172
Figure 84: Mécanisme de gestion des flux de travaux proposé	174
Figure 85: Solution proposée pour la vérification du design	175

Liste des sigles et des abréviations

Abréviation	Signification (en anglais)
AWA	Advanced Work Authorization
BD	Base de données
C&O	Cost and Offerability
CAM	Customer Account Manager
CAO	Conception assistée par ordinateur
CCM	Customer Change Management
CDE	Customer Design Engineering
DCP	Design Change Proposal
DPS	Drawing Product Structure
EAI	Enterprise Application Integration
ECCB	Engineering Change Control Board
EDRN	Engineering Drawing Release Notice
EIA	Engineering Impact Analysis
EMT	Effectivity Management Team
ERP	Enterprise Resource Planning
HIP	Harmonized Implementation Plan
IA	Impact Analysis
MODSUM	Modification Summary
MPM	Manufacturing Process Management
PCR	Program Change Request
PDM	Product Data Management
PPIP	Partner Proposed Implementation Plan
PIS	Program Impact Statement
PP&C	Project Planning and Control
PRP PO	Transferred Planned PRP Production Order

QA-321	Quality Assurance Rejection Sheet
QA-325	Quality Assurance
RFC	Request For Change
RFQ	Request For Quote
SOW	Statement Of Work
SWAT	Should Work As a Team
TIM	Technical Interface Meeting

Introduction

Le développement de produits complexes, comme en aéronautique, repose normalement sur la collaboration d'une panoplie de spécialistes. Ces professionnels, œuvrant dans une multitude de disciplines différentes, utilisent un éventail d'outils, de méthodes et de savoir faire afin d'assurer l'exécution des processus et, en bout de ligne, la réalisation du produit. Des quantités vertigineuses de documentation, à l'échelle de dizaines de milliers de pages, sont ainsi créées par l'entremise de travail en collaboration.

Pour ce qui est des produits, plus ces derniers sont complexes, plus le nombre de changements devant être apportés à leur design semble devenir important. Les produits de l'aéronautique, comme les avions d'affaires, en sont un bon exemple. Les exigences des clients face à ce genre de produits sont très élevées, en partie dû au fait que le coût de ces appareils est extrêmement grand. Les entreprises voulant rester compétitives doivent ainsi être capables de personnaliser leurs produits en fonction des requêtes de leurs clients. Cette personnalisation des produits a cependant un impact direct sur l'architecture des processus d'affaires, incluant les processus de gestion des modifications, qui deviennent particuliers à leur tour.

Comme il en sera question dans la revue de littérature (chapitres 1 et 2), les changements sont une partie inévitable du développement d'un produit et ce, tout au long du cycle de vie (le design conceptuel, le design préliminaire, le design détaillé, la fabrication et l'exploitation) de ce dernier. Ces changements engendrent inévitablement des changements à la documentation (les dessins d'assemblage et de détail, les nomenclatures, les gammes de fabrication, les feuilles d'instructions, etc.) et aux processus de l'entreprise. La gestion des changements est un problème trans-fonctionnel et trans-application concernant fréquemment plusieurs services de l'entreprise. Ces modifications nécessitent que des échanges de données soient fréquemment entrepris entre les managers, les concepteurs, les agents de méthodes et plusieurs autres intervenants à l'intérieur des processus de l'entreprise.

De plus, l'implication grandissante des fournisseurs, ou partenaires, dans les activités de conception, et le grand nombre d'interactions avec les clients, surtout pour ce qui est des produits personnalisés, font en sorte que des échanges sont maintenant de plus en plus effectués au delà des frontières de l'entreprise, ajoutant ainsi un niveau de complexité additionnel aux processus de gestion des changements.

Mise en situation

L'usine dans laquelle l'étude s'est déroulée fut le site idéal pour documenter ce type de processus. On y fabrique la finition intérieure (meubles, tapis, appareil électronique, etc.) et extérieure (peinture, logos, etc.) destinées à la série d'avions d'affaire de haute gamme Bombardier, soit les Global 5000 et Global XRS. Puisque l'usine ne fabrique pas les appareils au complet, mais seulement la finition de ces derniers, le produit étudié n'est en réalité que cette finition, intérieure et extérieure, de l'avion et non pas l'avion au complet. Le produit est grandement personnalisé en fonction des requis spécifiés par chacun des clients faisant en sorte que chaque avion sortant de l'usine est unique. Les interactions entre le personnel de l'usine et ses clients sont donc très fréquentes et une quantité énorme de requêtes de changements est soulevée puis traitée tout au long du cycle de développement du produit.

Les fournisseurs, normalement des spécialistes dans la fabrication de meubles ou d'appareils électroniques spécifiques à l'aéronautique, sont très présents tout au long du processus de conception. On utilise fréquemment le terme « partenaires » au lieu de « fournisseurs » en raison de leur forte intégration dans le design. Une telle implication de la part des fournisseurs fait en sorte que les échanges de données au-delà des frontières de l'entreprise sont encore plus importants que dans un contexte traditionnel.

Le fait que les produits soient hautement personnalisés et que les fournisseurs soient carrément intégrés dans la conception des produits a mené l'entreprise à développer des processus d'affaires qui sont eux-mêmes uniques en leur genre. Les processus de gestion des changements d'ingénierie n'échappent pas à cette règle.

De plus, la réalisation des changements repose sur une foule de documents que l'on fait circuler dans ces processus. Tout comme on peut en distinguer entre les différentes composantes d'une machine, de nombreuses interrelations existent entre les documents qui contribuent à la définition du produit, faisant augmenter, encore une fois, la complexité du sujet.

L'entreprise mise sur un ensemble de systèmes informatiques (« Workflow », CAO/FAO, SGDT, ERP, etc.) afin de supporter la conception de ses appareils. Bien qu'ils soient très bien adaptés au support de la majorité des activités présentes dans le cycle de vie du produit, ces systèmes informatiques sont souvent mal adaptés aux processus de gestion des changements. Le problème s'amplifie lorsque l'on considère la somme de toutes les applications comme un système dans son ensemble. La communication entre ces systèmes étant souvent déficiente et l'interopérabilité¹ n'est aujourd'hui pas toujours assurée, contrairement aux affirmations des vendeurs de ces systèmes (Maranzana et Rivest, 2003), ce qui rend la prise de décisions stratégiques, au niveau de l'architecture d'information à implémenter, très hasardeuse.

Objectifs

Le but principal de ce projet était de réaliser une étude permettant de bien comprendre les différents processus d'affaire nécessaires à la gestion des changements d'ingénierie, au centre de finition de Bombardier aéronautique (BCCM). Cette étude vise à comprendre la propagation des changements d'ingénierie vers les documents de méthodes, et à mettre en évidence les aspects qui sont spécifiques à ces processus, en raison de la personnalisation des produits et de l'implication des partenaires dans le développement des produits. Ce type de processus est très peu documenté dans la littérature, rendant ainsi les résultats compilés particulièrement intéressants.

¹ La possibilité d'utiliser simultanément et de manière intégrée des plates-formes et des applications informatiques diverses

Présentation des chapitres

Les deux premiers chapitres de ce projet composent la revue de littérature; le premier chapitre discute de la gestion des modifications tandis que le deuxième est orienté vers les différents systèmes d'information générant et gérant des données d'ingénierie. Le troisième chapitre présente la méthodologie adoptée lors de la documentation des processus et de l'étude des applications informatiques de l'entreprise étudiées. Ce chapitre élabore aussi sur les différentes méthodes de représentation et les outils utilisés afin d'analyser les données. Le chapitre quatre décrit les ressources de l'entreprise qui sont impliquées dans les changements; les systèmes d'information, les documents et départements impliqués dans la gestion des changements d'ingénierie. Le cinquième chapitre présente les processus, sous différentes formes, à l'aide des diverses méthodes de représentation. Finalement, le sixième chapitre discute de l'analyse du système d'information de l'entreprise et, finalement, le chapitre sept présente l'analyse et des processus de gestion des modifications de l'entreprise étudiée et les compare à ceux retrouvés dans la littérature.

1. Gestion du changement pour la conception de produits personnalisés et complexes

Le changement ou l'adaptation a toujours été une partie fondamentale du design en ingénierie sur tout le cycle de développement d'un produit. La grande majorité des activités de conception de nouveaux produits consiste à prendre un produit, un concept ou une solution déjà existante et de la modifier afin qu'elle puisse rencontrer un nouvel assortiment de requis (Cross, 1989; Bucciarelli, 1994). Beaucoup de produits évoluent au fil des ans et même si un produit semble avoir disparu du marché, certaines idées ou composantes de ce produit sont souvent réutilisées dans de nouveaux produits (Eckert et al. 2004). Cette vision, souvent sous-estimée dans les manuels de conception, est quand même bien supportée par un bon nombre d'auteurs.

1.1. Le changement d'ingénierie

Pour les entreprises œuvrant dans le développement de nouveaux produits, en passant par les phases de concept, design, fabrication et support après-vente, les changements de design font partie de la vie de tous les jours (Nichols, 1990). Les changements sont la règle et non pas l'exception dans les processus de développement de produits dans toutes les entreprises et dans tous les pays (Clark et Fujimoto, 1991). Les changements apportés à un produit sont normalement effectués dans le but d'enlever les erreurs qu'il peut contenir, de l'améliorer ou encore de l'adapter d'une certaine façon (Jarratt et al. 2005).

Certaines études ont démontrés que chaque composante d'un produit est révisée plusieurs fois, 7 à 8 fois en moyenne (Fortin et Hall, 2005). Ce processus de révision, est souvent effectué en utilisant un système de gestion de données techniques (SGDT), afin de conserver l'historique de modification des pièces. Cette méthode

nécessite cependant que le processus de changement soit contrôlé d'une manière stricte afin d'éviter des complications en aval.

Une étude réalisée dans une compagnie d'ingénierie allemande est un exemple illustrant bien l'importance du changement en ingénierie. Cette étude a démontré que plus de 30% du travail et de l'effort dépensés lors de la conception étaient causés par des activités découlant des changements (Fricke et al. 2000). Ces changements incluaient les corrections apportées au design ainsi que les ajouts de nouvelles fonctionnalités. Terwiesch et Loch, (1999) ont affirmé que les changements en ingénierie consomment entre un tiers et la moitié de la capacité de l'ingénierie et de 20% à 50% du coût des outils d'une firme qu'ils ont examinés.

L'attitude qu'ont les ingénieurs et gestionnaires d'une entreprise envers les changements d'ingénierie est primordiale. L'habileté d'une entreprise à effectuer les changements d'une manière efficace dépend, en grande partie, des gens qui accomplissent les tâches et de la façon dont ces derniers communiquent entre eux. Les changements en ingénierie sont, plus souvent qu'autrement, perçus d'une manière négative parce qu'ils peuvent causer des délais et des dépassements de budgets. Ces changements peuvent cependant se transformer en opportunités pour les compagnies qui sont bien organisées afin de mieux répondre, d'une manière rapide, aux requis de leurs clients les plus exigeants et ainsi rivaliser avec succès contre leurs compétiteurs (Diprima, 1982).

La gestion du changement a pris beaucoup d'ampleur au cours des vingt dernières années, principalement en raison des changements dans les tendances de l'industrie. Durant les années 1970 et le début des années 1980, le pouvoir des marchés appartenait surtout aux vendeurs alors qu'il appartient aujourd'hui aux consommateurs (Maull et al. 1992). Ce transfert de pouvoir a fait en sorte que les produits d'aujourd'hui sont plus diversifiés, ils sont produits en moins grandes quantités et leur cycle de vie est plus court que ceux mis en production durant les années 1970 et le début des années 1980. L'augmentation du volume des changements en ingénierie est une conséquence inévitable d'un tel environnement (Coughlan P.D., 1992).

Les marchés sont maintenant fragmentés et ils sont soutenus par des clients, plus exigeants qui demandent souvent des offres individualisés (Clark et Fujimoto, 1991). Il y a aujourd'hui beaucoup plus de compétition en raison de l'augmentation de la globalisation. L'époque où les produits pouvaient être mis sur le marché et demeurer inchangés est aujourd'hui chose du passé (Inness J., 1994).

Si les compagnies veulent rester compétitives, elles doivent avoir la capacité de constamment améliorer et mettre à jour leurs produits actuels tout en étant capables de rapidement en introduire des nouveaux (Jarratt et al. 2005). Il est donc absolument essentiel de bien comprendre et contrôler les changements tout au long du développement des produits, ce qui peut être décrit comme étant un processus continu de gestion des changements (Fricke et al. 2000).

C'est à la Technischen Universität München, à Munich en Allemagne, que les plus importantes recherches sur la gestion du changement ont eu lieu. Lindemann et Reichwald, (1998), classent les changements en différentes catégories. L'article se fonde sur cet aspect, mais adopte aussi un point de vue plus vaste en se penchant sur les causes et répercussions de ces changements.

D'autres recherches se sont plutôt concentrées sur les processus de changement et les problèmes qui leurs sont associés. Les recherches sur la gestion du changement en ingénierie, jusqu'à 1995, ont été résumées par Wright, (1997). Watts, (1984) a examiné les problèmes, reliés à la gestion du changement, avec lesquels une compagnie des États-Unis, fabriquant des pièces pour ordinateurs, devait composer. Dans cette entreprise, plus de cent (100) changements d'ingénierie (ECO) étaient générés à chaque mois. Ces changements prenaient en moyenne 120 jours de travail avant d'arriver à une solution ; 40 jours pour faire le design et le développement, 40 jours de travail pour traiter la documentation sur papier reliée au changement traité et 40 jours pour l'implémentation.

Un vaste sondage, effectué auprès de cent (100) moyennes et grandes entreprises du Royaume-Uni, œuvrant dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique, de l'électricité et de l'électronique, a démontré que 95% des compagnies

interviewées ont adopté une approche formelle afin de gérer les changements (Huang et Mak, 1999). Certaines compagnies avaient tout simplement désigné un coordonnateur pour la gestion des changements d'ingénierie alors que d'autres compagnies allaient jusqu'à former des comités intégrés pour remplir la même tâche. Les plus grandes compagnies avaient tendance à être beaucoup plus organisées en ce qui concerne la gestion du changement. Elles utilisaient souvent des comités, des équipes de spécialistes, etc.

1.2. La personnalisation des produits

Une des seules études sur la gestion du changement appliquée à des produits personnalisés, fut réalisée par Eckert et al. (2004). L'étude discute des défis rencontrés lorsque des changements sont apportés à des produits complexes qui sont rendus exclusifs à chacun des clients en fonction de la demande de ces derniers. L'article jette un regard sur les problèmes intrinsèques associés aux changements qui sont hautement interconnectés et sur les processus nécessaires afin de les accomplir. Cette étude, portant sur les processus de gestion des changements, a été effectuée en comparant les résultats de recherches effectuées par les auteurs chez un manufacturier d'hélicoptères aux résultats de d'autres études retrouvés dans la littérature. Les auteurs classifièrent premièrement les études retrouvés dans la littérature en trois (3) catégories:

- **Les études de design :** Elles se concentrent sur la création de nouveaux produits, dans son sens le plus large. Voir Cross, (1989) et Cross, (1984).
- **Les études de réutilisation :** Elles se penchent sur la réutilisation de design, d'idées de design et de parties de design déjà existants. Voir Eckert et al. (2000).
- **La gestion de configuration :** Elles concernent la gestion du changement au niveau des pièces et des composants, afin d'assurer que leur forme, leur agencement et leur fonction (FFF²) ne soient pas affectés.

² FFF : « Form Fit Function »

1.2.1. En aéronautique

La plupart des produits du monde de l'aérospatiale, mis à part le marché des petits appareils et ceux de moins haute gamme, sont hautement intégrés et très complexes. Ils sont composés de dizaines de milliers de pièces et de centaines de systèmes majeurs. Ils sont normalement fabriqués en petites séries et leur degré de personnalisation est assez élevé. Les appareils militaires, comme certains hélicoptères, sont également hautement personnalisés afin d'y incorporer des armes et systèmes d'avioniques préalablement spécifiés par les clients. On personnalise beaucoup les avions d'affaires afin d'y introduire des meubles, décors, appareils électroniques, postes de travail, pour n'en nommer que quelques uns. Les avions commerciaux doivent aussi être distinctement personnalisés. Le nombre de sièges, la configuration de ces derniers et les décors ne sont que quelques exemples de modifications fréquemment apportées aux avions commerciaux afin de satisfaire les exigences particulières des compagnies aériennes.

Le développement d'appareils complètement nouveaux est assez rare et leur durée de vie est longue (entre 20 et 30 ans). Pour les ingénieurs travaillant dans des entreprises fabriquant de tels produits, le changement pour la personnalisation n'est pas perçue comme étant une interruption frustrante de leurs travaux mais plutôt comme étant une nécessité assurant l'évolution de leurs produits. Par contre, les difficultés rencontrées afin de prédire et exécuter les changements, dans ce secteur de l'industrie, sont probablement plus importantes et très différentes de celles rencontrées dans le développement d'autres types de produits.

Lors de l'achat d'un nouvel appareil, chaque client communique ses propres requis au manufacturier. Certains clients vont, par exemple, demander que des ressources manufacturières, nécessaires à la construction de leur appareil, proviennent de leur pays.

1.2.2. Autres produits complexes

La personnalisation est aussi chose courante dans d'autres industries. Les machines œuvrant dans la transformation de produits alimentaires et dans l'emballage sont fabriquées en petits nombres et sont hautement personnalisées. Elles sont normalement assemblées à partir de plusieurs modules de base et adaptées afin de rencontrer les requis des clients. Leur design est principalement modulaire et des modules doivent souvent être changés ou ajoutés dans des nouveaux produits. Un changement apporté à un module aura donc tendance à se propager dans plusieurs produits différents. Des changements peuvent être occasionnés par des aspects comme les dimensions d'une boîte ou d'un contenant quelconque qu'une machine doit manipuler.

La personnalisation des produits est aussi présente dans la production en série, comme pour l'industrie automobile. Des fournisseurs fabriquent souvent des modules complets pour un produit ou une gamme de produits que commercialisent leurs clients. Les fournisseurs doivent ainsi adapter leurs modules à chaque fois que leurs clients mettent sur le marché un nouveau modèle de leurs produits.

De plus, puisque leurs produits sont souvent fabriqués en séries de dizaines de milliers, les fabricants automobiles peuvent se permettre de négocier le prix de leurs ressources qu'ils achètent de fournisseurs.

1.2.3. Structure de produit pour des produits personnalisés

La structure de produit, couramment surnommée BOM³, est un modèle conceptuel contenant les données d'un produit et qui décrit les liens entre ces données (Saaksvuori et Immonen, 2005). Elle le fait d'une manière soignée et formelle, pour les pièces et composantes d'un produit. Dans la pratique, la structure de produit décrit

³ BOM : « Bill of Materials »

d'une façon hiérarchique, en utilisant des items, comment un produit peut être généré à partir de ses assemblages, sous-assemblages et composantes.

La structure d'un produit peut être changée en fonction de la demande d'un client et peut être représentée de plusieurs façons différentes. Typiquement, il y a plusieurs propriétés fonctionnelles, optionnelles et/ou alternatives, qui peuvent être choisies. La figure suivante est un exemple de structure de produit étalé sur cinq niveaux :

1. **Niveau 1** : Le plus haut niveau de la hiérarchie du produit
2. **Niveau 2** : Le niveau de la famille du produit.
3. **Niveau 3** : Propriétés de la famille du produit choisies par le client.
4. **Niveau 4** : Modules techniques qui implémentent les propriétés choisies.
5. **Niveau 5** : Les composantes interchangeables qui composent les modules.

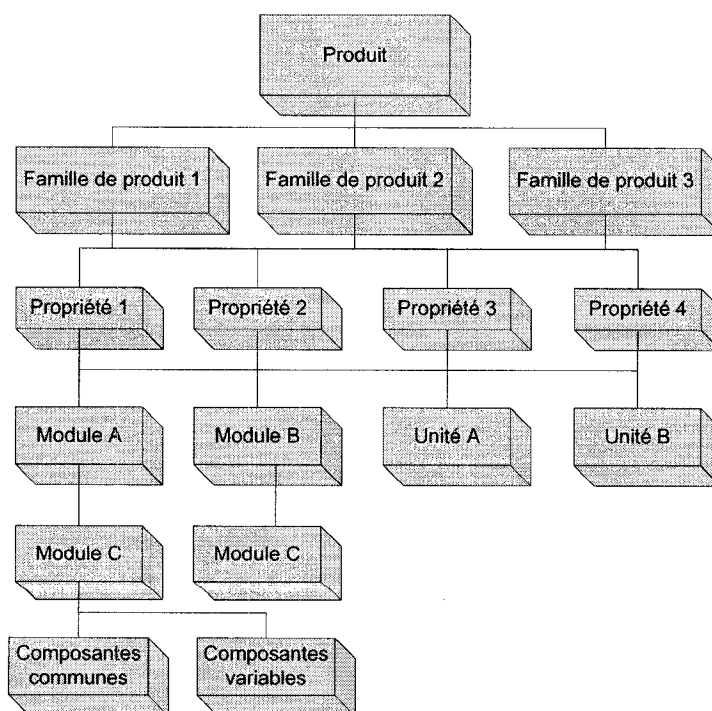


Figure 1: Exemple de structure de produit pour un produit personnalisable
Source : (Saaksvuori et Immonen, 2005)

1.3. Les caractéristiques des changements

Cette section discute des principales caractéristiques du changement d'ingénierie, tel que ses sources, ses causes, ses conséquences et son temps d'implémentation. Ces informations sont fondées sur des analyses et entrevues et sont tirés d'études, présentées dans la littérature, sur les processus de changements industriels.

1.3.1. Les sources de changement

Lors de la conception de produits complexes et personnalisés, les changements sont omniprésents et peuvent se produire à n'importe quelle phase de la conception du produit. Lindemann et Reichwald, (1998) font la distinction entre deux types de changements :

1. **Les changements causés par des erreurs de design :** Ces changements sont effectués dans le but de corriger un design inadéquat, qui ne satisfait pas les requis.
2. **Les changements résultant de l'innovation :** Ces changements sont effectués dans le but d'apporter des améliorations à un produit que l'on peut rendre plus performant en raison de nouvelles idées ou technologies.

Eckert et al. (2004), adoptent cette approche mais vont encore plus loin en faisant la différenciation entre deux différents types de changements, qui sont manipulés d'une façon semblable mais qui ont des causes bien différentes :

1. **Les changements émergents :** Ces changements sont causés par l'état du design, dans lequel des problèmes peuvent apparaître n'importe où et durant n'importe quelle phase du cycle de vie du produit.
2. **Les changements initiés :** Ces changements proviennent d'une source extérieure, normalement par un nouveau requis de la part d'un client ou de la certification. Ils peuvent aussi être initiés par le manufacturier.

Les clients ont un impact important sur le design. Les requis des clients sont donc une source importante de changements initiés. L'industrie automobile, pour sa part, subit moins l'influence des clients, l'innovation étant la principale source de changements, normalement initiés par les manufacturiers.

La figure suivante permet de situer, en fonction du temps et de l'impact, les différents types de changements initiés et émergents :

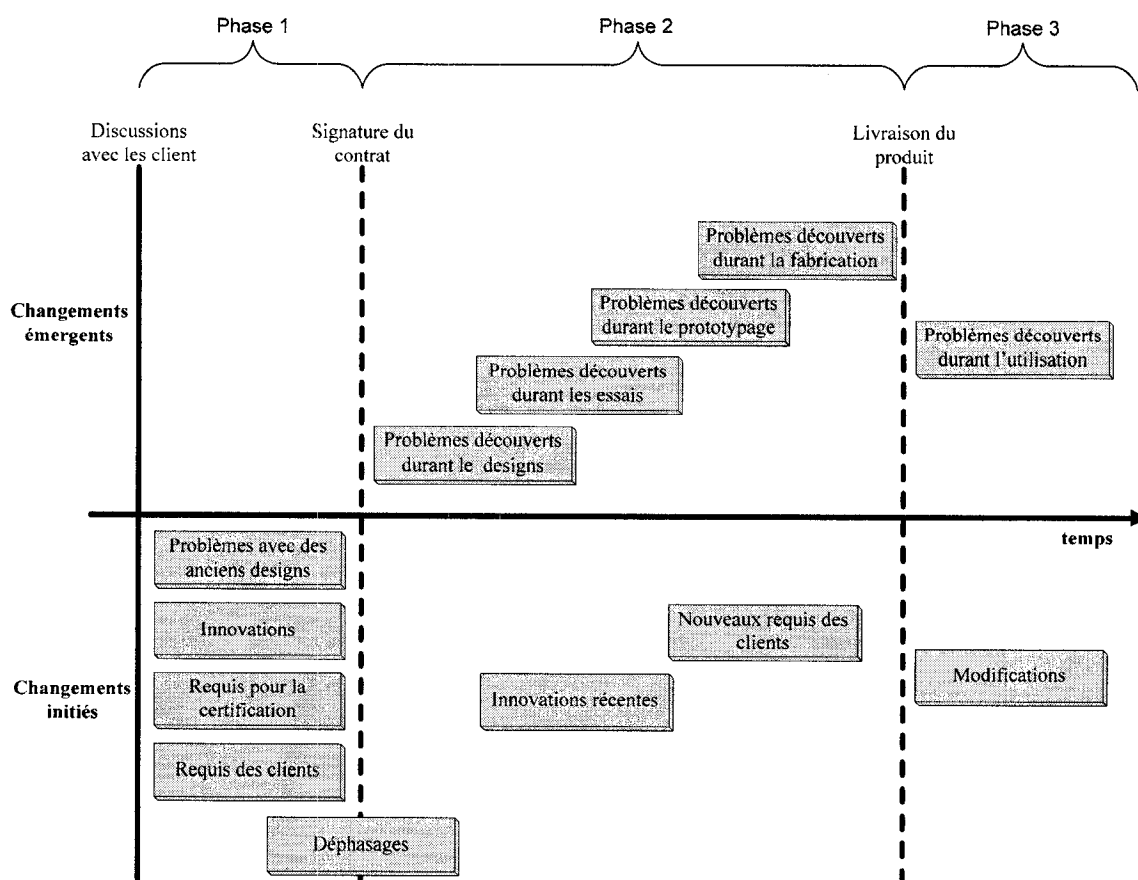


Figure 2: Sources de changements durant le processus de conception d'un produit
Source : (Eckert et al. 2004)

L'axe horizontal de la figure 2 montre les différentes étapes du cycle de vie du produit de la première discussion avec le client jusqu'à son utilisation. Trois phases

distinctes sont présentes dans ce processus de développement selon (Eckert et al. 2004) :

- **Phase 1** : La période entre les premières démarches effectuées avec le client jusqu'à la signature du contrat par ce dernier.
- **Phase 2** : La période entre la signature du contrat et la livraison.
- **Phase 3** : La période d'utilisation du produit.

Les changements émergents

Les changements émergents ont lieu en réponse à des problèmes faisant surface durant le processus de design. Les causes de ces problèmes sont bien comprises et documentées dans des études de cas présentes dans la littérature, voir par exemple (Lindemann et Reichwald, 1998; Ehrlenspiel, 1995; Cooke et al. 2002).

Le nombre de changements de design augmente normalement en s'approchant des dates-limites (Mackrell, 1992; Eckert et al. 2004), comme le démontre clairement la figure 3.

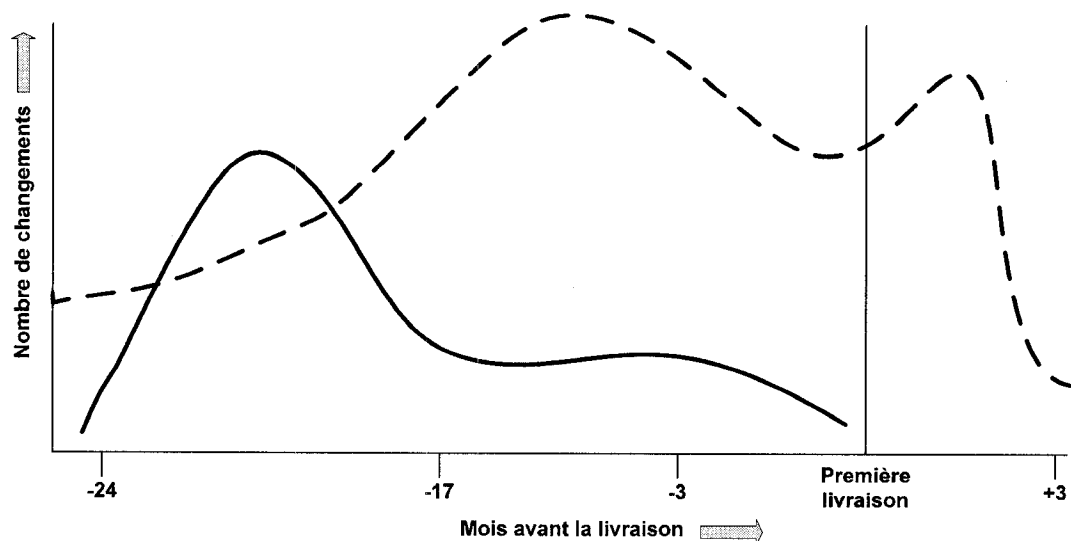


Figure 3: Nombre de changements en fonction du temps
Source : (Mackrell, 1992)

Dans le même ordre d'idée, plus le problème se produit tard dans le processus de design, plus ce dernier devient coûteux à résoudre (figure 4). Deux causes sont responsables pour cette augmentation :

1. **L'augmentation de l'intégration du produit en fonction du temps**
2. **La réduction de flexibilité du calendrier en fonction de la progression du design**

C'est pour ces deux raisons qu'il est extrêmement important de découvrir les changements potentiels le plus tôt possible et affectant le niveau d'intégration le moins élevé possible du produit. Des recherches dans ce domaine ont démontrés que la qualité du design initial et le temps nécessaire afin de détecter les erreurs sont critiques dans la détermination du coût des changements (Cooper, 1993). Le besoin d'effectuer un changement est normalement découvert durant l'intégration et les essais de pièces et de produits. Les essais devraient donc être effectués tôt et fréquemment tout au long du design (Eckert et al. 2004).

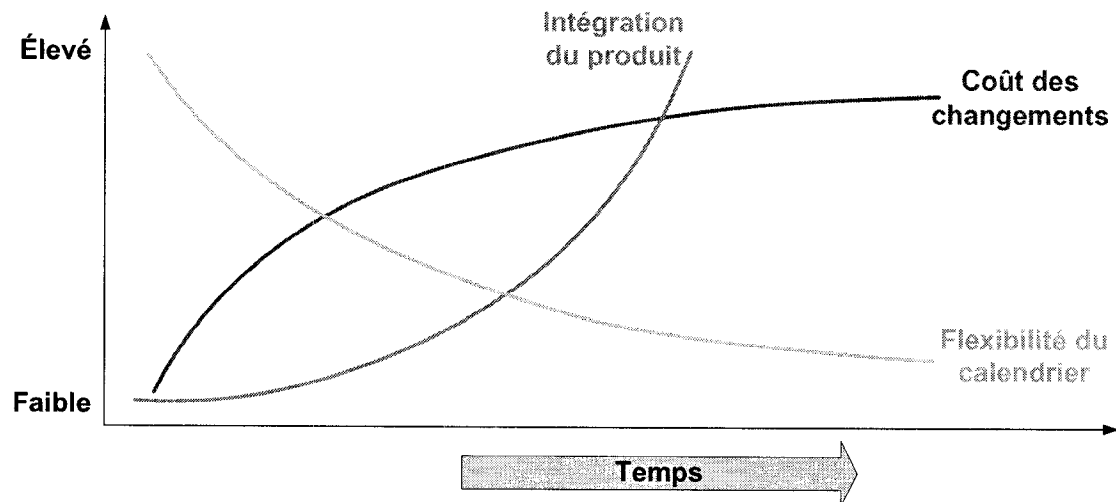


Figure 4: Coût des changements en fonction du temps

Eckert et al. (2004) classifient les changements émergents en cinq (5) catégories (figure 2) :

1. **Les problèmes découverts durant le design** : Il est aujourd'hui possible de prédire et identifier la plupart des changements géométriques fonctionnels, avec

un degré de précision assez élevé à l'aide de techniques avancées, comme les analyses par éléments finis. L'utilisation de maquettes numériques (DMU) rend les changements visibles plus tôt qu'avec les techniques conventionnelles.

2. **Les problèmes découverts durant les essais :** En ingénierie, la plupart des produits, des systèmes et sous-systèmes sont soumis à des tests physiques. Ces tests sont même nécessaires à la certification de certains produits.
3. **Les problèmes découverts durant le prototypage :** La construction d'un prototype complet est normalement une activité suivant immédiatement les essais de systèmes intégrés sur un banc d'essai. Il arrive parfois que les deux activités se chevauchent. Les prototypes sont extrêmement coûteux à construire et les compagnies visent à réduire leur nombre.
4. **Les problèmes découverts durant la fabrication :** Les problèmes de fabrication se produisent de différentes façons : (a) quand quelque chose ne peut pas être produit à un certain coût ; (b) quand quelque chose n'est pas fabricable (par exemple quand des tolérances sont trop serrées) ; et (c) quand la capacité de produire quelque chose n'existe pas.
5. **Les problèmes d'utilisation :** Le test ultime d'un produit est son comportement en utilisation. Plusieurs problèmes, comme la fatigue, l'entretien et la sécurité dans des conditions d'utilisation peu orthodoxes, peuvent seulement être déterminés lors de l'utilisation.

La figure 5 illustre comment les changements peuvent faire régresser le développement d'un produit d'au moins une étape dans son cycle de vie. Tous les changements reviennent inévitablement au niveau de la pièce et du système. Les étapes suivantes pourraient cependant être réduites ou tout simplement abandonnées. Les problèmes avec les composantes individuelles sont normalement détectés durant les étapes du design ou des essais, avant que le prototypage n'ait débuté.

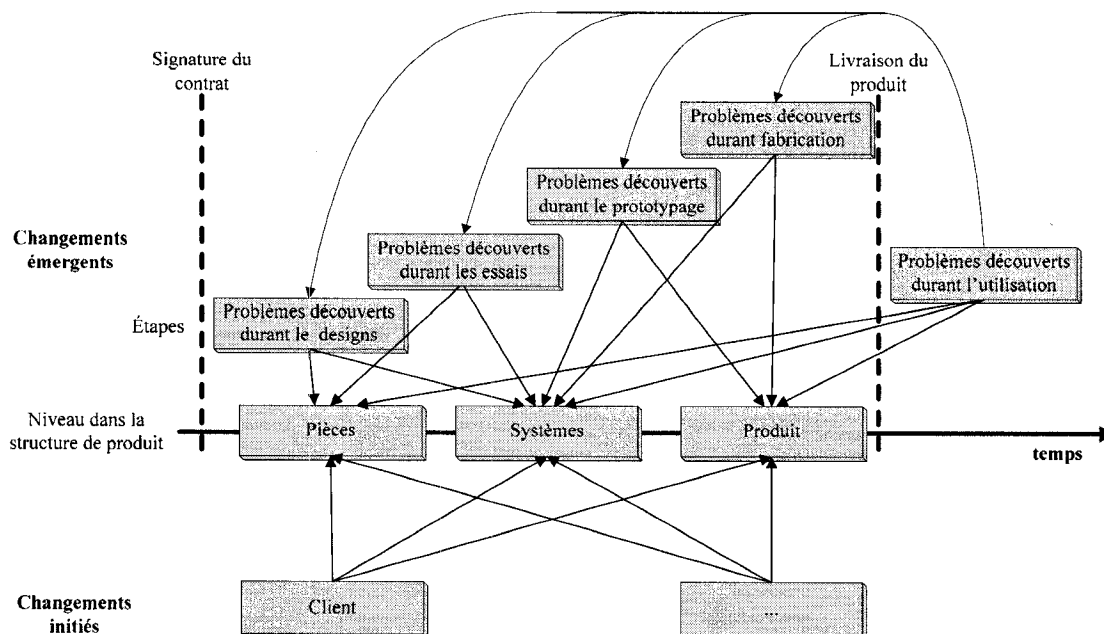


Figure 5: Problèmes dans le processus de design
Source : (Eckert et al. 2004)

Les changements initiés

Les changements initiés font surface en réponse à des nouveaux requis de la part des clients ou encore en réponse à l'innovation dans le design à l'intérieur de la compagnie. La plupart des nouveaux requis sont connus au début du processus de design mais certains ne se présentent que par la suite.

Eckert et al. (2004) classifient les changements initiés en huit (8) catégories :

1. **Les requis des clients :** Les clients spécifient généralement l'équipement, tel que les systèmes d'armement, les systèmes d'avionique et les moteurs qu'ils veulent avoir sur leur appareil. Les principaux requis des clients sont souvent appliqués à d'autres versions du design afin de garder les versions aussi similaires que possible et pour simplifier le design ainsi que la gestion de la chaîne d'approvisionnement.
2. **Les requis pour la certification :** Beaucoup de produits complexes doivent être certifiés avant d'être lancés sur le marché. Les requis de certification

comprennent des règles que le produit doit être capable de satisfaire avant d'être certifié. Ces règles peuvent elles mêmes changer et des changements peuvent être nécessaires afin d'obéir à des nouvelles règles.

3. **L'innovation :** De nouveaux matériaux, des nouvelles composantes et même des nouveaux systèmes peuvent être intégrés au design.
4. **Problèmes avec des anciens designs :** Les problèmes découverts durant l'utilisation sont souvent résolus à l'aide de mises à jour, que l'on incorpore aussitôt dans les nouvelles versions.
5. **Les déphasages :** Les commandes de produits militaires par des pays étrangers sont sujettes à des ententes déphasées. Ces ententes peuvent demander que le volume de la commande soit égalisé par des commandes de la part du pays du manufacturier pour des produits provenant du pays de l'acheteur. Les fabricants essaient donc d'acheter ou de faire fabriquer autant de composantes possibles dans le pays du client. Ces ententes ont donc souvent, en bout de ligne, un impact sur le design du produit sur lequel des changements doivent être apportés.
6. **Les nouveaux requis des clients :** Les clients demandent souvent que des changements soient apportés au produit après la signature du contrat, mais avant que le produit n'ait eu le temps d'atteindre les étapes de production. Plus les requêtes de changement sont soumises tard, plus l'impact sur le processus de design est important et plus ces changements deviennent incommodants.
7. **Les innovations récentes :** Certains produits complexes ont un temps de développement beaucoup plus long que celui de composantes qui lui sont intégrés. Ceci est très fréquent avec les composantes comme l'électronique aéronautique. Il est donc nécessaire de prévoir des mises à jour au design du produit afin que ce dernier possède l'équipement demandé par le client lorsqu'il est assemblé.
8. **Les modifications :** Un produit ayant une longue période d'utilisation est susceptibles d'avoir à subir des modifications ou « retrofits » afin d'en améliorer la performance ou de l'adapter à de nouvelles fonctions. Les designers y

disposent cependant d'une moins grande flexibilité pour y incorporer les changements et ils doivent aussi minimiser l'impact sur le produit.

1.3.2. Causes de problèmes avec le changement

La complexité d'un produit, en termes du nombre de pièces qu'il contient et des relations qu'elles entretiennent entre elles, est une source majeure de problèmes émergents (Eckert et al. 2004). Lorsqu'on s'attaque aux produits complexes, presque personne dans la compagnie, ne semble avoir une vision globale et détaillée de tous les systèmes du produit. Les gens sont donc incapables de prédire correctement les conséquences techniques et financières d'un changement. La figure 6 illustre la vision qu'ont les différents membres dans un processus de design à différents niveaux de la hiérarchie d'un produit et d'une entreprise.

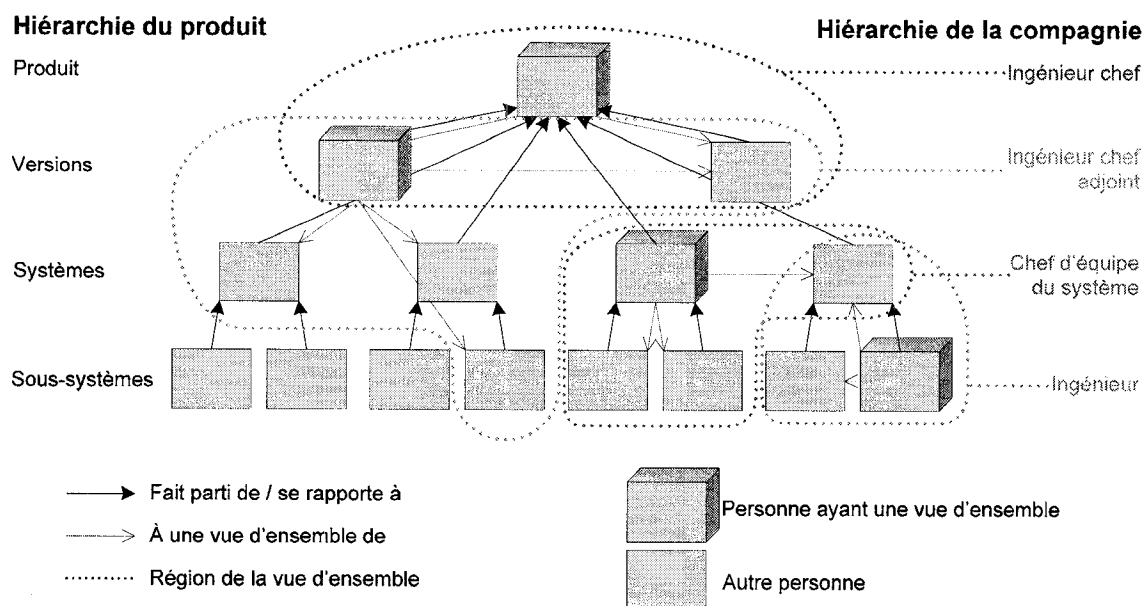


Figure 6: Vue d'ensemble des systèmes d'un produit complexe
Source : (Eckert et al. 2004)

Les facteurs humains et les facteurs culturels sont au cœur de plusieurs problèmes de design et processus de changement. Cinq (5) causes fondamentales de

problèmes émergents, dans n'importe quel processus de design, peuvent être identifiées :

1. **Un manque d'homogénéité dans les représentations :** Certaines études sur le processus de conception ont noté que différentes disciplines d'ingénierie, structure et avioniques par exemple, utilisent des représentations complètement différentes pour illustrer leurs idées de design (Henderson, 1999). Cette incohérence a souvent tendance à porter confusion et augmente le risque que des erreurs se produisent (Barr et al. 2000).
2. **Un manque de communication :** La conception d'un produit complexe est un travail d'équipe, impliquant des gens de différentes cultures et disciplines. Il se peut cependant parfois que ces personnes ne communiquent pas, ou n'échangent pas toute l'information nécessaire, alors qu'il serait bénéfique pour eux de le faire. Il est prouvé que la communication informelle est très importante au travail et aide à réduire le nombre d'erreurs (Perry et Sanderson, 1998).
3. **Pas de décision ou mauvaises décisions :** Les mauvaises décisions sont inévitables (Ullman et al. 1997). Elles résultent normalement d'un manque de connaissances techniques ou de vue d'ensemble d'un produit. Une insuffisance de prise de décision ayant comme objectif de déterminer s'il faut résoudre un problème et comment le faire peut aussi avoir des effets importants en aval dans le processus de design (Ehrlenspiel et al. 1998; Zanker et Lindemann, 1998).
4. **Un manque de clarification de la tâche à accomplir :** Des designers peuvent seulement travailler d'une manière efficace s'ils connaissent bien leurs livrables et s'ils comprennent comment leur travail influence les autres tâches du projet (Ehrlenspiel, 1995; Dylla, 1991).
5. **Des processus inadéquats :** Des processus bien définis aident les designers à travailler d'une façon efficace et fait croître les chances de développer un nouveau produit avec succès (Ehrlenspiel, 1995; Günther, 1998).

1.3.3. Propagation du changement

Les pièces et systèmes composant un produit complexe peuvent avoir un degré d'interaction très élevé, dépendamment de l'architecture des modules du produit. Des changements apportés à une pièce ou un système peuvent avoir un impact sur d'autres pièces ou systèmes (Lindemann et Reichwald, 1998; Zanker et Lindemann, 1998). La manière dont répond une pièce ou un système à un changement dépend du design du produit.

Un changement cause un autre changement

Des études, effectuées auprès de designers en aéronautique, affirme que jusqu'à quatre changements peuvent découler d'un seul changement initié (Eckert et al. 2004). Un changement se produit rarement seul et des changements multiples peuvent avoir des effets interactifs sur d'autres systèmes, comme l'illustre la figure 7.

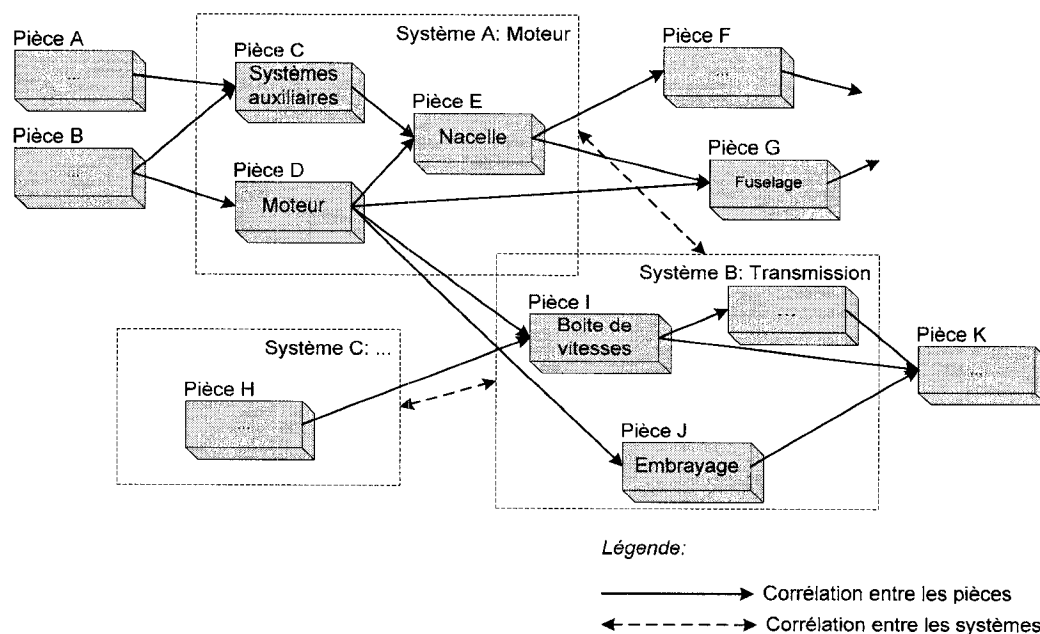


Figure 7: Exemple de réseaux de propagation des changements
Source : (Clarkson et al. 2004)

Il est aussi possible de représenter le réseau de changement illustré à la figure 7, sous forme de matrice (Eppinger et al. 1994; Steward, 1981). La matrice de la table 1 illustre clairement la probabilité qu'un changement soit nécessaire en fonction d'un changement exécuté sur un autre système :

Table 1: Matrice de changement entre différents systèmes

	Fuselage	Moteurs	Transmission	Avioniques	Systèmes auxiliaires	...
Fuselage		1	1	0.02	0.05	
Moteurs	0		0.05	0	0.5	
Transmission	0	1		0	0.01	
Avioniques	0	1	0.02		0.01	
Systèmes auxiliaires	0	1	0	0		
...						

Les types de propagation

Comme l'illustre la figure 8, il existe trois catégories de propagation de changement pour des éléments individuels. Ces éléments peuvent être des pièces ou des systèmes :

1. **Catégorie A :** L'élément est affecté par plus de paramètres nécessitant un changement qu'il en émet.
2. **Catégorie B :** L'élément est affecté par le même nombre de paramètres nécessitant un changement qu'il en émet.
3. **Catégorie C :** L'élément est affecté par moins de paramètres nécessitant un changement qu'il en émet.

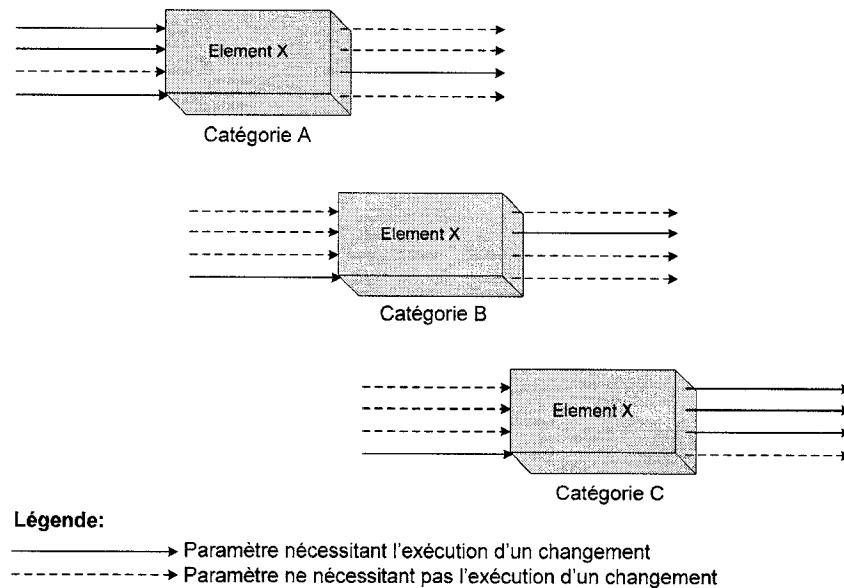


Figure 8: Catégories de propagation du changement
 Source : (Clarkson et al. 2004)

La figure 9 permet de démontrer, sous une forme orthogonale, le degré de changement qu'un système est en mesure d'absorber et le degré de changement qu'il peut transmettre. Ceci permet de différencier trois types de comportement de propagation du changement :

1. **Les absorbants :** Les absorbants peuvent absorber plus de changements qu'ils n'en causent eux-mêmes. La proportion de systèmes qui peuvent être classifiés comme étant des absorbants est normalement très petite. Les absorbants réduisent la complexité du problème de changement.
2. **Les transporteurs :** Les transporteurs causent le même nombre de changements qu'ils n'en absorbent. Ils ne font donc pas augmenter la complexité du problème. Beaucoup de changements géométriques simples entrent dans cette catégorie.
3. **Les multiplicateurs :** Les multiplicateurs causent plus de changements qu'ils en absorbent. Ils font donc augmenter la complexité du problème de changement. Des sous-systèmes hautement interdépendants qui sont liés à beaucoup d'autres systèmes peuvent amplifier les changements.

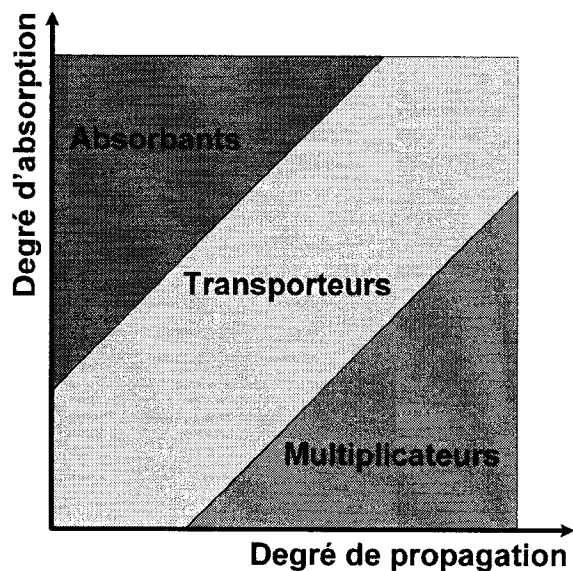


Figure 9: Comportement d'absorption et de propagation d'un système
Source : (Jarratt et al. 2005)

La réponse du système face au changement

L'exemple de la figure 10 aide à comprendre comment les différents types de comportements peuvent être interconnectés :

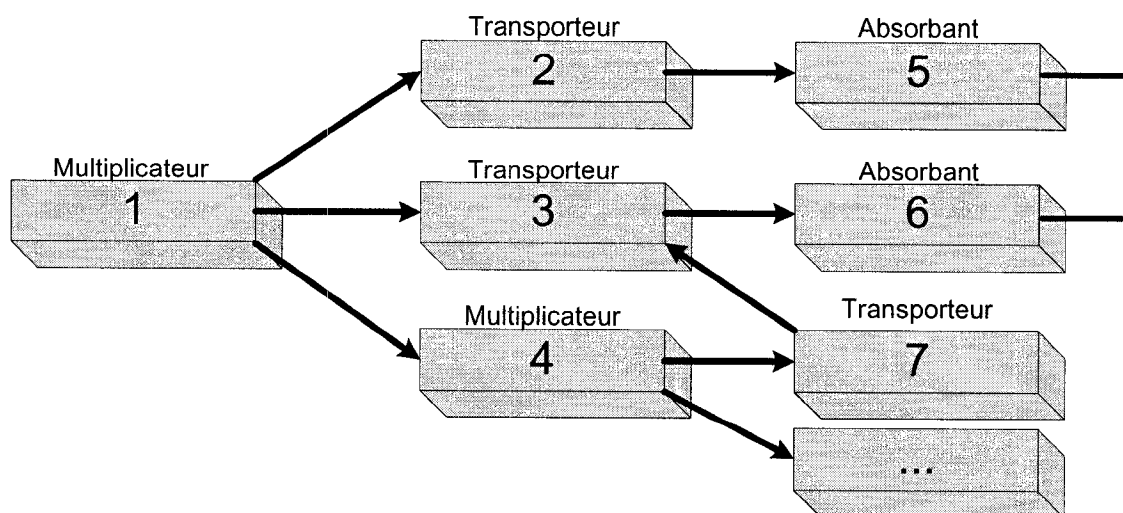


Figure 10: Arbre de propagation de systèmes possédant différents comportements
Source : (Lindemann et Reichwald, 1998)

1.3.4. La quantité, l'effort et le temps de changement

L'effort absolu nécessaire afin d'implémenter un changement dépend du nombre de changements qu'il est nécessaire d'effectuer à un moment donné, du comportement des systèmes impliqués et de l'habileté des planificateurs de la production à prendre en compte ces facteurs. Beaucoup de changements doivent être effectués à l'intérieur d'un certain laps de temps. Il est donc primordial de prédire le temps nécessaire à la réalisation d'un changement ou encore de prévoir l'effort que le changement nécessite afin que ce dernier puisse être complété à la date prévue.

Il est important de définir correctement les trois variables permettant de mesurer le changement :

1. **La quantité (Q) :** La quantité de changement est le nombre de changements qui doivent être effectués sur une période de temps donnée.
2. **L'effort de changement (E) :** Le nombre de personnes travaillant sur le changement multiplié par le nombre d'heures de travail direct, passé par chacune d'entre elles, sur ce changement, afin que ce dernier soit réalisé. L'effort de changement est mesuré en unité de temps par changement.
3. **Le temps de changement (T) :** La période de temps, sur le calendrier, nécessaire à l'aboutissement d'un changement.

Les ondulations, éclosions et avalanches de changements

Les changements peuvent être classifiés en trois catégories selon leur quantité et l'effort qu'il faut déployer pour les exécuter, comme l'illustre la figure 11 tirée de Eckert et al. (2004) :

1. **Les ondulations de changement :** L'effort nécessaire afin d'effectuer le changement décroît en fonction du temps.
2. **Les éclosions de changement :** L'effort nécessaire à l'accomplissement du changement est considérable et augmente brusquement avant de redescendre pour que le processus soit terminé avant la date limite.

3. **Les avalanches de changements :** Les changements ne pouvant être complétés à temps font souvent parti d'avalanches de changement, où le volume de changements augmente constamment.

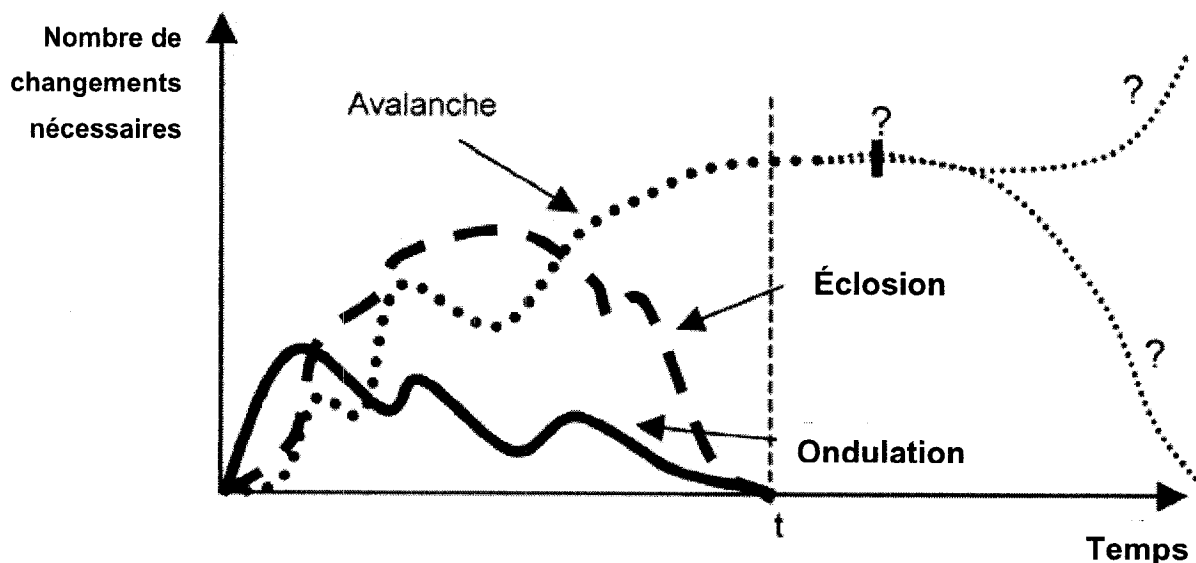


Figure 11: Nombre de changements en fonction du temps
Source : (Jarratt et al. 2005)

Apparition des changements durant l'utilisation d'un produit

Les requêtes de changements peuvent être effectuées avant, durant ou après la production. Typiquement, plus elles se produisent tard dans le processus, plus grand sera le temps et l'effort qu'il faudra déployer pour les implanter (Pikosz et Malmqvist, 1998; Reidelbach, 1991).

Pour ce qui est du nombre de requêtes en fonction du temps pour un produit en utilisation. Il y a un grand nombre de requêtes juste après sa libération, quelques une durant son utilisation et de plus en plus, par la suite, afin de prolonger la vie du produit (Bhuiyan et al. 2006).

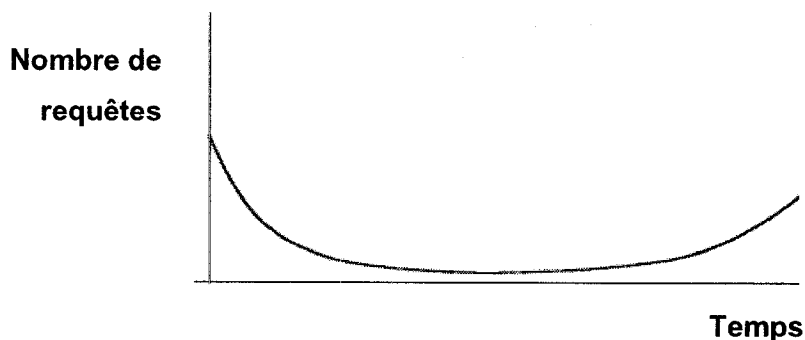


Figure 12: Nombre de changements durant l'utilisation d'un produit
Source : (Bhuiyan et al. 2006)

Ingénierie simultanée

Le développement de nouveaux produits contribue à faire progresser l'innovation. L'ingénierie simultanée est une méthode utilisée afin de développer les produits plus rapidement, en mettant plusieurs activités en parallèle et en se servant d'une communication appropriée. Ce principe peut être appliqué aux changements, dans le but d'accélérer leur réalisation. Cette accélération vient cependant au dépend d'une augmentation de l'effort (Bhuiyan et al. 2006).

Le regroupement des changements

Bhuiyan et al. (2006) ont démontré qu'il demande beaucoup moins d'effort et de temps de développement si les requêtes de changements sont regroupées plutôt que traitées individuellement. Diprima, (1982), de son côté, a démontré qu'il n'est pas nécessairement avantageux de traiter les requêtes immédiatement après qu'elles aient été soumises. En d'autres mots, précipiter le changement peut devenir plus coûteux.

Ces études laissent donc suggérer qu'il est préférable d'attendre qu'un regroupement de requêtes se soit accumulé avant de commencer à les traiter. L'efficacité gagnée en effectuant plusieurs tâches similaires en même temps permet une réduction de l'effort et du temps de traitement des requêtes.

1.3.5. La prévision des changements

Afin de correctement gérer les processus de changement, il faut anticiper convenablement les modifications et allouer les ressources appropriées nécessaires à leur exécution. Certains changements peuvent être planifiés alors que d'autres se produisent d'une manière inattendue. La prévision des changements comprend deux activités :

- 1. La prédiction des causes de changements**
- 2. La prédiction des changements résultants de changements**

Clarkson et al. (2001) ont développé une méthode, sous forme de modèle mathématique capable de déterminer les risques directs et indirects associés à une certaine alternative de design. Cette méthode est fondée sur la probabilité qu'un changement se produise et sur l'impact que pourrait avoir ce dernier.

1.3.6. Les conséquences des changements

Une conséquence positive qu'apporte généralement le changement est une amélioration du produit. Il se peut que ce dernier satisfasse mieux les requis du client que l'original ou encore que ses défaillances soient réparées. Les produits sont souvent modifiés dans le but de les rendre plus efficaces et/ou plus rentables.

Bien que les changements initiés soient généralement bien perçus, les changements émergents eux, sont normalement vus comme étant négatifs, puisqu'ils peuvent ralentir considérablement le processus de conception d'un produit. Le coût de développement d'un produit augmente souvent à cause des changements émergents. Cette augmentation résulte du temps et des ressources supplémentaires qu'il faut allouer afin de gérer ces changements.

1.4. Les processus de gestion du changement d'ingénierie

La plupart des auteurs se réfèrent au processus de gestion du changement mais seulement quelques uns mettent en évidence les différentes étapes ou activités qui les composent. La plupart des processus de changements suggérés dans la littérature et utilisés dans l'industrie se ressemblent à un niveau macro (Jarratt et al. 2005). Bien que différentes compagnies effectuent des tâches similaires, lorsqu'examinées à un niveau très élevé, les problèmes organisationnels, de marché et de produits, mènent tous à des différences évidentes lorsque les processus sont examinés en détail (Jarratt et al. 2005; Pikosz et Malmqvist, 1998). Cette section discute des différents processus de changement présentés dans la littérature et propose un processus générique.

1.4.1. Terminologie des processus de changement

Différents termes sont utilisés par différents auteurs et compagnies afin de décrire les documents accompagnant le processus de changement. Ces documents comprennent les « Engineering Change Request » (ECR), les « Engineering Change Notice » (ECN), « Engineering Change Order » (ECO) et les « Engineering Change Proposal » (ECP). Monahan, (1995) présente les définitions de ces groupes.

1.4.2. Redondances dans les processus

Comme déjà mentionné à la section 1.3.1., les changements initiés débutent lorsque les clients entrent en contact avec les manufacturiers. Une étude de cas, réalisée par Eckert et al. (2004) chez un fabricant en aérospatiale, démontre que les requis des clients sont normalement déterminés lors de négociations avec le département des ventes et marketing. Une offre est ensuite soumise au client, qui doit accepter ou rejeter les clauses d'un contrat. L'offre est réalisée par des experts possédant de l'expérience dans des domaines autant techniques que commerciaux, des ingénieurs chefs par exemple

(Barr et al. 2000). Des décisions importantes, concernant le design, sont prises à ce niveau du processus. À partir de l'étape suivante, les changements émergents apparaissent dans le processus et sont traités de la même façon que les changements initiés.

Les ingénieurs chefs déterminent ensuite, lors d'une évaluation, les systèmes affectés par le changement. Ils déterminent s'il est vraiment nécessaire d'effectuer le changement, dans l'affirmative, une requête formelle est émise. La résolution du changement est ensuite planifiée en détail et des équipes sont formées. Les équipes planifient, à leur tour, encore plus en détail. Lors de meetings, elles émettent différentes solutions conceptuelles et estiment le coût de chacune d'entre elles. À la fin de ce processus, les équipes se sont entendues sur une solution et elles ont calculé un estimé du coût et du temps nécessaires à son implémentation. Chaque équipe peut ensuite se concentrer sur sa partie exclusive du changement.

De la communication informelle est présente entre la plupart des équipes engagées dans le processus et des réunions sont régulièrement organisées afin de s'assurer que toutes les personnes impliquées sont au courant des plus récentes décisions et activités concernant le changement.

1.4.3. Des processus génériques

Un processus de gestion du changement en ingénierie est un mini projet hautement contraint et qui vaut seulement la peine d'être exécuté si sa valeur est plus grande que son coût (Leech et Turner, 1985). Beaucoup d'auteurs, comme Dale, (1982); Maull et al. (1992); Rivière et al. (2002); Huang et Johnstone, (1995); Maull et al. (1992); Rivière et al. (2002) et Huang & Johnstone, (1995), divisent les processus de changement en un différent nombre d'éléments distincts. Un aspect important dans un processus de changement est la révision de ce dernier après son exécution, dans le but d'y apprendre une leçon (Fricke et al. 2000; Diprima, 1982).

Un processus générique de gestion du changement pour l'industrie aérospatiale est proposé par Rivière et al. (2002). On y présente des suggestions et des mesures à prendre, afin d'éviter de rencontrer des problèmes, durant les différentes phases du processus de changement. Une autre étude effectuée dans trois compagnies en Suède, Pikosz et Malmqvist, (1998), a conclu que des entreprises évoluant dans des secteurs industriels différents manipulent les changements d'une manière très différente.

En regroupant les commentaires élaborés par les différents auteurs mentionnés dans les paragraphes précédents, un autre processus générique, comprenant six (6) étapes fut mis au point par Jarratt et al. (2005) comme l'illustre la figure 13.

Quatre (4) points d'interruption sont présents dans le processus. À chacun de ces points, l'état du changement est réévalué et le processus peut être abandonné si l'on juge qu'il n'est plus nécessaire de continuer.

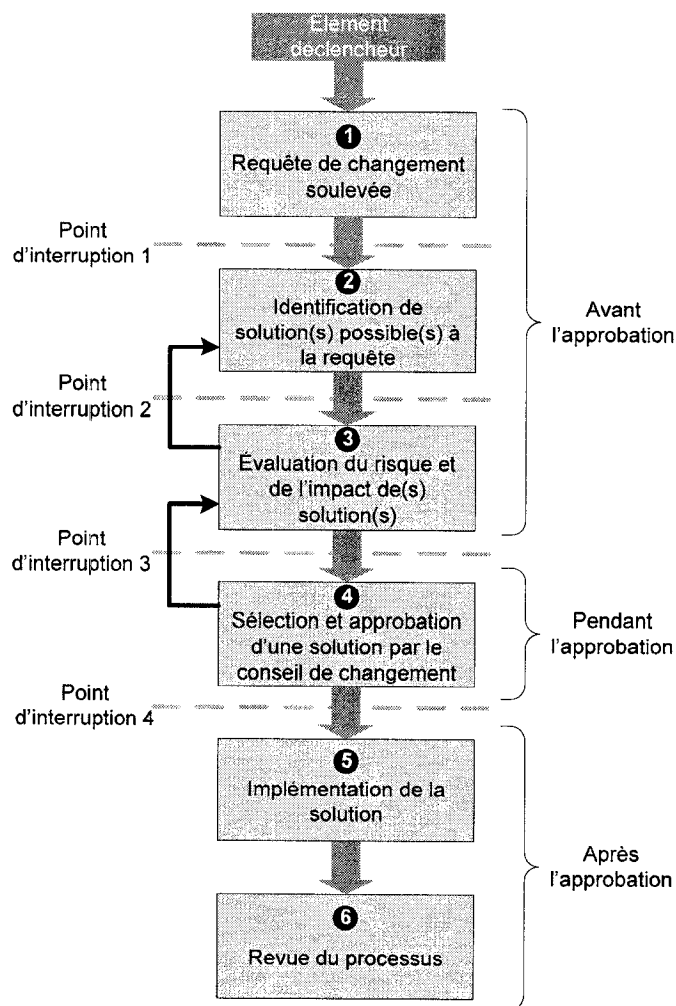


Figure 13: Un processus générique pour la gestion du changement
Source : (Jarratt et al. 2005)

1.4.4. La gestion de configuration selon le modèle CMII

L'institut de gestion de configuration⁴, qui a fait ses débuts dans les années 1970, enseigne des méthodes, basées sur l'expérience, visant à appliquer l'amélioration continue à différents domaines surtout reliés à la gestion du changement et le contrôle de la qualité. Le modèle CMII suggère une infrastructure qui peut être appliquée à des compagnies œuvrant dans le domaine de la conception de produits complexes.

⁴ « Institute of Configuration Management »

Un processus de changement standardisé sur toute la largeur de l'entreprise

Très peu d'organisations utilisent un seul processus d'affaire afin de faire la mise à jour de tous leurs documents. Elles utilisent normalement une multitude de processus spécifiques. Cette diversité des processus est la principale raison pour laquelle la plupart des efforts d'amélioration des processus d'ingénierie meurent dans la futilité (Guess, 2002). Il est impossible d'améliorer le processus de changement global si les différentes informations, nécessaires au fonctionnement de l'entreprise, ne sont pas intégrées, structurées et rendus visibles à tous les départements concernés.

Le processus de changement en boucle fermée

Le rôle principal du processus de gestion des changements est de créer et maintenir les configurations de base⁵ « état prévisionnel⁶ » et « état réel produit⁷ » ainsi que toutes les informations qui leur sont associés. Un processus de changement approprié doit être sous forme de boucle fermée, comme illustré à la figure 14, offrant une rétroaction, et tournant autour des configurations de base « état prévisionnel » et « état réel produit ».

⁵ « Baselines »

⁶ « As-planned »

⁷ « As-released »

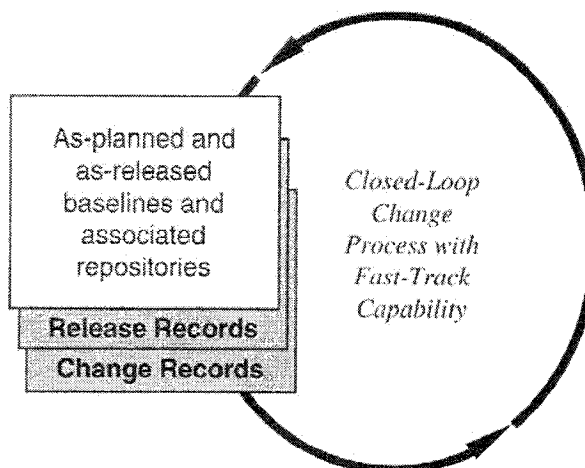


Figure 14: Processus de changement à boucle fermée selon CMII
 Source : (Guess, 2002)

Un processus rétroactif possède la capacité de s'auto-corriger. Chaque changement entrant dans le processus est suivi durant toutes les étapes jusqu'à son achèvement. Des documents servant à aviser les personnes concernées du changement sont des sous-produits du processus.

Effectivités de changement et contrôle des documents

Une effectivité sert généralement à spécifier quand un changement va prendre effet sur un produit ou processus. Elle peut aussi servir à indiquer quand une pièce ou un système va être utilisé pour en remplacer un(e) autre. Elle peut aussi indiquer quand des nouveaux requis vont devenir effectifs.

Les effectivités sont normalement spécifiées sur des formulaires et peuvent avoir des effectivités multiples, si l'impact du changement affecte plusieurs configurations de base et si l'effectivité ne peut pas être la même pour chacune des configurations de base. Une matrice de changement, comme illustré dans la table 1, peut être utile afin de déterminer les effectivités et est souvent placée directement dans les formulaires (Guess, 2002).

1.4.5. L'exécution des changements

Les processus officiels, comme décrits dans les sections précédentes, sont applicables à de gros changements émergents ou initiés. Les plus petits problèmes, spécialement les changements émergents, sont souvent traités d'une manière informelle, comme l'illustre la figure suivante :

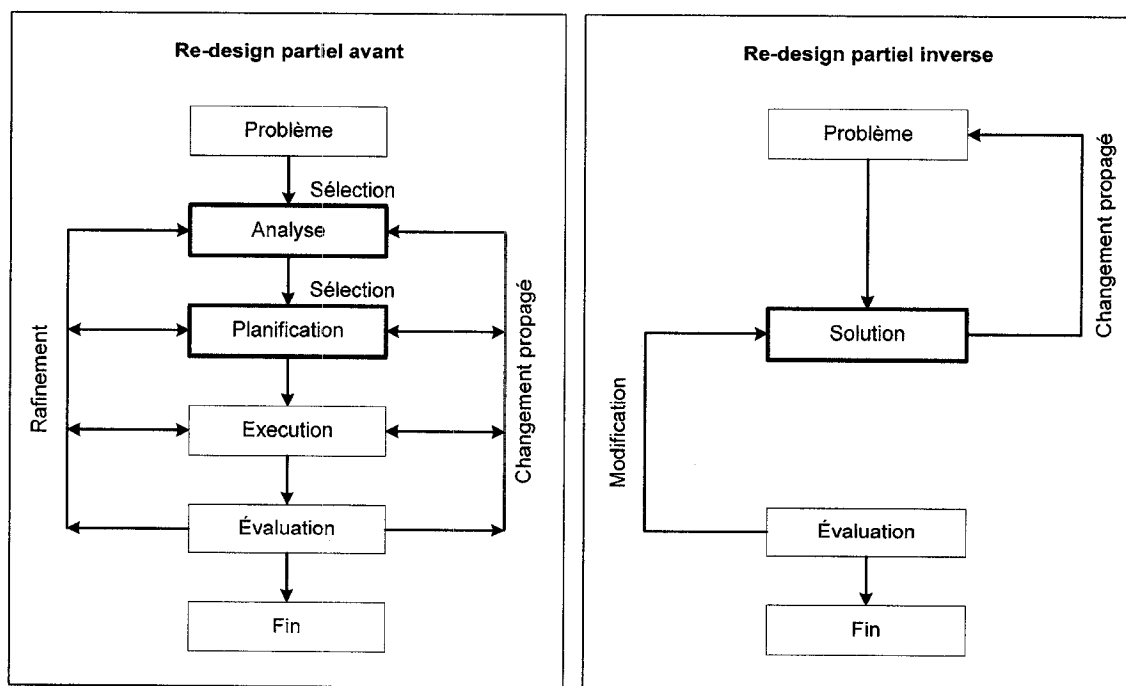


Figure 15: Re-design partiel avant et inverse
Source : (Eckert et al. 2004)

Le re-design partiel avant

Le re-design avant, initié par un *problème* qu'il faut résoudre, est applicable aux changements émergents et initiés. Le processus, tel que défini par Eckert et al. (2004), commence par une *analyse* du changement et de ses conséquences sur le reste du produit. Différentes solutions sont considérées et une seule est choisie. Différentes stratégies d'*executions* sont évaluées avant qu'un *plan* ferme soit proposé afin d'atteindre la solution désirée. Le changement est ensuite *exécuté* et *évalué*. Il se peut que la *planification* et l'*exécution* du changement ait besoin de *raffinement*. Il se peut

aussi que des changements imprévus se *propagent*, tout au long du processus, initiant ainsi d'autres changements.

Le re-design partiel inverse

Tout come le re-design avant, le re-design inverse débute par un *problème* (Eckert et al. 2004). Par contre, dans cette situation, les designers sautent assez rapidement du *problème* à une *solution*, sans planifier soigneusement le processus de changement ou évaluer les différentes alternatives. Les effets de *propagation* forcent les designers à réétudier le *problème*. Une fois la solution *exécutée*, elle est évaluée et modifiée au besoin.

Différences entre re-design partiel avant et inverse

Durant le processus de re-design inverse, les phases d'*analyse*, *planification* et *exécution* sont remplacés par un saut partant du problème et allant directement à la solution. Le re-design avant est très similaire à des modèles de processus de design structurés existants, voir par exemple Ehrlenspiel, (1995); Daenzer et Huber, (1994); Pahl et Beitz, (1997).

Le re-design inverse est un processus moins ordonné qui se préoccupe peu de la propagation du changement. Cette stratégie est très semblable au débogage de logiciels informatiques. La technique ressemble aussi beaucoup aux modèles de design cognitif, décrivant le design comme un cycle problème-solution-évaluation, avec un saut holistique du problème de design jusqu'à une solution, voir par exemple Cross, (1989); Asimow, (1962).

Les deux stratégies sont également légitimes pour ce qui a trait à la résolution de problèmes et elles peuvent mener aux mêmes solutions. Le processus de re-design inverse est toutefois potentiellement plus risqué puisqu'il est difficile de prédire le nombre d'itérations qu'il faudra effectuer dans la boucle problème-solution-évaluation.

2. Système d'information pour le support des changements

Un système est décrit comme un ensemble d'éléments qui travaillent de façon interactive, dans un but déterminé (Seen, 1987; Planche, 1988). Il existe deux types de systèmes d'information (Gamache, 1993) :

- **Systèmes passifs** : Système d'information ne répondant qu'aux demandes des utilisateurs. Ces demandes sont les seuls déclencheurs d'événements. Cette situation fait en sorte que les changements d'états sont exécutés manuellement et que le système doit les enregistrer sans en connaître la pertinence.
- **Systèmes actifs** : Système possédant une interface avec le monde réel et n'ayant pas besoin de l'intermédiaire de l'utilisateur pour enregistrer les événements pertinents. Tous les mécanismes de synchronisation nécessaires doivent cependant être introduits dans le système afin qu'il puisse fonctionner dans ce mode.

Un système d'information peut être présenté comme étant un outil d'aide qui est limité à un domaine d'activité spécifique et qui fournit de l'information aux individus dans ce domaine. Ces informations doivent renseigner sur l'état des activités et l'historique de ces états, le plus souvent d'une manière semi-automatisée (Planche, 1988; Rolland et al. 1988; Batini et al. 1992).

On peut distinguer trois grandes étapes de l'évolution de ce que devrait accomplir un système d'information (Gamache, 1993; Rolland et al. 1988) :

1. Prendre en charge les tâches administratives courantes et répétitives
2. Informer les responsables de la gestion opérationnelle sur le fonctionnement courant
3. Assister la prise de décision opérationnelle

2.1. Intégration des différents applications d'un système d'information

Cette section traite du rôle d'un système d'information en relation avec d'autres systèmes utilisés dans une compagnie. De plus, les façons les plus essentielles d'intégrer les applications entre elles y sont aussi résumées. Les diverses applications (CAO, SGDT, MPM et ERP) composant un système d'information, utilisé afin de gérer le cycle de vie d'un produit, sont représentés dans la figure qui suit :

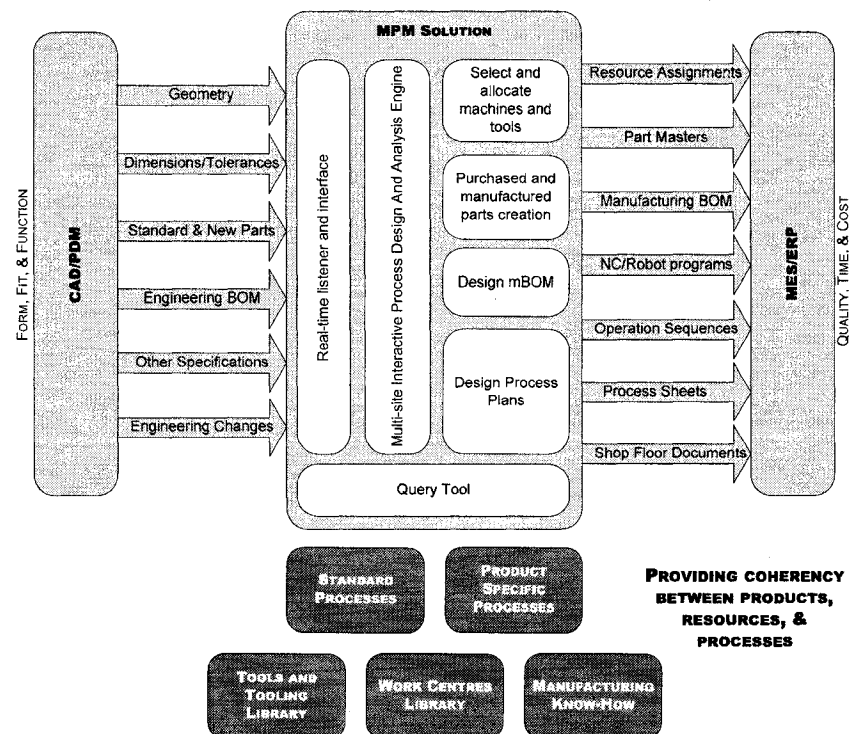


Figure 16: Plateforme intégrée
Source : (Fortin et Huet, 2006)

2.1.1. CAO/SGDT

Les SGDT, systèmes de gestion de données techniques, forment aujourd'hui l'une des plus importantes composantes d'un système TI pour le développement de produits (Stark, 2005). Plusieurs systèmes SGDT commerciaux furent développés à

partir de logiciels utilisés pour la gestion de dessins de CAO. Les logiciels ont graduellement acquis de nouvelles fonctions et les SGDT modernes sont beaucoup plus que des simples additions aux systèmes CAO. Ils disposent maintenant d'un domaine d'opération très large et ce, avec plusieurs types d'applications, comme les systèmes CAO et ERP.

Il existe aujourd'hui une multitude d'applications CAO spécialisées, comme : la conception de systèmes mécanique, le génie électrique, l'électronique, la conception le design de tuyaux, le design de navires, etc.

La gestion des données techniques permet de structurer la définition d'un produit et du processus qui lui est associé. Elle permet aussi de gérer la configuration d'un produit, d'y attacher des informations, de gérer son cycle de vie, son évolution, les changements et faire des échanges avec les autres systèmes d'information. Il permet la collaboration, passant du séquentiel à l'ingénierie simultanée (Debaecker, 2004). Comme l'illustre la figure suivante, un SGDT permet de partager les données produit/processus entre les sites, division, projets et partenaires.

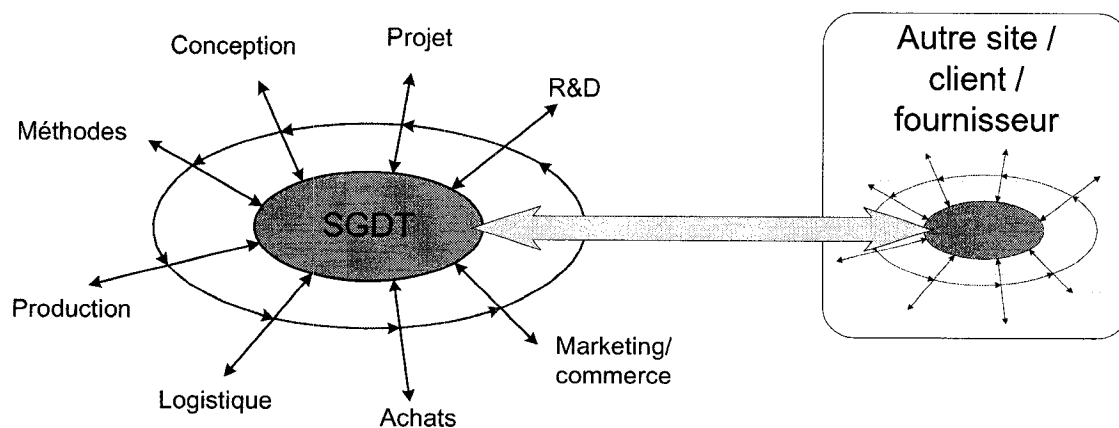


Figure 17: Système PDM au coeur du développement de produits
Source : (Debaecker, 2004)

Les SGDT sont des progiciels permettant d'assurer la gestion des données techniques d'un produit. Ils permettent également d'automatiser le traitement des

données par la mise en place de mécanismes de flux de travaux ou « workflow », de mécanismes de diffusion de données et par la création de liens entre les documents.

La division des tâches entre le système CAO et SGDT est assez claire; l'information qui a été générée par un système CAO est contrôlée par un système SGDT. Le SGDT ne contient aucun dispositif relié à la modélisation et au travail d'ingénierie.

Un système SGDT pourrait servir, sous une forme simpliste, à stocker les fichiers générés par le système CAO. Il serait possible d'avoir très peu d'intégration du système CAO avec le SGDT et qu'il soit nécessaire d'importer manuellement la documentation dans ce dernier.

D'un point de vue design, une approche préférable serait d'avoir un système CAO connecté au système SGDT (Saaksvuori et Immonen, 2005). Cette approche ferait en sorte que la documentation créée par le système CAO soit sauvegardée directement dans le SGDT sans qu'il n'y ait d'étapes intermédiaires.

Une forte intégration permet aux données produites par le système CAO d'être contrôlées par le système SGDT. Dans de telles situations, l'interface SGDT des usagers est habituellement intégrée dans l'interface CAO. Le designer n'a donc pas besoin de se préoccuper de l'interface SGDT. Toutes les données sont traitées directement en utilisant l'interface CAO, qui est connectée sur les bases de données du SGDT.

Une compagnie utilisant plusieurs systèmes CAO peut intégrer tous ces derniers avec le même système SGDT. Plusieurs personnes, ou organisations, situées à des endroits différents, peuvent alors tous collaborer simultanément sur le même assemblage CAO et accéder aux données d'ingénierie produites par les autres. Pendant ce temps, le système SGDT garantit qu'une seule personne à la fois effectue un changement sur un fichier en particulier, assurant ainsi l'intégrité des données (Fortin et Huet, 2006).

Création, circulation, validation et changement des données

Les procédures de création, de changement, de circulation et de validation de données techniques sont au cœur du fonctionnement des SGDT (Tollenaere, 1998). La circulation et la validation garantissent la qualité de la communication technique dans un groupe projet en particulier dans un contexte d'ingénierie simultanée. La traçabilité associée doit permettre une gestion de la configuration des informations pour une meilleure maîtrise des décisions et des modifications. La capacité de réaction aux changements est en effet un élément vital de l'ingénierie simultanée.

Les configureurs

La configuration est une méthode d'arrangement ou une combinaison particulière des éléments (pièces et assemblages) composant un produit influençant les caractéristiques de ce dernier. La configuration d'un produit peut-être modélisée jusqu'à prendre en compte la spécificité de chaque produit livré au client (Tollenaere, 1998). Dans la littérature de la technologie de l'information, un configureur est défini comme étant une application gérant la structure d'un produit et ses variations. Il existe deux types de configureurs, bien que très différents, qui sont souvent confondus :

1. **Configureur de vente :** Ce type de configureur sert à gérer les propriétés de vente d'un produit ainsi que les règles reliées aux propriétés de vente du produit. Les règles permettent de définir les combinaisons de propriétés de ventes permises et empêchent le choix de combinaisons interdites. Ils peuvent aussi gérer d'autres informations comme le prix de différentes propriétés de vente. Comme illustré dans l'exemple de la figure 18, un configureur de vente génère ce que l'on appelle une structure de vente. Il peut être intégré dans un SGDT à condition que ce dernier possède déjà des outils de configuration de structure de produit, ce qui n'est pas encore le cas de tous les SGDT sur le marché.
2. **Configureur de structure de produit :** Ce type de configureur peut faire parti du SGDT où il peut être une application indépendante, intégrée avec le SGDT. Pour la structure de produit, le configureur reçoit la configuration de

vente comme valeur d'entrée, après laquelle il produit une structure de produit, équivalente à la structure de vente en question, comme valeur de sortie. La gestion d'une structure de produit avec un configurateur peut devenir difficile puisque des dizaines, voir même des centaines de milliers de variations peuvent s'accumuler pour un produit. Avec l'exemple de la figure 18, il serait possible d'obtenir 72 configurations différentes pour une automobile.

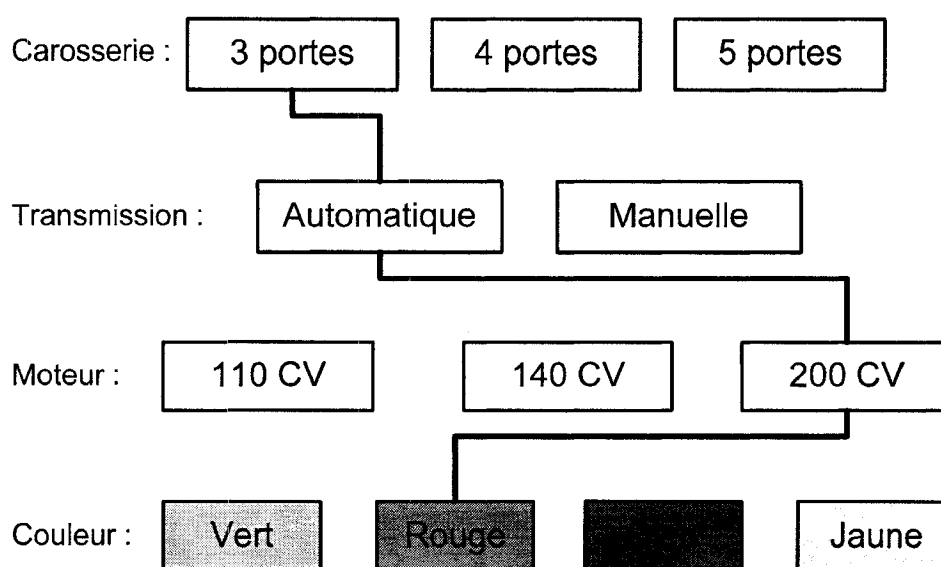


Figure 18: Un exemple de structure de vente pour une automobile
 Source : (Saaksvuori et Immonen, 2005)

2.1.2. MPM

La gestion des processus de fabrication est une stratégie qui supporte une communication formelle entre l'ingénierie et la production dans un environnement numérique (Fortin et Huet, 2006). Les systèmes « Manufacturing Process Management » (MPM) ou systèmes de gestion des processus de fabrication, offrent à des équipes travaillant en ingénierie simultanée, des solutions afin d'intégrer des problèmes reliés à la gestion du changement à travers un environnement de collaboration. Comme illustré à la figure 16, une solution MPM procure un pont

intelligent entre les systèmes CAO/SGDT avec des perspectives durables pour des progiciels PLM complets et des nouvelles approches de gestion des connaissances.

Gestion du changement et ingénierie simultanée

Avec les expériences et les connaissances acquises sur l'ingénierie simultanée au cours des vingt dernières années, les membres d'une équipe IPT⁸ ont besoin de fonctionner d'une manière efficace autour des trois axes de l'intégration, illustré à la figure 19 :

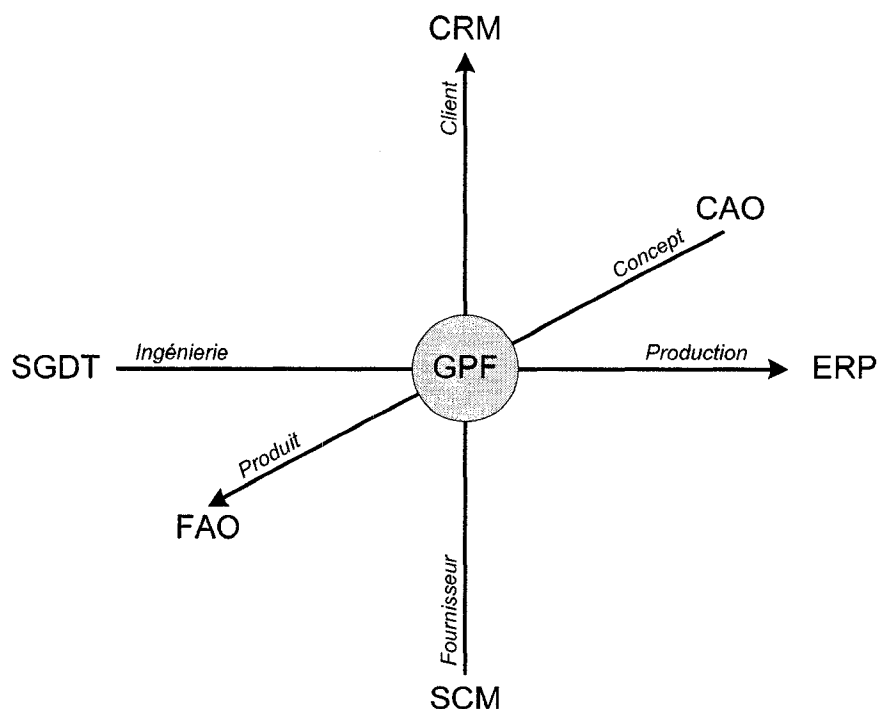


Figure 19: GPF au coeur des axes de l'intégration
Source : (Fortin et Huet, 2006)

L'axe ingénierie-production est responsable de la gestion des données du produit et du processus à travers plusieurs disciplines et éventuellement tout au long du cycle de vie d'un produit. Le chevauchement des tâches, comme l'ont souligné (Krishnan et al. 1997), a tendance à apporter des problèmes sur cet axe. Une intégration

⁸ « Integrated Product Team »

conforme des processus dans cette dimension est reflétée par la capacité de gérer les changements apportés au produit, ainsi que ses configurations, d'une manière efficace, tout au long du cycle de développement du produit.

Afin de pouvoir définir une stratégie de fabrication et de compléter un ensemble complet des plans de production, il est important de tenir compte des réalités manufacturières représentées sur les trois axes de l'intégration. Ces réalités comprennent un vaste éventail d'activités qui sont effectuées à l'intérieur d'un processus dynamique où des changements se produisent constamment. Le but des activités de planification de la production est donc de définir complètement les processus requis afin de fabriquer un produit selon des requis spécifiés et avec les ressources manufacturières disponibles.

Détermination de l'impact du changement

Une activité centrale impliquée dans le développement de produits est la gestion des changements, autant pour le produit lui-même que pour les processus de fabrication qui lui sont associés (Jarratt et al. 2005). Les deux sont reliés mais requièrent une nomenclature distincte afin de pouvoir les retracer indépendamment. Sans une intégration du SGDT et du système GPF, un tel changement ne serait jamais transmis aux ingénieurs de planification de la production. Par contre, avec des liens appropriés mis en place, entre la structure d'ingénierie et celle de fabrication, le changement d'ingénierie est automatiquement détecté par le système GPF, donnant aussitôt un avertissement au personnel de fabrication concerné. Ces liens peuvent posséder une sémantique existentielle de sorte qu'ils puissent être maintenus et propagés en cas de versionnement ou d'évolution dans les articles ou documents (Tollenaere, 1998). Dans le même ordre d'idée, une modification initiée du côté de la fabrication aura toujours un impact sur la production, mais pas nécessairement sur la définition du produit.

Un SGPF approprié doit supporter des approches de gestion du changement et de configuration standard comme celle proposée par l'institut de gestion de configuration dans son modèle CMII (Guess, 2002).

2.1.3. MES/ERP

Les systèmes ERP, « Enterprise resource planning », et MES, « Manufacturing Execution System », ont traditionnellement été utilisés dans les processus de fabrication. Si on considère les systèmes CAO/SGDT comme étant les producteurs de données, les systèmes ERP peuvent être considérés comme en étant les consommateurs (Saaksvuori et Immonen, 2005). Les systèmes ERP proviennent de l'évolution des systèmes MRP, « Material Requirements Planning », et par la suite des systèmes MRPII « Manufacturing Ressources Planning ». Les systèmes ERP modernes sont souvent composées de modules, par exemple : module manufacturier, module d'approvisionnement, module de logistique, module financier, module d'entretien, module de ventes, etc. Les différents modules servent à gérer les différentes facettes d'une entreprise.

En pratique, les systèmes ERP/MES doivent idéalement être intégré avec le SGDT. Comme mentionné à la section 2.1.2, il est préférable que les SGDT, SGPF et ERP soient tous intégrés afin que la communication des changements soit bidirectionnelle⁹. Un changement effectué sur un produit à partir du système CAO/SGDT, se propagera au SGPF pour terminer sa course dans le système ERP/MES. Il est donc possible que ce changement ait un impact sur les achats, l'inventaire, les livraisons, la facturation et ainsi de suite.

La contribution des MES dans la production de produits personnalisés

Plus le niveau de personnalisation des produits augmente, plus la taille des commandes diminue. Les produits personnalisés sont aussi fréquemment sujets à des

⁹ Du SGDT au SGPF jusqu'au système ERP et vice versa

changements initiés de la part des clients. Ces aspects causent des difficultés pour ce qui est de l'optimisation de l'utilisation des ressources manufacturières. Les MES peuvent aider à alléger ces problèmes à l'aide d'outils permettant de pré-calculer les temps de commandes avant même que le processus ne soit commencé. Il permet aussi de mieux calculer l'utilisation des ressources et recalculer les délais causés par le changement (Sieberg et Walter, 2003).

2.1.4. Les EAI/Web services

Les processus d'affaires, incluant ceux reliés directement au changement, des entreprises fabricant des produits complexes, dépassent de plus en plus les frontières de l'organisation. Ces nouveaux processus ont apporté avec eux un besoin grandissant d'échanger l'information d'une manière plus efficace à l'intérieur et entre les entreprises.

Une entreprise voulant intégrer n applications, en utilisant l'intégration traditionnelle, devra développer $n*(n-1)/2$ interfaces. Ce traitement au cas par cas montre vite ses limites car il ne permet pas une intégration préalable, globale et systématique des différentes applications d'un système TI (Debaecker, 2004). Il devient alors nécessaire de rendre plus structurée la démarche d'intégration du système d'information. Il est possible de le faire en utilisant les EAI ou les web services.

Les EIA

Les EAI, « Enterprise Application Integration », forment une méthode que l'on peut adapter aux processus et qui rend efficace la distribution ainsi que les échanges de données entre différentes applications du réseau de données d'une entreprise (Saaksvuori et Immonen, 2005). EAI n'est pas un produit ou un outil pouvant être acheté au comptoir d'un commerce. C'est un processus continu qui est utilisé afin de développer l'opération de la compagnie pour que le système d'information échange et déplace mieux l'information.

Un EAI possède trois composantes :

1. **Un système centralisé :** Sert à convertir tous les flux provenant d'une application vers une autre application.
2. **Un intergiciel ou « middleware » :** Permet de transporter les messages entre les applications.
3. **Des connecteurs :** Permettent de relier les applications au « middleware ».

L'implémentation d'un EAI, souvent accomplie en utilisant un « middleware » commercial, permet de réduire considérablement la quantité de travail requise pour faire la maintenance de l'intégration.

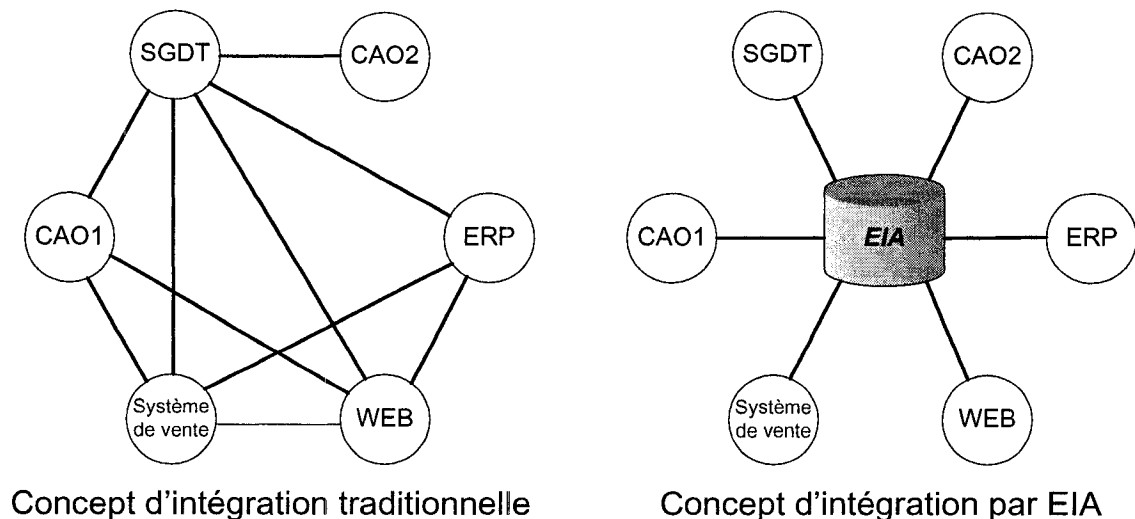


Figure 20: Intégration traditionnelle vs. Intégration avec EIA
Source : (Saaksvuori et Immonen, 2005)

En Bref, avec l'agencement d'un système TI, pour développement de produits, et d'un EAI, il est possible de créer une fondation flexible et durable sur laquelle on peut développer l'entreprise prête à affronter les challenges futurs.

Web services

Le principe des « web services » vise à mettre en œuvre des applications distribuées utilisant les protocoles et les langages devenus des standards avec le

développement de l'internet (XML¹⁰, WSDL¹¹, UDDI¹², SOAP¹³...) (Debaecker, 2004). L'interopérabilité entre les applications est obtenue de fait par l'utilisation de ces standards. Par contre, la gestion de ces interfaces entre applications n'est pas centralisée comme avec l'utilisation des EAI.

¹⁰ eXtensible Markup Language

¹¹ Web Service Description Language

¹² Universal Description Discovery and Integration

¹³ Simple Object Access Protocol

3. Méthodologie

L'étude effectuée étant assez complexe, une méthodologie fut développée afin de simplifier le travail. Plusieurs méthodes de représentation furent aussi choisies afin de représenter les informations recueillies et différents outils furent utilisés. Ces éléments sont tous élaborés dans ce chapitre.

Les activités de recherche entreprises peuvent être classées en trois étapes distinctes; la recherche dans la littérature, la collecte de données sur les lieux de l'entreprise et l'analyse de ces données. L'analyse fut exécutée en utilisant différentes méthodes de représentation et des outils permettant de mettre en œuvre ces méthodes.

3.1. Recherches

Beaucoup de temps fut investi durant les premiers mois afin de définir le cadre des recherches. La gestion des changements au BICCM à elle seule est un sujet trop vaste pour la rédaction d'un simple mémoire de maîtrise. Il a nécessité que plusieurs rencontres soient organisées entre les gens de l'industrie et ceux du secteur académique afin de pouvoir fixer et bien comprendre les limites des recherches.

Il a aussi fallu assez de temps avant que les motifs des relations entre l'organisation, le personnel et la technologie puissent être discernés. Des études démontrent l'importance de l'exposition aux produits et aux individus par une présence constante directement sur le site des recherches (Barley, 1986; Dougherty, 1992; Zabusky, 1995). C'est dans cet ordre d'idées qu'un séjour d'une période de près de six mois fut entrepris, à temps plein, au sein de l'entreprise pour y étudier quelques scénarios types. Durant les six mois qui suivirent, la fréquence des visites chez l'entreprise diminua à environ deux fois par mois.

Le but de ce séjour était de documenter avec précision :

- Les différents processus de gestion des modifications d'ingénierie.

- L'état de l'ensemble des données impliquées, avant et après changement (ex. : dessins d'ingénierie, modèles Catia, MOS, PVA, etc.).
- Les documents nécessaires à la gestion du changement (Engineering change request, ECR, Engineering change order, ECO, etc.).
- Les applications informatiques et le savoir-faire nécessaires au traitement des informations.
- Les mécanismes de gestion des flux de travaux ou « Workflow » (papier et électronique).

Des journées plénières furent aussi organisées afin de rassembler les chercheurs, les industriels et les fournisseurs de solutions logiciels. Le but de ces rencontres était de former un forum de discussion sur la couverture fonctionnelle offerte par les systèmes TI ainsi que des différents scénarios de changements documentés. Les écarts entre les outils disponibles et les scénarios ont été mis en évidence lors de ces discussions.

3.1.1. Collecte de données

Puisque très peu de documentation était disponible sur les sujets étudiés, la majorité de l'information fut donc obtenue par entrevues. C'est en interrogeant des membres du personnel et en faisant la lecture de documentation rédigée par les différents départements qu'un portrait global des processus de changements et des applications informatiques de l'entreprise fut dressé.

Environ une cinquantaine de personnes furent interviewées, au cours d'entrevues semi-structurées (O'Sullivan, 2000), d'une durée de plus ou moins 10 à 45 minutes. Certaines des questions faisaient parti d'un questionnaire préalablement établi tandis que d'autres furent soulevées au fil de la discussion. La majorité des personnes interviewées furent par la suite recontactées à maintes reprises, soit en personne, par téléphone ou par courriel afin de recueillir les réponses à d'autres questions.

Les processus de gestion des modifications sont très complexes et difficiles à documenter. Une méthodologie fut donc développée afin de minimiser les erreurs et d'accélérer ce travail de la documentation. Ce processus de documentation est représenté par le diagramme de la figure 21 :

1. **Début de la documentation d'un processus**
2. **Trouver la personne qui connaît le mieux le processus en question;** il y a souvent un département ou une personne qui est responsable d'un processus en particulier. Ces personnes sont les gens clés et sont les premières personnes qu'il faut rencontrer, avant de s'attaquer à la documentation.
3. **Demander à la personne si elle est disponible pour une entrevue;** si cette personne est disponible, la rencontrer immédiatement.
4. **Fixer un rendez vous;** il se peut que la personne que l'on veut rencontrer ne soit pas disponible. Il est important de planifier un rendez vous avec cette dernière afin de pouvoir effectuer l'entrevue à un autre moment qui lui conviendra mieux.
5. **Lui demander quel est le premier département impliqué dans ce processus;** afin de simplifier le travail et de minimiser les erreurs, la documentation devrait idéalement commencer par l'interrogation de membres du premier département impliqué dans les processus. Les gens clés sont souvent ces personnes.
6. **Demander à la personne si elle est disponible pour une entrevue;** comme à l'étape 3.
7. **Interviewer le membre du département;** lui demander quelles sont les différentes tâches qu'il effectue, les différents outils, les règles à suivre, les outils utilisés et les documents impliqués. Il faut aussi lui demander quel est le département suivant impliqué dans le processus afin de pouvoir poursuivre la documentation.
8. **Recommencer l'étape 6 avec le département suivant;** jusqu'à ce que le processus soit complètement documenté.
9. **Fixer une rencontre avec le membre du département en question;** il se peut que la personne que l'on veut rencontrer ne soit pas disponible, il est donc

important de fixer un rendez vous afin de pouvoir effectuer l'entrevue à un autre moment qui lui conviendra mieux.

10. **Aller au département suivant;** afin d'éviter des pertes de temps lorsqu'une personne n'est pas disponible immédiatement, il est préférable de fixer un rendez vous avec cette personne. Il est aussi important de lui demander quel est le département suivant à être impliqué dans ce processus ainsi que le nom d'un membre de ce département afin de continuer toute suite la documentation avec le département qui suit celui qui n'est pas disponible.
11. **Validation du processus avec la personne en 2;** cette étape permet souvent de trouver des erreurs de documentation et de mieux comprendre le processus documenté.

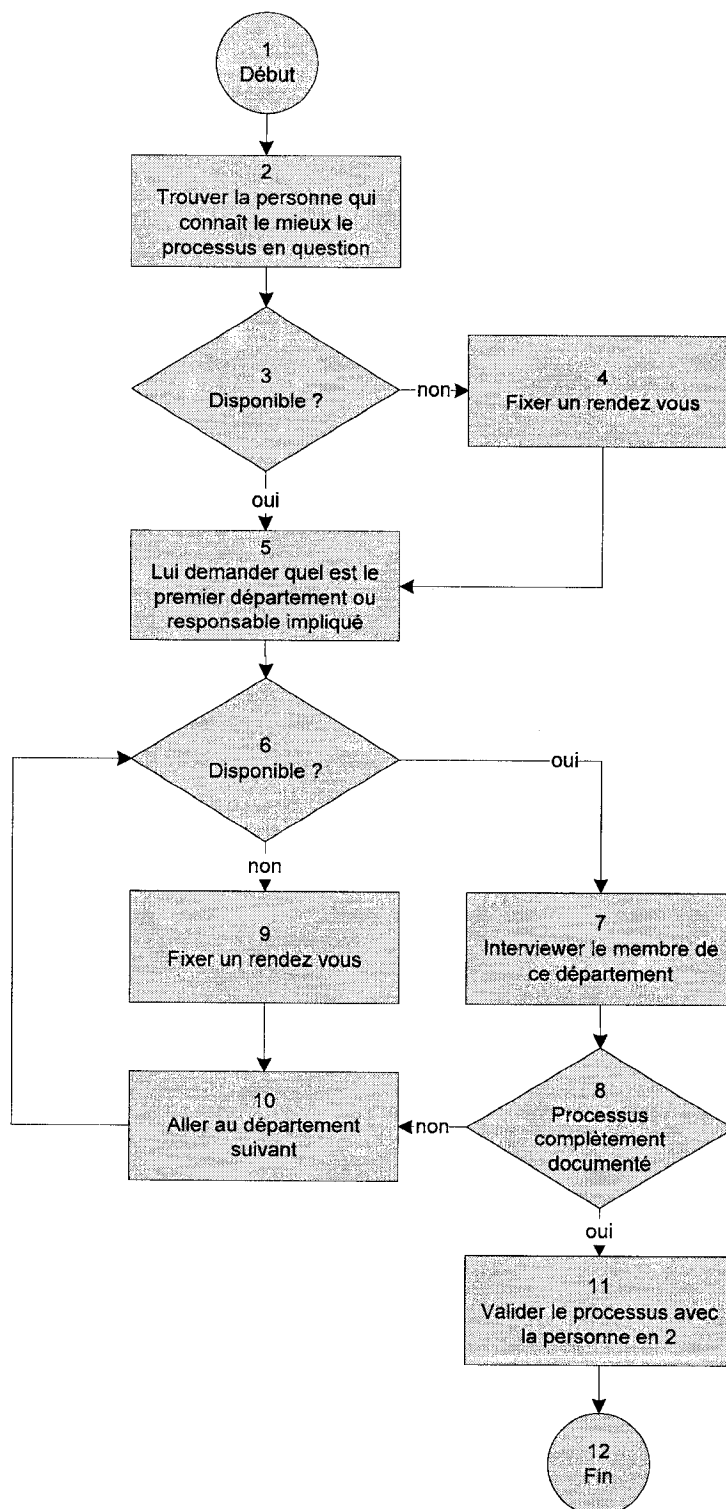


Figure 21: Méthodologie de documentation des processus

Une fois la documentation ou « mapping » d'un processus terminée, la documentation d'un autre processus peut débuter, le choix de ce dernier devrait se faire en essayant d'en choisir un ressemblant le plus possible à celui que l'on vient de terminer. En d'autres mots, ce processus devrait, autant que possible, avoir le plus de département, de personnes impliquées ou d'autres éléments en commun avec celui qui vient d'être cartographié. Plusieurs éléments du processus précédant pourront être réutilisés et les gens des départements impliqués y sont déjà familiers. Cette méthode permet ainsi de minimiser les efforts et de sauver du temps.

D'autres recherches ont été effectuées afin de déterminer le temps et l'effort nécessaires afin d'exécuter les processus en question. Ces informations ont été collectées dans le but d'effectuer des analyses semblables à celles décrites par Bhuiyan et al. (2004).

Une méthodologie fut donc élaborée afin de simplifier et d'accélérer la cueillette des informations de temps reliées à un processus de gestion des changements en particulier :

1. Déterminer quels sont les tâches durant lesquelles les employés entrent de l'information dans les mécanismes de flux de travaux
2. Déterminer quels sont les départements impliqués
3. Déterminer quelles sont les bases de données impliquées
4. Aller recueillir toutes les informations temporelles possibles dans les bases de données.
5. Placer les dates en ordre de temps (figure 22)
6. Associer les différentes dates aux étapes du processus en question.

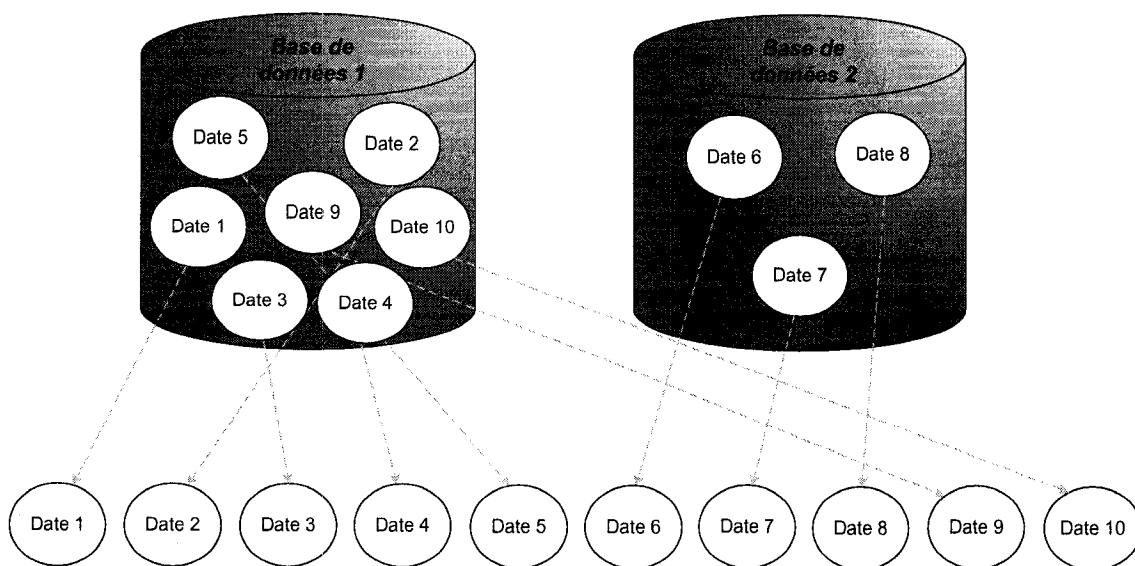


Figure 22: Réorganisation des dates recueillies dans les bases de données

3.1.2. Analyse de données

La collecte de données était souvent faite avec crayon et papier, sur les lieux de la compagnie. La plupart du temps, les informations recueillies durant les entrevues étaient sous forme de brouillons. La quantité des informations collectées apporta le besoin de réorganiser ces dernières. Ces données ont donc été résumées, par la suite, au propre sur papier ou en format digital, d'une manière semblable à celle décrite par O'Sullivan, (2000). Les données ont subséquemment été analysées plus en profondeur, avec différentes méthodes et outils, à l'extérieur de l'entreprise. Ces procédés et outils utilisés sont décrits plus en détail dans les sections qui suivent. L'analyse, quand à elle, sera élaborée en profondeur dans les chapitres six et sept.

3.2. Méthodes de représentation

La planification et le design de processus, spécialement dans l'industrie aérospatiale où le niveau de complexité est particulièrement élevé, est une tâche assez

difficile. Les compagnies qui sont confiantes en leurs habiletés techniques ont par contre souvent tendance à négliger la compréhension de leurs processus de design et de gestion du changement (O'Donovan et al. 2005). Même si elles sont les leaders mondiaux dans leur secteur technologique respectif, elles comprennent souvent très mal les processus nécessaires à la génération de ces technologies, ou par lesquels elles vont incorporer ces technologies dans leurs produits. Dans la vision de l'importance cruciale de la planification, cette section résume les différentes approches de planification et de modélisation utilisées dans les établissements commerciaux ainsi que dans le secteur académique qui ont été utilisés dans ce projet de recherche.

Avant de documenter les processus de gestion des changements, les différentes méthodes avaient préalablement été choisies afin de représenter les informations recueillies lors des entrevues, des recherches dans la documentation de l'entreprise et des recherches d'informations dans les bases de données de cette dernière. Des diagrammes de processus ont premièrement été construits afin de représenter proprement les processus. Ces diagrammes ont ensuite servi à fournir les informations nécessaires à la modélisation fonctionnelle, IDEFØ. La modélisation des processus, IDEF3, demanda que des recherches additionnelles soient effectuées dans des bases de données de l'entreprise. Les données furent premièrement recueillies dans des tables pour être par la suite converties en diagrammes de Gantt. Les simulations IDEF3 ont nécessité l'utilisation de données provenant des diagrammes de processus, des diagrammes IDEFØ ainsi que des diagrammes de Gantt, comme l'illustre clairement la figure qui suit :

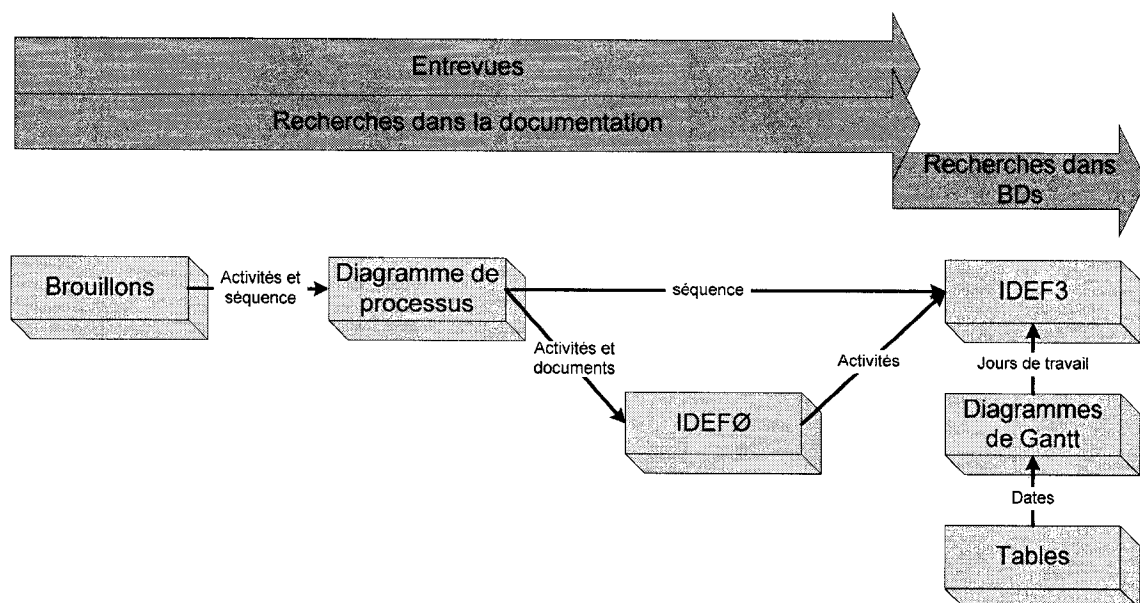


Figure 23: Diagramme des méthodes de représentation

La table 2, inspirée de Malik et Majid, (2005), permet de comparer les différentes méthodes de représentations utilisées au cours des recherches. Elle énumère les différents logiciels utilisés, les perspectives (ou points de vue) offertes, les entités et les éléments de constructions des diagrammes ainsi que la capacité de modélisation offerte par chacune des méthodes. Les éléments du tableau discutant des méthodes IDEFØ et IDEF3 sont disponibles dans Kim et al. (2001), le reste du tableau fut élaboré pour des recherches.

Table 2: Comparaison entre les différentes méthodes de représentation

	Diagramme de processus	IDEF0	IDEF3	Tables	Diagramme de Gantt
Logiciel	Ms. Visio	AIOWIN	ProSim	Ms. Excel	Ms. Project
Perspective	Les activités composant le processus Séquence des opérations	Les fonctions composant le processus Les entités nécessaires à l'exécution de chaque fonction Les entités générées par les fonctions	Le comportement d'un système Les opérations en fonction du temps L'ordre des opérations	Les dates inscrites dans les différentes bases de données	Le nombre de jours de travail nécessaires à l'exécution de différentes activités des processus La séquence des opérations Les dates entrées dans les différentes bases de données
Types d'entités du système	Fonctions Séquence des fonctions	Fonctions Conditions Flux des entités	UOB Séquence des UOB	Dates de promotion dans les bases de données	Barres
Éléments de construction	Activités Signatures Départements Blocs de décisions Plateau Blocs de début et fin	Activités ICOM	UOB Liens Jonctions	Dates # RFQ Départements	Nom de la tâche Début Fin ou durée Prédécesseur
Domaine sémantique	Ensemble des activités, décisions et signatures dans le système	Ensemble des fonctions composant le système	Ensemble de tous le processus composant le système	Ensemble des dates de promotion composant le système	Ensemble des tâches composant le système
Capacités de modélisation	Comportement dynamique Indépendant du temps Aucune hiérarchie Différents types d'objets	Comportement statique Indépendant du temps Hiérarchie Un seul type d'objets	Comportement dynamique En fonction du temps Transitions logiques (OR, AND et XOR) Hiérarchie Plusieurs types d'objet	Comportement dynamique Dépendant du temps Aucune hiérarchie Un seul type d'objets	Comportement dynamique En fonction du temps Aucune hiérarchie Un seul type d'objets

3.2.1. Diagrammes de processus

Les standards utilisés pour représenter les processus sur diagramme sont propres à Bombardier et sont fréquemment utilisés dans la compagnie. Le fait que les employés étaient déjà familiers avec ce type de diagramme fut l'une des principales raisons menant à l'adoption de cette méthode de représentation.

Voici une légende avec la signification des symboles utilisés dans les diagrammes de processus :

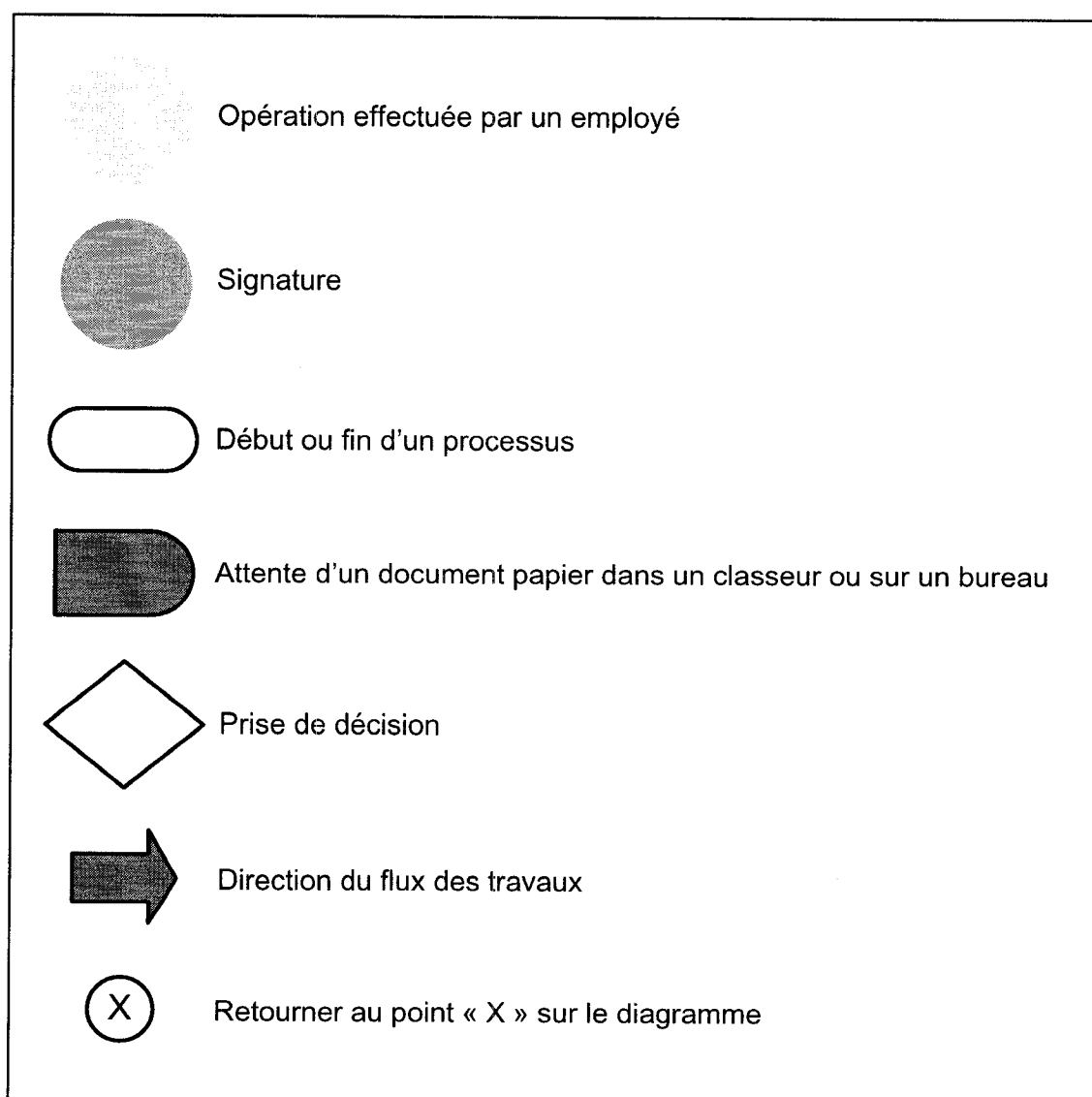


Figure 24: Légende des symboles dans les diagrammes de processus

En plus des symboles de la figure 24, les départements ou comités impliqués sont indiqués à gauche du diagramme et une liste d'acronymes est présente en bas à gauche, comme montré par la figure 25. Il est important de noter que la présence d'un plateau, indiquant l'attente d'un document dans un classeur ou sur un bureau, indique que les informations transmises entre deux opérations, ou signatures, sont sur papier. Il faut aussi mentionner que la séquence des opérations est dans le bon ordre sur ce type de diagramme mais que l'échelle temporelle au bas n'est pas constante, en d'autres mots, la quantité d'éléments de constructions (table 2) n'est pas directement proportionnelle au temps nécessaire pour les effectuer. L'échelle de temps au bas du tableau est donc une approximation, basée sur les entrevues, du temps qu'il faut afin d'accomplir une certaine section du processus.

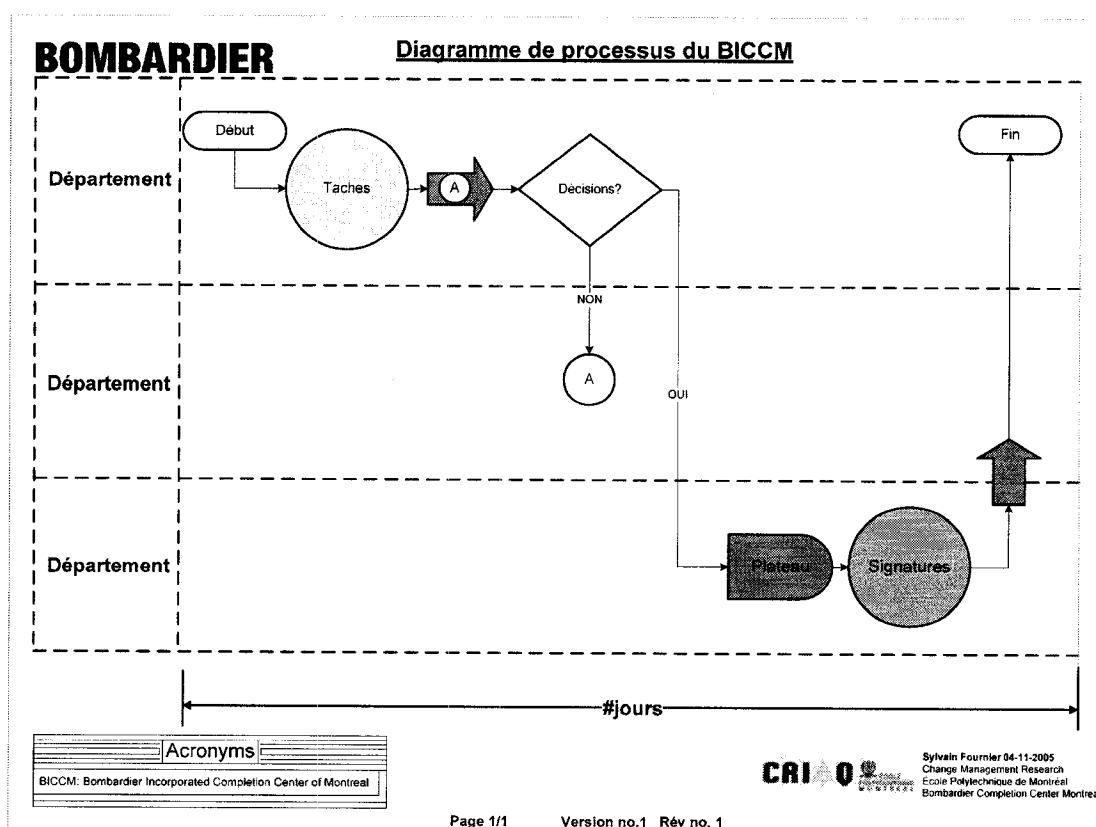


Figure 25: Exemple de diagramme de processus

3.2.2. IDEF

IDEF n'est pas qu'une simple méthode de représentation, mais plutôt une famille composée de 16 structures de modélisations différentes (IDEFØ – IDEF14, incluant IDEF1X). Les méthodes IDEF5 et plus ne sont encore qu'au stade de développement (O'Donovan et al. 2005). Les premiers modèles IDEF (IDEFØ, IDEF1 et IDEF2) furent développés dans le but de supporter l'ingénierie de systèmes et leurs analyses, mais la famille a rapidement grandi et son domaine d'utilisation s'est lui aussi grandement élargi (Table 3). Les méthodes IDEF ou « Integration DEFinitions » sont originaires d'un programme de la US Air Force, qui prit naissance durant les années 1970, pour la fabrication assistée par ordinateur intégrée ou « Integrated Computer-Aided Manufacturing » (ICAM) (NIST, 1993).

Table 3: Les méthodes de la famille IDEF (O'Donovan et al. 2005)

Code	Méthode IDEF
IDEF0	Modélisation fonctionnelle
IDEF1	Modélisation de l'information
IDEF1X	Modélisation des données
IDEF2	Design de modèle de simulation
IDEF3	Capture de la description des processus
IDEF4	Design orienté par objet
IDEF5	Capture de la description de l'ontologie
IDEF6	Capture de la rationalité de design
IDEF7	Évaluation du système d'information
IDEF8	Modélisation de l'interface des usagers
IDEF9	Design de système d'information dirigé par scénario
IDEF10	Modélisation d'architecture d'implémentation
IDEF11	Modélisation des artefacts d'information
IDEF12	Modélisation d'organisation
IDEF13	Design de documentation trois schéma
IDEF14	Design de réseaux

De tous les modèles IDEF existant, les méthodes IDEFØ et IDEF3 sont particulièrement pertinentes pour ces recherches. IDEF1 est généralement utilisé pour structurer et faire le lien entre les informations sans action ou interaction. IDEF2 est une structure formelle, rarement utilisée dans la pratique, servant à représenter l'analyse de scénarios dans des simulations. Elle sert de langue commune entre les experts de simulations et les experts de domaine. Mais dans cette recherche, ajouter un niveau de complexité supplémentaire aurait comme effet de réduire, plutôt que d'améliorer, la capacité d'utilisation du modèle. IDEF4, quand à elle, est une méthode orientée par objet, particulièrement utilisée dans le développement de logiciels.

IDEFØ

La méthode IDEFØ fut la première à être introduite et est aujourd'hui bien établie ainsi que largement utilisée. La modélisation fonctionnelle, comme son nom l'indique, est utilisée pour représenter les différentes fonctions dans un processus quelconque. Dans le cadre de ces recherches, elle fut utilisée afin de représenter d'une manière simplifiée et hiérarchique, les différentes tâches à accomplir dans les processus de gestion des modifications. Elle permet aussi de voir les relations entre les différents travaux, départements, documents et applications informatiques utilisés dans le changement au sein de l'entreprise. Elle est un dérivé d'une méthode de modélisation appelé SADT « Structured Analysis and Design Technique » (IEEE-SA Standards Board, 1998). IDEFØ fut originalement développée dans le but de modéliser le comportement fonctionnel de systèmes en ingénierie, mais est aujourd'hui appliquée à un spectre beaucoup plus vaste de processus d'affaires, incluant le design. IDEFØ représente un processus comme étant composé d'un réseau de fonctions, ou activités, ayant chacune des entrées, des contrôles, des mécanismes et des sorties (figure 26).

Les flèches sont communément appelés ICOM¹⁴. Pour ces recherches, les entrées sont des documents à être modifiés par la fonction et les sorties sont ceux qui ont

¹⁴ ICOM: « Input, control, output, mechanism »

été modifiés par cette dernière. Les contrôles sont des documents qui régissent ou influencent les fonctions mais qui ne sont pas modifiés ou transformés par celles-ci. Les mécanismes, quand à eux, sont les ressources, ou outils, nécessaires à l'exécution de l'activité. L'approche de Gamache, (1993) permettant de différencier les documents sur papier, les documents informatiques et l'information transmise oralement fut adoptée. Cette approche fut cependant poussée encore plus loin afin de permettre de différencier les applications informatiques des ressources humaines, comme l'illustre la figure 27.

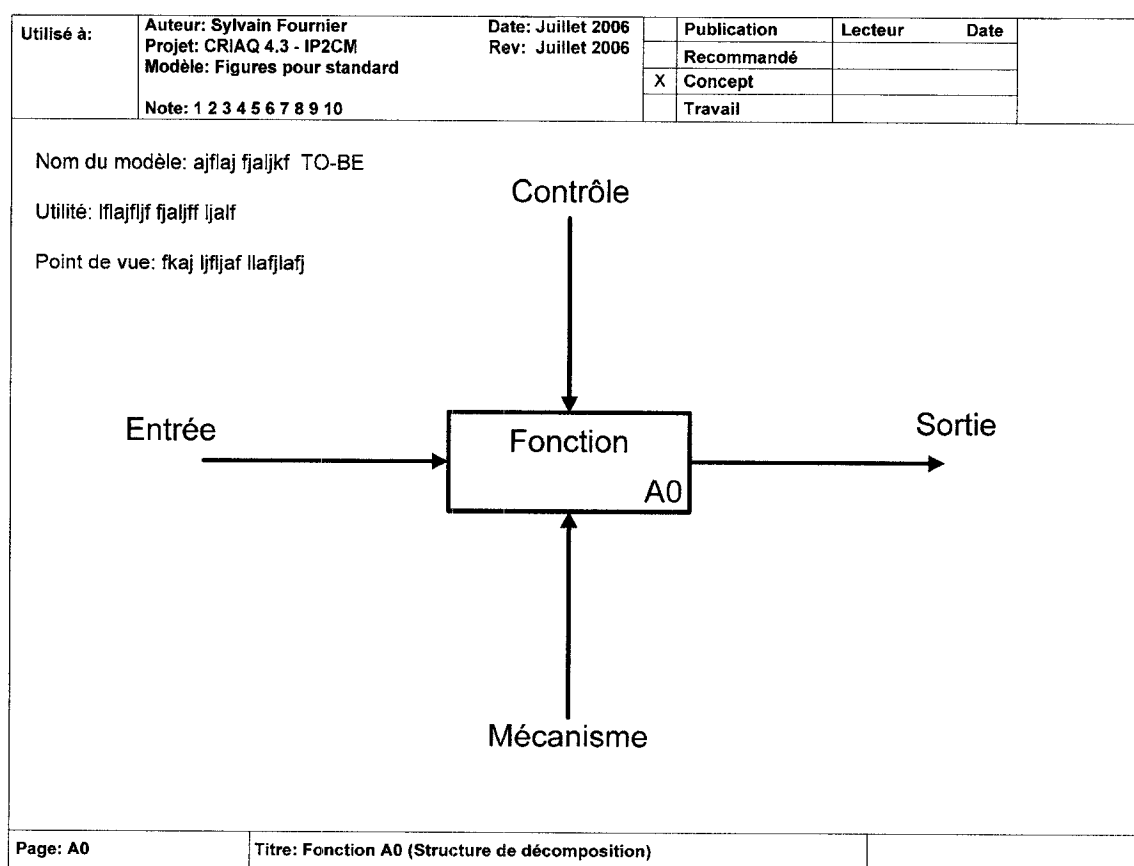


Figure 26: Fonction et ICOM IDEFØ

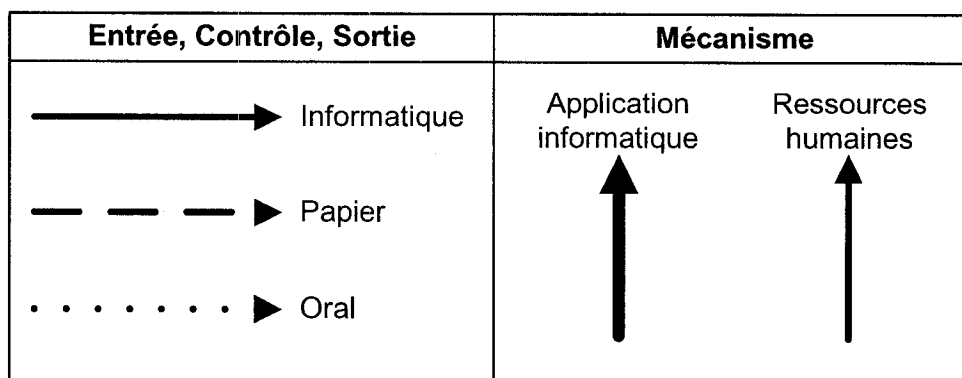


Figure 27: Sémantique des ICOM IDEFØ

Un cadre est normalement placé autour du diagramme, contenant une multitude d'informations sur la création et la révision de ce dernier. Le nom du modèle, son utilité et son point de vue sont détaillés à l'intérieur du cadre de la fonction du premier niveau. La méthode IDEFØ est une structure hiérarchique (figure 29). Un côté ombragé, autour de la case d'une activité, indique que cette activité possède un niveau de décomposition. Le niveau de décomposition sert à expliquer plus en détail la tâche à accomplir. Chaque fonction est numérotée en fonction de la structure de décomposition du modèle.

IDEF3

La méthode IDEF3 est utilisée pour capturer le comportement dynamique d'un processus. Il y a deux approches de modélisation contenues dans IDEF3 ; les diagrammes d'état¹⁵, qui sont plus appropriés aux applications de fabrication ou informatiques, et les diagrammes de processus¹⁶ (figure 31). Pour ces recherches, IDEF3 fut surtout utilisé afin de simuler le temps nécessaire à l'évaluation et à l'exécution de certains changements.

¹⁵ OSTN : « object state transition networks »

¹⁶ « process flow description »

Comme illustré à la figure 28, les principaux éléments de constructions des diagrammes sont les UOB¹⁷ (les activités), les liens et les jonctions. Les diagrammes d'états furent utiles au cours de ces recherches pour modéliser les différents statuts d'évolution des changements dans les mécanismes de flux de travaux, tandis que les diagrammes de processus furent utilisés pour simuler le temps nécessaire à l'exécution du processus. Tout comme pour les diagrammes IDEF0, un numéro est attribué à chaque activité. Cette numérotation est assignée en fonction du niveau de décomposition et de l'ordre de création, mais ceci est arbitraire. Un cadre est placé autour du diagramme et le nom du modèle, son utilité ainsi que le point de vue de ce dernier sont tous inscrits à l'intérieur du cadre du premier niveau de décomposition.

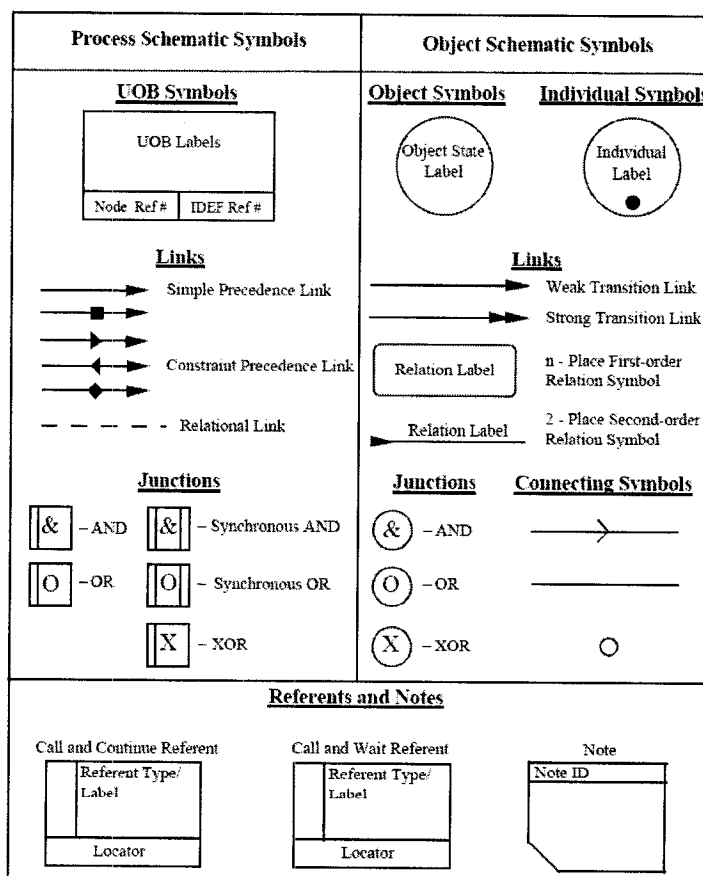


Figure 28: Sémantique IDEF3
Source : (IEEE-SA Standards Board, 1998)

¹⁷ UOB : « units of behavior »

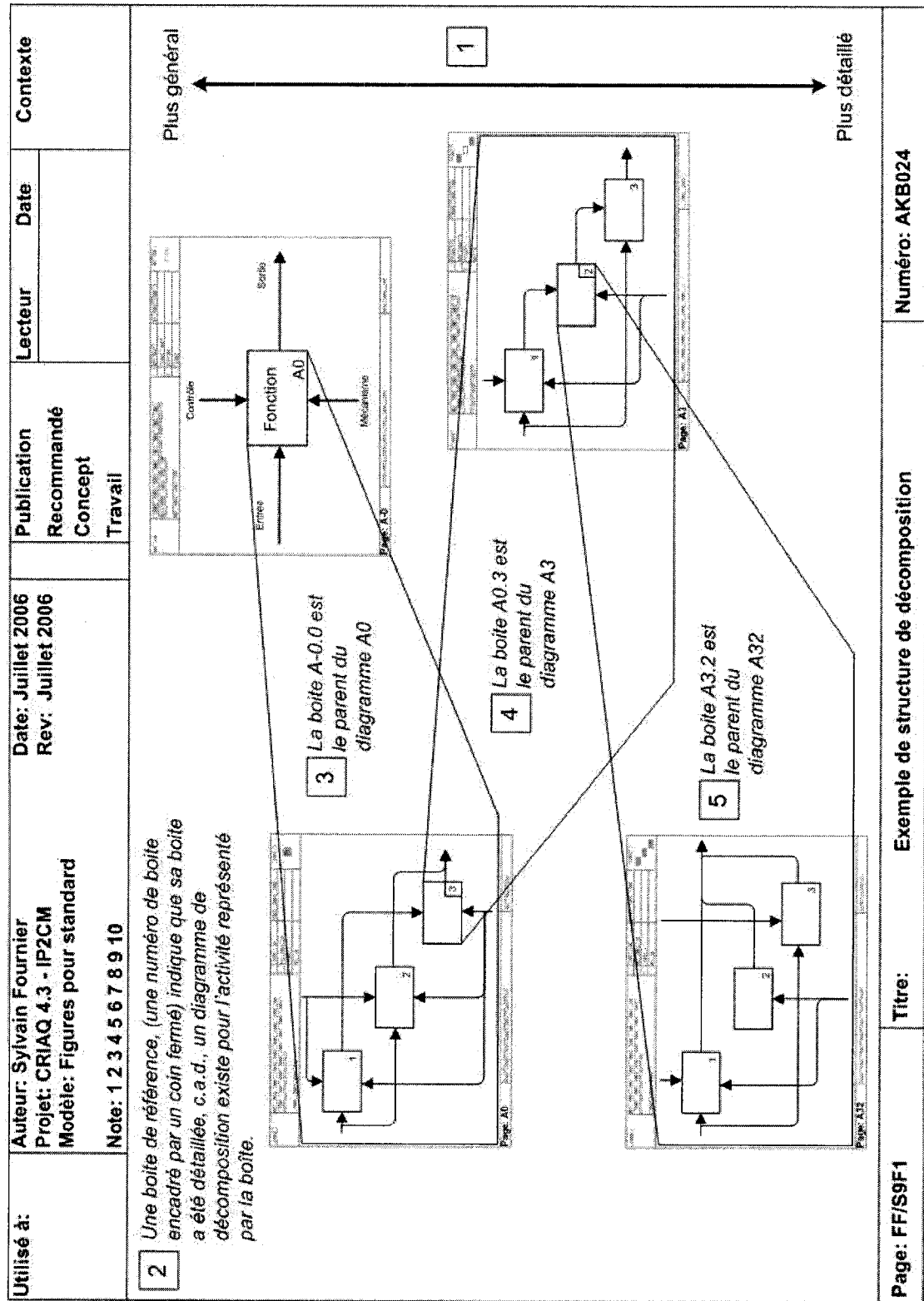


Figure 29: Exemple de structure de décomposition

Conversion des données IDEFØ vers IDEF3

Une procédure, tirée de Kim et al. (2001) et simplifiée par Malik et Majid, (2005), fut utilisée afin de passer des diagrammes IDEFØ à IDEF3. Cette procédure se base sur des principes, qui sont les suivantes :

- Tous les mécanismes (ou ressources) sont disponibles aux fonctions, ou aux UOB dans IDEF3, en tout temps et peuvent être retirés du modèle.
- Tous les contrôles (conditions) sont satisfaits et peuvent être retirés du modèle.

Il est évident que ces hypothèses sont un peu naïves mais, pour cette étude sur la gestion des changements en ingénierie, elle s'avéra très efficace afin d'économiser du temps. Voici ses différentes étapes :

1. **Enlever tous les mécanismes du modèle IDEFØ**
2. **Enlever tous les contrôles**
3. **Donner aux UOB le nom des fonctions IDEFØ correspondantes**
4. **Insérer le numéro d'identification IDEFØ correspondant dans la case appropriée de l'UOB (figure 30)**
5. **Joindre et séparer les liens à l'aide de jonctions (figure 32)**

En utilisant cette méthode, il faut prendre pour acquis qu'aucun flux d'objet n'est présent entre les UOB, faisant en sorte que les liens reliant ces derniers n'ont qu'une tête de flèche. De plus toutes les jonctions qui séparent les liens et les joignent sont synchronisées et logiques.

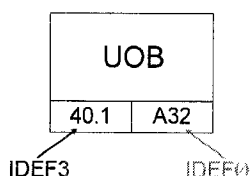


Figure 30: Lien IDEFØ dans un UOB

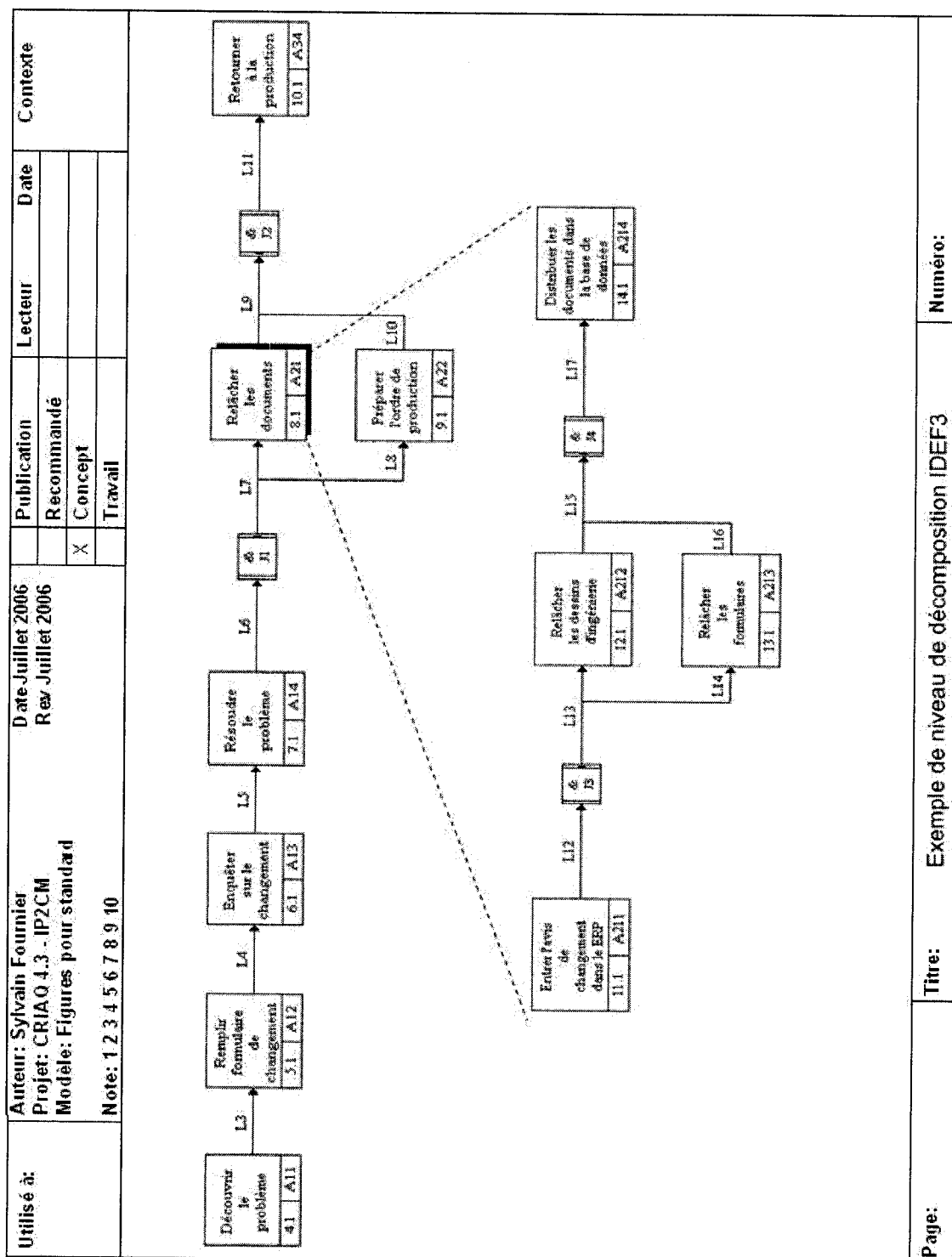


Figure 31: Exemple de décomposition des processus IDEF3

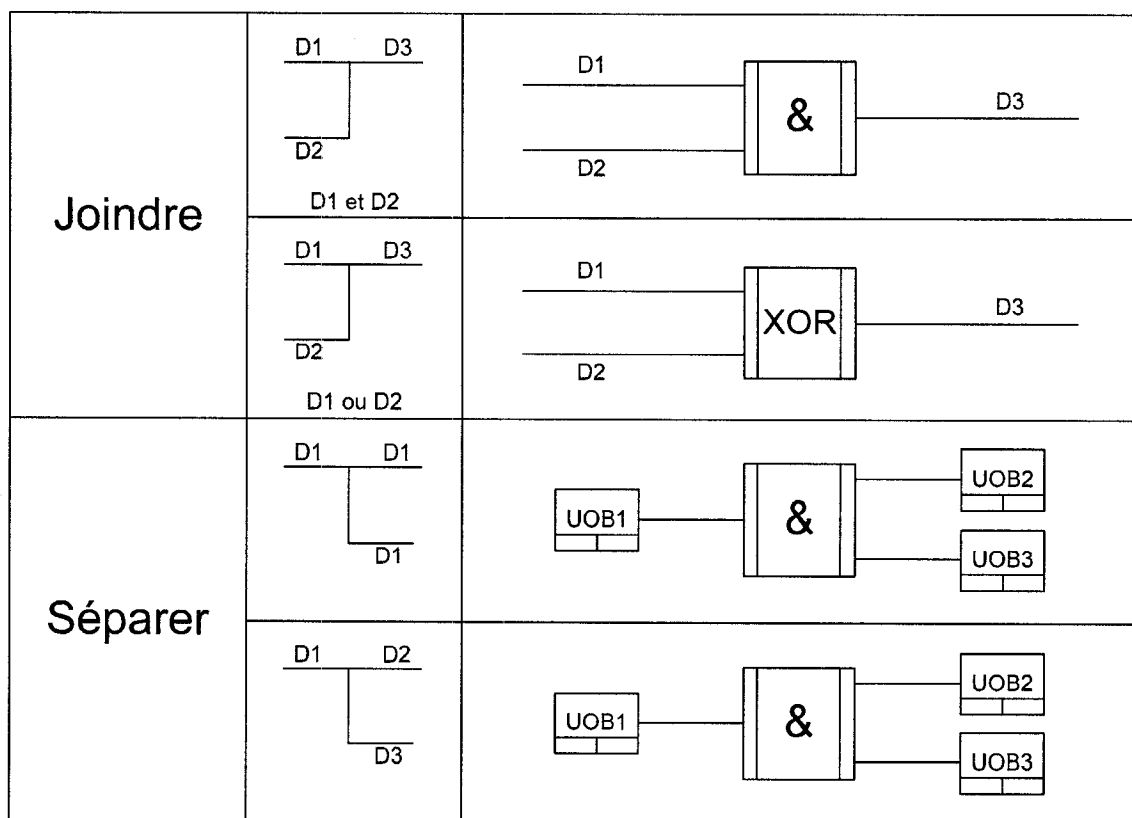


Figure 32: Jonctions IDEF3 en fonction de la structure IDEF0 initiale
Inspiré de : (Kim et al. 2001)

3.2.3. Feuilles de calcul

Une feuille de calcul, ou « spreadsheet », est une table (ou grille) d'informations qui sont la plupart du temps financières.

Pour ces recherches, les feuilles de calculs ont été utilisées afin de collecter les informations temporelles nécessaires pour les simulations IDEF3. Ces informations recueillies dans des bases de données, concernant l'avancement des processus, furent inscrites dans une feuille de calcul. Il fut ensuite possible de calculer le nombre de jours à s'être écoulé entre les différentes étapes d'un certain processus, comme l'illustre la table 4 :

Table 4: Exemple de feuille de calcul

Date 1	Date 2	Nombre de jours entre date 1 et 2	Date 3	Nombre de jours entre date 2 et 3
12 mai 2006	14 mai 2006	2	21 mai 2006	7
2 juin 2006	7 juin 2006	5	22 juin 2006	15
6 juin 2006	15 juin 2006	9	28 juin 2006	13
22 juin 2006	23 juin 2006	1	2 juil. 2006	9

Le but de cet exercice était de déterminer le nombre de jours de travail nécessaires afin d'accomplir les différentes tâches d'un processus. Cette méthode permet de calculer seulement le nombre total de jours s'étant écoulé entre deux dates et ne tient pas compte des fins de semaine, pendant lesquelles les employés ne travaillaient pas. Elle n'est donc pas un outil approprié de calcul des temps pour cette étude. Une autre méthode, capable de tenir compte des jours durant lesquels les employés ne travaillent pas, a dû être trouvée pour remplir cette tâche. Les tables furent par contre un outil très efficace afin de recueillir les données.

3.2.4. Diagrammes de Gantt

Développé durant les années 1910 par Henry L. Gantt, un ingénieur américain, le diagramme de Gantt est un concept utilisé en ordonnancement et en gestion de projet permettant de visualiser dans le temps les diverses tâches composant un projet. Il permet de représenter graphiquement l'avancement du projet.

Les diagrammes de Gantt s'avéraient la méthode de choix afin de déterminer les jours de travail dans un certain laps de temps et c'est pour cette raison qu'ils furent utilisés. Les différents éléments de construction de ce type de diagrammes sont illustrés à la figure qui suit :

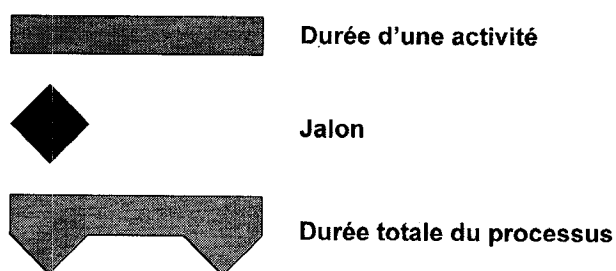


Figure 33: Légende des symboles dans les diagrammes de Gantt

3.3. Outils

Une multitude d'outils, ou de logiciels, furent utilisés afin de documenter, représenter et simuler les différents processus de gestion des changements de l'entreprise étudiée. Cette section discute des principaux logiciels utilisés durant les recherches.

3.3.1. Visio

Le logiciel utilisé afin de réaliser les diagrammes de processus est Visio, de Microsoft. Visio est un logiciel de représentation graphique permettant de réaliser des diagrammes de gestion et des diagrammes techniques. Les informations peuvent y être visualisées d'une façon claire, concise et efficace, ce que le texte et les chiffres ne sont pas toujours capables de faire. Il est aussi très facile, avec cet outil, de reprendre des diagrammes existants et de faire des mises à jours. Sa facilité d'utilisation et les quantités imposantes d'informations qu'il permet de symboliser en peu de temps en fait une solution idéale afin d'assister à la collecte de données lors de la documentation de processus.

3.3.2. AIØ WIN

L'outil utilisé afin de concevoir les diagrammes IDEFØ est AIØ WIN, de KBSI. L'utilisation de ce logiciel permet de concevoir des diagrammes, libres d'erreurs, rapidement et sans avoir à se préoccuper de toutes les normes de construction IDEFØ.

Les modèles d'AIØ WIN permettent de documenter et de visualiser graphiquement les activités d'une entreprise. Ils sont organisés selon des niveaux de hiérarchie dans lesquels on peut naviguer par un simple clic de la souris. Cet outil permet aussi d'attacher du texte, des images ou des fichiers quelconques à l'intérieur des activités qui aident à les décrire.

Le logiciel permet aussi de visualiser les informations sous forme de tableau (figure 34). Ceci permet de rapidement déterminer les relations existant entre les activités et les ICOM. Cette fonctionnalité permet aussi d'avoir une vue détaillée des responsabilités organisationnelles qui sont présentées dans le modèle.

Legend:															
I = Input C = Control O = Output M = Mechanism Concept Unused Concept Activity Activity with no Controls D = Decomposition A = Call Arrow		Concepts													
Activities															
A1: Evaluate and execute a change request from customer		D													
A2: Evaluate and resolve a basic inhouse technical problem		D													
A3: Evaluate and resolve a multipartner or complex technical problem		D	I		O	M	M	O	O	O	C	C			
A4: Evaluate, approve, manage, prioritize and incorporate		D	O		C	M	M			I					

Figure 34: Exemple de matrice activité/concept dans AIO WIN

AIØ WIN permet aussi d'exporter les modèles en formats Visio, XML et SVG, élargissant ainsi les possibilités de communication. Il permet de plus de calculer

les coûts reliés aux processus par la méthode d'analyse « Activity Based Costing » (ABC), qui ne fut cependant pas utilisée au cours de cette étude.

3.3.3. Excel

Microsoft Excel est un tableur, à l'origine destiné au traitement des données financières, il fut utilisé afin de manipuler les tables de calculs. Bien que ce logiciel permette de faire des calculs complexes, il fut surtout utilisé afin de recueillir des informations et d'effectuer des calculs de base.

3.3.4. Project

Tout comme son nom l'indique, Microsoft Project est un outil utilisé en gestion de projets. C'est à partir de ce logiciel que les diagrammes de Gantt furent générés et que les jours de travail, nécessaires à l'exécution des processus de gestion des modifications, furent déterminés. Les fonctions de bases, seulement, furent utilisées afin de créer des diagrammes très clairs, bien que le logiciel est aussi capable de fonctionnalités très complexes comme :

- La planification des ressources
- La planification des coûts
- La prévision de la qualité et des risques
- La planification de la communication et de la sécurité

3.3.5. ProSim

Le logiciel ProSim, de KBSI, a été utilisé afin de concevoir les modèles IDEF3¹⁸, des processus de gestion des changements de l'entreprise étudiée. Tout comme son cousin AIØ WIN le fait pour la méthode IDEFØ, l'utilisation de ce logiciel

¹⁸ Comprenant les diagrammes d'états et diagrammes de processus

permet de concevoir des diagrammes, libres d'erreurs, rapidement et sans avoir à se préoccuper de toutes les normes de construction IDEF3.

Cet outil de modélisation est capable de générer des modèles de simulation (figure 35) d'un processus et il permet même d'étudier l'efficacité du flux de travail pour un processus en question. L'utilisateur peut donc utiliser ProSim afin de réarranger les différentes étapes, ou activités, d'un processus et effectuer une simulation, temporelle ou monétaire, afin d'en évaluer l'efficacité. Il est ensuite possible, par itération, d'arriver en bout de ligne à une solution optimale. Les modèles sont organisés selon des niveaux de hiérarchie dans lesquels on peut naviguer, de l'un à l'autre. ProSim permet aussi d'attacher du texte, des images ou des fichiers quelconques aux UOB afin de mieux les décrire.

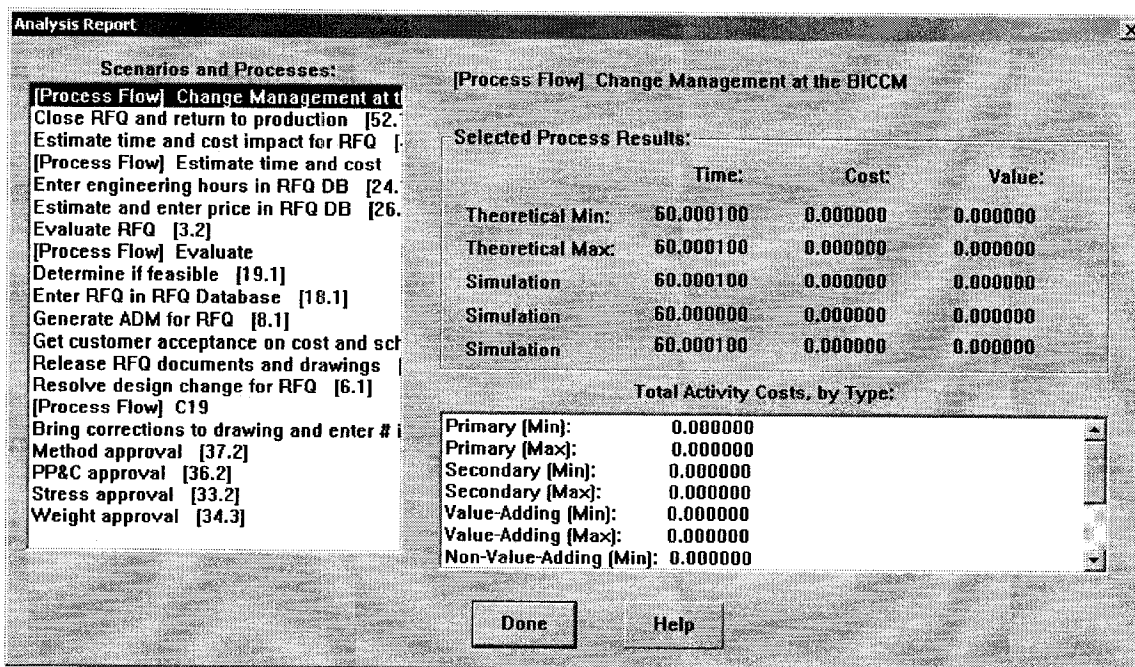


Figure 35: Résultat d'une analyse de temps dans ProSim pour un processus

ProSim permet aussi d'exporter les modèles en formats HTML, Visio, XML et SVG, facilitant ainsi la distribution des modèles, sur le web par exemple. Il permet d'importer des diagrammes Microsoft Project et Visio.

AIØ WIN et ProSim étant tous les deux des produits de KBSI, il est possible d'exporter les modèles d'AIØ WIN en format .txt, qui peuvent par la suite être importés dans ProSim. Cette méthode, si effectuée entre la deuxième et troisième étape de la méthode de conversion décrite à la section 3.2.2, permet de conserver le nom des activités et de garder un lien entre les activités et les UOB (figure 30). Elle permet ainsi de sauter les étapes 3 et 4 de la méthodologie décrite précédemment, qui devient alors :

1. **Enlever tous les mécanismes**
2. **Enlever tous les contrôles**
3. **Exporter en format .txt à partir d'AIØ WIN**
4. **Importer le fichier .txt dans ProSim**
5. **Joindre et séparer les liens à l'aide de jonctions (figure 32)**

3.4. Résumé

La majorité des informations furent recueillies par entrevues, en interviewant des gens de divers départements dans la compagnie. La plupart de ces entrevues étaient assez informelles et de courtes durées.

Les données recueillies, au début sur un bout de papier, furent par la suite transformées et analysées en utilisant des méthodes, comme IDEFØ et IDEF3. Chacune de ces méthodes permet d'exprimer et transmettre les informations sous différents angles, permettant ainsi de mieux les comprendre.

Des outils furent utilisés afin de faciliter le travail de représentation des processus et de minimiser les erreurs. Ces outils, qu'il est parfois possible de faire interagir, permettent d'effectuer des simulations et rendent possible une meilleure communication des données recueillies, en ce qui concerne les processus.

4. Présentation du système d'information et des ressources impliquées dans la gestion des changements

Les documents mis à la disposition des employés, les employés eux-mêmes et les applications informatiques qu'ils utilisent sont toutes des ressources nécessaires à l'accomplissement d'un processus de gestion des changements dans une entreprise œuvrant dans le développement de produits complexes. Afin de bien comprendre les processus de modification, il faut bien comprendre quelles sont ces ressources, comment où, pourquoi et quand elles sont utilisées.

4.1. Les applications informatiques

Cette partie élabore sur l'utilisation des différentes applications servant à la création et à la gestion des données du produit.

4.1.1. Les applications générant les données de design

Le système d'information de l'entreprise est intensément utilisé tout au long du développement des produits. Il est composé d'un bon nombre d'applications et est utilisé par une foule de départements, notamment lors de la gestion des changements. La majorité des applications sont des applications standards, disponibles sur le marché, tandis que d'autres ont été développées pour/par l'entreprise. Une partie importante des travaux pratiques était de comprendre le rôle de chacune des composantes du système d'information, qui génère des données qui définissent le produit de l'entreprise et les interactions existant entre elles. Les différentes composantes du système d'information étudié sont les suivantes :

- **AutoCad:** Ce logiciel, conçu par Autodesk, est surtout utilisé pour modifier des anciens dessins qui avaient antérieurement été créés avec cette application. Il est aussi utilisé par des gens qui n'ont pas encore reçu de formation sur Catia V5. L'utilisation de ce logiciel, moins bien adapté à l'industrie aérospatiale que bien d'autres systèmes, est justifiée par une certaine culture qui est bien ancrée dans l'entreprise et les coûts de production qui lui sont associés.
- **Catia V4:** Ce système de CAO, développé par Dassault Systèmes, est utilisé par le personnel technique (ingénieurs, techniciens, etc.) afin de modifier des fichiers qui n'ont pas encore été convertis sous des formats capables d'être utilisés par la plus récente version du logiciel (Catia V5). On l'utilise aussi pour des applications dont on juge qu'elles ne sont pas encore au point dans V5, comme la création de surfaces complexes. Tout comme avec Autocad, la transition de ce logiciel vers la nouvelle version V5 est une question de culture et de rentabilité.
- **Catia V5:** Ce logiciel, ou plutôt ce système, de conception est aujourd'hui très utilisé dans l'industrie aérospatiale. Il fut mis au point par le même développeur que Catia V4. Cette application de conception, utilisée intensivement par le département d'ingénierie, est une des composantes clés dans la gestion du cycle de vie du produit. Dans l'entreprise étudiée, on l'utilise pour créer des nouveaux modèles 3D et des dessins 2D. On l'utilise aussi intensivement afin de modifier ces derniers. Un avantage notable de l'utilisation de ce système, par rapport à des systèmes plus anciens, est la construction d'une maquette numérique, lorsqu'il est jumelé à un SGDT. Ce système permet aussi la détection des interférences entre les différentes pièces composant un assemblage.
- **CDM:** Ce SGDT est utilisé afin de gérer les fichiers générés à partir de Catia V4. On l'utilise surtout afin de gérer les pièces du « Green Aircraft » (l'appareil sans la finition) dont une bonne quantité provient de fournisseurs et partenaires. Il y existe une structure de produit mais la plupart des pièces de finition n'en font pas partie, elles sont tout simplement placées pêle-mêle dans la base de données. CDM permet de contrôler le statut de maturité des pièces ainsi que de gérer les

révisions. Il possède aussi un mécanisme de verrouillage des pièces permettant d'assurer qu'une seule personne à la fois travaille sur une pièce.

- **Enovia LCA:** Mis au point par Dassault Systèmes, Enovia LCA fait parti de la nouvelle génération des SGDT très flexibles et puissants. Il est utilisé afin de gérer les données générées par Catia V5, bien qu'il soit capable d'en faire beaucoup plus. Le squelette de la maquette numérique qu'il gère est le EBOM, où toutes les informations reliées au produit sont stockées. Cette structure de produit est ensuite configurée, pour chaque numéro d'avion, avec ses options particulières, puisque chaque appareil est personnalisé. Tout comme le fait CDM, Enovia LCA permet de contrôler le statut de maturité des modèles et dessins ainsi que leurs révisions. Il possède aussi un mécanisme de verrouillage des pièces permettant d'assurer qu'une seule personne à la fois travaille sur une pièce et/ou dessin.
- **Motiva:** Il serait possible, à la limite, de considérer Motiva comme étant le SGDT de Autocad, puisqu'il existe un lien direct entre les deux applications. Mais Motiva sert en réalité à gérer toutes les données d'ingénierie de la compagnie, créées à partir de Autocad, Catia V4 et Catia V5. Il n'y existe pas de structure de produits, on utilise plutôt une « Indented Drawing List » (IDL) que l'on peut par la suite filtrer. Les révisions des différentes données s'accumulent dans ce SGDT. Il permet de contrôler le statut de maturité des pièces et possède aussi un mécanisme de verrouillage, qui ne fonctionne cependant qu'avec Autocad.
- **DTS:** Le « Drawing Tracking System » développé spécifiquement pour l'entreprise, sert d'interface par laquelle tous les employés peuvent avoir accès à l'information stockée dans Motiva. Une fois libérés, les fichiers d'ingénierie sont transformés en format « .pdf » et sont distribués dans DTS, par le département de gestion de configuration.
- **BaaN:** Ce logiciel ERP, mis au point par SSA Global, est intensivement utilisé par le département de méthodes, mais est aussi consulté par les départements des

achats, logistique et plusieurs autres. Une structure de produit de fabrication, normalement appelée MBOM, y est présente, bien qu'on lui donne dans cette situation le nom CustBOM. Bien qu'elles soient très semblables, il n'existe présentement aucun lien direct entre la structure de produit d'ingénierie et celle de fabrication, mais la convention des noms des pièces qu'elles contiennent est assez semblable.

La figure 36 permet de représenter les interactions existant entre les diverses applications informatiques de l'entreprise :

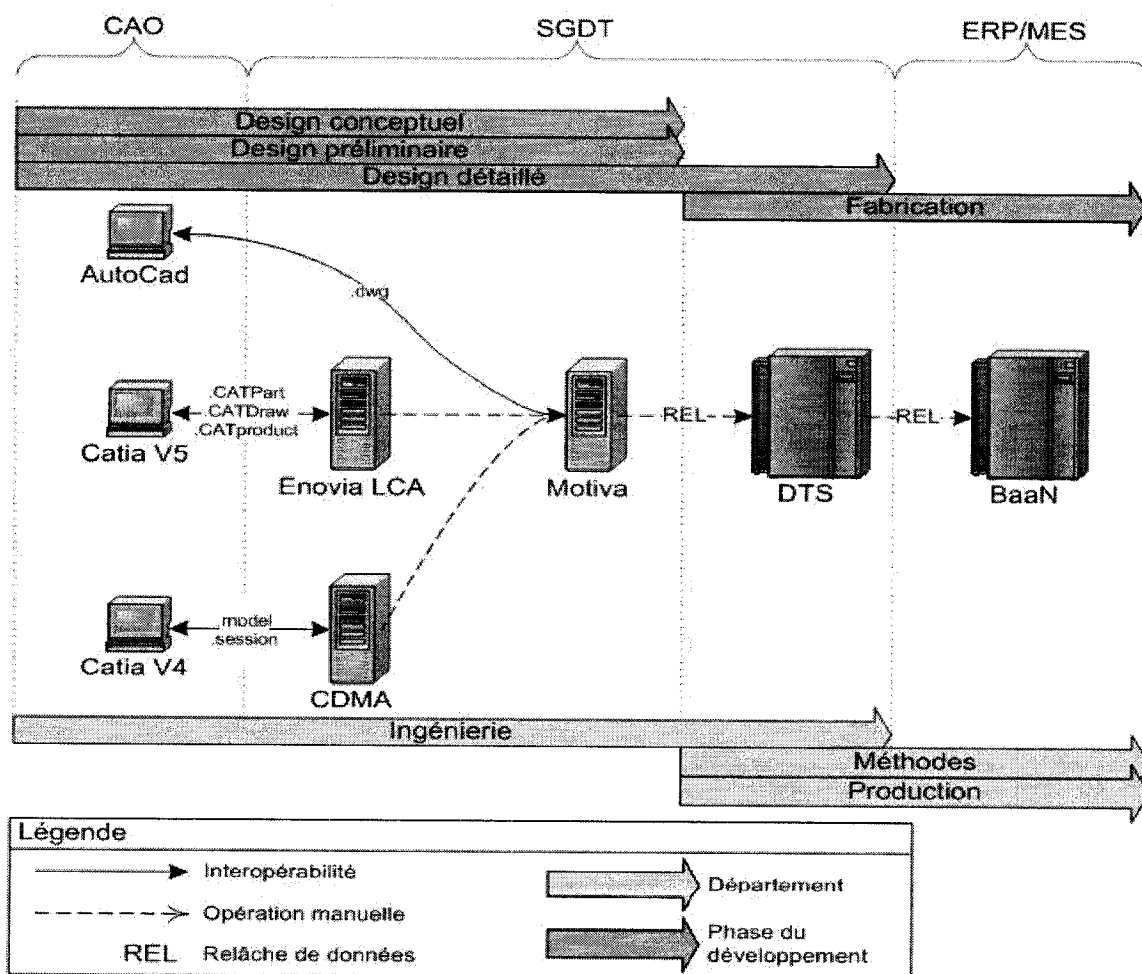


Figure 36: Les composantes du système d'information

4.1.2. Les mécanismes de gestion des flux de travaux

Des bases de données développées spécifiquement par ou pour l'entreprise étudiée servent des mécanismes de gestion des flux de travaux « Workflow », afin d'harmoniser, simplifier, accélérer et réduire le risque d'erreurs lors de la gestion des différents processus de gestion des modifications. Les principales bases de données sont pour la plupart des applications Microsoft Access.

La base de données DCP

Come son nom le dit, cette base de données sert à la gestion du processus « Design Change Proposal » (DCP). Elle est accessible par tous les départements impliqués dans le processus en question mais est gérée par le département de « Project Planning and Control » (PP&C). Le flux de travaux est assuré par différents statuts, illustrés à la figure 37, qui servent à aviser les départements de l'avancement des modifications. Les départements peuvent, de cette manière, prendre action aussitôt que le processus arrive à une phase où ils doivent s'impliquer. On y retrouve dans son interface le numéro de la requête et le titre de cette dernière. La cause du problème de design, l'impact de ce dernier, les fournisseurs impliqués ainsi qu'une solution proposée y sont tous inscrits. Le numéro des dessins, la révision proposée et que le nom de tous les documents touchés par la requête sont d'autres informations entrées dans cette base de données. Une fois que les corrections ont été effectuées aux documents et que ces dernières ont été approuvées par le comité de contrôle de changement d'ingénierie (ECCB), l'approbation de la requête est notée dans la base de donnée.

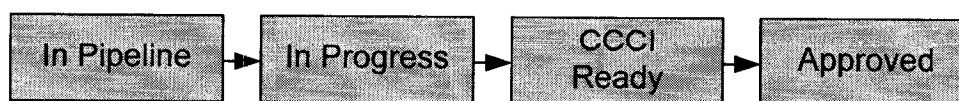


Figure 37: Les statuts de la base de données DCP

La base de données RFC

La base de données servant à gérer le flux de travaux pour le processus « Request for Change » (RFC) est assez semblable à la base de données DCP puisqu'elles servent toutes les deux à gérer un processus de résolution de problème technique. Une différence majeure est que la base de données RFC ne contient aucune information concernant les fournisseurs, puisque ces derniers ne sont pas impliqués dans le processus. Une autre différence assez importante est l'absence des statuts représentant l'avancement du processus. De plus, contrairement au processus DCP qui était géré par le département PP&C, les requêtes de changement sont gérées directement par le département de liaison/ingénierie. La base de données RFC contient de l'information concernant la structure du produit, ce qui n'est pas le cas pour les bases de données DCP et « Request for Quote » (RFQ), dont la structure de produit est gérée séparément dans la base de données « Drawing Product Structure » (DPS). En bref, la base de données RFC sert beaucoup plus à recueillir, emmagasiner et illustrer l'information reliée au processus du même nom plutôt qu'à coordonner et gérer l'exécution de ce dernier.

La base de données RFQ

La base de données RFQ, servant à gérer les requêtes de clients, ou changements initiés, est la plus robuste de toutes celles servant à gérer le flux des changements de l'entreprise. Comme les autres bases de données du même type, elle contient les informations usuelles (# avion affecté, titre de la requête, description du changement, etc.). Par contre, la nature du processus RFQ requerra cette base de données du même nom à contenir de l'information sur le client. Comme l'illustre la figure 38, différents statuts aident à gérer le flux de travaux nécessaires à l'exécution du processus de modification. Il faut cependant noter que cette application ne sert pas qu'à gérer les travaux du processus en son entier, mais seulement la partie se situant entre la requête du client et l'acceptation du prix du changement par ce dernier. Le reste du processus (les changements d'ingénierie) est géré par la base de données DPS. La BD

RFQ contient quand même une section dans laquelle on peut voir quels sont les dessins d'ingénierie affectés par le changement et une autre section permettant de voir l'impact sur le département de méthodes. La fonctionnalité première de cette base de données reste cependant de servir de centre d'information pour l'évaluation du prix de la requête.

La base de données DPS

La base de données DPS sert de système de gestion pour les changements apportés aux dessins d'ingénierie au cours des processus DCP et RFQ. Elle contient les estimés du nombre d'heures d'ingénierie nécessaire à l'exécution des changements ainsi que le nombre réel, qui est inscrit une fois que les corrections sont apportées. Pour ce qui est du processus d'approbation des modifications par les départements de Stress, Poids, Méthodes et Gestion de Configuration, elle contient une section servant à en gérer le calendrier. Elle possède même une section permettant de suivre l'avancement du cycle des signatures au cours de la vérification du design. À chaque fois qu'un département approuve les modifications, il devient au statut « Approved » dans la base de données, on inscrit le nom de la personne du département qui a effectué la vérification et la date de signature par ce dernier.

Program Manager

Program manager, application incluse dans Lotus Notes qui est utilisée afin de gérer le côté administratif des problèmes techniques complexes, survenant à la suite du processus RFQ et RFC ou en parallèle avec le processus DCP. Elle contient plusieurs statuts permettant d'identifier les stages de progression des travaux reliés au processus et afin de guider les départements dans l'exécution des tâches. L'effectivité du ou des changements, de l'information sur les partenaires et fournisseurs, des détails sur la quantité et le flux de travaux ne sont que quelques exemples d'informations recueillies dans cette application.

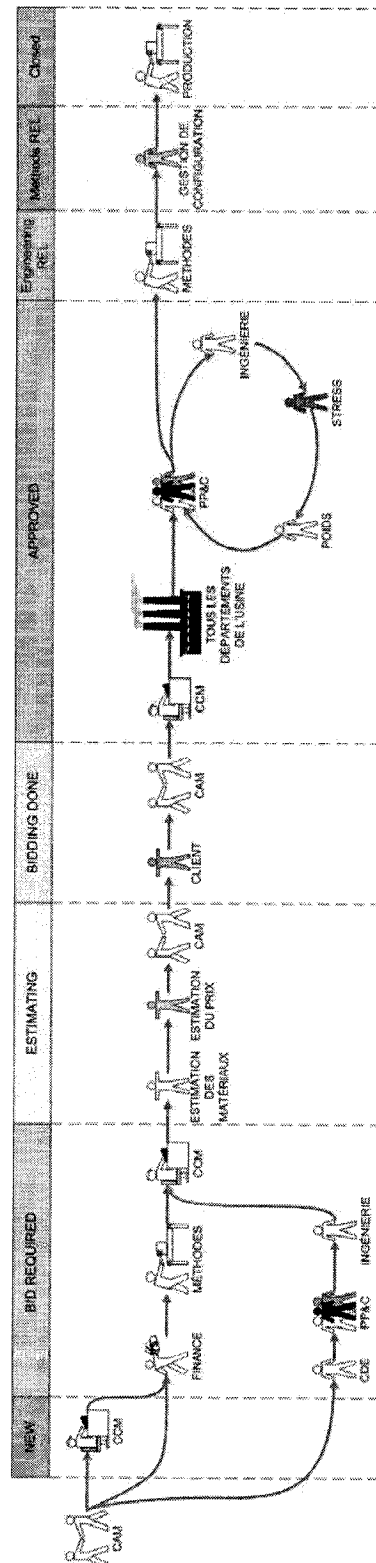


Figure 38: Flux de travaux en fonction des statuts de la BD RFQ

Les statuts de données gérées par les SGGT

Les systèmes de gestion des données techniques possèdent eux aussi un outil qui peut être considéré comme étant un mécanisme de gestion des flux de travaux. Lorsqu'une modification est initiée pour un dessin d'ingénierie, le système associe aux données un certain statut. Ce statut est par la suite promu, à plusieurs reprises, au fur et à mesure que le processus de gestion des modifications progresse. Les différents systèmes de l'entreprise possèdent différents statuts :

- **Motiva** : WIP et FREEZE
- **CDM** : WIP, APP et REL
- **Enovia LCA** : WIP, FAP, APP et REL

L'image qui suit illustre le flux de travaux dans l'entreprise en fonction des statuts du système de gestion CDM, utilisé pour gérer les données produites par Catia V4 :

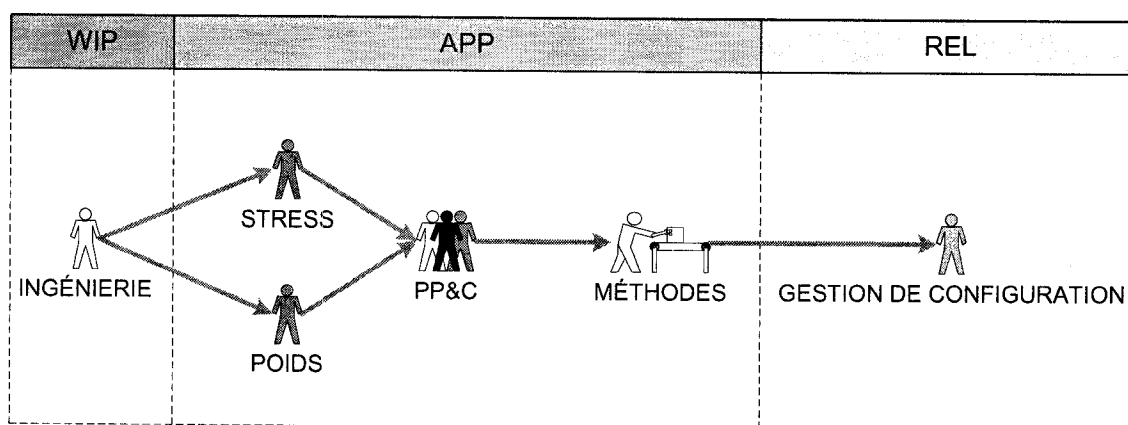


Figure 39: Flux de travaux en fonction des statuts du SGGT CDM

4.2. Les départements

La bonne compréhension des processus de gestion des modifications d'une entreprise commence d'abord par une bonne vue d'ensemble des départements de cette dernière. Les principaux départements et comités impliqués dans la gestion des

changements, pour les processus documentés (DCP, RFC et RFQ), et leurs rôles¹⁹ (dans la gestion du changement) sont les suivants :

- « **Customer Account Manager** » (CAM) : Le point de départ du processus RFQ. L'interface entre le client et l'entreprise.
- « **Customer Change Management** » (CCM) : Ce département sert de gestionnaire pour tout ce qui est relié au processus RFQ (coût, calendrier, etc.). Les gens travaillant dans ce département servent autant de réservoir que de centre de distribution des informations reliées au processus qu'ils gèrent.
- **Finance** : Ce département distribue les fonds nécessaire afin d'effectuer les modifications en se basant sur les estimations du nombre d'heures d'ingénierie et de méthodes.
- **Méthodes** : Ce département est principalement composé de personnel technique qui fait le lien entre l'ingénierie de design et la production. Les gens de méthodes déterminent comment fabriquer ce que l'ingénierie conçoit. Au cours de la gestion des modifications, ils évaluent la faisabilité des nouveaux designs et estiment l'impact du changement sous forme d'heures de travail.
- « **Customer Design Engineering** » (CDE) : Responsable d'évaluer l'impact d'ingénierie attribuée au changement, d'initier le processus DCP, d'organiser les « Technical Interface Meetings » (TIM) et fait parti du ECCB.
- **Comité de contrôle des changements d'ingénierie (ECCB)** : Comité se rencontrant une ou deux fois par semaine afin de déterminer les priorités et de prendre les décisions quant à l'exécution des modifications aux documents techniques.
- **Ingénierie** : Le département d'ingénierie comprend plusieurs départements, incluant PP&C, Stress, Poids et plusieurs autres. Par contre, dans les processus élaborés dans cet ouvrage, le terme ingénierie tout court représente les ingénieurs designers, qui conçoivent la finition des avions et apportant les modifications aux

¹⁹ La définition et le rôle des départements peuvent varier selon le processus auquel ils participent.

dessins techniques. Il faut cependant remarquer que le design est partagé entre le personnel de Bombardier et celui de ses fournisseurs.

- **« Project Planning and Control » (PP&C) :** Équipe composée d'ingénieurs servant d'interface entre les fournisseurs / partenaires et l'entreprise pour ce qui est des sujets techniques. Servent aussi à gérer et à coordonner le déroulement des changements apportés aux données techniques.
- **Estimation des matériaux :** Estiment la quantité de matériaux nécessaire afin de construire les produits.
- **Estimation :** Évaluent le coût total des requêtes provenant des clients en se basant sur le nombre d'heures estimé par les départements d'ingénierie, que l'on juge nécessaires afin d'apporter les changements aux documents techniques, et les données qui leur sont fournies par le département d'estimation des matériaux.
- **Stress :** Équipe composée d'ingénieurs qui évaluent la résistance des designs en fonction des charges statiques, dynamiques et à la fatigue afin de s'assurer que le produit est conforme aux requis.
- **Poids :** Équipe composée d'ingénieurs qui s'assurent que le poids des designs est conforme aux requis.
- **Gestion de configuration (GC) :** Équipe ayant comme responsabilité de libérer les documents et les données techniques associées aux nouvelles révisions.
- **Logistique :** Département s'occupant des activités de transport, de gestion des stocks ou des différents moyens d'organisation d'un processus qui ont pour objet d'optimiser le flux des matériaux nécessaires à la production.
- **SWAT:** Acronyme signifiant « Should Work As a Team ». Cette équipe, en charge d'investiguer les requêtes de changements, est composée d'au moins un agent de production, un agent de méthodes, un agent d'ingénierie et/ou un responsable du contrôle de la qualité. Si les dessins sont affectés, un agent du groupe « Customer Account Manager » sera aussi requis dans l'équipe.
- **Inspecteur :** Responsable du contrôle de la qualité sur le plancher de l'usine.

- **Liaison / ingénierie:** Responsables de la résolution de problèmes techniques simples qui sont reliés à la production.
- **Intégrateur :** Personne assistant aux réunions d'interface technique et qui élaborent les propositions de changements de design.
- **Gestionnaire d'ingénierie :** Coordonateur des activités du département d'ingénierie.
- **Comité de contrôle des changements d'ingénierie (ECCB) :** Équipe multidisciplinaire qui se rencontre deux fois par semaine afin de discuter et prendre des décisions sur les différentes requêtes de changements actives.
- **Achats :** Une fois qu'un changement est approuvé, le département des achats est responsable de trouver un fournisseur capable de fabriquer les nouvelles pièces et de placer les commandes pour ces dernières.
- **« Effectivity Management Team » (EMT) :** Équipe rarement affectée par les changements reliés à la personnalisation des produits qui a comme rôle de déterminer l'effectivité pour laquelle prennent effet les changements.
- **Production :** Les gens travaillant sur l'assemblage des produits directement sur le plancher de l'usine.

Les départements impliqués dans la gestion des modifications ont été classés en quatre catégories, comme illustré à la figure qui suit; management, ingénierie, méthodes et production. Les bulles s'étendant sur plus d'une catégorie représentent normalement des équipes ou des comités pluridisciplinaires.

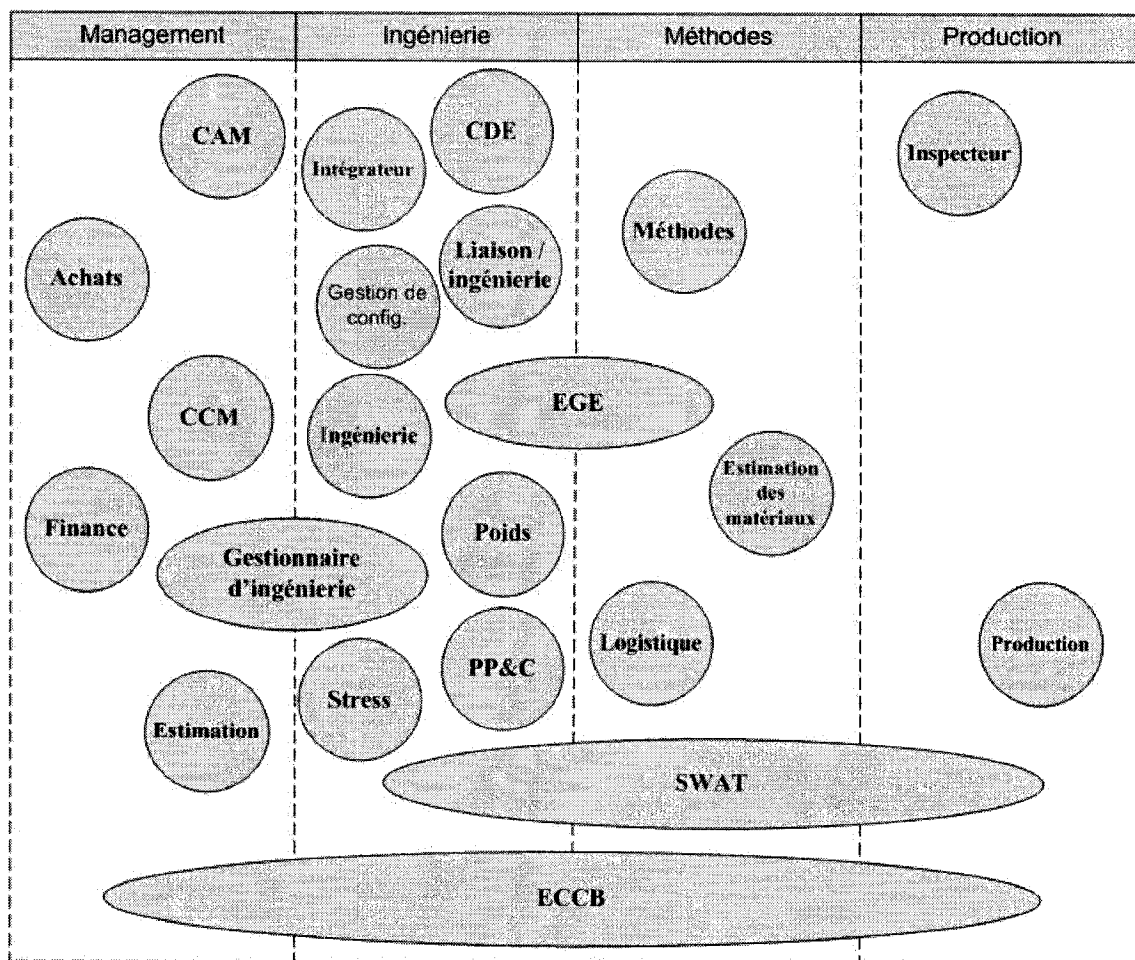


Figure 40: Classification des départements de l'usine

4.3. Les documents

Les principaux documents impliqués dans la gestion des changements, pour les processus documentés, ainsi que leur fonction, sont les suivants:

- « **Engineering Drawing Release Notice** » (**EDRN**) : Tous les changements apportés aux dessins doivent être enregistrés et décrits sur l'EDRN.
- **Feuille de rejet de l'évaluation de la qualité (QA-321)** : Formulaire rempli lorsqu'un département décide de contester les modifications apportées à un dessin d'ingénierie.

- **Évaluation de la qualité (QA-325)** : Formulaire que lorsque signé par tous les départements nécessaires, assure que les modifications apportées aux dessins sont appropriées.
- **« Engineering Order » (EO)** : Document résumant les modifications qu'il faut apporter à un dessin.
- **« Non Integrated Engineering Order »** : Ce document est utilisé dans certaines situations afin de remplacer une section de dessin, lorsque l'on juge préférable de ne pas apporter de modifications au dessin immédiatement. Les modifications décrites sur un NIEO peuvent ultérieurement être incorporées aux dessins en utilisant un EO.
- **« Production Order » (PRP PO)**: Donne le signal au département des achats de se procurer les matériaux et les pièces nécessaires à la fabrication du design.
- **« Advanced Work Autorisation » (AWA)**: Ce document donne, à tous les départements affectés par une requête, l'autorisation de commencer à travailler sur cette requête.
- **Engineering Impact Analysis (EIA)** : Document servant à donner une description technique de l'estimé de l'impact du changement (dessins affectés, pièces affectés, heures de travail nécessaires afin d'apporter les modifications, etc.) qu'aura une certaine requête.
- **« Harmonized Implementation Plan » (HIP)** : Document décrivant l'effectivité d'un changement
- **« Modification Summary » (MODSUM)** : Les MODSUM sont pour les programmes impliquant plusieurs fournisseurs. Ils sont l'équivalent d'un EO combiné avec un EDRN et une feuille d'évaluation de la qualité.
- **« Program Impact Statement » (PIS)** : Formulaire décrivant l'impact qu'a le changement sur le programme dont fait partie l'appareil.
- **« Partner Proposed Implementation Plan » (PPIP)** : Équivalent du HIP mais provenant d'une source extérieure à l'entreprise.

- **Formulaire de demande de support** : Formulaire servant à demander à l'équipe SWAT d'investiguer un problème ayant un impact sur la production.
- **Formulaire « Design Change Proposal » (DCP)** : Formulaire servant à initier le processus du même nom.
- **Autorisation de changement de programme (ACP)** : Résultat d'un PCR si cette dernière est approuvée.
- **« Program Change Request »** : Formulaire servant à initier le processus du même nom.
- **Feuille d'analyse de l'implication des matériaux** : Formulaire décrivant l'estimé de la quantité de matériaux affectés par un changement.
- **Ordre de changement du contrat** : Document signé par le client autorisant l'entreprise à apporter des modifications au contrat de l'achat d'un appareil. Les changements concernent surtout la configuration et le prix de l'appareil en question.
- **« Request for Change »** : Formulaire servant à initier le processus du même nom.
- **Requête d'évaluation de prix** : Formulaire servant à initier le processus du même nom.
- **Fiche suiveuse pour avis de modification** : Document affiché à la suite de l'investigation par l'équipe SWAT, afin de donner une rétroaction à la plainte écrite sur le formulaire de demande de support.

5. Présentation des processus de gestion des changements d'ingénierie

Plusieurs processus furent documentés et plusieurs méthodes de représentation ont été utilisées afin de les représenter et les étudier. Ces méthodes de représentation comprennent fondamentalement les diagrammes de processus ainsi que les méthodes de modélisation IDEF0 et IDEF3. Les modèles qui furent réalisés au cours des recherches dans l'entreprise en question sont représentés et décrits, d'une manière simplifiée, dans cette section. Des modèles en anglais et plus détaillés sont présents dans un rapport remis à la compagnie.

5.1. Les changements

L'objectif premier de ces recherches étant de réaliser une étude permettant de comprendre les différents processus nécessaires à la gestion des changements d'ingénierie, la recherche de documentation existante sur ces processus fut entreprise dès le début de l'étude.

La première information reçue concernant les pratiques de gestion des changements de l'usine est une image (figure 41) illustrant clairement les différents processus de gestion du changement pour les appareils Global XRS et 5000, au centre de finition. Ce diagramme illustre quels processus sont nécessaires afin d'effectuer les changements selon différents scénarios. Le nombre d'appareils affectés par les changements, la nature des changements (initiés ou émergents) et la période du cycle de vie du produit dans laquelle les changements font surface sont des facteurs entrant en compte dans le choix des processus.

Les changements peuvent être classés en deux (2) catégories selon le nombre d'appareils affectés :

- **Les changements affectant un seul appareil (tail-specific) :** Ces changements sont les plus fréquents au centre de finition puisque les produits sont personnalisés.
- **Les changements affectant plusieurs appareils (multi-tail) :** Ces changements sont très rares au centre de finition, ils se produisent quand des changements à la conception du fuselage de l'avion « green aircraft » sont nécessaires. Ces changements doivent être communiqués à l'usine de Toronto, là où le fuselage des avions est conçu, fabriqué et assemblé.

Les changements peuvent ensuite être classifiés en cinq (5) catégories, selon la nature du changement :

- **Les changements causés par un problème de design :** Dans la littérature, ces changements sont normalement appelés changements émergents.
- **Les changements causés par une requête de client :** Dans la littérature, ces changements sont communément appelés changements initiés.
- **Les changements dirigés par le marché :** Ces changements sont effectués afin d'adapter les appareils aux plus récentes tendances de l'industrie, afin d'attirer plus de clients.
- **Les changements non dirigés par le marché :** Ces changements sont tout simplement initiés par des facteurs autres que les tendances du marché.
- **Les changements dont l'effectivité est forcée :** Ce type de changement a lieu quand la modification de design est déjà apportée au produit et on détermine par la suite l'effectivité de l'appareil à partir duquel le changement entrera en compte en production.

Les changements peuvent finalement être classifiés en deux (2) catégories selon la période de temps durant laquelle ils apparaissent :

- **Changements apparaissant durant la période pré-lancement :** La période pré-lancement comprend la période pré-vente et la période de vente qui elle comprend trois rencontres avec le client (M1, M2 et M3) afin d'établir les requis. Tous les changements de design apportés durant cette période ne coûtent rien au

client. Cette période se termine avec la signature du contrat par le client (lancement).

- **Changements apparaissant durant la période post-lancement :** Tous les changements effectués lors de cette période coûtent de l'argent supplémentaire au client (si la requête est effectuée par ce dernier) et nécessitent une évaluation du coût avant d'aller de l'avant avec l'exécution des modifications.

5.2. Les processus

Les différents processus de gestion des changements du centre de finition sont illustrés, sous forme de cases, dans la figure qui suit :

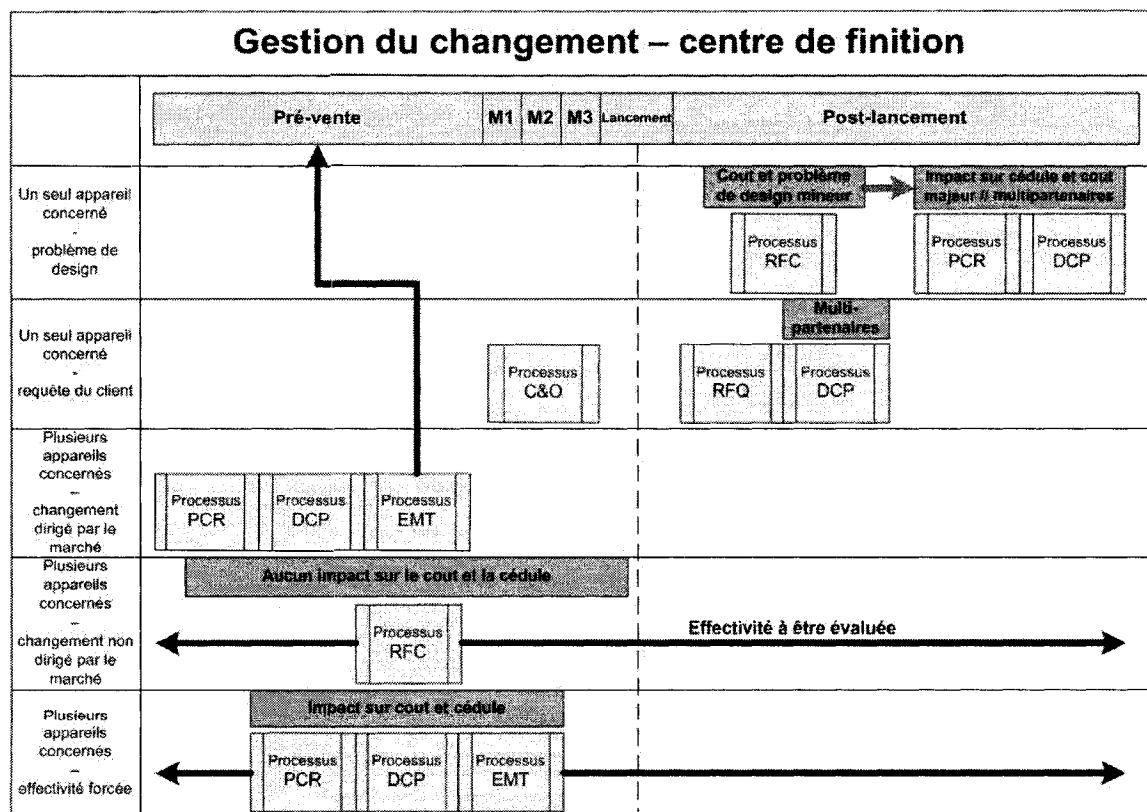


Figure 41: Les processus de gestion du changement du centre de finition
Source : Bombardier Inc.

Puisque les recherches étaient surtout axées sur les aspects de personnalisation des produits, les processus dont les changements sont apportés sur un seul appareil, durant la période post-lancement, étaient d'un plus grand intérêt. Quatre (4) processus en particulier étaient donc particulièrement intéressants pour cette étude, comme l'illustre cette figure :

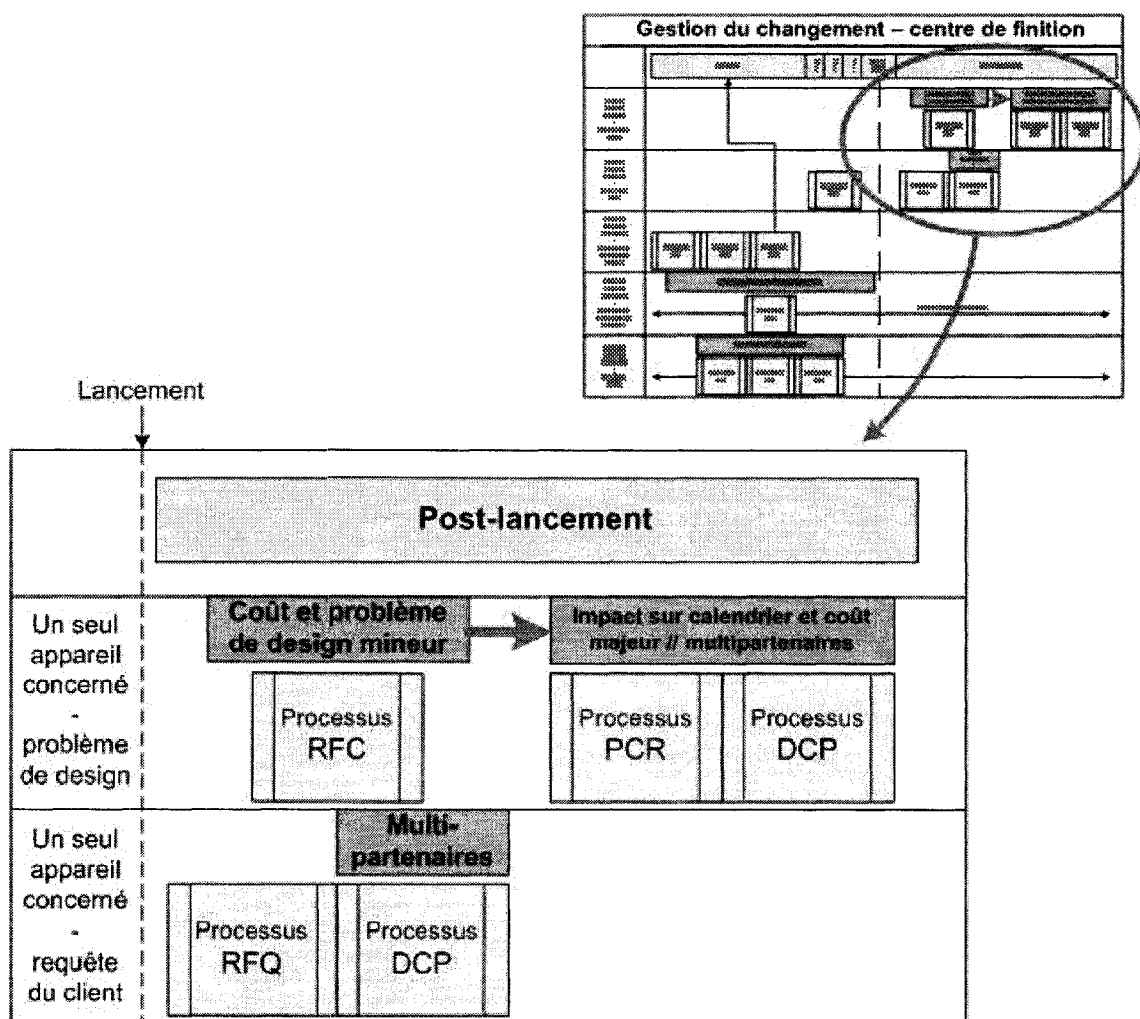


Figure 42: Processus de gestion des changements spécifiques à la personnalisation des produits

- **Le processus « Request for Change » (RFC) :** Ce processus peut être déclenché par n'importe quel département, quand on se rend compte que le produit n'est pas conforme aux requis du client. Ces derniers sont mentionnés dans le contrat que le client a signé lors du lancement. La plupart du temps, les

RFC sont soulevées par des gens d'ingénierie, de méthodes ou de production qui découvrent une erreur de design.

- **Le processus « Request for Quote » (RFQ) :** C'est une demande de la part d'un client pour changer la configuration initiale, qui avait été attribuée à l'avion avant la signature du contrat. Le but de ce processus est d'estimer le coût des modifications demandées et de le présenter au client afin qu'il puisse prendre une décision, pour aller de l'avant ou non avec le changement qu'il avait préalablement demandé.
- **Le processus de « Design Change Proposal » (DCP) :** Ce processus est initié quand un changement à la configuration de l'appareil affecte un ou plusieurs partenaires/fournisseurs. Ils sont normalement initiés en cours de RFC ou RDP. Il sert à communiquer le problème avec les partenaires, évaluer la solution proposée par ces derniers et à l'accepter ou la rejeter.
- **Le processus « Program Change Request » (PCR) :** Ce processus est déclenché en même temps qu'un DCP survenant au cours d'un RFC. C'est essentiellement un processus administratif d'approbation, servant à gérer et contrôler les changements afin de s'assurer de la satisfaction du client.

Le processus de vente, ou processus « Cost and Offerability » (C&O); négociation du prix, ne faisait pas parti du contexte des recherches, tout comme le processus de gestion de l'effectivité (EMT).

5.3. Diagrammes des processus

Les diagrammes des processus, une méthode de représentation propre à Bombardier, ont été utilisés surtout au début des recherches, en parallèle avec les entrevues afin de représenter les informations collectées dans la documentation des processus de gestion du changement propres à la personnalisation des produits. Comme le démontre la figure 42, ces processus comprennent le processus « Request for Change

» (RFC), le processus de requête de prix (RDP), le processus « Design Change Proposal » (DCP) et le processus « Program Change Request » (PCR).

5.3.1. Processus RFC

En général, le processus RFC sert de mécanisme afin d'aviser les divers départements d'ingénierie d'une non-conformité et de réclamer un changement et/ou une investigation dans les documents, les dessins, les spécifications et la nomenclature.

La figure 43 illustre le début du processus. Ce dernier est initié par la soumission d'un formulaire de demande de support au département de Méthodes par une personne ayant découvert un problème. Cette personne peut être pratiquement n'importe quel employé dans l'usine. Une personne de Méthodes effectue par la suite une investigation préliminaire, en effectuant une recherche dans la documentation concernée par le problème soulevé. Après avoir bien compris la nature du problème, cette personne décide ensuite s'il est nécessaire de poursuivre plus loin l'investigation. Si la réponse est « non », la requête est abandonnée et on retourne à la production. Par contre, dans l'affirmative, l'investigation se poursuit plus en profondeur avec l'équipe SWAT, composée de gens de méthode et d'ingénierie, en rencontrant la personne ayant initié la requête. Après avoir jugé qu'il était nécessaire d'aller de l'avant avec le RFC, les gens de l'équipe SWAT classifient le changement selon les catégories et les niveaux de priorités illustrés dans les deux tableaux qui suivent :

Table 5: Signification des différentes catégories de RFC

Catégorie	Signification
A	Changement obligatoire - Impact direct sur l'appareil fabriqué
B	Changement obligatoire - Impact direct sur la fonctionnalité
C	Changement non-obligatoire - Amélioration du produit (candidat au DCP)
D	Changement Méthodes non-obligatoire - Processus de servitude de fabrication
E	Changement de documentation d'ingénierie non-obligatoire - Détecté n'importe quand, mais normalement lors de la production

Table 6: Signification des différentes priorités de RFC

Priorité	Signification
1	Action immédiate requise - Une réponse est requise au cours des 2 prochains jours de travail
2	Relativement important - Une réponse est requise au cours des 5 prochains jours de travail
3	Priorité standard - Une réponse est requise au cours des 20 prochains jours de travail (max 30 jours), durant l'entente entre le département des méthodes et d'ingénierie

Dans le cas où les gens de l'équipe SWAT auraient décidé qu'il n'était pas nécessaire de poursuivre le processus, un inspecteur met son sceau sur le formulaire de demande de support afin d'indiquer aux gens sur le plancher de l'usine que leur requête fut analysée.

Une fois la RFC classifiée, un agent de Méthodes l'inscrit dans la base de données RFC, afin qu'elle soit visible à tous les départements concernés par le changement. Le département de Liaison/Ingénierie, en regardant dans la base de données, détermine si les fournisseurs et/ou le calendrier sont touchés par le changement et, dans l'affirmative, déclenchent une DCP et PCR. Sinon, ils déterminent si le « green

aircraft » (le design de l'appareil excluant la finition) est touché et apportent les corrections au dessin (figure 44). Si le « green aircraft » est concerné, ils créent un MODSUM, sinon ils génèrent un EO ou un NIEO.

Les départements de Stress et Poids, par l'entremise d'une série d'analyses numériques ou par leurs connaissances et expériences personnelles, approuvent ou rejettent le design proposé et avisent le département de Liaison/Ingénierie de la décision. Les départements de Méthodes et de Liaison/Ingénierie valident ensuite ensemble l'effectivité de production. Un personne de Liaison/ingénierie signe ensuite l'EDRN, ferme la RFC dans la base de données pour l'ingénierie et envoie tous les documents aux gens des Méthodes pour qu'ils puissent approuver ou rejeter, à leur tour, les modifications et signer les documents.

Si les départements de Stress, Poids, Méthodes ou Liaison/Ingénierie ne s'entendent pas sur les modifications apportées, ils peuvent remplir le formulaire de rejet de l'évaluation de la qualité (QA-325) afin que des modifications supplémentaires soient intégrées au design proposé. Ce dernier devra cependant repasser par le cycle d'approbation décrit dans le paragraphe précédent.

Une fois le design approuvé, le département de gestion de configuration libère les dessins dans Motiva, afin qu'ils soient disponibles aux gens de la production par l'entremise de DTS (figure 45). Le département de méthodes, quand à lui, génère un avis de modification (ADM) dans Baan, entre le numéro d'ADM dans la base de données RFC et envoie le « Production Order » (PRP PO). La rétroaction aux gens sur le plancher de production qui avaient initialement soulevé la demande de support est effectuée par le département de Logistique qui inscrit son sceau sur la fiche suiveuse pour avis de modification.

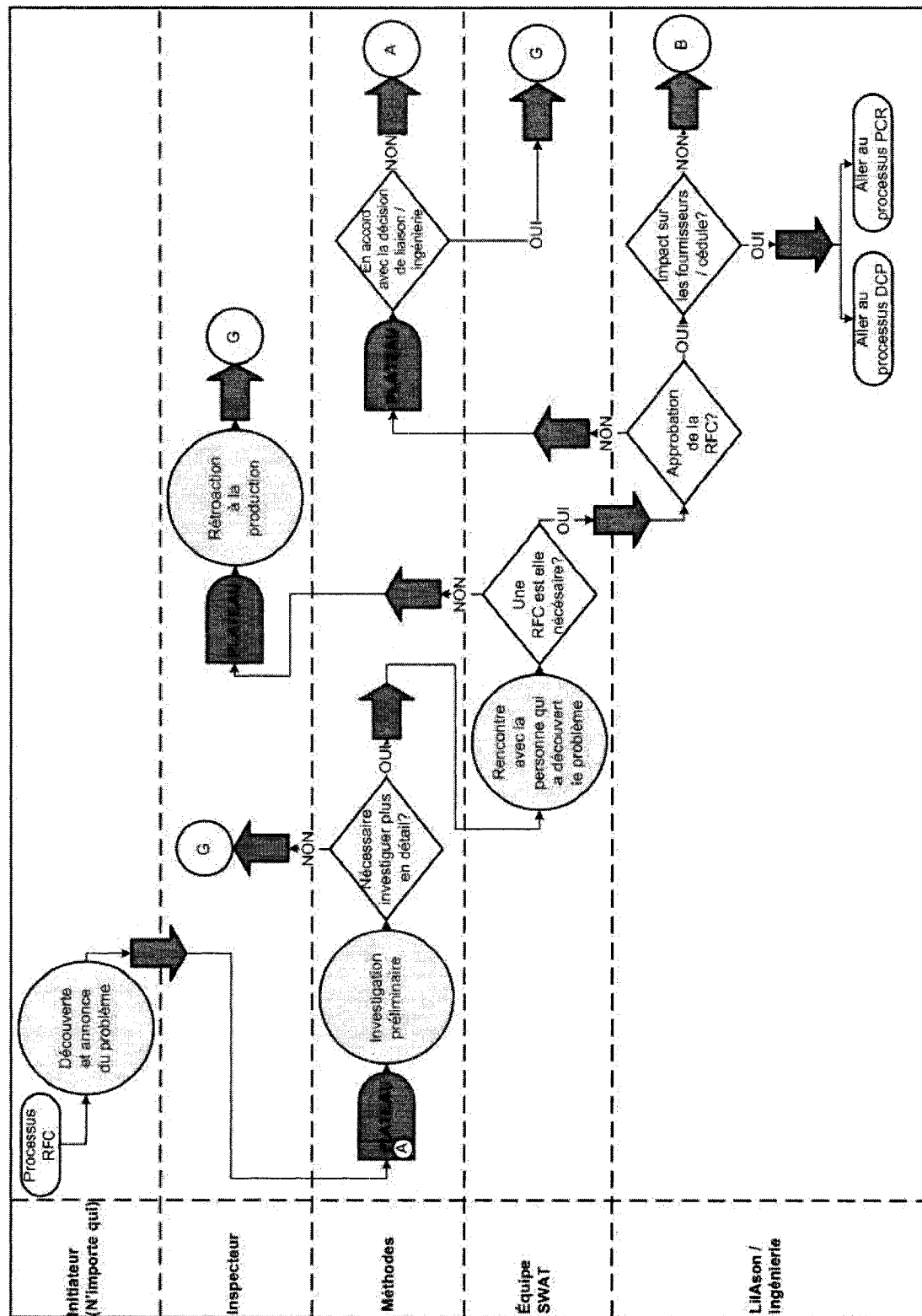


Figure 43: Investigation du « Request for Change »

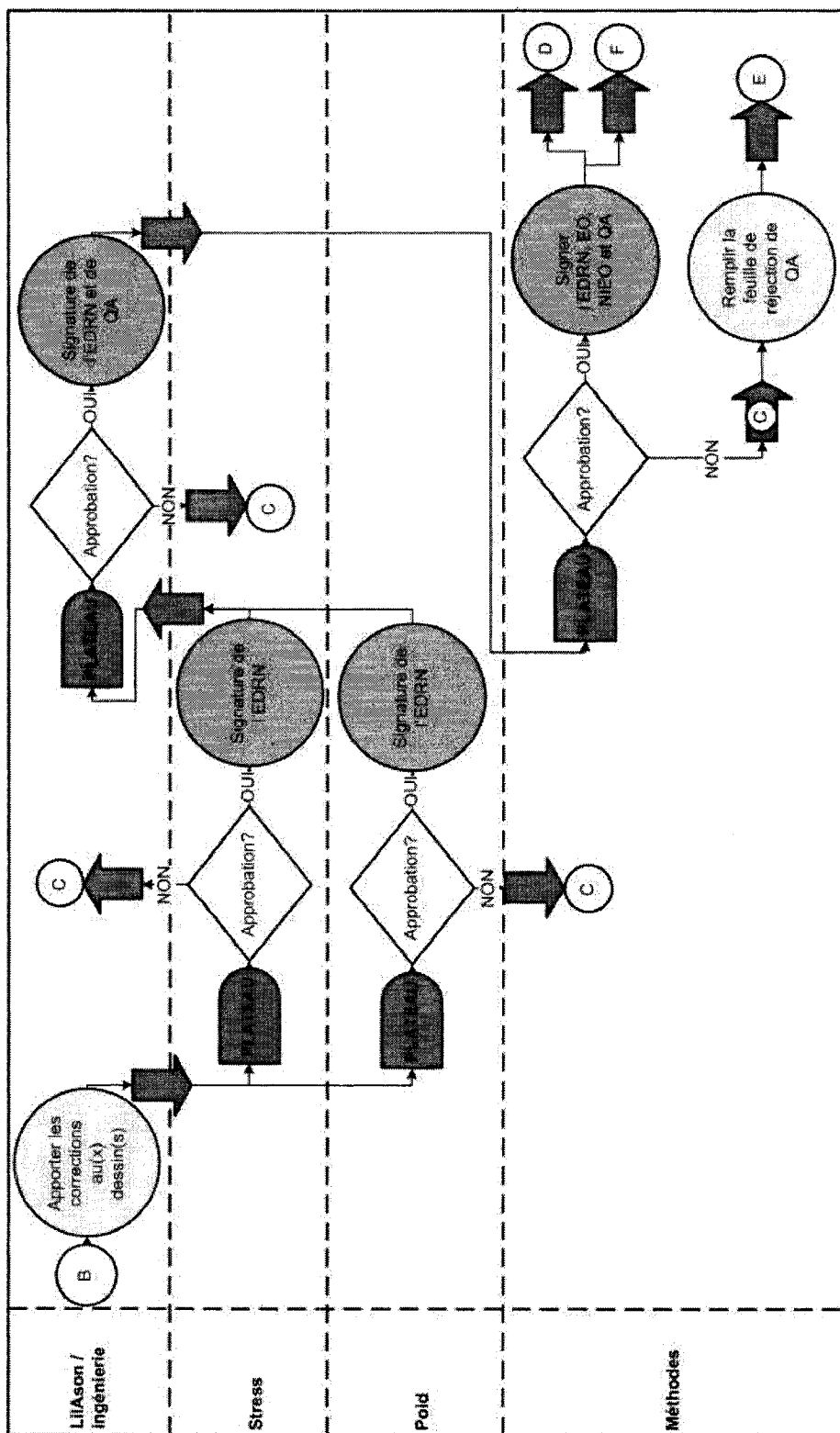


Figure 44: Correction et approbation des dessins de la RFC

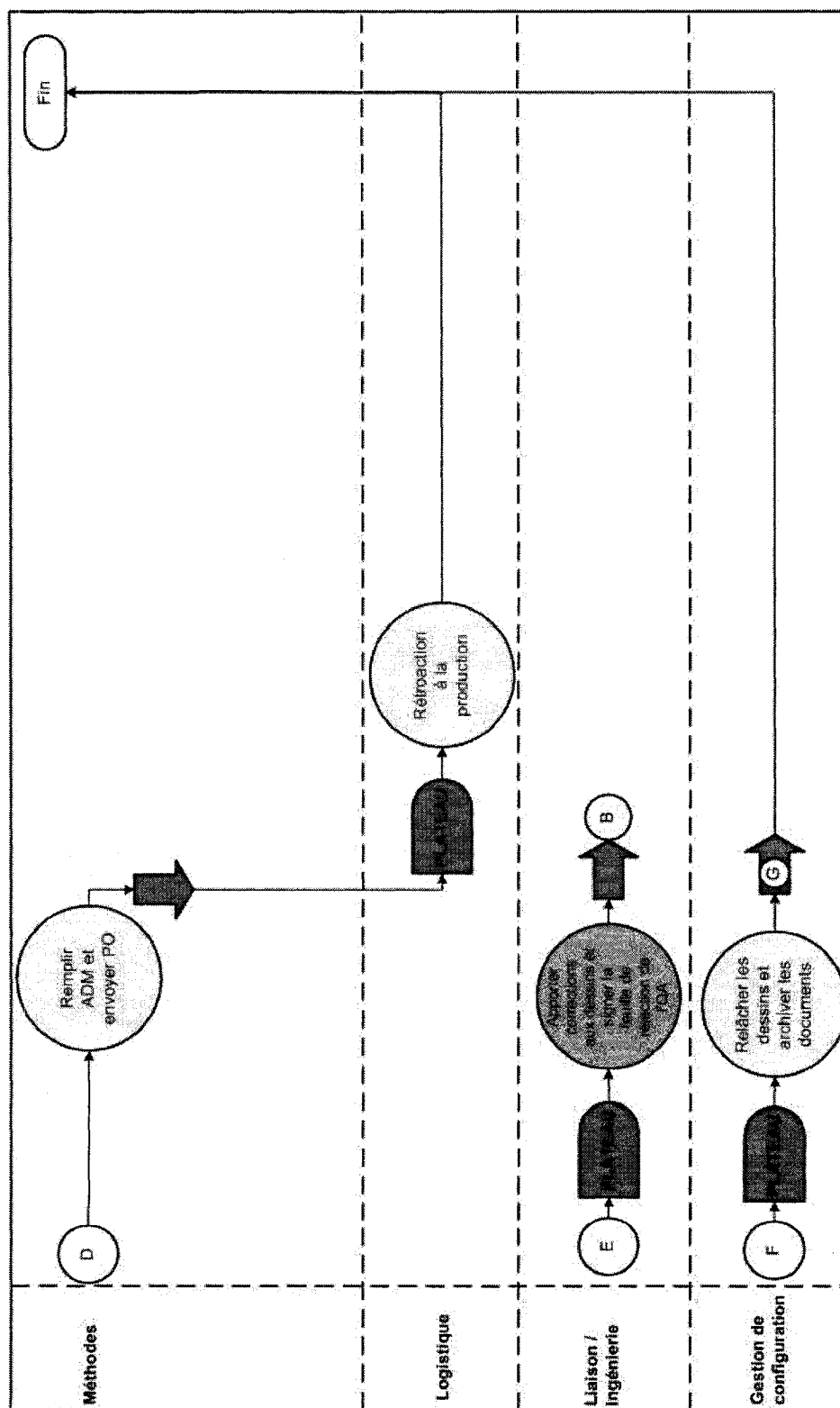


Figure 45: Avis de modification et libération des dessins de la RFC

5.3.2. Processus RFQ

Le processus RFQ est initié par une requête de la part du client (figure 46), qui entre en contact avec une personne du département du compte client (CAM), dans le but de changer la configuration initiale de son appareil, après que le lancement du design de ce dernier ait déjà eu lieu. Le processus RFQ est utilisé exclusivement pour un numéro de série d'appareil / client spécifique. Le but de ce processus est d'attribuer un prix à la requête du client afin d'obtenir l'approbation de ce dernier et de donner l'autorisation aux gens du centre de finition de travailler sur les modifications ou encore, de générer un « Design Change Proposal » pour les partenaires impliqués.

Après avoir bien compris la demande du client, le « Customer Account Manager » entre en contact avec un agent de « Customer Change Management » (CCM). Ce dernier vérifie la disponibilité des pièces, estime le temps d'exécution du changement et l'impact sur le calendrier et accepte ou rejette la requête, selon sa faisabilité.

L'étape suivante consiste à estimer les heures nécessaires à l'exécution du changement par les départements de Méthodes et d'Ingénierie. Si un cas semblable a déjà été traité dans le passé, le département de Méthodes peut se baser sur les heures du cas précédent, dans BaaN afin de compléter son estimation. Le département « Customer Design Engineering » (CDE), quant à lui, avise tous les départements d'ingénierie impliqués, vérifie si les fournisseurs sont impliqués dans le changement et déclenche un « Design Change Proposal » (DCP) au besoin. Le département CDE remplit ensuite un formulaire « Engineering Impact Analysis » (EIA), y inscrit ses propres heures, celles de méthodes et d'ingénierie et l'envoie au département « Project Planning and Control » (PP&C). PP&C regarde l'EIA et le fait circuler à tous les chefs d'ingénierie qui apportent des corrections au formulaire, au besoin, et signent ce dernier. Le formulaire est par la suite revérifié par PP&C avant d'être archivé, comme illustré à la figure 47.

Vient ensuite l'estimation de la quantité des matériaux, par le département portant le même nom, et l'estimation du prix, en combinant la quantité de matériaux et les heures de travail inscrit dans l'EIA.

L'étape cruciale du processus a lieu quand le département CAM compile les résultats dans le « Contract Change Order » (CCO) et présente ce dernier au client, pour qu'il l'accepte ou le rejette. Si le client refuse de signer le CCO le processus RFQ est abandonné. Cependant, si le client accepte de signer le document, le département CCM envoie une « Advanced Work Autorisation » à tous les départements.

Après avoir reçu l'AWA, le département d'ingénierie procède à la correction des dessins (figure 48). Cette étape se fait d'une manière semblable à celle présentée dans le processus RFQ sauf que l'ingénierie doit estimer la date prévue d'achèvement des corrections aux dessins et la communiquer au département PP&C avant de procéder.

Les étapes d'approbation du design, de planification de la production (ADM) et de libération des dessins, illustré à la figure 49, se fait ensuite d'une manière presque identique à celle montrée pour le processus RFC.

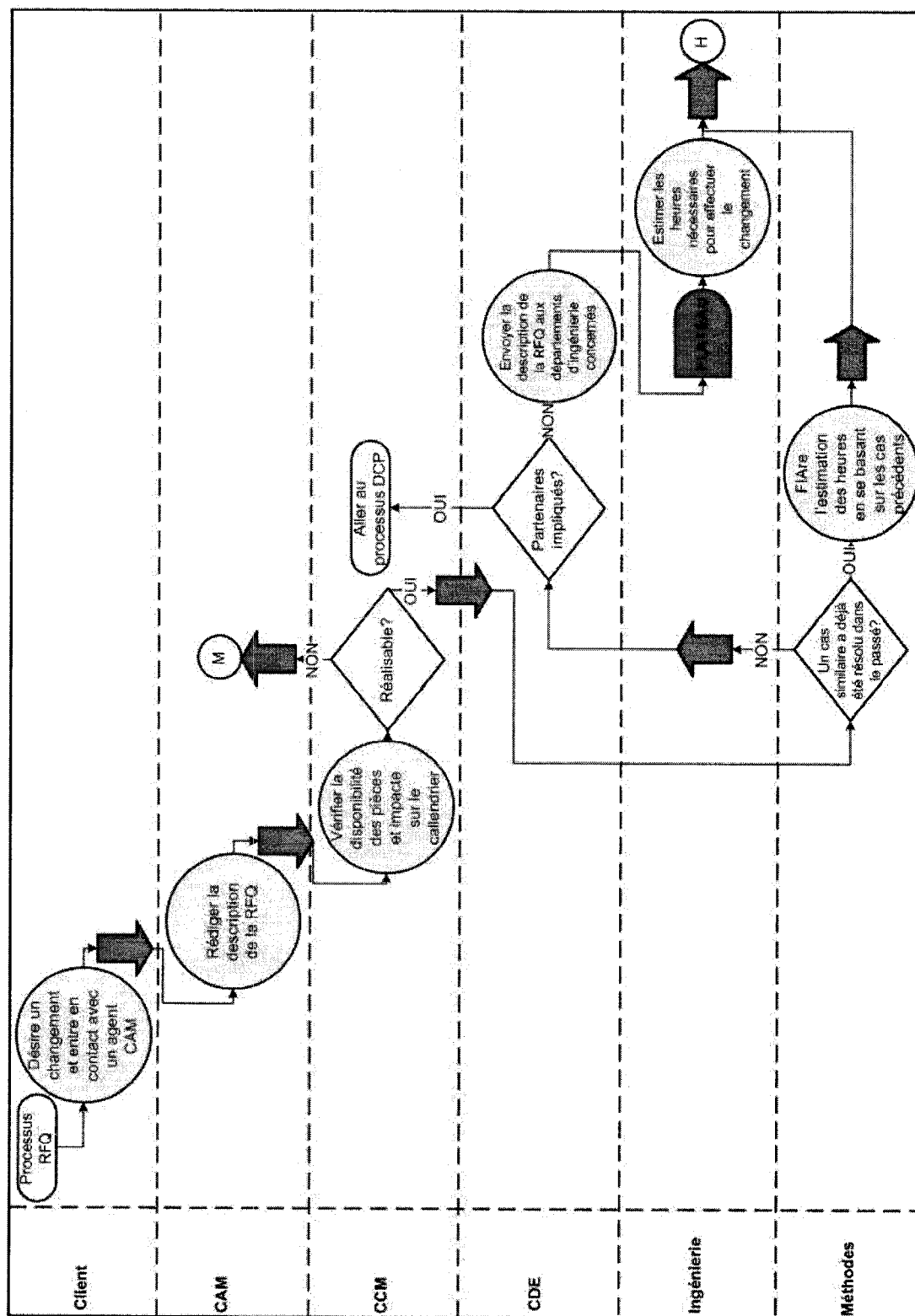


Figure 46: Initiation du processus de RFQ

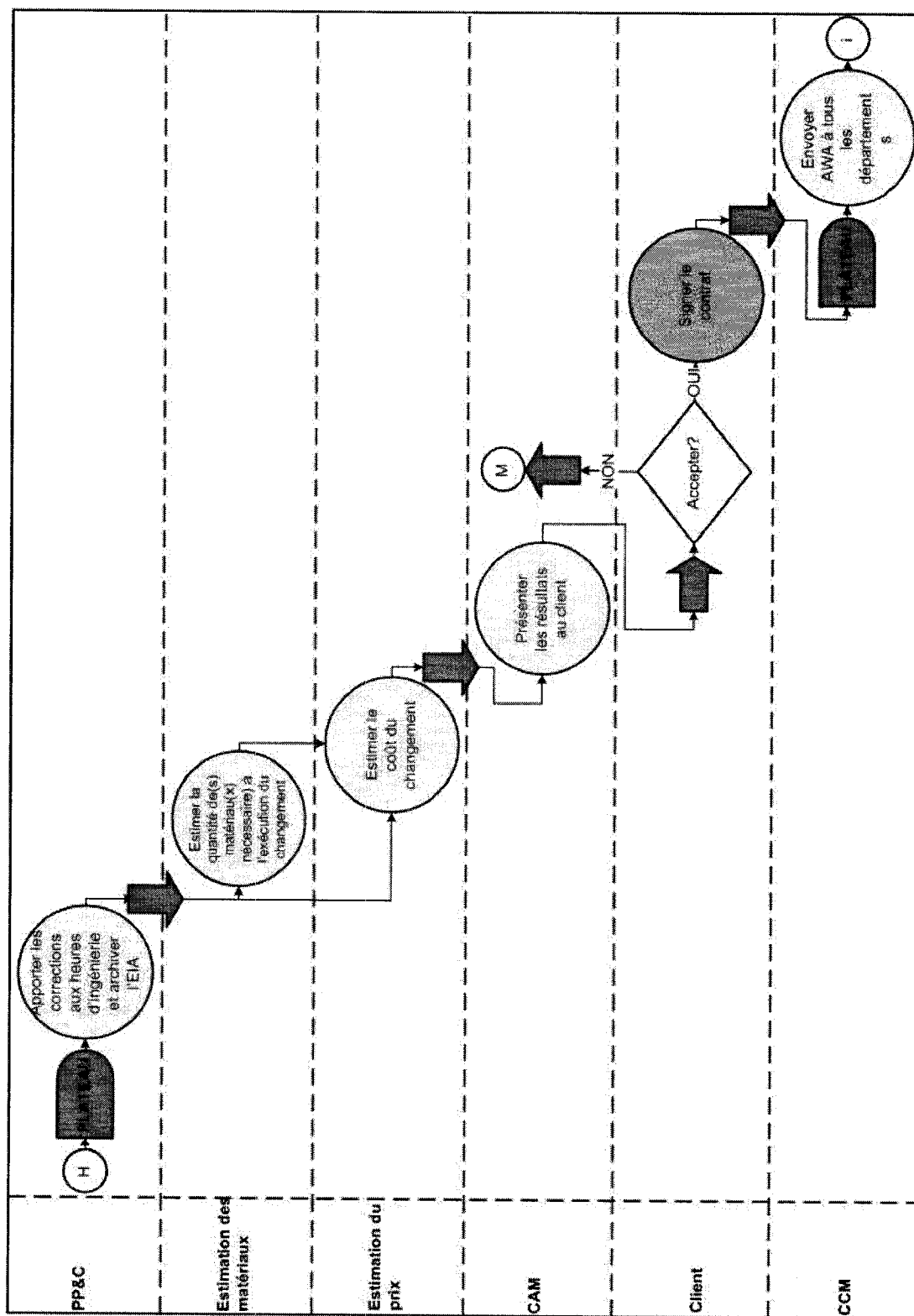


Figure 47: Estimation des matériaux du prix et signature du contrat par le client de la RFQ

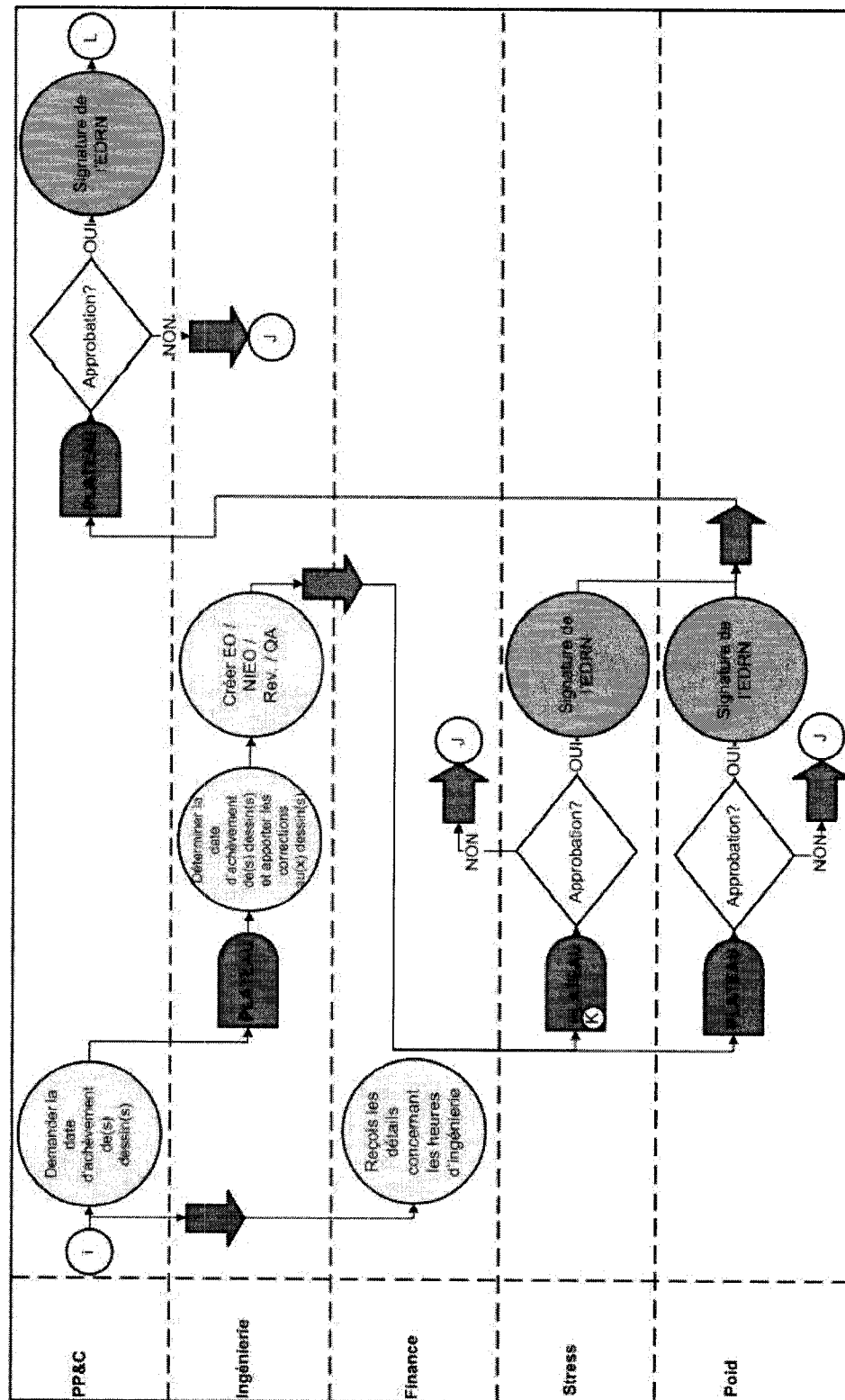


Figure 48: Correction et approbation du design pour la RFQ

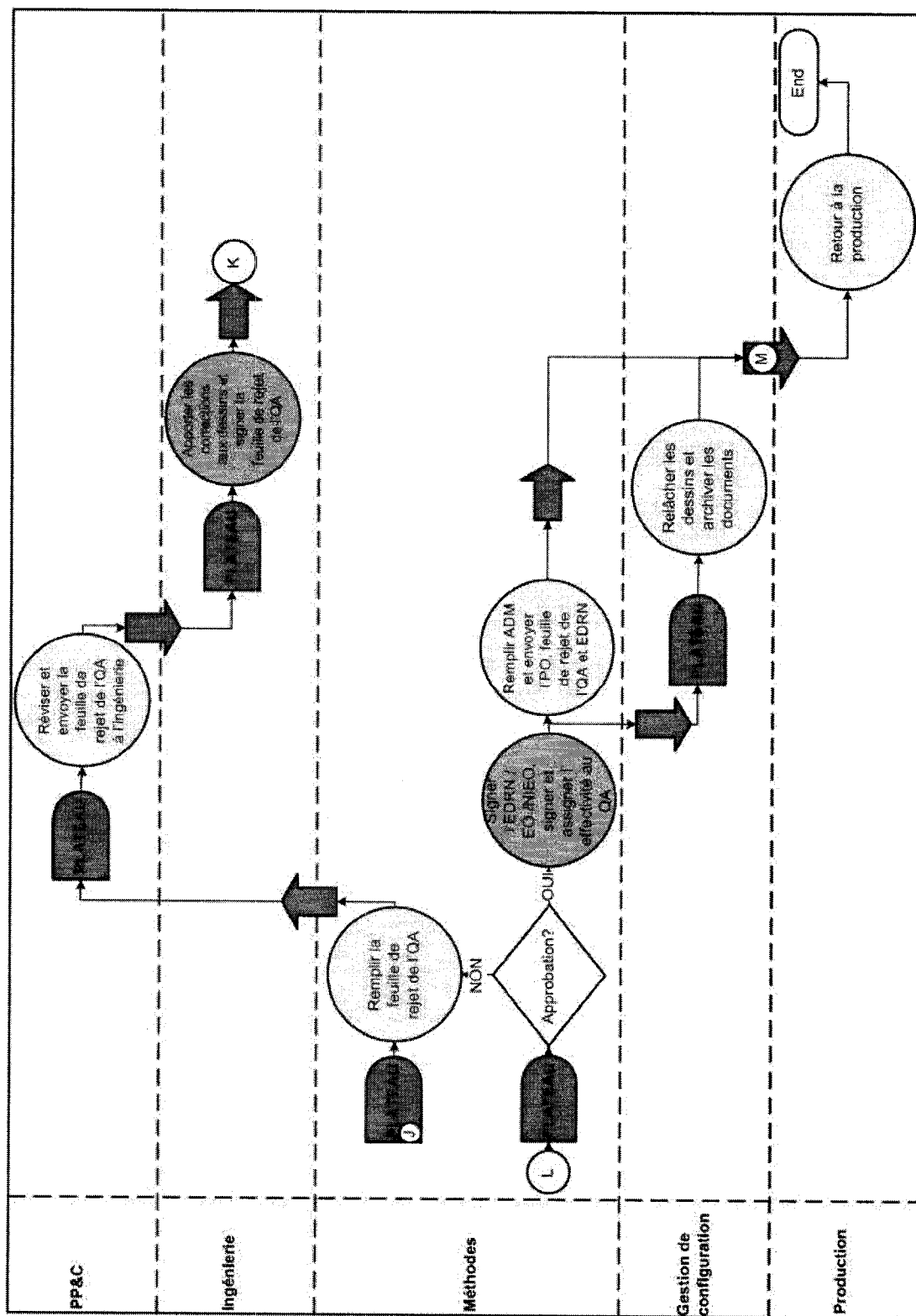


Figure 49: Avis de modification et libération des dessins de la RFQ

5.3.3. Processus DCP

Le processus « Design Change Proposal » peut être déclenché pour diverses raisons, voici les principales :

- Quand une requête pour changer la configuration d'un appareil affecte un ou plusieurs fournisseurs
- Quand un changement initié par un fournisseur affecte un autre fournisseur ou un dessin d'interface Bombardier.
- Un changement par un fournisseur de système qui n'affecte pas les interfaces mais qui requiert un changement de numéro de pièce.
- Tout changement affectant la forme, l'ajustement ou la fonction (FFF²⁰)
- Une requête provenant du processus RFC qui a un impact sur plusieurs fournisseurs et/ou qui est considéré comme étant un changement complexe causant des problèmes commerciaux ou causant des répercussions au calendrier.

Tout comme dans le processus RFC, les changements traités dans le processus DCP sont classifiés en plusieurs catégories, comme l'illustre la table suivante :

Table 7: Les catégories de changements dans le processus DCP

Catégorie	Signification
A	Changement obligatoire – Effet direct sur l'opération sécuritaire de l'appareil. À être incorporé avant que l'avion reprenne le vol. (Garde au sol)
B	Changement obligatoire – Non-conformité avec l'opération de navigabilité. À être incorporé au cours d'une certaine période.
C	Changement non-obligatoire - Amélioration du produit, aucun effet sur la sécurité. À être incorporé aussitôt qu'il est convenable.
D	Changement non-obligatoire - Processus pour accommoder la planification et la fabrication.

²⁰ FFF : « Form Fit Function »

Le processus DCP débute par une réunion d'interface technique (RIT), avec tous les départements d'ingénierie et fournisseurs impliqués jusqu'à ce qu'une bonne compréhension du changement proposé soit atteinte. Le département PP&C génère ensuite un numéro de DCP dans la base de données DCP. L'intégrateur remplit ensuite un formulaire DCP, l'envoi aux gens de PP&C, qui y inscrivent la description de l'impact sur les fournisseurs. Un « Impact Analysis » (IA), semblable à l'EIA du processus RFQ, est aussi effectuée. Le DCP et l'IA sont par la suite présentés lors d'une rencontre avec le comité de contrôle de changement d'ingénierie (ECCB), qui approuve ou rejette la solution proposée.

Une fois le DCP et l'IA acceptés, les achats ont la permission d'envoyer les commandes pendant que PP&C crée un MODSUM et archive le DCP. Dans l'éventualité où le changement concernerait plus d'un appareil, un processus servant à déterminer l'effectivité, les dates de disponibilité et de livraison est entrepris. Des formulaires appelés « Partner Proposed Implementation Plan » (PPIP) et « Harmonized Implementation Plan » (HIP) circulent chez les partenaires ainsi que dans les départements des méthodes, de PP&C, des Achats et l'« Effectivity Management Team » (EMT), afin de planifier l'implémentation du changement.

Les étapes d'approbation du design, de planification de la production (ADM) et de libération des dessins, se fait ensuite d'une manière presque identique à celle montrée pour le processus RFQ aux figures 48 et 49.

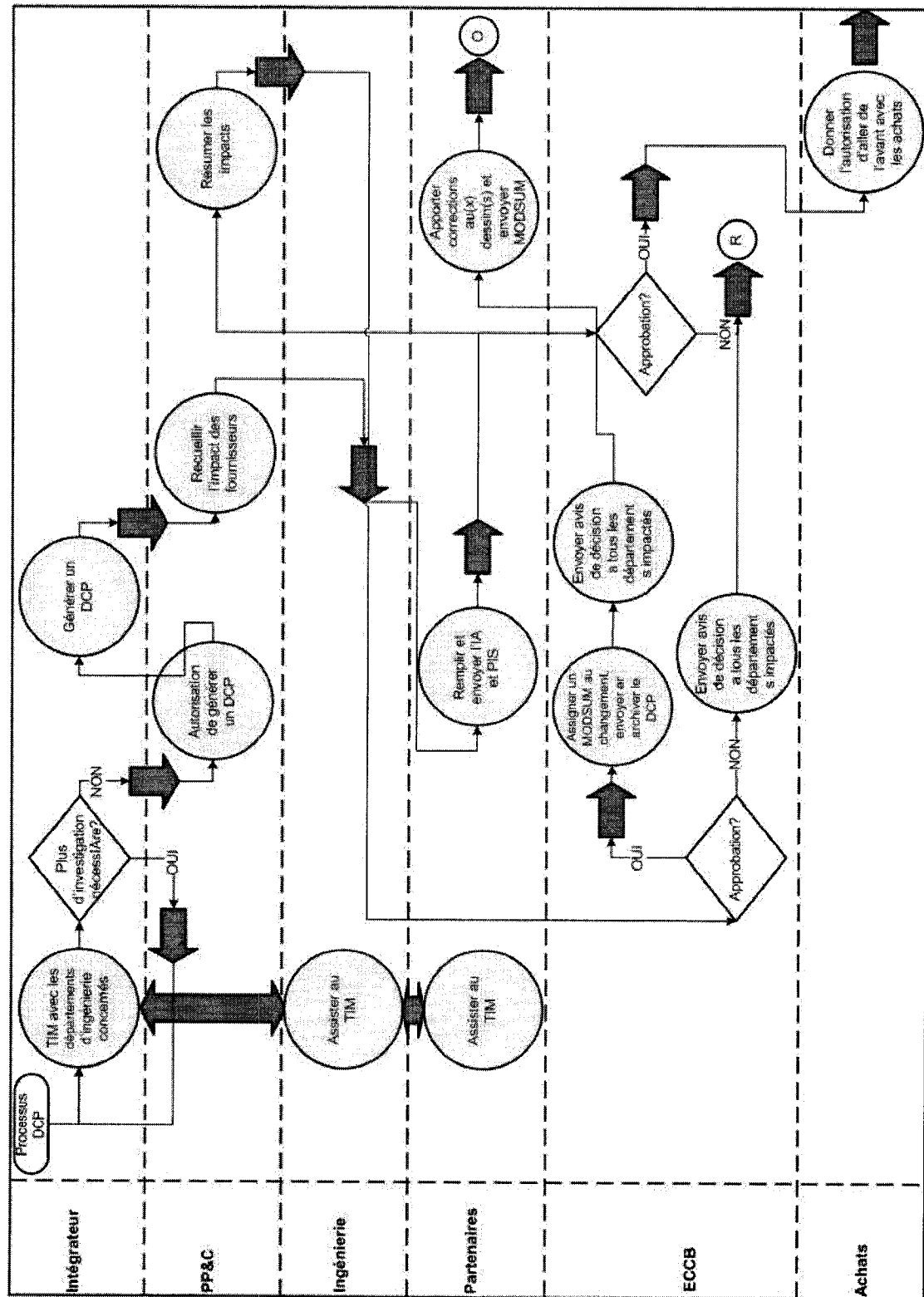


Figure 50: Processus DCP

5.3.4. Processus PCR

Le processus « Program Change Request » (PCR) est un processus plutôt administratif, servant à fournir les moyens au département de Programme d'évaluer, approuver, gérer, d'accorder la priorité et d'incorporer tous les changements visibles à Programme afin d'assurer la satisfaction du client. Ceci inclut même les changements sur les appareils en service.

Toutes les activités accomplies par une implication d'organisation fonctionnelle qui est reliée à la définition, au design, à l'installation et à la certification de tout changement visible par le département de Programmes doivent adhérer au processus PCR. Normalement, le processus est effectué en parallèle avec un processus DCP initié par un processus RFC.

Le processus PCR ne fut pas étudié en détail puisqu'il n'entre pas dans le contexte de ces recherches, en raison de son caractère purement administratif, et par le fait que l'entreprise avait déjà une très bonne compréhension du processus. Il est cependant possible de le résumer en cinq étapes, comme illustré dans l'image qui suit :

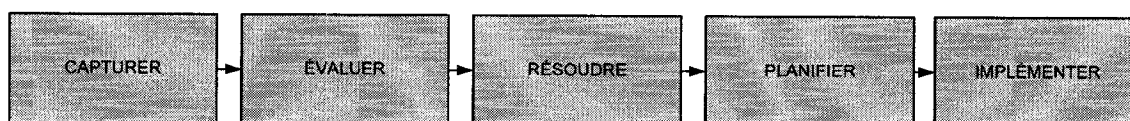


Figure 51: Les cinq grandes étapes du processus PCR

5.3.5. Processus global

En intégrant les processus décrits dans les sections 5.3.1 à 5.3.4, il est possible de représenter leur séquence d'une manière plus détaillée qu'à la figure 51. On se rend rapidement compte que les processus RFC et RFQ ne sont pas entièrement exécutés lorsque des partenaires sont impliqués dans le changement, comme l'illustre

clairement la figure suivante, ils sont abandonnés lors de la découverte de ces derniers (les jalons) afin de laisser place aux processus DCP et PCR :

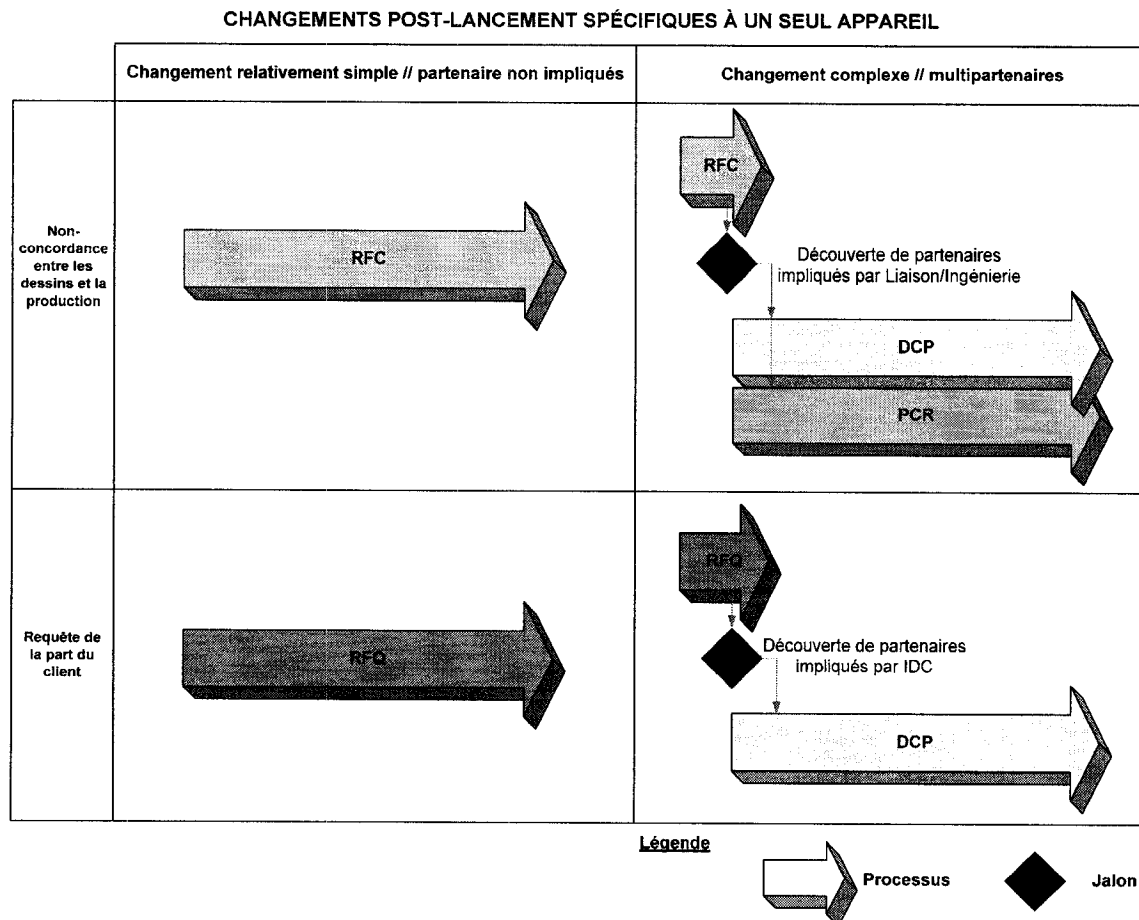


Figure 52: Processus global de gestion du changement

5.4. Modèles IDEFØ

Le modèle IDEFØ représentant la gestion des modifications de l'entreprise étudiée comprend plus de 200 activités. Puisque ce dernier est assez complexe, il est important de bien comprendre ses éléments de base avant de se lancer dans son élaboration, si on ne veut pas s'égarer. La première étape d'une étude fonctionnelle commence par la définition de l'objectif concret, du point de vue et du contexte du

modèle (Gamache, 1993). Pour l'étude réalisée, ces trois aspects peuvent être résumés par les lignes qui suivent :

- **Objectif :** Le but de cette méthode de représentation est de procurer une vision plus vaste, tout en étant plus compréhensible, de l'ensemble des processus de gestion des modifications du centre de finition de l'entreprise étudiée. Dans le cadre de ces recherches, les diagrammes IDEFØ servent à illustrer l'interdépendance entre les activités effectuées, les ressources humaines de l'entreprise, les informations ainsi que les outils informatiques utilisées afin de gérer les modifications d'ingénierie dans l'entreprise.
- **Point de vue :** Le modèle a été créé selon la vision des personnes qui gèrent et exécutent les tâches nécessaires à la gestion du changement.
- **Contexte :** La configuration de base des appareils sur lesquels des modifications doivent être apportées n'est pas touchée et seules les modifications affectant un seul appareil sont prises en considération.

5.4.1. Premier niveau

Au premier niveau du modèle IDEFØ (figure 53), toutes les tâches nécessaires à la gestion des changements, pour l'entreprise étudiée, sont représentés par un seul bloc d'activité, A0; « Gérer et exécuter un changement au centre de finition Bombardier de Montréal ».

En regardant attentivement les ICOM du modèle, on se rend rapidement compte que les informations entrant, sortant, contrôlant et permettant d'exécuter le processus sont transmises autant de manière orale, que sur papier ou encore électroniquement (voir section 3.2.2 pour sémantique).

Dans ce cas ci, ce sont les entrées qui déclenchent le processus. Une requête de changement de la part du client, communiqués oralement, et le formulaire, sur papier, de demande de support. Les éléments résultant du processus, les sorties, sont un ordre de production, format papier, et une nouvelle révision de dessins disponibles dans DTS,

donc en format électronique. Les mécanismes rendant possibles l'exécution de la tâche sont les gens travaillant dans les différents départements (les ressources humaines de l'entreprise) et le système d'information. Les contrôles sont trois documents, qui servent d'éléments de référence dans la prise de décision; le « Program Impact Statement » (PIS), la liste de prix des différentes composantes ou services et le « Statement of Work » (SOW) qui définit les requis du projet. Comme on le verra au deuxième niveau, ces contrôles sont surtout reliés à un processus en particulier.

Bien que ce niveau du modèle résume bien le rôle des différents processus de gestion des changements de l'entreprise, il en dit très peu sur la façon dont ces changements sont traités. Les niveaux de décomposition qui sont présentés plus loin en disent beaucoup plus sur le sujet.

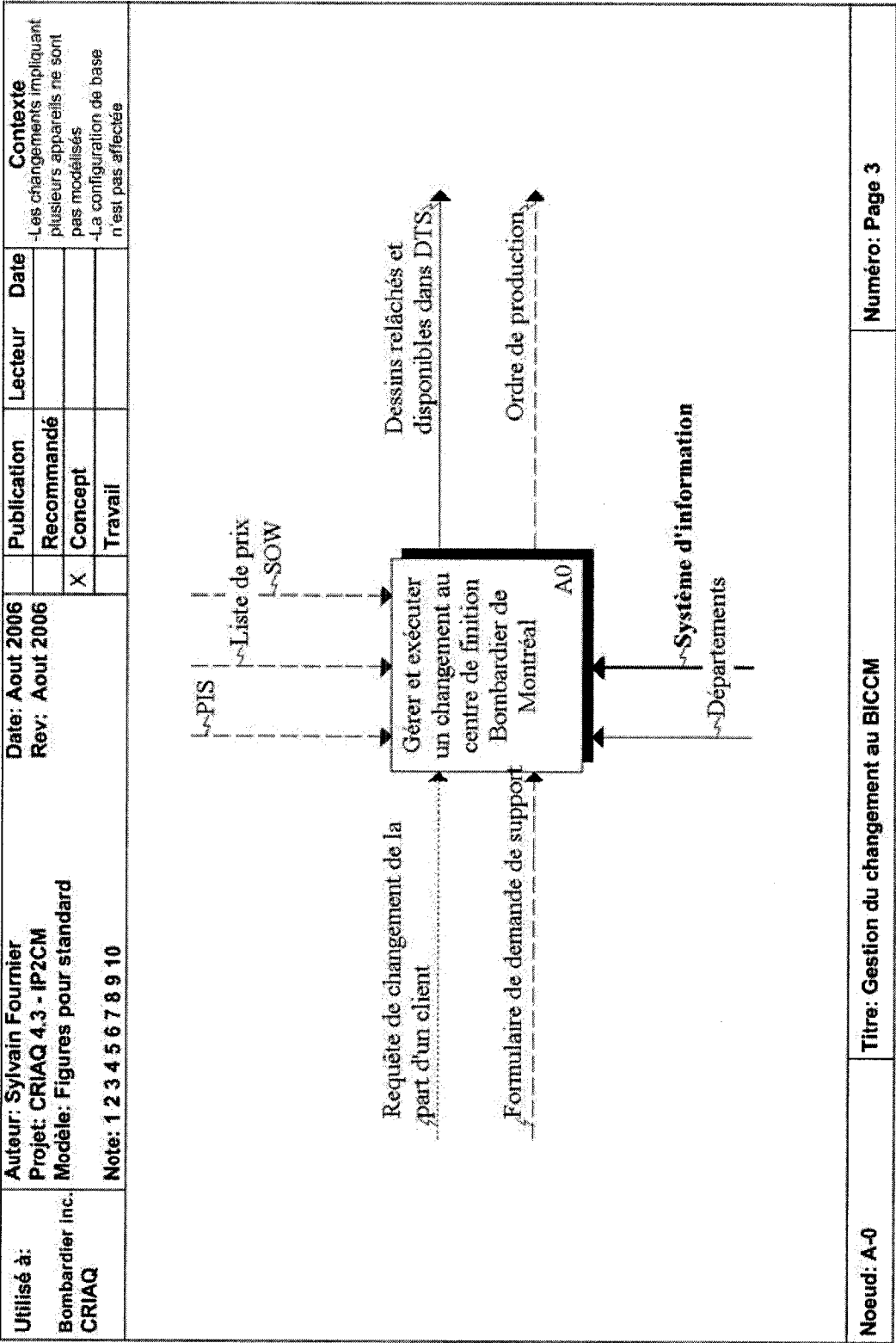


Figure 53: Premier niveau de la représentation IDEF0

5.4.2. Deuxième niveau

Au deuxième niveau, il est possible de discerner le lien entre les diagrammes de processus et les modèles IDEF0. Chacun des processus (RFQ, RFC, DCP et PCR) est représenté par une boîte d'activité IDEF0. Les ICOM visibles du premier niveau ont, par la suite, été connectés aux activités adéquates du deuxième niveau, comme il est possible de le voir à la figure qui suit :

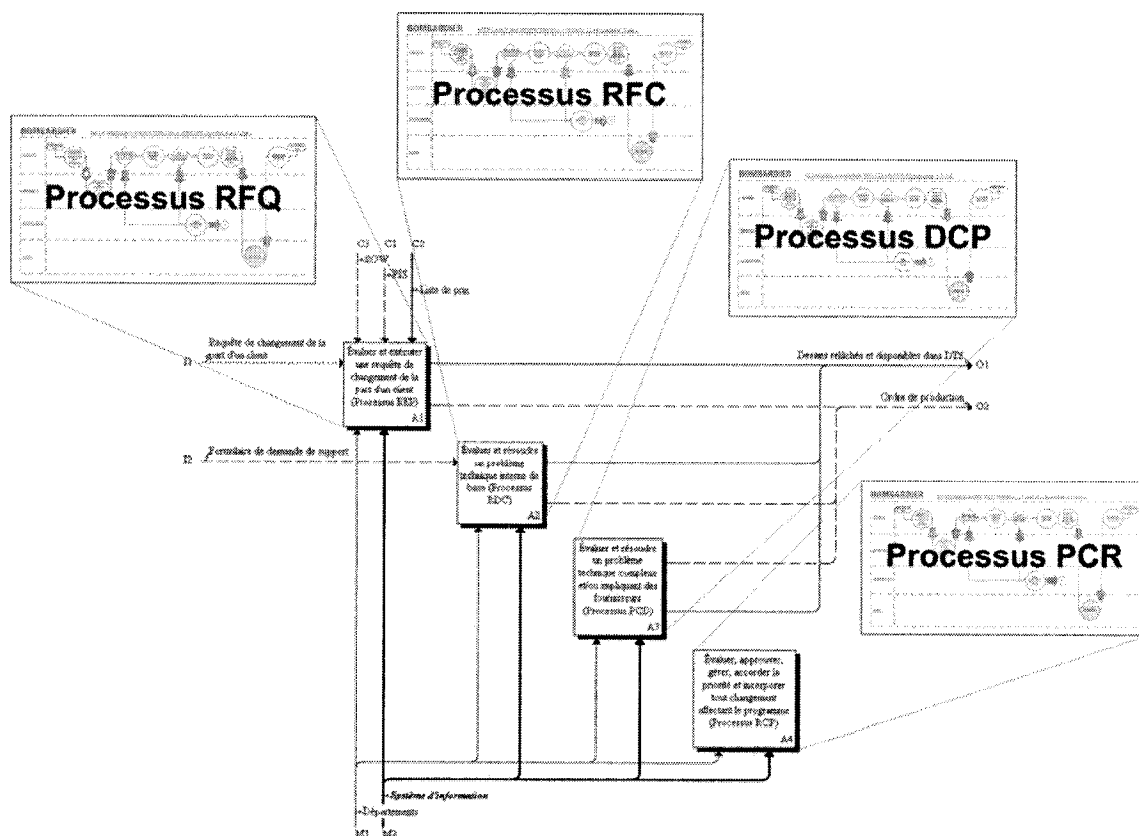


Figure 54: Transition des diagrammes de processus vers les diagrammes IDEF0

La dernière étape de construction du deuxième niveau fut de développer les interrelations entre les activités. On voit ainsi apparaître les besoins, communiqués oralement, et les formulaires, format papier, capables d'initier le déclenchement d'un autre processus (figure 55). On peut facilement observer la communication de format électronique, donc par courriel, qu'envoient les gens travaillant au cœur d'un certain processus, à des gens d'autres départements et travaillant sur d'autres processus. On

voit aussi clairement que les différents contrôles, visibles du premier niveau, sont tous appliqués à la même activité (ou au même processus).

Les processus ont été résumés par un verbe afin de mieux représenter leur fonction, comme voici :

- **Processus RFQ (A1) :** « Évaluer et exécuter une requête de changement de la part d'un client »
- **Processus RFC (A2) :** « Évaluer et résoudre un problème technique interne de base ».
- **Processus DCP (A3) :** « Évaluer et résoudre un problème technique particulièrement complexe et/ou impliquant des fournisseurs.
- **Processus PCR (A4) :** « Évaluer, approuver, gérer et incorporer tout changement affectant le programme ».

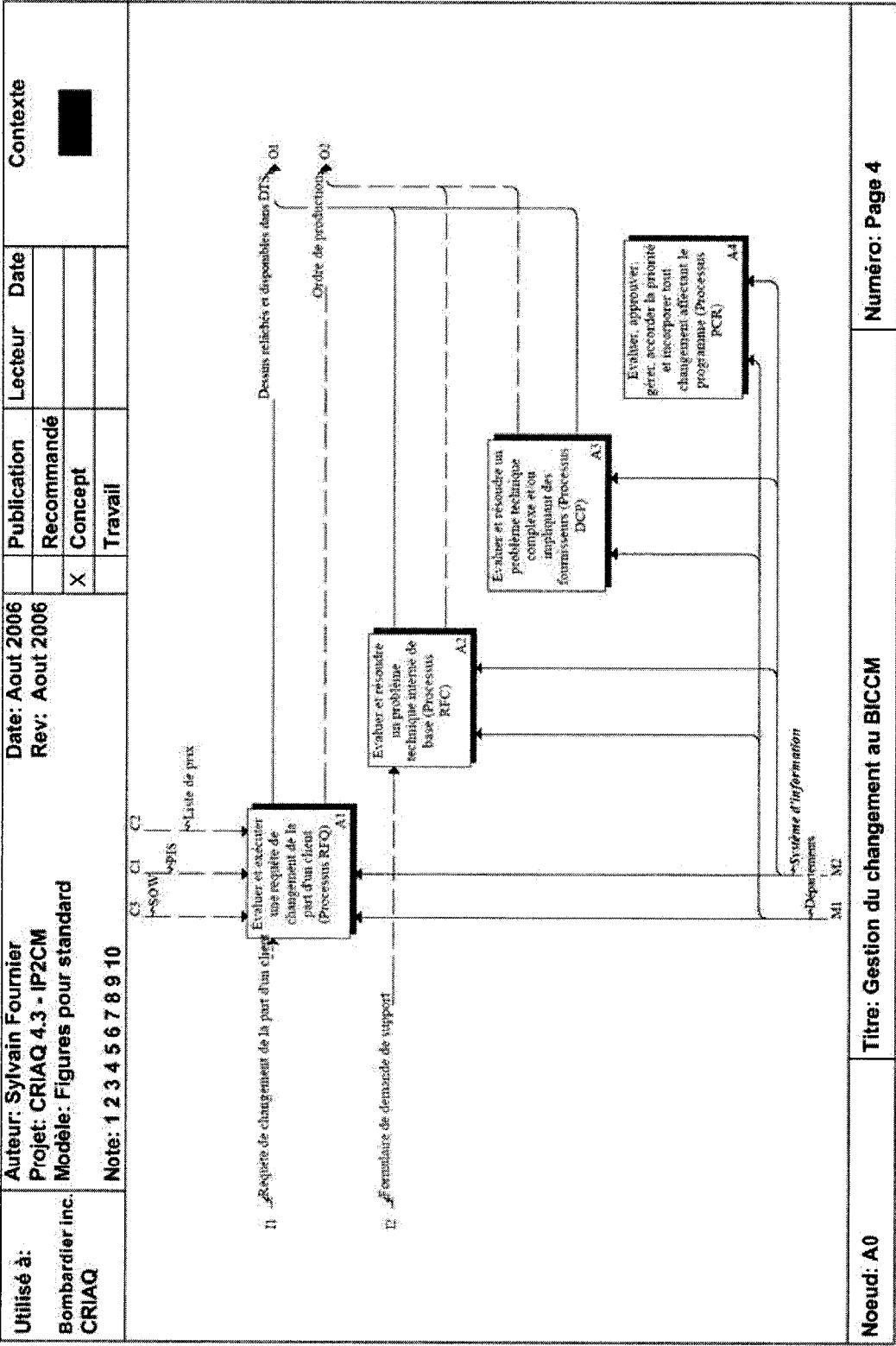


Figure 55: Deuxième niveau de la représentation IDEF0

5.4.3. Troisième niveau

Il serait beaucoup trop long de décrire chacun des processus au troisième niveau. Seul le processus RFQ sera décrit à ce niveau dans ce texte. Il a été choisi pour la simple et bonne raison qu'il est le seul à avoir été modélisé en utilisant IDEF3. Il sera ainsi possible de faire le lien entre le modèle IDEF0, présenté ici, et le modèle IDEF3, dont il sera question à la section 5.7.

Comme le démontre la figure 56, le troisième niveau du processus RFQ est composé des six activités suivantes :

- **A11** : « Évaluer la requête ».
- **A12** : « Estimer l'impact sur le coût et la durée du changement ».
- **A13** : « Recevoir l'approbation du client concernant le prix et l'impact sur le calendrier occasionné par le changement ».
- **A14** : « Exécuter le changement de design ».
- **A15** : « Libérer le dessin et les documents ».
- **A16** : « Générer l'ADM ».

En regardant les échanges de documents entre les activités, on peut imaginer un peu ce qui se passe à l'intérieur de ces dernières et on comprend mieux leurs objectifs. Par contre il n'est pas possible de savoir qui effectue les tâches et manipule les documents puisque les départements ne sont pas encore assez détaillés à ce niveau.

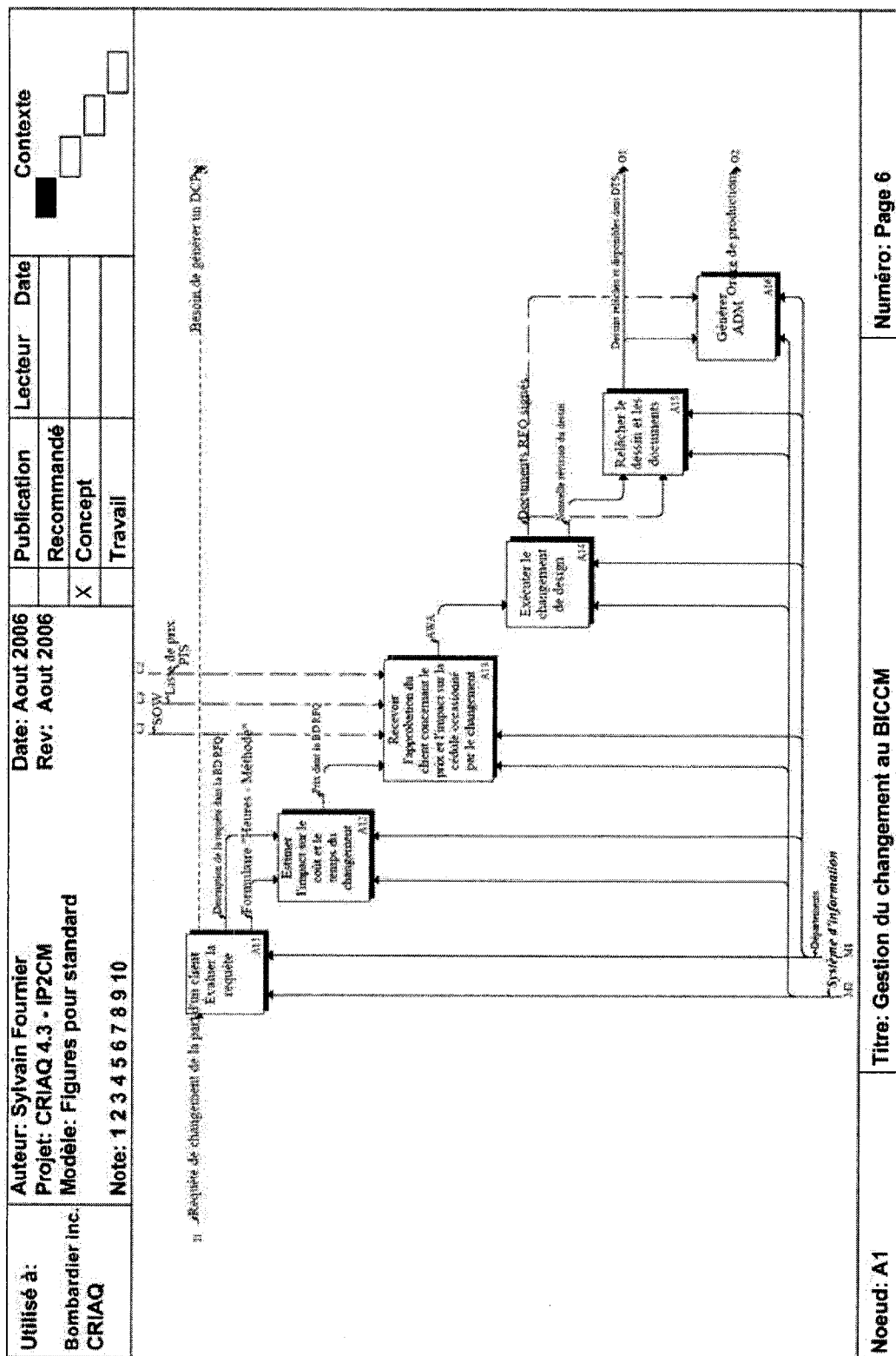


Figure 56: Troisième niveau de la représentation IDEFØ

5.4.4. Quatrième niveau

C'est au quatrième niveau (figure 57) que les départements et les applications informatiques sont finalement détaillés. Il est ainsi possible de distinguer les outils nécessaires à l'exécution d'un travail. Comme à tous les autres niveaux, on peut apercevoir le résultat des activités en regardant les documents sortant des boîtes d'activités.

On peut voir ainsi que les départements PP&C et ingénierie doivent s'impliquer afin que l'on puisse « Estimer la date prévue pour l'exécution des corrections à apporter aux dessins et l'entrée dans la BD DPS » (activité A141) et que le résultat de cette activité est la date qui est inscrite dans la base de données.

Dans le même ordre d'idées, on voit clairement qu'afin « d'apporter les corrections au dessin » (activité A142) les départements d'ingénierie et de PP&C doivent utiliser les bases de données RFQ et DPS ainsi que les applications CAO AutoCad, Catia V4, Catia V5 ainsi que les SGDT Motiva, CDM et Enovia LCA. Le niveau de détail du modèle ne permet cependant pas encore de voir quel département utilise quelles applications.

On remarque ensuite qu'afin de « vérifier et approuver les corrections » (activité A143), plusieurs départements sont impliqués mais qu'aucune application informatique, de celles faisant partie de cette étude, n'est utilisée. On peut ainsi en déduire que les gens approuvant le design se basent surtout sur leur expérience et leur jugement plutôt que sur une série d'analyses poussées comme les éléments finis.

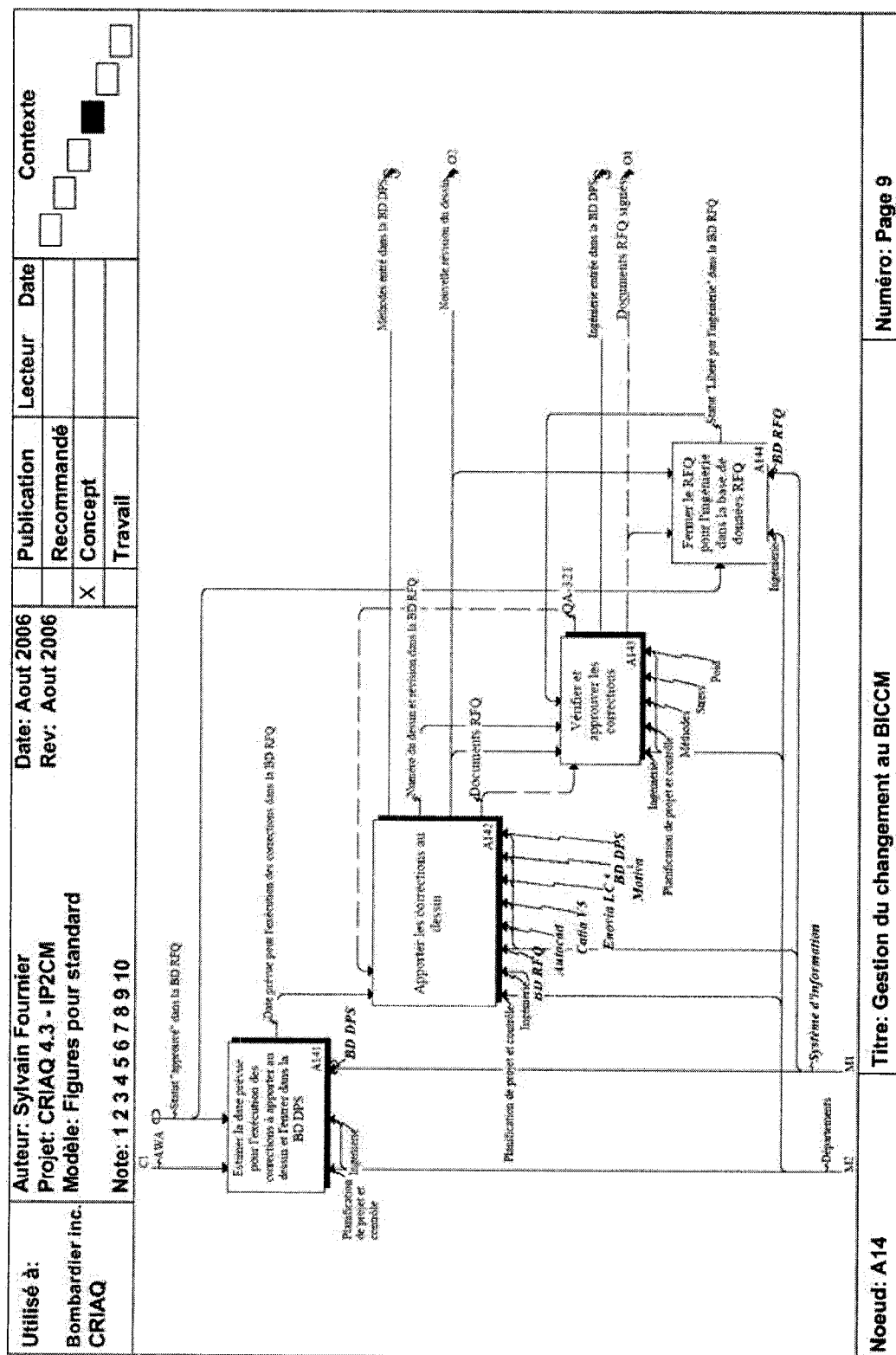


Figure 57: Quatrième niveau de la représentation IDEF0

Afin de signaler aux autres départements que les corrections ont été apportées, il faut « fermer la RFQ pour l'ingénierie dans la base de données RFQ ». C'est une méthode simple d'assurer un suivi du flux de travaux tout au long du processus.

5.4.5. Cinquième niveau

Le cinquième niveau est le plus détaillé du modèle IDEFØ qui a été conçu au cours de cette étude. C'est aussi le seul permettant de discerner clairement les relations entre les applications informatiques et les départements.

En regardant la figure 58, on voit que le département PP&C connecte l'ingénierie dans la base de données DPS, une fois que la date prévue de correction des dessins est entrée dans la BD RFQ, ou encore s'il reçoit une feuille de rejet de l'évaluation de la qualité (activité 1421). Une fois connecté à la base de données DPS, le département d'ingénierie apporte les corrections aux dessins, en utilisant les applications Catia V5 et Enovia LCA ou AutoCad et Motiva (activité 1422). Une fois que les dessins sont mis à jour et que la nouvelle révision est créée, on émet un « Engineering Drawing Release Notice » (EDRN) et on entre la date dans la base de données (activité 1423). Différents formulaires, associés à la modification de design, sont ensuite complétés; EO, NIEO, MODSUM et EQ (activité 1424). L'activité de l'ingénierie est terminée une fois que le numéro de dessin ainsi que la révision sont entrés dans la base de données RFQ. Finalement, le département PP&C complète le tout en déconnectant l'ingénierie et en connectant Méthodes à la base de données DPS (activité 1425).

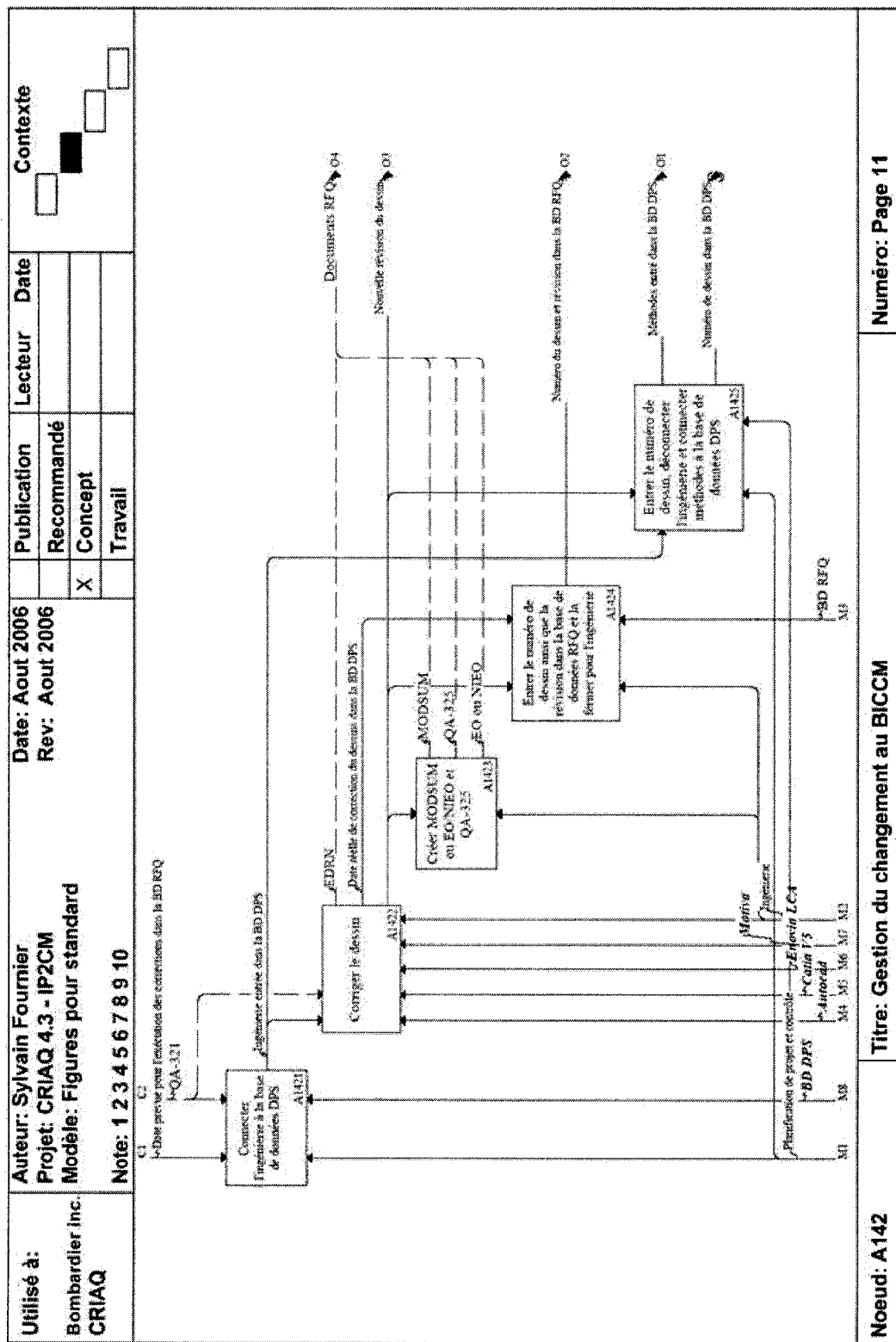


Figure 58: Cinquième niveau de la représentation IDEF0

5.5. Feuilles de calcul

Les tables de calculs, comme déjà présentées dans la section 3.2.3, ont servi à deux fins lors des recherches; la collecte de données et le calcul des intervalles.

5.5.1. Collecte de données

Les données temporelles d'une vingtaine de RFQ ont été rassemblées dans une feuille de calcul. Pour chacune des requêtes, les informations suivantes furent recueillies (une lettre fut attribuée à chacune des informations, ces lettres seront utilisées dans la section 5.7.3 et 5.7.5) :

- A.** Date de création de la requête selon la base de données RFQ
- B.** Date de promotion au statut « Bid required » selon la base de données RFQ
- C.** Date de promotion au statut « Estimating » selon la base de données RFQ
- D.** Date de promotion au statut « Bidding done » selon la base de données RFQ
- E.** Date de promotion au statut « Approved » selon la base de données RFQ
- F.** Date du premier calendrier de production ; lancement fixé par méthodes selon la base de données DPS « Baseline »
- G.** Date prévue d'achèvement des corrections aux dessins par l'ingénierie selon la base de données DPS « Forecast »
- H.** Date réelle d'achèvement des corrections aux dessins dans la base de données DPS « Actual »
- I.** Date reçue par le département de stress selon la base de données DPS
- J.** Date de signature de stress selon la base de données DPS
- K.** Date reçue par le département de poids selon la base de données DPS
- L.** Date de signature de poids selon la base de données DPS
- M.** Date reçue par méthodes selon la base de données DPS
- N.** Date de signature de méthodes selon la base de données DPS

- O.** Date de promotion au statut « Engineering Release » selon la base de données RFQ
- P.** Date de promotion au statut « Method Release » selon la base de données RFQ
- Q.** Date reçue par le département de gestion de configuration selon la base de données DPS
- R.** Date de libération des dessins par le département de gestion de configuration et disponibilité dans DTS selon la base de données DPS
- S.** Date de promotion au statut « Closed » selon la base de données RFQ

5.6. Diagrammes de Gantt

Les diagrammes de Gantt, permettant de déterminer le nombre de jours de travail nécessaires à l'exécution d'un processus sont construits à partir des jalons et ensuite en déterminant les espaces de temps les séparant.

5.6.1. Les jalons

Les dates amassées lors de la collecte des données, dont il est question à la section 5.5.1, à l'exception des dates F et H, servent de jalons pour les diagrammes de Gantt.

Table 8 : Calcul des intervalles de temps

	Entrer la requête dans la BD	Evaluer la faisabilité	Entrer les heures d'ingénierie dans la BD la RFQ	Estimer et entrer le prix dans la BD la RFQ	Recevoir l'approbation du client	Apporter les corrections au dessin	Vérification stress	Vérification poids	Vérification PP8C	Vérification méthodes	Généraliser les documents	Relâcher le dessin et les documents	Fermer la requête dans la BD et retour à la prod.
UOB DEF3	18.1	19.1	24.1	28.1	5.1	32.1	32.2	34.3	36.2	37.2	8.1	7.1	52.1
31713	1	14	2	7	22	205	1		1	1	16	1	1
31805	1	2	37	19	14	27	1		1	2	111	3	1
31940	1	1	10	1	9	24	1		5	4	86	4	45
32144	1	3	28	7	23	33	2		1	4	132	2	34
32204	1	1	6	6	1	15	1		1	7	171	7	29
32411	1	3	16	27	11	7	7	7	1	36	50	4	4
32467	1	2	15	5	10	15	2	2	2	7	80	9	1
32476	1	1	13	5	10	15	6	6	1	14	70	4	1
32487	1	1	2	N/A	9	23	1	2	1	5	75	2	9
32773	1	2	2	6	1	21	1	1	11	2	22	2	1
Moyenne	1.00	3.00	13.10	9.22	11.00	36.50	2.30	3.60	2.50	8.20	81.30	3.80	12.60
Ecart type	0.00	3.94	11.71	8.26	7.33	58.96	2.26	2.70	3.24	10.45	47.67	2.49	16.79

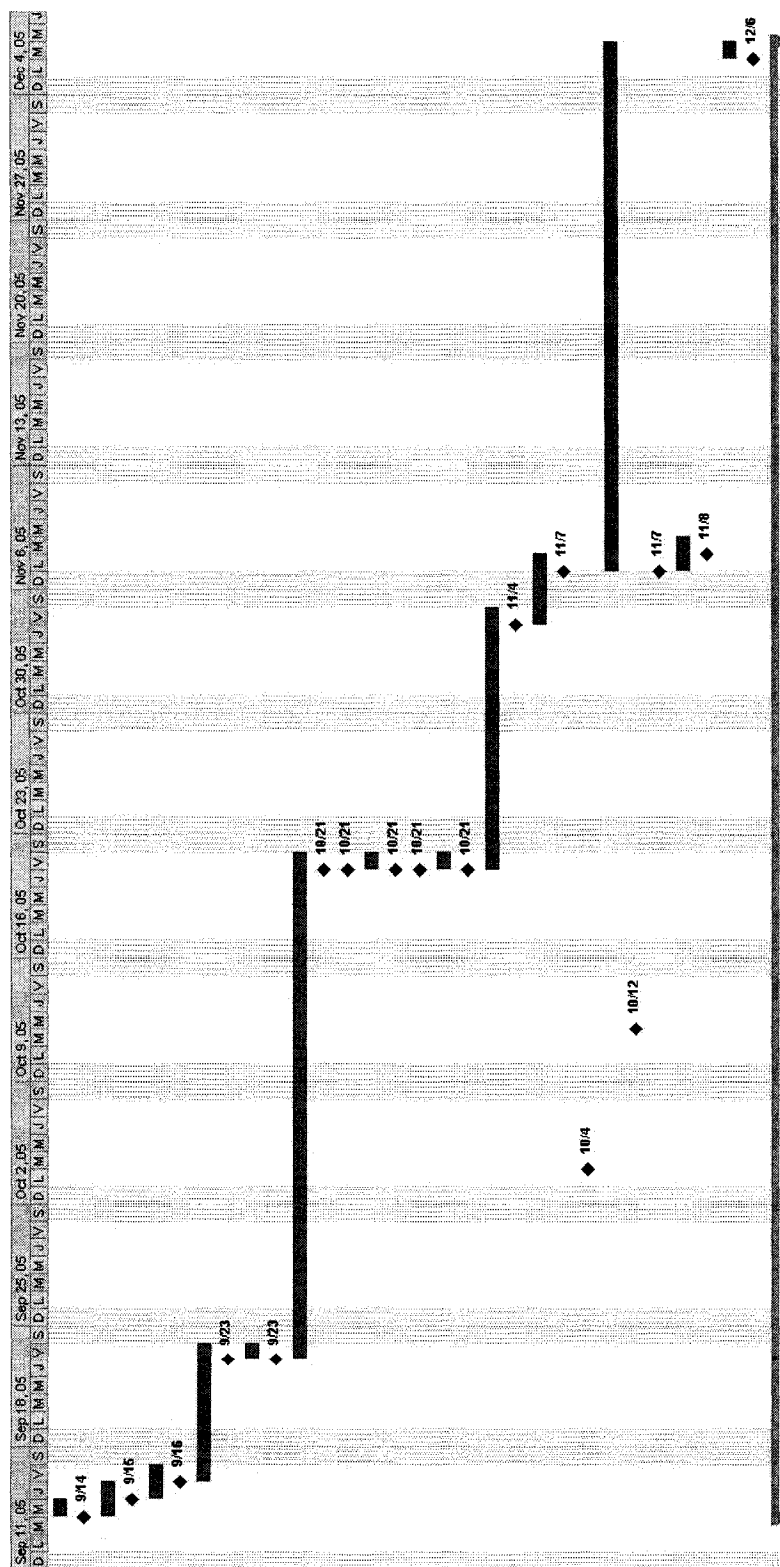


Figure 59: Exemple d'un diagramme de Gantt pour le processus RFQ

5.7. Modèles IDEF3

Cette section discute de la construction du modèle IDEF3 mais ne discute pas des simulations effectuées à l'aide du modèle en question. Ces analyses IDEF3 sont élaborées au chapitre suivant.

Une étude du comportement dynamique d'un processus, tout comme une analyse fonctionnelle, commence par la définition de l'objectif concret, du point de vue et du contexte du modèle. Pour l'étude réalisée, ces trois aspects peuvent être résumés par les lignes qui suivent :

- **Objectif:** Le but de cette méthode de représentation est d'analyser le comportement dynamique du processus « Request for Quote » du centre de finition de l'entreprise étudiée. Cette méthode sert à analyser le temps nécessaire afin d'exécuter le processus et aider à trouver des façons d'améliorer ce dernier.
- **Point de vue:** Le modèle a été créé selon la vision de la personne qui gère et exécute les tâches fondamentales de la gestion du changement, tout comme le modèle IDEFØ.
- **Contexte:** La configuration de base des appareils sur lesquels des modifications doivent être apportées n'est pas touchée et seules les modifications affectant un seul appareil sont prises en considération.

Le modèle IDEF3 représentant la gestion des changements d'ingénierie de l'entreprise étudiée est beaucoup moins complexe que le modèle IDEFØ, il ne contient que 16 UOB. Ceci est dû au fait que seulement le processus RFQ fut modélisé. Afin de pouvoir exécuter des simulations de temps, des données de temps avaient besoin d'être recueillies dans diverses bases de données servant à gérer les processus. Celles gérant le processus RFQ étaient particulièrement robustes et faciles d'accès. C'est pour cette raison que le processus se prêtait aussi bien à IDEF3 et fut le seul sélectionné pour ce type d'analyse.

La construction du modèle IDEF3, représentant le processus RFQ, fut effectuée en quelques étapes. Il a premièrement fallu choisir des activités, dans le

modèle IDEFØ, que l'on pouvait retracer dans les bases de données et auxquelles il était plus facilement possible d'attribuer des informations temporelles. Ces activités ont par la suite été ordonnées selon la séquence suggérée par les diagrammes de processus, comme l'illustre la figure 60. Les méthodes suggérées par Malik et Majid, (2005); Kim et al. (2001), dont il fut déjà question à la section 3.2.2, furent aussi utilisées lors de la transition des modèles IDEFØ vers IDEF3.

5.7.1. Premier niveau

Le premier niveau du modèle IDEF3 (figure 61) est composé d'UOB qui sont en réalité les activités du niveau A1, dans le modèle IDEFØ. Ces UOB furent réorganisés, selon la méthode mentionnée dans le paragraphe précédent, afin que leur séquence soit appropriée. Le premier niveau est assez séquentiel, sauf pour deux activités qui sont en parallèle à la fin du processus. Comme déjà mentionné dans le chapitre 3, la numérotation des UOBs est totalement arbitraire et dirigée par le logiciel.

Le processus débute par l'estimation d'une nouvelle requête (UOB 3.2), suivie par l'estimation de l'impact sur le coût et le temps du projet, engendré par cette première requête (UOB 4.2). Vient ensuite l'approbation du client (UOB 5.1), après laquelle le statut de la base de donnée RFQ est promu à « Approved ». L'étape qui suit est l'exécution du changement au design (UOB 6.1). Jusqu'à présent, toutes les étapes étaient séquentielles, mais les deux qui suivent sont effectuées en parallèle. Ce parallélisme des UOB nécessite l'utilisation de jonctions. Ces jonctions sont du type « & » et sont synchronisées, indiquant que les étapes en parallèle commencent en même temps. Ces étapes sont la libération du dessin et des documents (UOB 7.1) et la génération de l'ADM (UOB 8.1) qui correspond au statut « Methods Release » dans la base de données RFQ. Le processus se termine par la fermeture de la requête dans la base de données et le retour à la production (UOB 52.1).

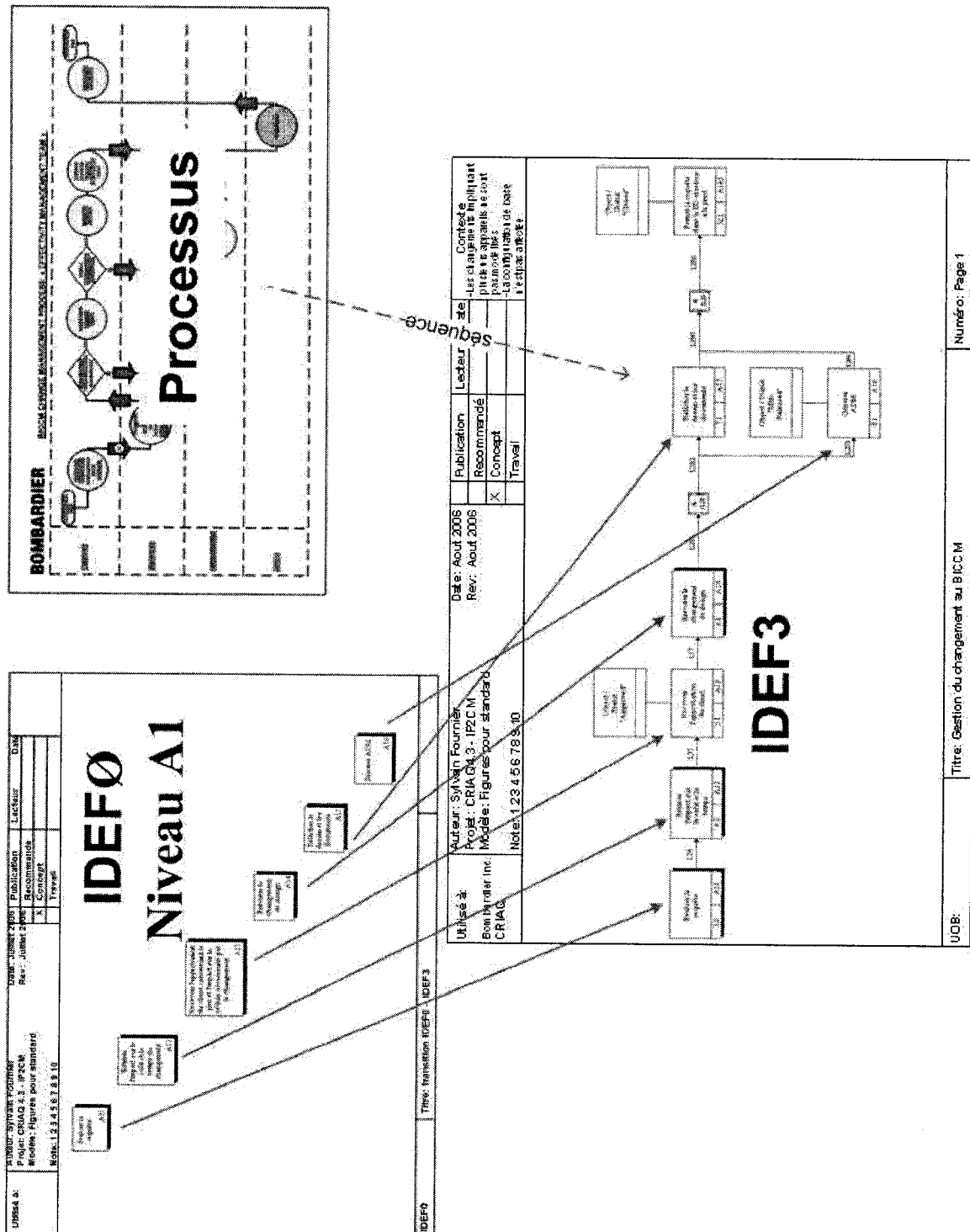


Figure 60: Construction du diagramme IDEF3

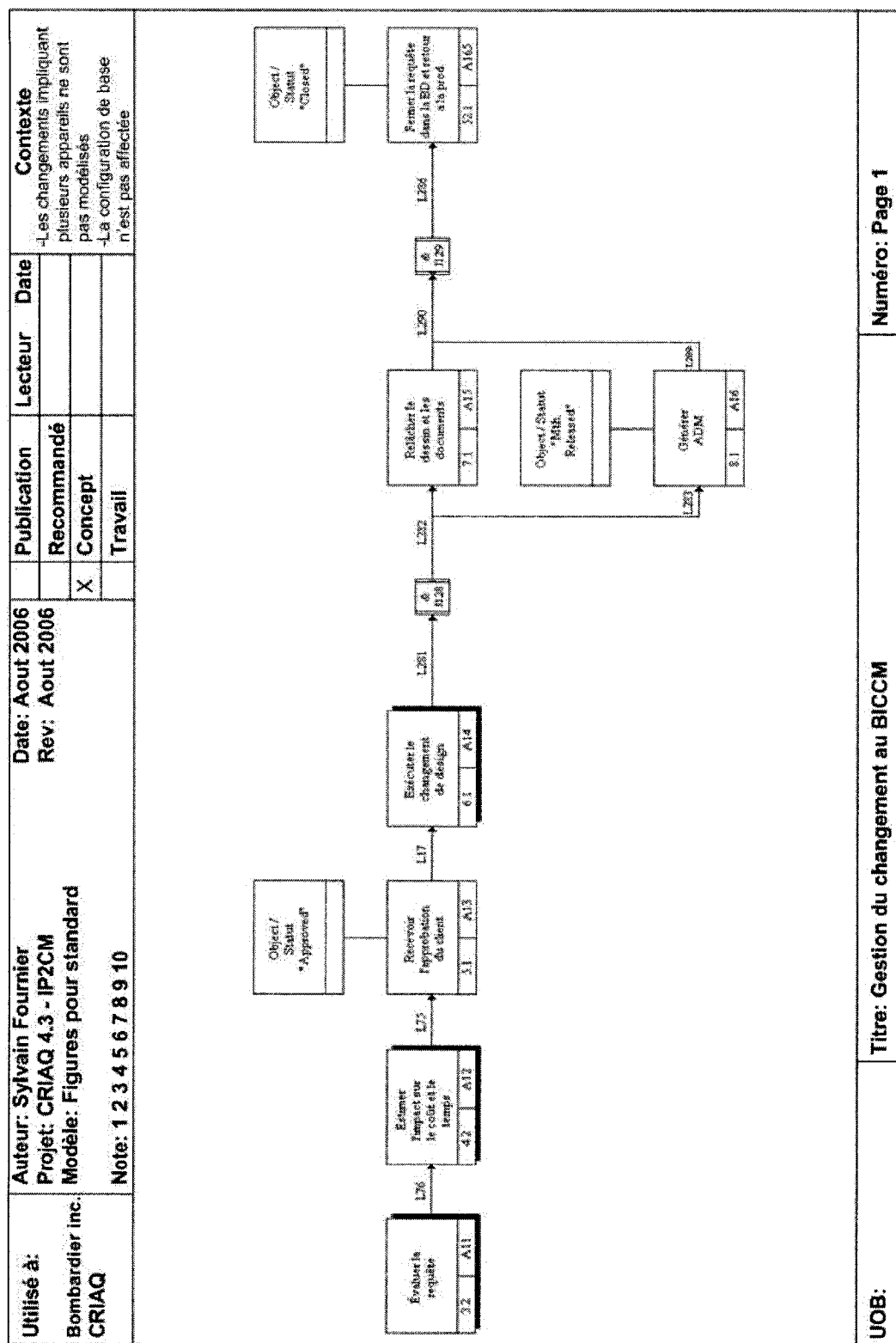


Figure 61: Premier niveau du modèle IDEF3

5.7.2. Deuxième niveau

Tout comme le premier niveau, le deuxième niveau est assez simple. Les UOB 3.2, 4.2 et 6.1 sont les seuls à contenir un niveau de décomposition.

L'unité de comportement 3.2 contient deux éléments; l'entrée de la requête dans la base de données RFQ (UOB 18.1) et l'évaluation de la faisabilité (UOB 19.1). Le premier élément coïncide avec la promotion au statut « New » dans la base de données et « Bid Required », pour le deuxième.

Le UOB 4.2 contient, lui aussi, deux boîtes au deuxième niveau; l'entrée des heures d'ingénierie dans la base de données RFQ (UOB 24.1), qui est promue au statut « Estimating », et l'entrée du prix dans la base de données RFQ, qui concorde avec le statut « Bidding done ».

L'unité de comportement 6.1, quant à lui, est plus complexe. Il contient cinq UOB de deuxième niveau, dont deux sont en parallèle. Contrairement aux décompositions des unités 3.2 et 4.2, qui correspondent à des informations observables dans la base de données RFQ, il est possible de faire le lien entre les éléments qui composent l'UOB 6.1 (figure 62) aux informations provenant de la base de données DPS. Le tout débute par la correction des dessins (UOB 32.1) suivi de deux activités en parallèle liées par des jonctions « & » synchronisées; l'approbation des corrections par le département de Stress (UOB 33.2) et par le département de Poids (UOB 34.3). Vient ensuite la vérification et l'approbation, si l'on juge les corrections acceptables, par le département PP&C (UOB 36.2) et de Méthodes (UOB 37.2).

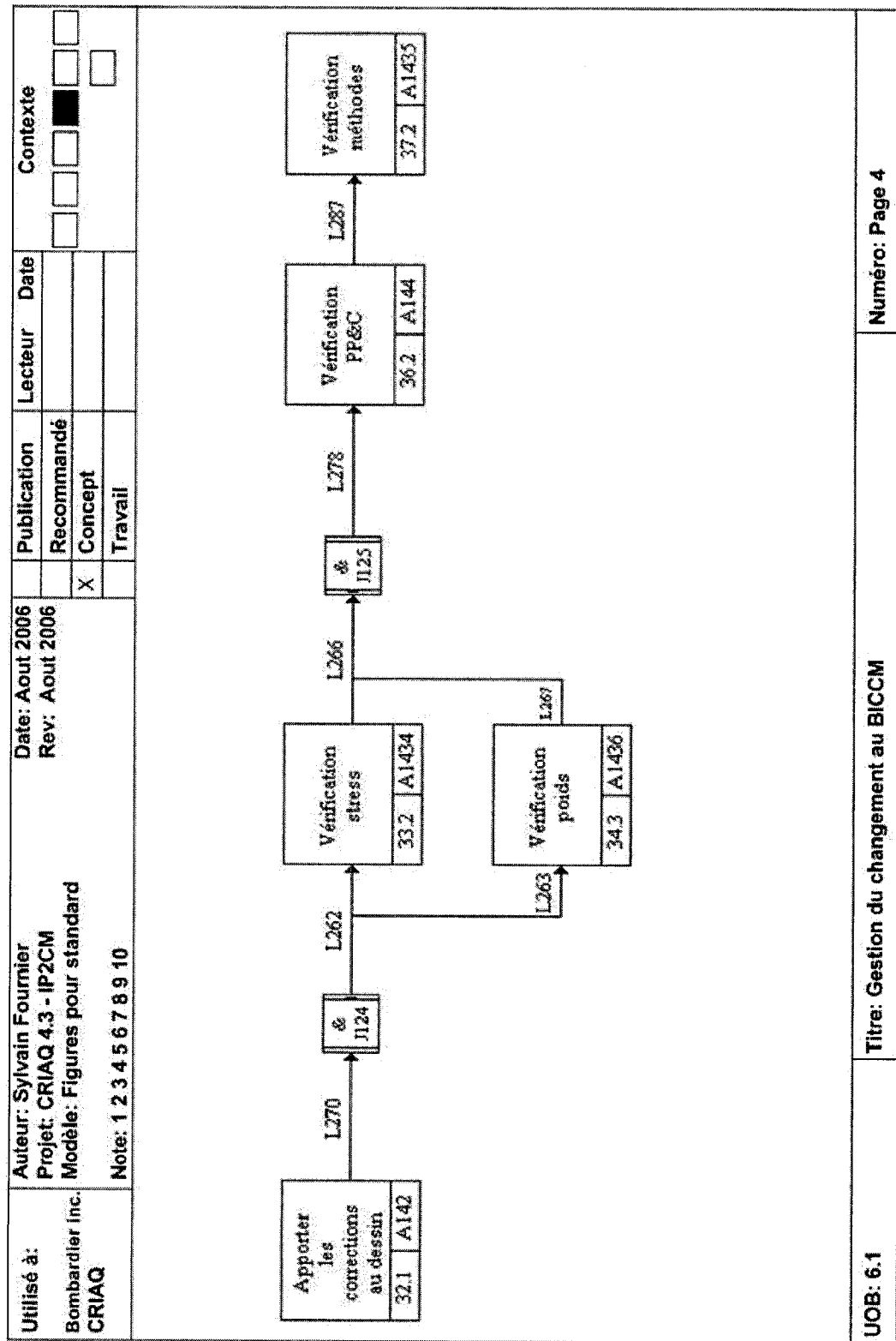


Figure 62: Deuxième niveau du modèle IDEF3

5.7.3. Calcul des intervalles

Le calcul des intervalles fut effectué avec les feuilles de calculs en faisant la différence entre différentes étapes présentés à la section 5.5.1. Voici les différentes formules utilisées afin de déterminer les intervalles²¹ :

$$T_{UOB18.1} = 1 \quad (4.1)$$

$$T_{UOB19.1} = B - A \quad (4.2)$$

$$T_{UOB24.1} = C - B \quad (4.3)$$

$$T_{UOB26.1} = D - C \quad (4.4)$$

$$T_{UOB5.1} = E - D \quad (4.5)$$

$$T_{UOB32.1} = H - E \quad (4.6)$$

$$T_{UOB32.2} = J - I \quad (4.7)$$

$$T_{UOB34.3} = L - K \quad (4.8)$$

$$T_{UOB36.2} = M - L \quad (4.9)$$

$$T_{UOB37.2} = N - M \quad (4.10)$$

$$T_{UOB8.1} = P - N \quad (4.11)$$

²¹ Il faut noter que certaines informations élaborées dans cette section ne furent pas utiles dans le calcul des intervalles.

$$T_{UOB7.1} = R - Q \quad (4.12)$$

$$T_{UOB52.1} = S - P \quad (4.13)$$

Le temps total nécessaire afin d'effectuer la requête, quant à lui, peut se calculer en utilisant la formule suivante :

$$T_{TOT\ RFQ} = S - A \quad (4.14)$$

Une table de statistiques, fut ensuite élaborée afin de calculer les moyennes et écarts types de chacun des intervalles (Voir table 8).

Il ne faut cependant pas oublier que les tables de calculs permettent de calculer le temps absolu de chacun des intervalles (incluant les fins de semaines et les jours fériés). Afin d'avoir des résultats plus précis, n'incluant que les jours de travail, des diagrammes de Gantt furent utilisés.

5.7.4. Calcul de la durée des activités

Les durées des activités, illustrées par les diagrammes de Gantt, sont définies par la différence entre la durée totale séparant les jalons qui limitent ces activités et les jours d'inactivités, comme les fins de semaines et les jours fériés, que l'on peut représenter par la constante Ψ . Les équations 4.1 à 4.13 laissent donc place aux équations 4.15 à 4.27, qui sont plus appropriées aux calculs de la durée des activités :

$$T_{UOB18.1} = 1 \quad (4.15)$$

$$T_{UOB19.1} = B - A - C_1, \text{ où } C_1 \text{ représente les jours d'inactivité entre A et B} \quad (4.16)$$

$$T_{UOB24.1} = C - B - C_2, \text{ où } C_2 \text{ représente les jours d'inactivité entre B et C} \quad (4.17)$$

$$T_{UOB26.1} = D - C - C_3, \text{ où } C_3 \text{ représente les jours d'inactivité entre C et D} \quad (4.18)$$

$$T_{UOB5.1} = E - D - C_4, \text{ où } C_4 \text{ représente les jours d'inactivité entre D et E} \quad (4.19)$$

$$T_{UOB32.1} = H - E - C_5, \text{ où } C_5 \text{ représente les jours d'inactivité entre E et H} \quad (4.20)$$

$$T_{UOB33.2} = J - I - C_6, \text{ où } C_6 \text{ représente les jours d'inactivité entre I et J} \quad (4.21)$$

$$T_{UOB34.3} = L - K - C_7, \text{ où } C_7 \text{ représente les jours d'inactivité entre K et L} \quad (4.22)$$

$$T_{UOB36.2} = M - L - C_8, \text{ où } C_8 \text{ représente les jours d'inactivité entre L et M} \quad (4.23)$$

$$T_{UOB37.2} = N - M - C_9, \text{ où } C_9 \text{ représente les jours d'inactivité entre M et N} \quad (4.24)$$

$$T_{UOB8.1} = P - N - C_{10}, \text{ où } C_{10} \text{ représente les jours d'inactivité entre N et P} \quad (4.25)$$

$$T_{UOB7.1} = R - Q - C_{11}, \text{ où } C_{11} \text{ représente les jours d'inactivité entre Q et R} \quad (4.26)$$

$$T_{UOB52.1} = S - P - C_{12}, \text{ où } C_{12} \text{ représente les jours d'inactivité entre P et S} \quad (4.27)$$

5.7.5. La durée du processus

Il est possible de calculer la durée totale d'un processus avec les diagrammes de Gantt en faisant la différence entre le premier et le dernier jalon, comme le fait l'équation 4.14, mais en soustrayant les jours d'inactivités. On obtient ainsi l'équation 4.28 :

$$T_{TOT\ RFQ} = S - A - C_{13}, \text{ où } C_{13} \text{ représente les jours d'inactivité entre A et S} \quad (4.28)$$

5.7.6. Démonstration des calculs effectués par le modèle

Lors des calculs de temps pour le modèle IDEF3, la somme des éléments des niveaux inférieurs donnent le temps d'exécution des niveaux supérieurs. En appliquant cette règle au modèle construit, on peut déduire que le temps d'exécution des éléments du premier niveau est égale à la somme de celui des éléments du deuxième niveau. On peut ainsi obtenir les équations 4.29 à 4.32.

$$T_{UOB3.2} = T_{UOB18.1} + T_{UOB19.1} \quad (4.29)$$

$$T_{UOB4.2} = T_{UOB24.1} + T_{UOB26.1} \quad (4.30)$$

Si $T_{UOB33.2} > T_{UOB34.3}$:

$$T_{UOB6.1} = T_{UOB32.1} + T_{UOB33.2} + T_{UOB36.2} + T_{UOB37.2}, \quad (4.31)$$

Si $T_{UOB33.2} > T_{UOB34.3}$:

$$T_{UOB6.1} = T_{UOB32.1} + T_{UOB34.3} + T_{UOB36.2} + T_{UOB37.2}, \quad (4.32)$$

La durée totale du processus RFQ peut, de la même façon, être représentée par les équations 4.33 et 4.34.

Si $T_{UOB7.1} > T_{UOB8.1}$:

$$T_{TOT RFQ} = T_{UOB3.2} + T_{UOB4.2} + T_{UOB5.1} + T_{UOB6.1} + T_{UOB7.1} + T_{UOB52.1} \quad (4.33)$$

Si $T_{UOB7.1} > T_{UOB8.1}$:

$$T_{TOT RFQ} = T_{UOB3.2} + T_{UOB4.2} + T_{UOB5.1} + T_{UOB6.1} + T_{UOB8.1} + T_{UOB52.1} \quad (4.34)$$

5.8. Résumé

La gestion des modifications, dans l'entreprise étudiée, est effectuée par l'entremise de quatre processus principaux ; le processus RFC, le processus RFQ, le processus DCP et le processus PCR. Chacun de ces processus possède un rôle. Le processus RFC sert à gérer et résoudre les problèmes de nature purement techniques et internes à l'entreprise tandis que le processus RFQ sert à gérer et exécuter les requêtes des clients pour ce qui est des modifications au design de la finition des appareils. Les processus DCP et PCR sont normalement exécutés en parallèle. Le processus DCP sert à résoudre le côté technique du problème tandis que le processus PCR, purement administratif, sert à jauger, approuver et gérer ce dernier afin de conseiller les ajustements à apporter nécessaires à la satisfaction du client.

La modélisation des processus sur IDEFØ, bien qu'elle soit assez élaborée, permet d'avoir une vue simplifiée du processus global de l'entreprise. Elle donne une meilleure vision des tâches à accomplir, des échanges de données et des ressources utilisées dans la gestion du changement. La première étape de sa construction fut tout d'abord de bien détailler son objectif, son point de vue et son contexte. La deuxième étape fut de transférer les activités déjà présentes dans les diagrammes de processus en format IDEFØ et de réorganiser ces dernières d'une manière hiérarchique. Finalement les ICOM furent ajoutés au modèle afin d'illustrer les interactions existant entre les différentes activités et les ressources nécessaires à leur accomplissement.

Les feuilles de calcul furent surtout utilisées afin de recueillir les données au lieu d'effectuer les calculs avec ces dernières. Leur inhabilité de soustraire les jours d'inactivités, comme les fins de semaines et les jours fériés, est une preuve de leur manque de robustesse afin d'accomplir cette tâche.

Les diagrammes de Gantt, quant à eux, étaient le choix parfait afin d'effectuer les calculs temporels pour les différentes activités. En plus de permettre de calculer les jours de travail nécessaires à l'accomplissement d'une tâche spécifique, ils permettent de visualiser les tâches, les jalons et de voir la séquence des opérations.

Seulement un des quatre processus fut modélisé sur IDEF3, le processus RFQ, qui fut choisi en raison de la robustesse des bases de données servant à l'administrer. La modélisation IDEF3 est l'outil parfait afin de représenter les aspects dynamiques du processus. Il permet aussi de faire le lien entre les différents statuts des bases de données avec les activités du processus. Le modèle est l'outil parfait afin de simuler le comportement temporel du processus et ainsi aider à déterminer des façons de le réorganiser et d'améliorer, en bout de ligne, son temps d'exécution. Les calculs effectués par le modèle dans le cadre de cette étude sont assez simples, comme le démontrent les équations 4.29 à 4.34. Ce dernier permet cependant de réduire le temps de calcul, de minimiser les erreurs, causées par des inattentions, et de réorganiser les activités afin de simuler le processus sous plusieurs configurations différentes.

6. Analyse du système d'information de l'entreprise

Ce chapitre porte sur l'analyse du système d'information de l'entreprise. Les principaux sujets abordés dans cette section sont les échanges de données avec les partenaires, l'utilisation des diverses applications informatiques par le personnel de l'usine, les changements que subissent les données au cours des modifications et le flux des données entre les multiples applications.

6.1. Les échanges de données avec les fournisseurs

Bien que la majorité des activités de design soient entreprises à l'interne, une partie du design est aussi déléguée aux fournisseurs et des échanges de données doivent donc être entrepris au delà des limites de l'entreprise.

Dans le but de protéger la propriété intellectuelle de l'entreprise et afin d'éviter l'espionnage industriel, les données échangées vers des sources à l'extérieure de l'entreprise devraient toujours être vérifiées par un agent de conformité. Cette procédure est normalement la norme dans l'industrie aéronautique. Toutefois, en raison de la nature moins confidentielle des produits, du fait qu'ils n'ont aucune implication militaire et que le design de ces derniers n'est utilisé que sur un seul appareil, les échanges de données entre l'entreprise étudiée et ses fournisseurs sont beaucoup moins réglementés qu'ailleurs dans l'industrie.

Les données sont envoyées tout simplement par courrier électronique. On compresse les données de format .CATPart, .CATDraw, .MODEL ou .DWG dans des fichiers .ZIP. Les fichiers .ZIP sont par la suite mis en pièce jointe dans des courriels qui sont envoyés aux fournisseurs.

Pour les échanges effectués dans la direction opposée, c'est-à-dire des fournisseurs vers Bombardier, la procédure est encore plus simple. Bombardier a directement accès aux bases de données de la plupart de ses fournisseurs.

6.2. Interactions entre les bases de données et les départements

La figure 63 illustre clairement les différentes relations existant entre les applications de gestion des flux de travaux de l'entreprise. Une flèche à un sens indique que les données ne sont transmises que dans une direction tandis qu'une flèche à deux têtes indique une communication dans les deux directions. Les bases de données communiquent normalement dans une direction lorsque les processus qu'elles gèrent sont effectués en séquence. Dans le même ordre d'idées, la communication est effectuée dans deux directions lorsque les processus sont exécutés en parallèle. La figure illustre aussi les différents départements ayant accès à chacun des mécanismes de gestion des flux de travaux.

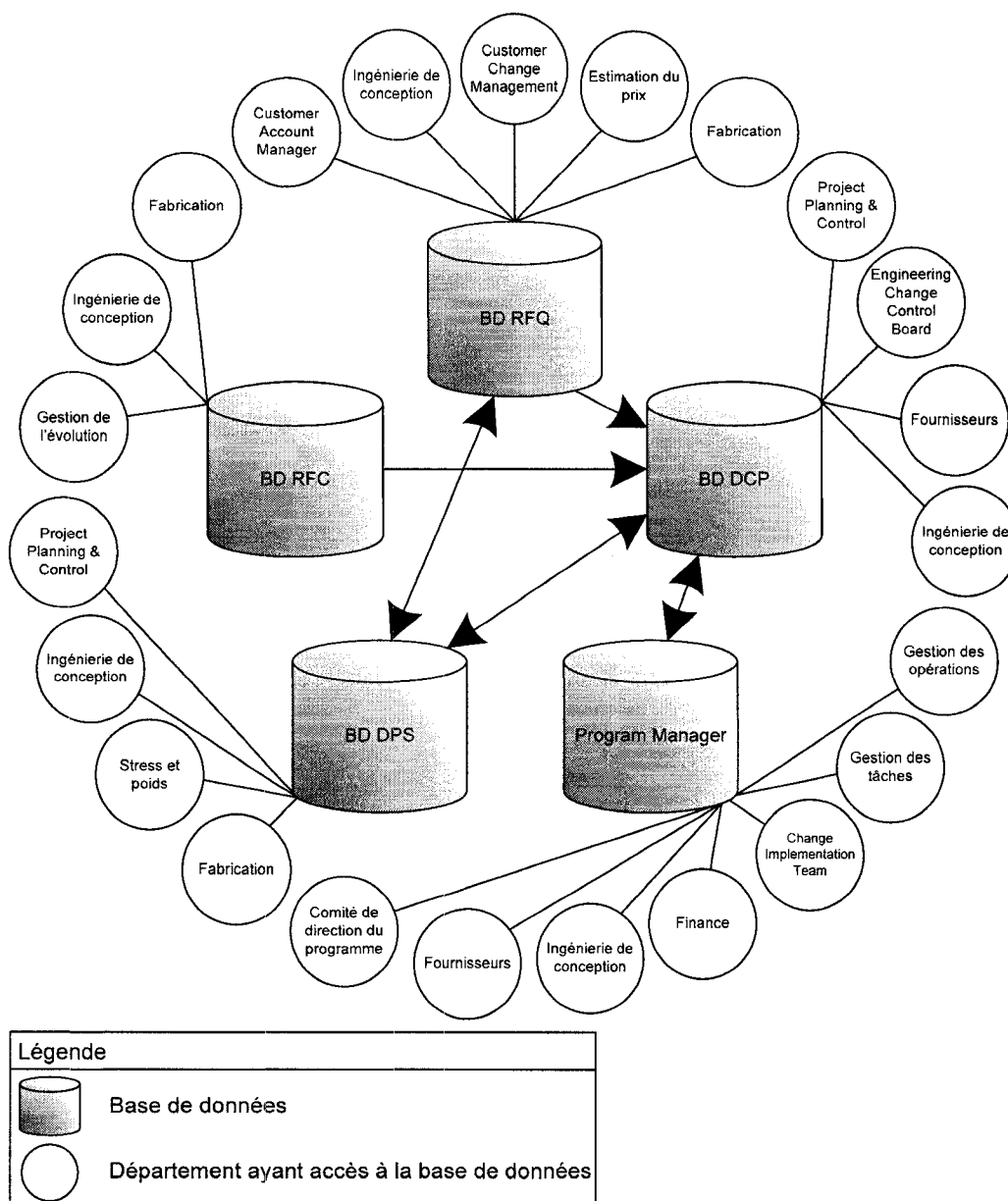


Figure 63: Interrelations entre les applications de gestion du changement et départements

6.3. L'état des données avant et après le changement

Les données techniques subissent essentiellement des changements géométriques (contenu) et en bout de ligne de volume (Méga octets). Les formats originaux des données (.Model, .Session, .CATParts, .CATDraw, .CATproduct et .dwg)

sont conservés dans les systèmes SGDT autant avant qu'après les modifications. Cependant, des fichiers de format Adobe Acrobat (.pdf) sont générés lors de la libération des données dans DTS (voir figure 36).

Les statuts des données dans les systèmes SGDT, quant à eux, varient constamment en fonction des modifications, comme illustré dans cet exemple pour des fichiers Catia V4 dans CDM :

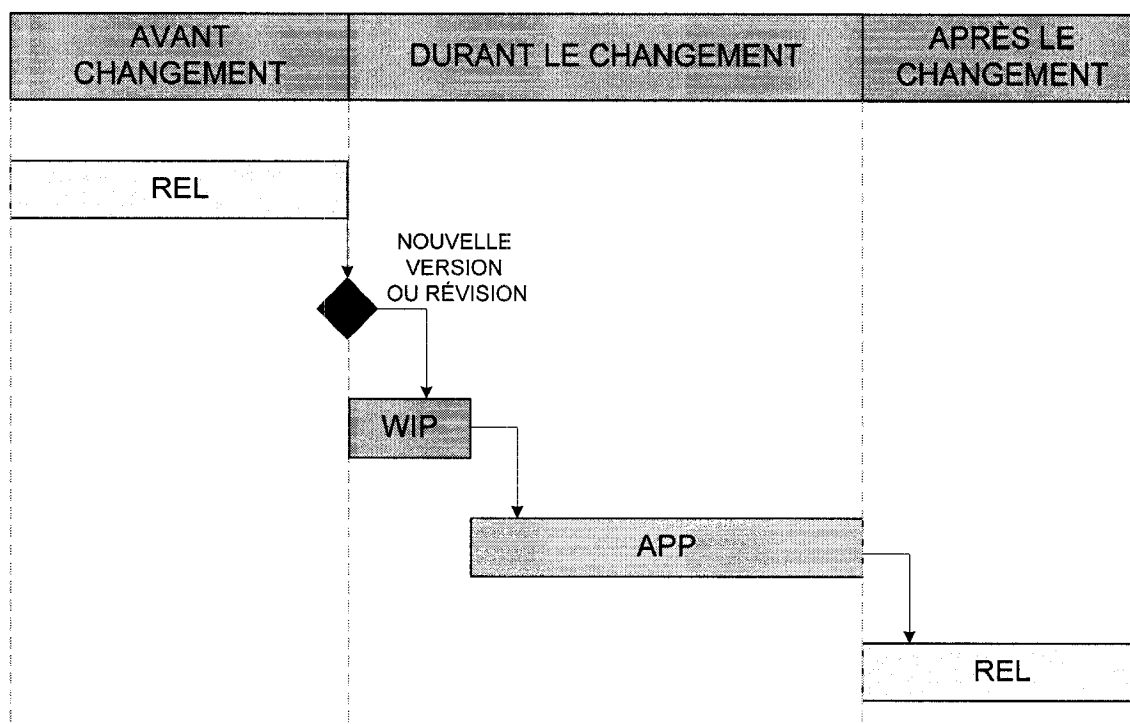


Figure 64: État des données avant et après le changement

6.4. Les flux de données inter-systèmes

Cette section sert à décrire deux points étudiés brièvement au cours de l'étude chez Bombardier; la manière dont les données d'ingénierie sont structurées et le volume qu'occupent ces dernières.

6.4.1. Structure des données

Lorsqu'on en vient à l'étude de la structuration des données, quatre logiciels peuvent être considérés; Motiva, Enovia, CDM et BaaN. Voici donc la façon dont les données sont structurées dans chacune de ces applications :

- **Motiva** : Tous les fichiers, incluant leurs multiples révisions sont archivés avec cette application. Il est possible d'effectuer des recherches afin de filtrer les données, mais aucun lien n'est présent entre ces dernières.
- **Enovia** : Enovia, le SGDT le plus puissant de l'entreprise étudiée, possède une structure de produit d'ingénierie (EBOM). De plus, cette structure de produit est configurée pour chaque appareil dont les pièces sont conçues sur Catia V5.
- **CDM** : Cette application, tout comme son descendant Enovia LCA, possède une structure de produit. Cette dernière n'est cependant pas configurable. Il faut aussi noter que les fichiers générés au centre de finition ne sont pas incluses dans ces structures de produits. Afin de gérer son produit, la finition des appareils, l'usine utilise CDM comme système permettant d'enregistrer les fichiers ainsi que toutes leurs versions. Les structures de produit contiennent en réalité des données provenant de d'autres usines de l'entreprise, situées ailleurs dans le monde.
- **BaaN** : Ce logiciel ERP, surtout utilisé par le département de méthodes, contient une nomenclature semblable à celle contenues dans les systèmes d'ingénierie. Des liens existent entre les pièces contenues dans le système mais aucune structure de produit n'y est présente.

La figure suivante aide à comprendre la manière dont sont ordonnées les données d'ingénierie dans les différents SGDT de l'entreprise.

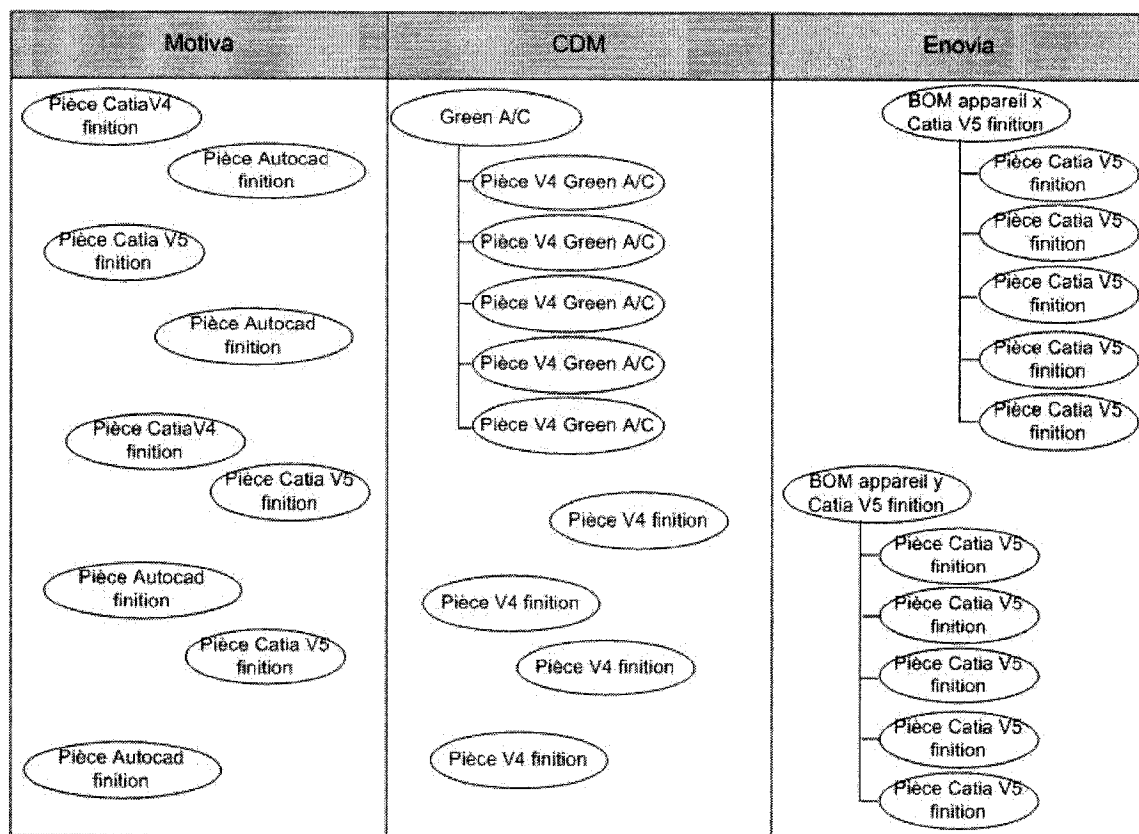


Figure 65: Structure des données dans les différents SGDT

6.4.2. Le volume d'information

Une brève étude fut effectuée afin d'avoir un aperçu du nombre et de la taille des données d'ingénierie gérées par les différents SGDT de l'entreprise. Le temps et les moyens disponibles pour cette étude n'ont cependant pas permis d'arriver à des chiffres précis mais il fut possible d'estimer les proportions.

- Enovia LCA :** Le système servant à gérer le moins de données était Enovia LCA, principalement dû au fait que Catia V5 est déployé depuis moins longtemps que les autres SGDT. Il faut aussi tenir compte du fait que cette application ne sert qu'à gérer les données de finition de la région de Montréal (pas seulement celles de l'usine étudiée mais aussi celles provenant de d'autres centres de finition). Les fichiers générés par Catia V5 sont cependant plus

volumineux que ceux produits par Catia V4 et Autocad, le volume des informations est donc quand même considérable.

- **CDM** : Ce système gère beaucoup plus de données que Enovia LCA. Plus de 20 bases de données sont gérés par ce système pour la grande région de Montréal seulement. En plus d'être en service depuis très longtemps, ce SGDT sert à gérer toutes les pièces servant à la construction de la plupart des appareils assemblés par l'entreprise. Le nombre de fichiers gérés par cette application est de l'ordre de plusieurs millions et le volume total de ces derniers est assez difficile à évaluer (une étude plus poussée serait nécessaire afin de le déterminer).
- **Motiva** : Motiva, contient toutes les données provenant de toutes les usines mais seulement les données concernant la finition des appareils. Toutes les données provenant des trois systèmes CAO doivent absolument passer par ce système avant d'être libérées, le nombre de ces derniers est donc assez important. Beaucoup de ces données proviennent d'AutoCad et sont donc d'un volume moins important que les données Catia V4 et V5. Le nombre et le volume des informations que contient ce SGDT est donc plus élevés que pour Enovia LCA mais beaucoup moins que pour CDM.

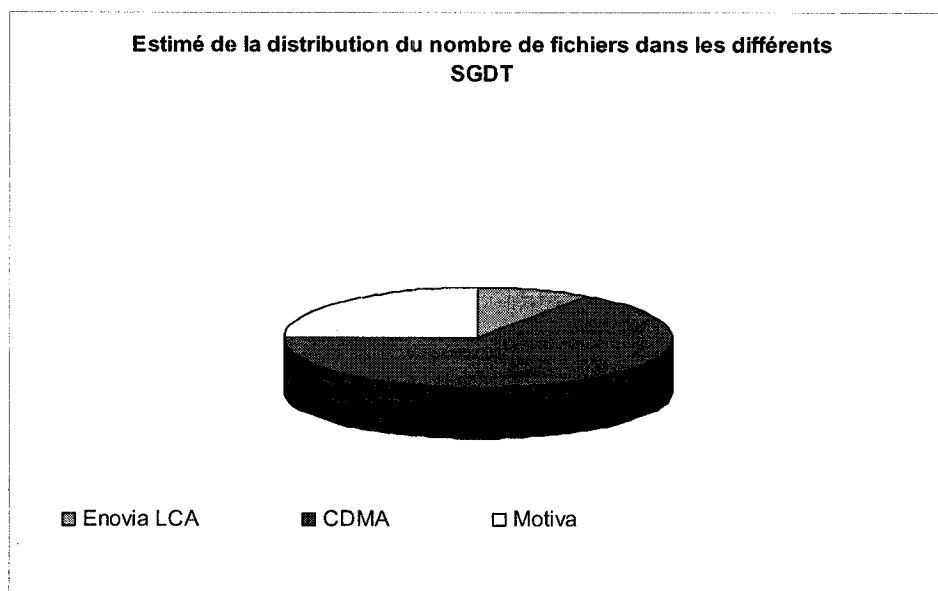


Figure 66: Représentation de l'estimé de la distribution des informations gérées par les SGDT

7. Analyse des processus de gestion du changement de l'entreprise étudiée

Ce chapitre présente l'analyse des processus et des données présentées dans le chapitre précédent. L'analyse de ressources, comme les ressources humaines et les outils informatiques, impliquées dans les processus et les interactions existant entre ces applications informatiques sont les deux principaux thèmes qui y sont présentés.

7.1. Analyse temporelle

Un des principaux objectifs de la recherche effectuée lors du séjour chez Bombardier était d'obtenir des informations sur le temps nécessaire à la réalisation des changements, par l'entremise des différents processus présentés au chapitre 4. Cette section sert à présenter les résultats obtenus par cette étude.

7.1.1. Fréquence d'utilisation des applications informatiques

La fréquence d'utilisation des diverses applications du système d'information de l'entreprise, au cours de la gestion des modifications, fut déterminée en comptant le nombre d'activités nécessitant l'utilisation de chacune des applications dans le modèle IDEFØ. Les résultats de cette étude, pour chacun des quatre processus étudiés, sont illustrés dans les images qui suivent.

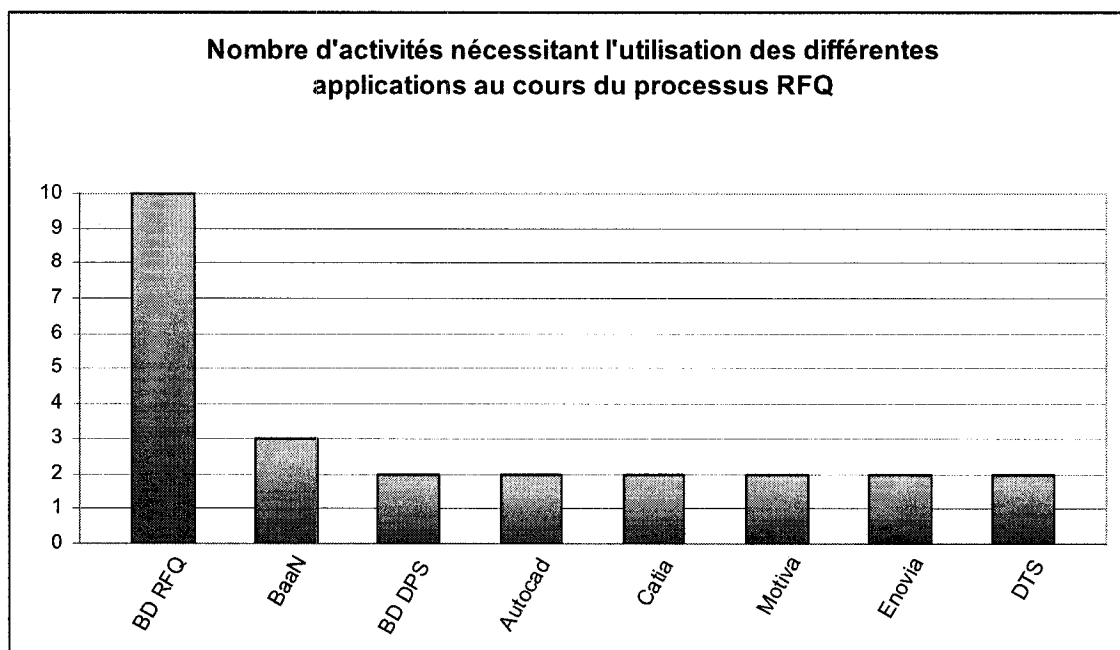


Figure 67: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus RFQ

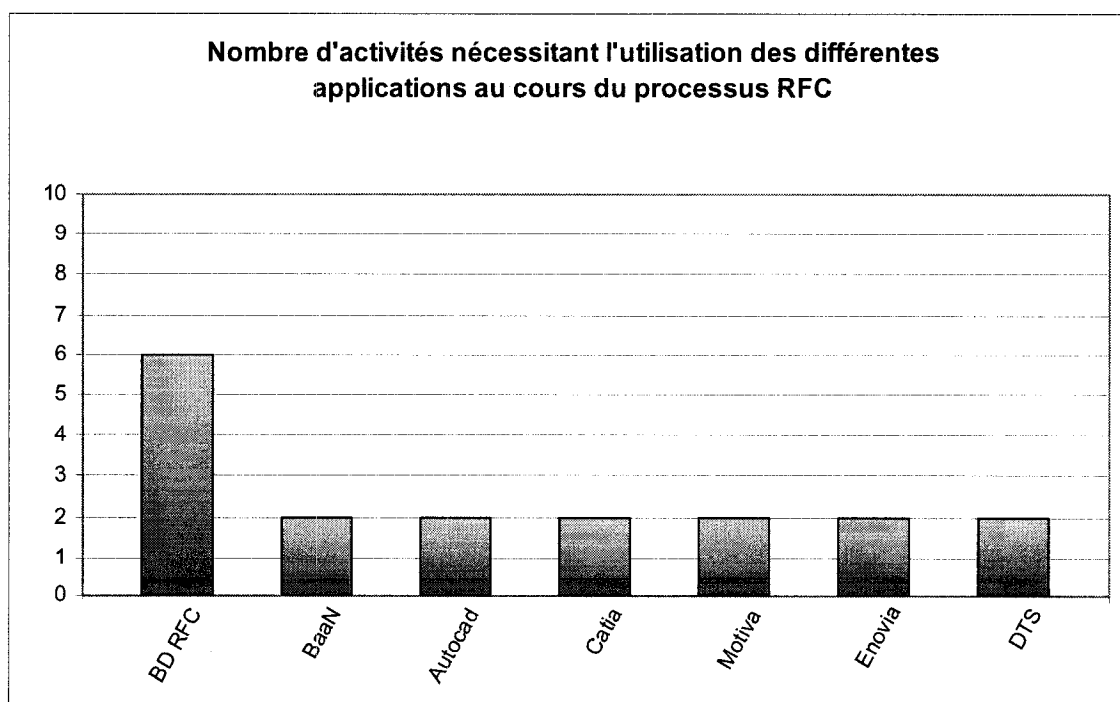


Figure 68: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus RFC

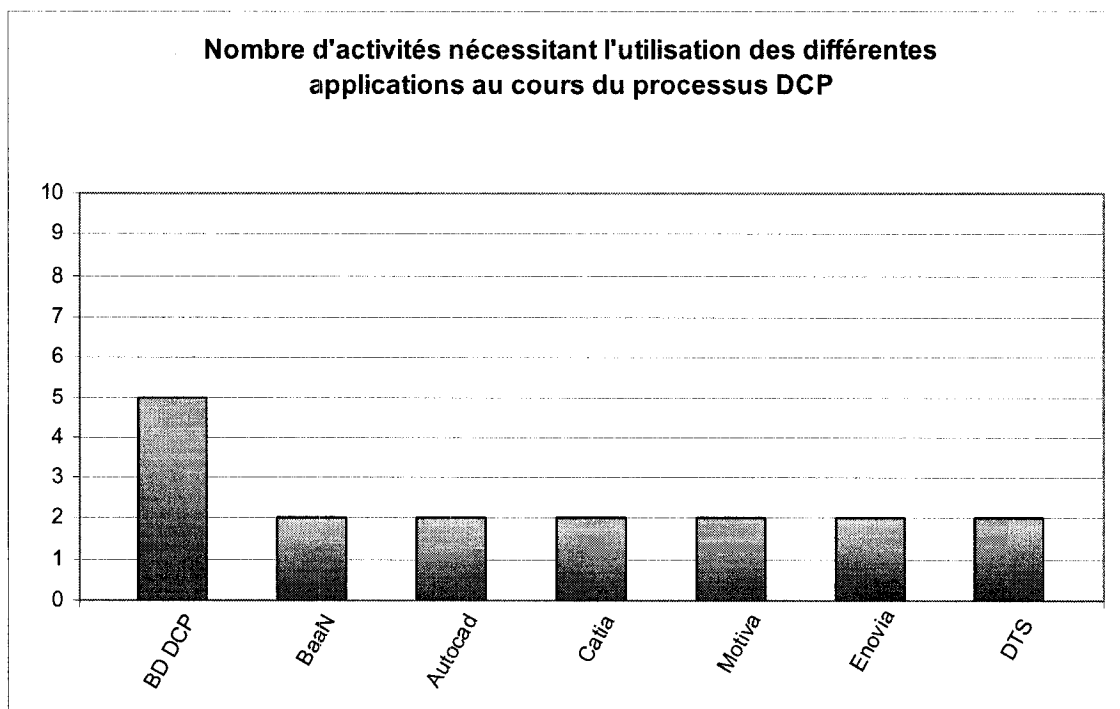


Figure 69: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus DCP

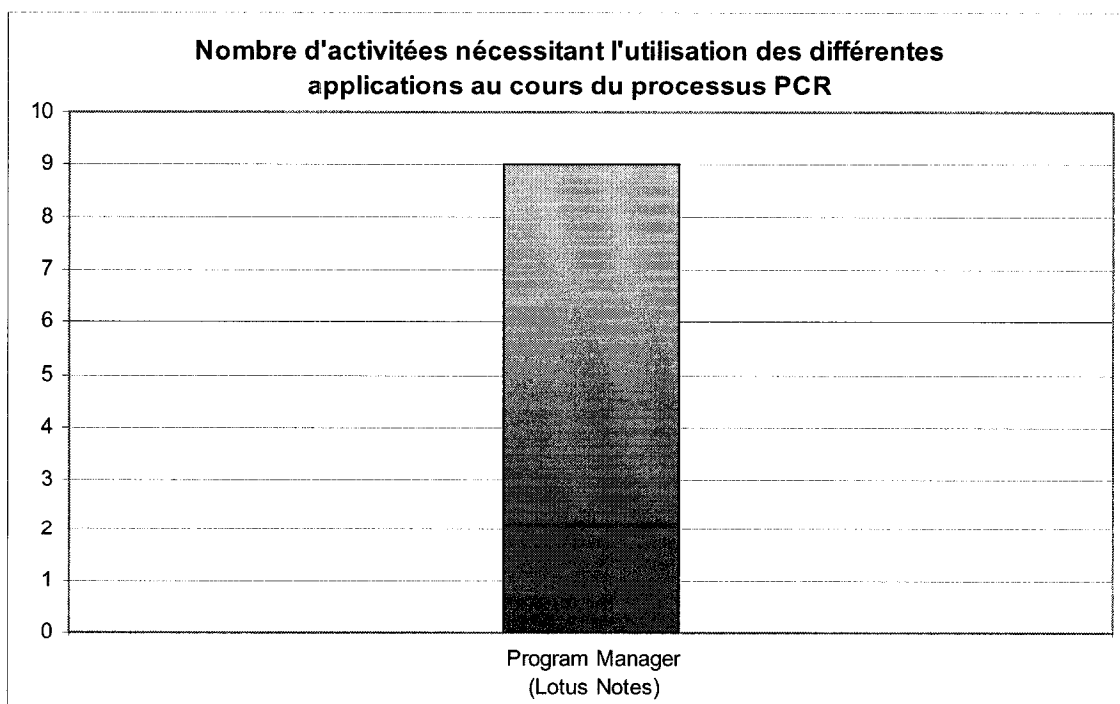


Figure 70: Fréquence d'utilisation des applications informatiques au cours du processus PCR

En combinant les processus RFC, DCP et PCR, de la même manière qu'au coin supérieur droit de la figure 52, on obtient le résultat illustré à la figure 71. Dans le même ordre d'idées, la figure 72 illustre ce qui se produit lorsqu'on combine le processus RFQ et DCP afin d'obtenir les résultats pour des demandes de clients impliquant des fournisseurs et/ou un problème technique complexe, comme au coin inférieur droit de l'image 52.

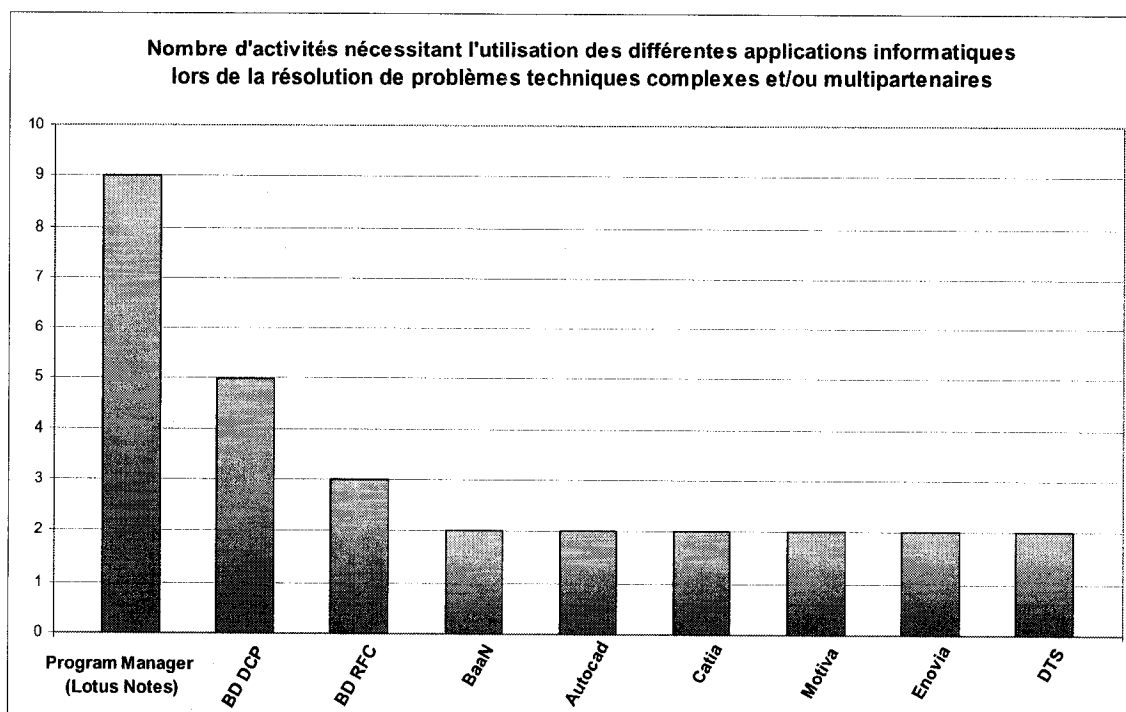


Figure 71: Fréquence d'utilisation des applications informatiques lors de la résolution de problèmes techniques complexes et/ou multipartenaires

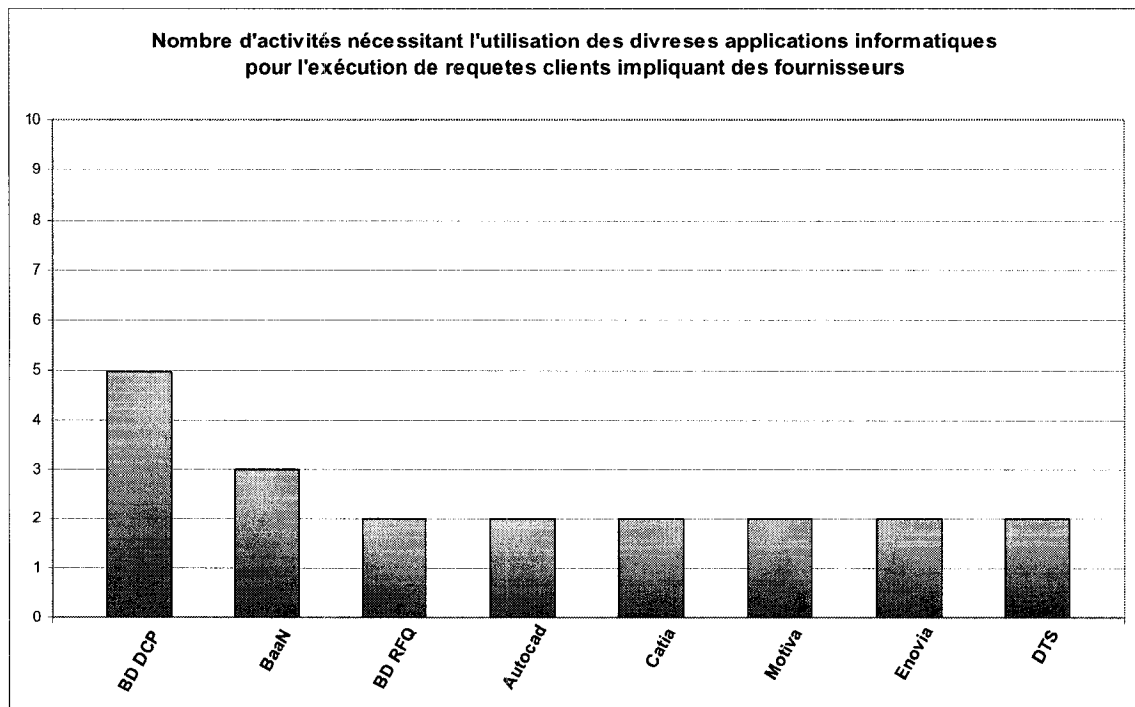


Figure 72: Fréquence d'utilisation des applications informatiques lors de l'exécution de requêtes de clients techniquement complexes ou impliquant des fournisseurs

Discussion

On peut remarquer assez facilement que pour chacun des quatre processus, l'application informatique la plus intensément utilisée est la base de données servant à gérer ce même processus. Pour ce qui est des systèmes CAO, les SGDT et le logiciel ERP (BaaN), ils interviennent plus ou moins le même nombre de fois. Il faut cependant prendre en considération que la fréquence d'utilisation est très différente du temps d'utilisation. Il se peut très bien que les applications revenant moins souvent dans le processus, comme Catia et Enovia, soient utilisées pour des durées plus longues que celles dont la fréquence d'utilisation est plus élevée. Il faut aussi noter qu'il n'existe aucun lien direct entre la fréquence et le temps d'utilisation.

7.1.2. Fréquence d'activité des différents départements

Au niveau de l'analyse des changements, il est intéressant de déterminer le niveau d'implication des divers départements. Il fût possible de le déterminer en comptant le nombre d'activités nécessitant l'utilisation de chacun de ces départements, comme mécanisme, dans le modèle IDEFØ. Les résultats de cette étude, pour chacun des quatre processus étudiés, sont illustrés dans les images qui suivent :

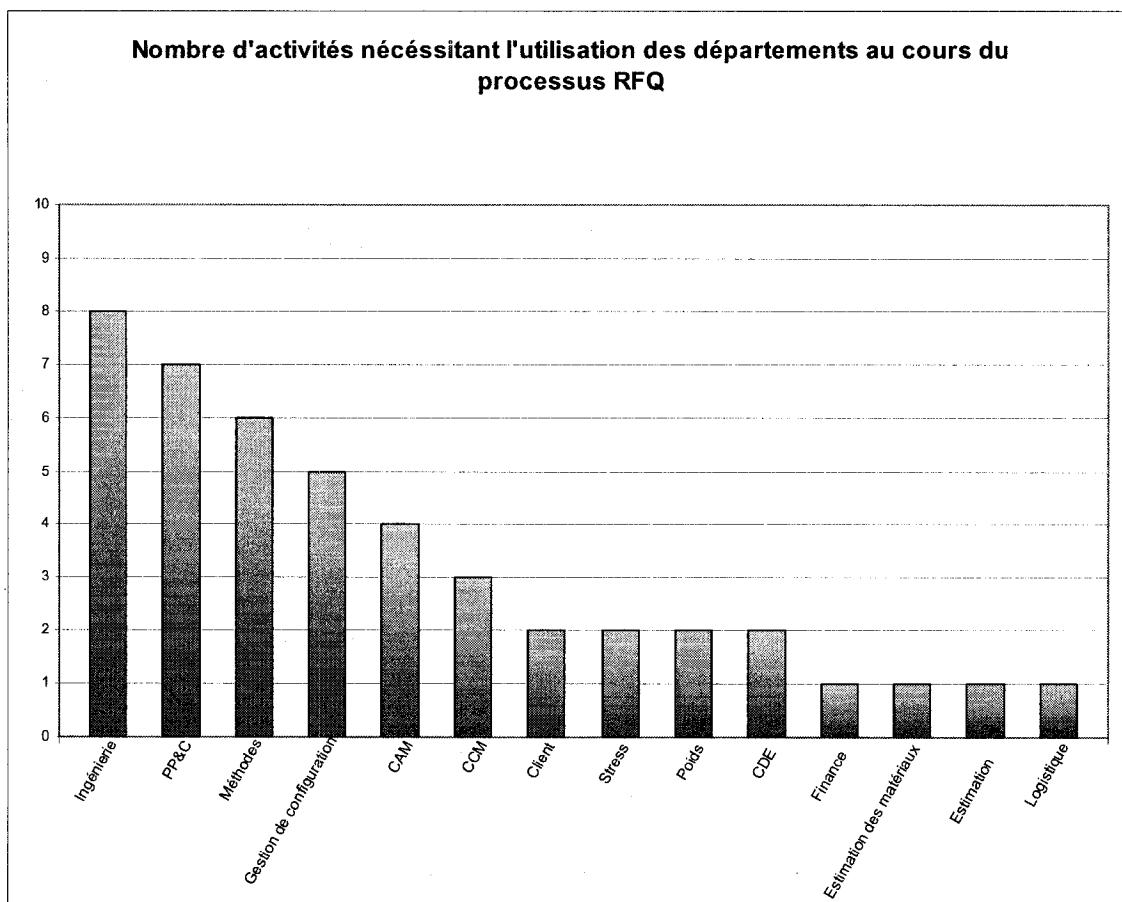


Figure 73: Participation des départements dans les processus RFQ

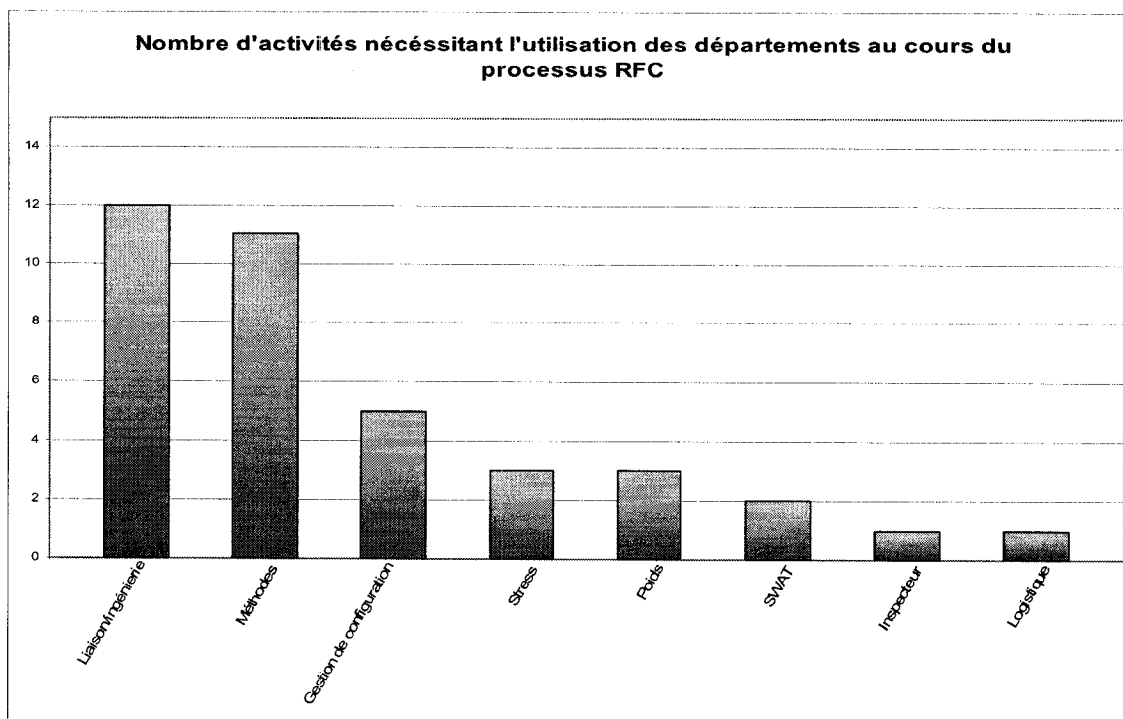


Figure 74: Participation des départements dans les processus RFC

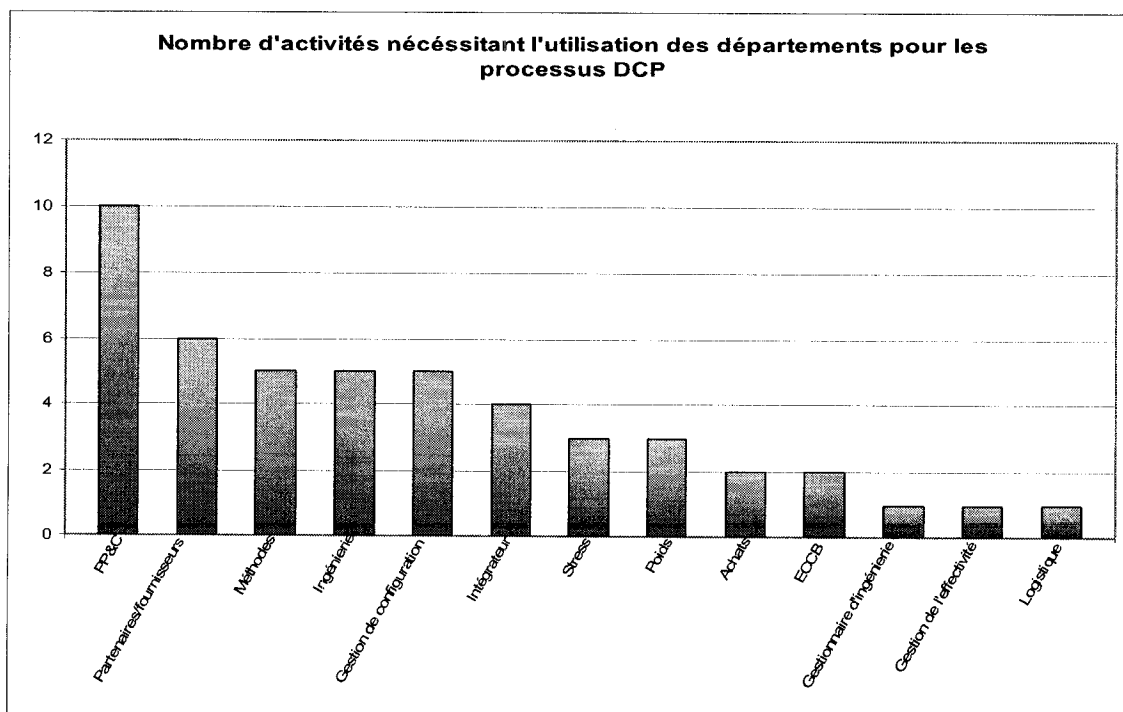


Figure 75: Participation des départements dans les processus DCP

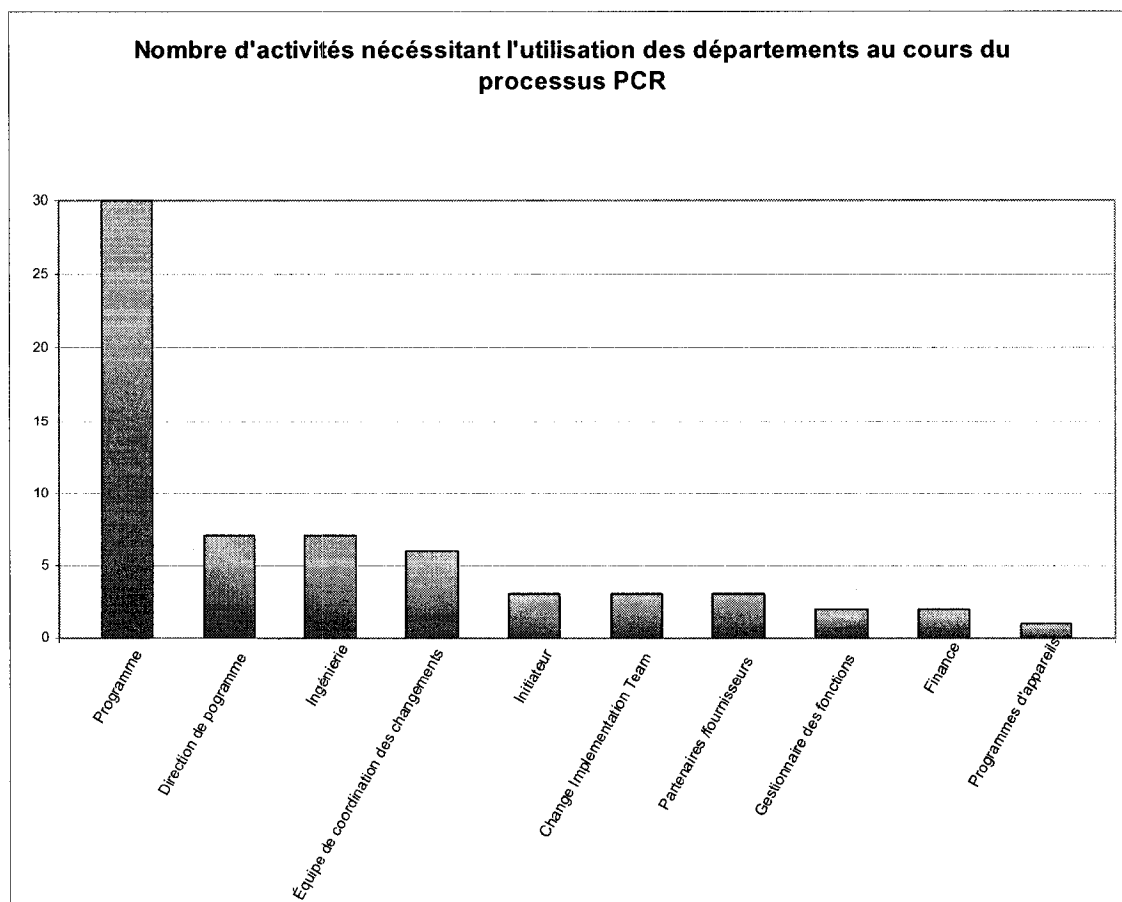


Figure 76: Participation des départements dans les processus PCR

En combinant les processus RFC, DCP et PCR, de la même manière qu'au coin supérieur droit de la figure 52, on obtient le résultat illustré à la figure 77. Dans le même ordre d'idées, la figure 78 illustre ce qui se produit lorsqu'on combine le processus RFQ et DCP afin d'obtenir les résultats pour des demandes de clients impliquant des fournisseurs et/ou un problème technique complexe, comme au coin inférieur droit de l'image 52.

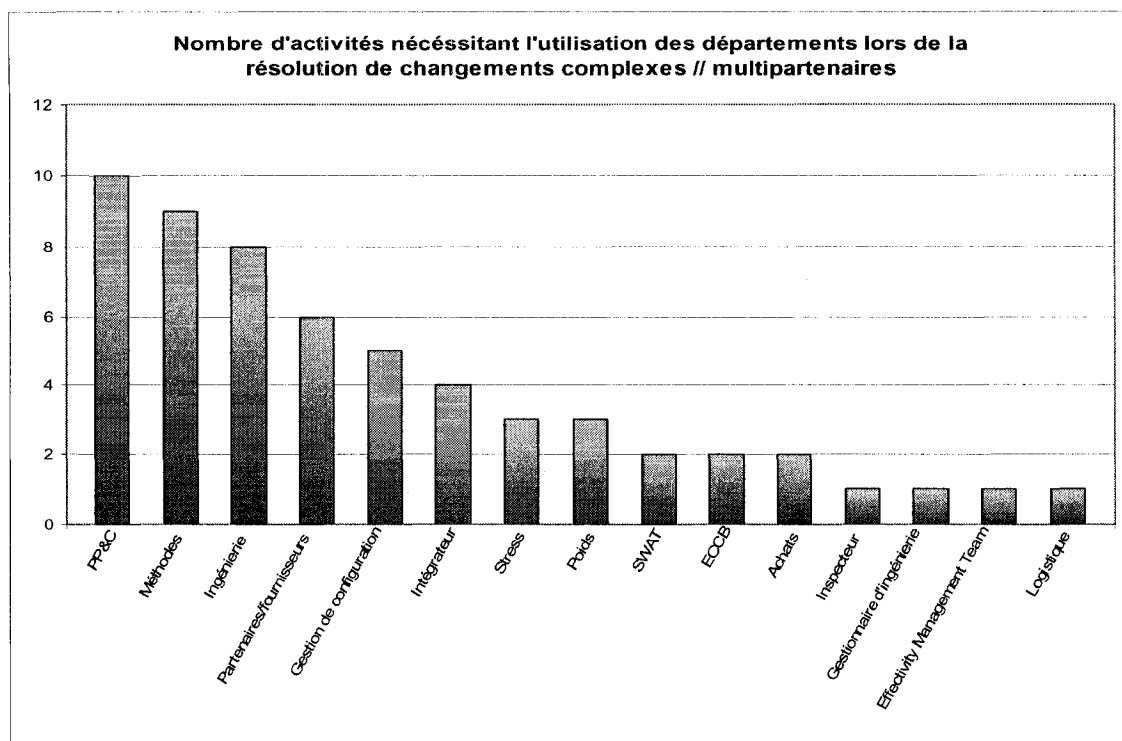


Figure 77: Participation des départements au cours de la résolution de problèmes techniques complexes et/ou multipartenaires

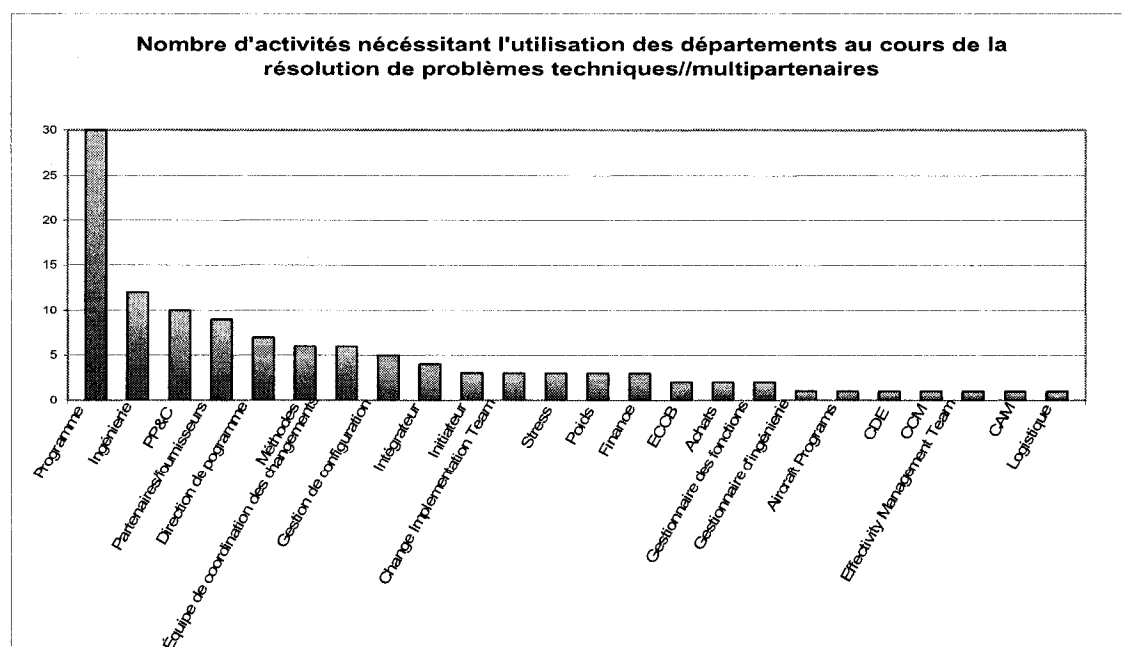


Figure 78: Participation des départements au cours de l'exécution de requêtes de clients techniquement complexes ou impliquant des fournisseurs

7.1.3. Utilisation des applications informatiques par les différents départements

Afin de déterminer quelles applications informatiques utilisent les membres de chacun des départements au cours du processus global de la gestion des changements, une matrice comparative (départements versus application informatique) fut construite. Cette matrice fut construite à partir du modèle IDEFØ, en vérifiant, pour chacune des activités, quels étaient les mécanismes représentant les applications informatiques qui étaient utilisés avec les mécanismes représentant les départements.

La matrice représentant les résultats de cette étude comparative est illustrée à la page suivante.

Discussion

Il faut premièrement tenir compte, avant de s'aventurer plus loin dans l'étude du tableau des résultats, que cette étude ne tenait compte que du processus de gestion des changements, et n'est pas une représentation de l'accès aux applications informatiques que possède chacun des départements. Par exemple, tous les départements ont accès à DTS et la plupart l'utilisent régulièrement. Par contre, seuls les départements de Gestion de configuration, méthodes et la production en ont besoin au cours de la gestion des changements. De plus, les départements de Stress et de Poids, étant une sous-classe de l'ingénierie, ont accès à Catia, mais en se basant sur les résultats des entrevues, ces départements ne l'utilisent pas régulièrement lors de l'approbation d'une nouvelle révision de dessin. Cette matrice nous permet cependant d'avoir une vision assez précise des applications les plus utilisées par chacun des départements.

7.1.4. Simulations IDEF3

Le modèle IDEF3 a permis de simuler deux choses; le temps d'exécution des différentes activités et le temps d'exécution du processus RFQ en entier. Les résultats de temps pour les principales activités sont illustrés à la figure qui suit tandis que les résultats pour le processus en entier, incluant la moyenne, sont présentés à la figure 80.

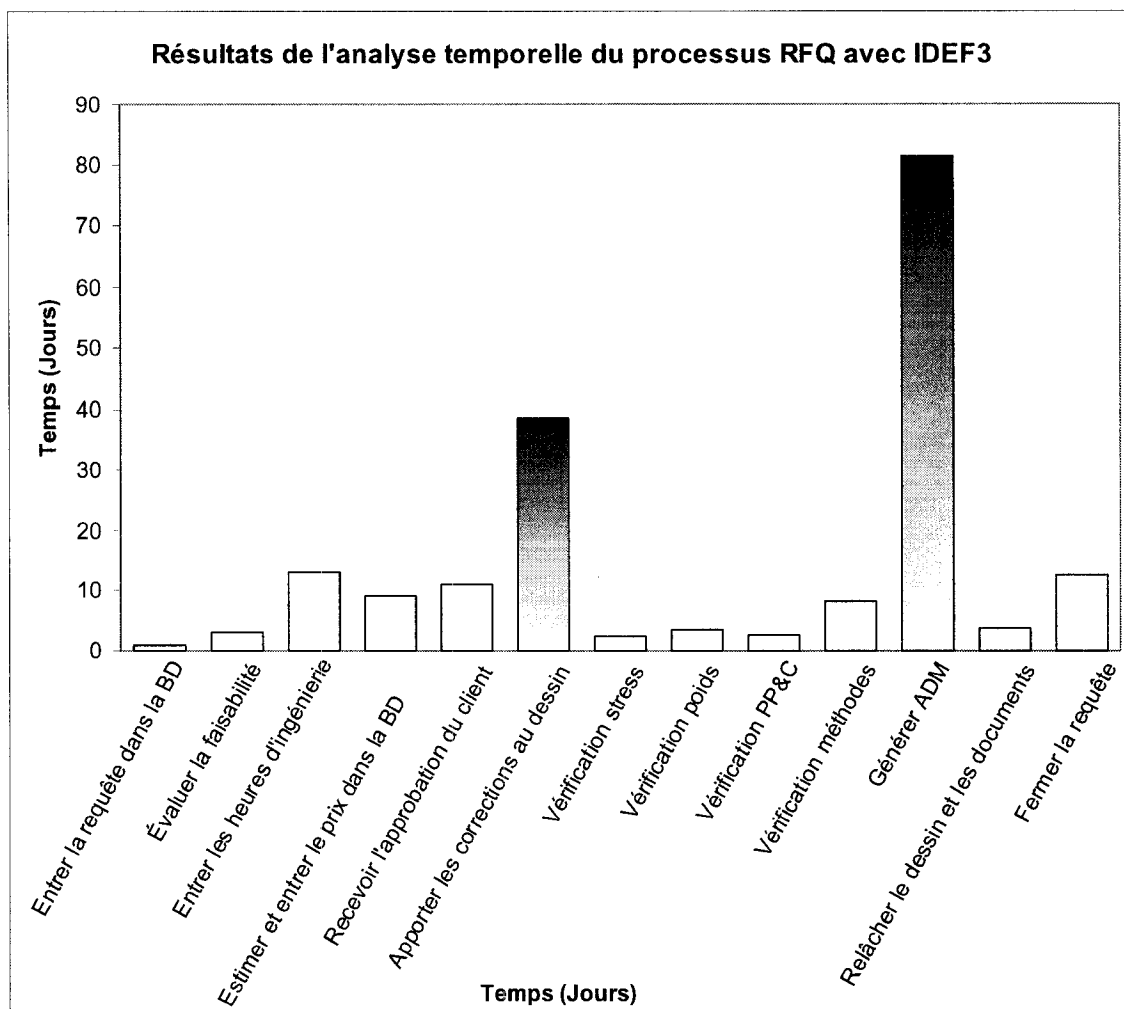


Figure 79: Temps d'exécution moyen des principales activités du processus RFQ

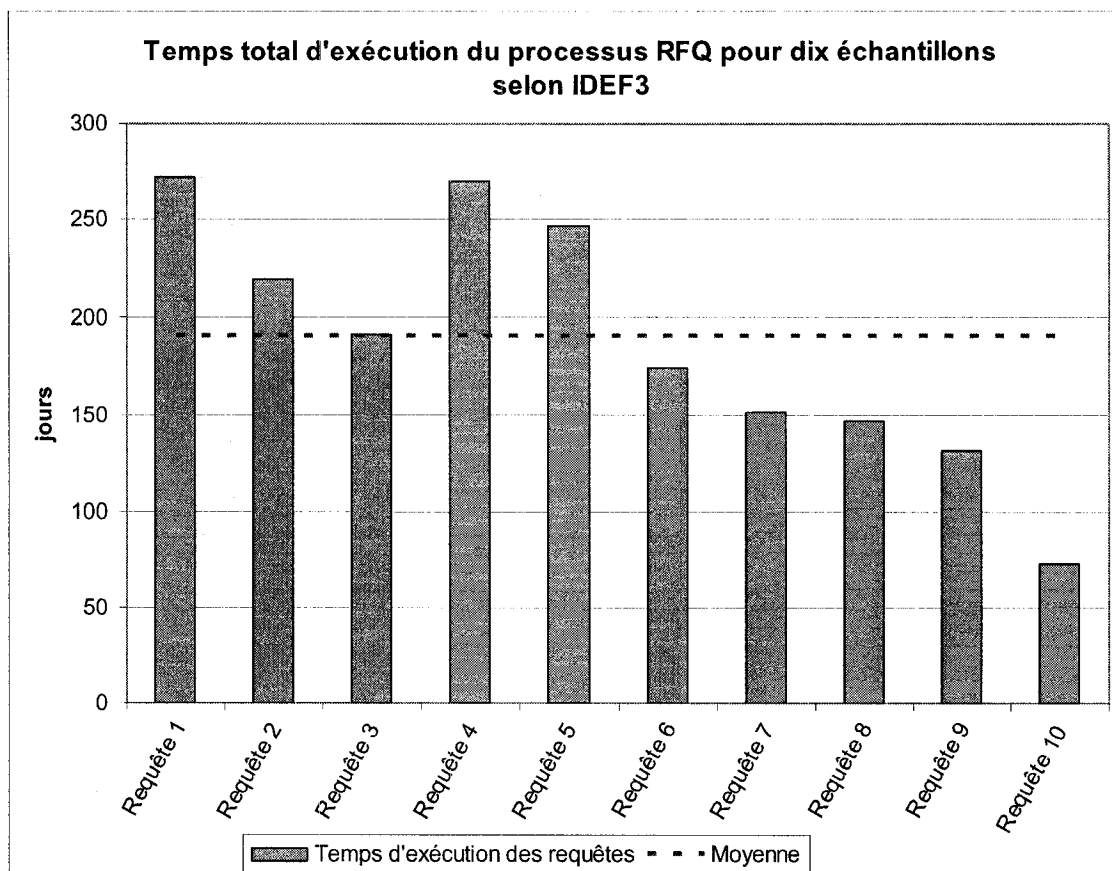


Figure 80: Temps d'exécution de différents échantillons du processus RFQ

Discussion

La première chose qui saute aux yeux en regardant la figure 79 c'est le temps nécessaire afin d'apporter les modifications aux documents par le département d'ingénierie et celui nécessaire afin de finaliser l'avis de modifications (ADM) par méthodes. Ces deux activités sont de loin les plus longues et sûrement les plus énergivores du processus. Si on compare le temps requis par ces activités avec le temps moyen nécessaire afin d'accomplir le processus en entier (figure 79), qui est de 190 jours, on se rend compte que ces deux activités à elles seules consomment en moyenne près des deux tiers du temps total du processus, ce qui est beaucoup.

7.1.5. Charge de travail

Afin de savoir si les temps des activités élevés dont il était question à la section 7.1.4 sont causés par une surcharge de travail par les départements concernés, une étude de charge de travail fut effectuée afin de déterminer le nombre de tâches qu'effectue en parallèle chacun des départements impliqué dans le processus. Cette étude fut réalisée en comptant le nombre de requêtes aux différents statuts du processus RFQ dans la base de données du même nom. Les résultats sont illustrés dans la figure suivante :

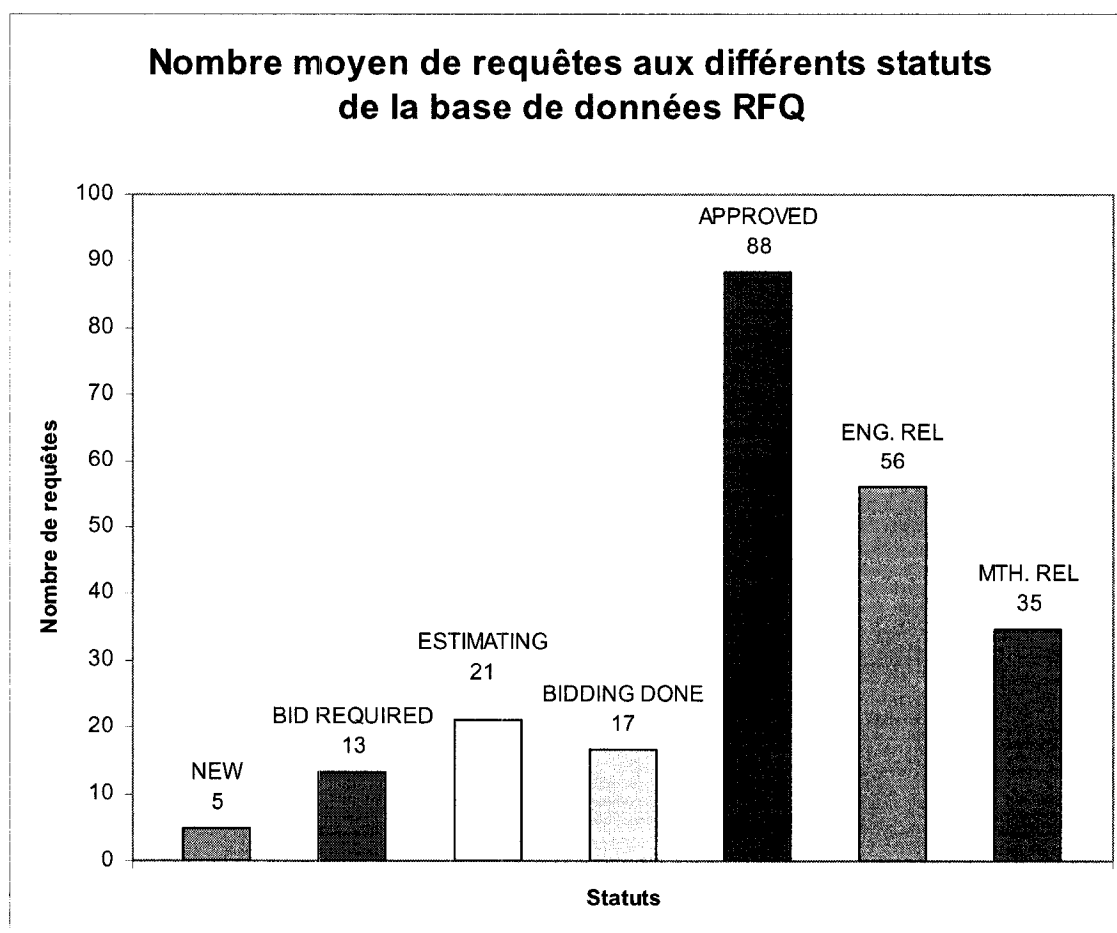


Figure 81: Nombre de requêtes par statut de la BD RFQ

Discussion

On sait que l'ingénierie apporte les modifications aux documents pour une requête lorsque cette dernière est au statut « Approved » dans la base de données et que le département de méthodes compile les ADM lorsque cette même requête est au statut « Eng. Released ». En regardant la figure 81, on voit clairement que le nombre de requêtes à ces statuts est de beaucoup supérieur à la moyenne. Ceci laisse penser qu'une surcharge de travail des départements d'ingénierie ou de méthodes cause un embouteillage dans le processus à ce niveau.

Les embouteillages sont souvent causés par des travaux qui sont transférés au département suivant en trop grand nombre pour la capacité de ce dernier à traiter les informations. La pratique idéale est d'envoyer les informations en lots de 1. Les observations du processus RFQ ont révélés que les départements CCM et PP&C, qui précèdent respectivement les départements d'ingénierie et de méthodes, envoyaient les informations d'une façon adéquate.

Les résultats de cette étude suggèrent donc que les problèmes reliés au temps d'exécution des différentes tâches du processus sont surtout causés par une surcharge de travail ou d'un manque de ressources du côté de l'ingénierie. Il faut cependant prendre en compte que la durée des travaux entrepris par ces départements est plus longue que celle de la plupart des tâches à effectuer dans le reste du processus.

7.2. Vers une méthodologie d'analyse des processus de changement

Maintenant que la majorité des aspects ayant un lien avec les processus de gestion des modifications du centre de finition de Bombardier ont été élaborés, comparons ces processus avec ceux de la littérature.

7.2.1. Comparaison du processus Bombardier avec celui de l'Université Cambridge

Comparons premièrement le processus Bombardier avec le processus générique proposé par Jarratt et al. (2005) de l'université de Cambridge en Angleterre. Ce processus (à gauche dans la figure 82) fut inspiré surtout d'une étude chez Westland, le célèbre fabricant d'hélicoptère Anglais. Il fut cependant ajusté par les auteurs, en se basant sur les résultats d'autres recherches présentés dans la littérature, afin d'être plus général et d'être en accord avec plusieurs types d'industries.

Le diagramme à droite dans la figure 82, fut construit en gardant le même point de vue que celui de Cambridge mais fut adapté afin de mieux rencontrer la philosophie du centre de finition de Bombardier. Sa structure est basée sur le processus gouvernant de la gestion du changement de l'entreprise, soit le processus PCR. Les grandes étapes de ce processus (Capturer, Évaluer, Résoudre, Planifier et Implémenter) sont bien visibles. Des éléments provenant de chacun des autres processus lui furent ensuite ajoutés. L'évaluation du coût du changement à l'étape 3 et l'approbation de la solution à l'étape 4, souvent faite par le client, proviennent du processus RFQ. Dans le cas du processus DCP, la résolution du problème (étape 4) est effectuée par le fournisseur.

Ressemblances

Les deux processus sont tous les deux déclenchés par le même type d'éléments; les requêtes de clients pour les changements initiés ou la découverte d'erreurs de design pour ce qui est des changements émergents. De plus, les requêtes de changement sont soulevées d'une façon semblable dans les deux cas; en remplissant un formulaire. Finalement, les deux processus possèdent le même nombre d'étapes et le même nombre de points d'interruptions (endroit où il est possible de mettre fin au processus).

Différences

Bien que les processus de Cambridge et Bombardier se ressemblent beaucoup à première vue, il est quand même possible de distinguer plusieurs différences importantes. Celle qui est la plus marquante est la méthode de sélection de la solution. Dans le processus de Cambridge, on identifie plusieurs solutions possibles, on les évalue et on sélectionne celle que l'on juge la plus appropriée afin de résoudre le problème. Par contre, chez Bombardier, on sélectionne une solution que l'on raffine jusqu'à son implémentation. Une différence plus discrète est que le coût du changement semble aussi prendre de l'importance plus rapidement dans le processus de Bombardier.

Le processus Bombardier possède aussi des flèches à sa droite qui peuvent être utilisées afin de sauter de l'étape 3 à l'étape 4 et d'aller directement à la dernière étape. Cette approche est surtout utilisée lors de la résolution de problèmes techniques internes et relativement simples, comme dans le cadre du processus RFC.

Finalement, contrairement au processus de Cambridge, il n'y a pas de revue du processus une fois le changement implémenté chez Bombardier.

Discussion

Le processus Bombardier et celui de l'Université Cambridge, découlant d'une étude chez Westland Helicopter, sont assez semblables. Les philosophies différentes des deux entreprises étudiées (Westland et Bombardier) ainsi que la nature des produits qu'elles fabriquent sont des facteurs permettant d'expliquer les différences dans les processus de gestion des changements.

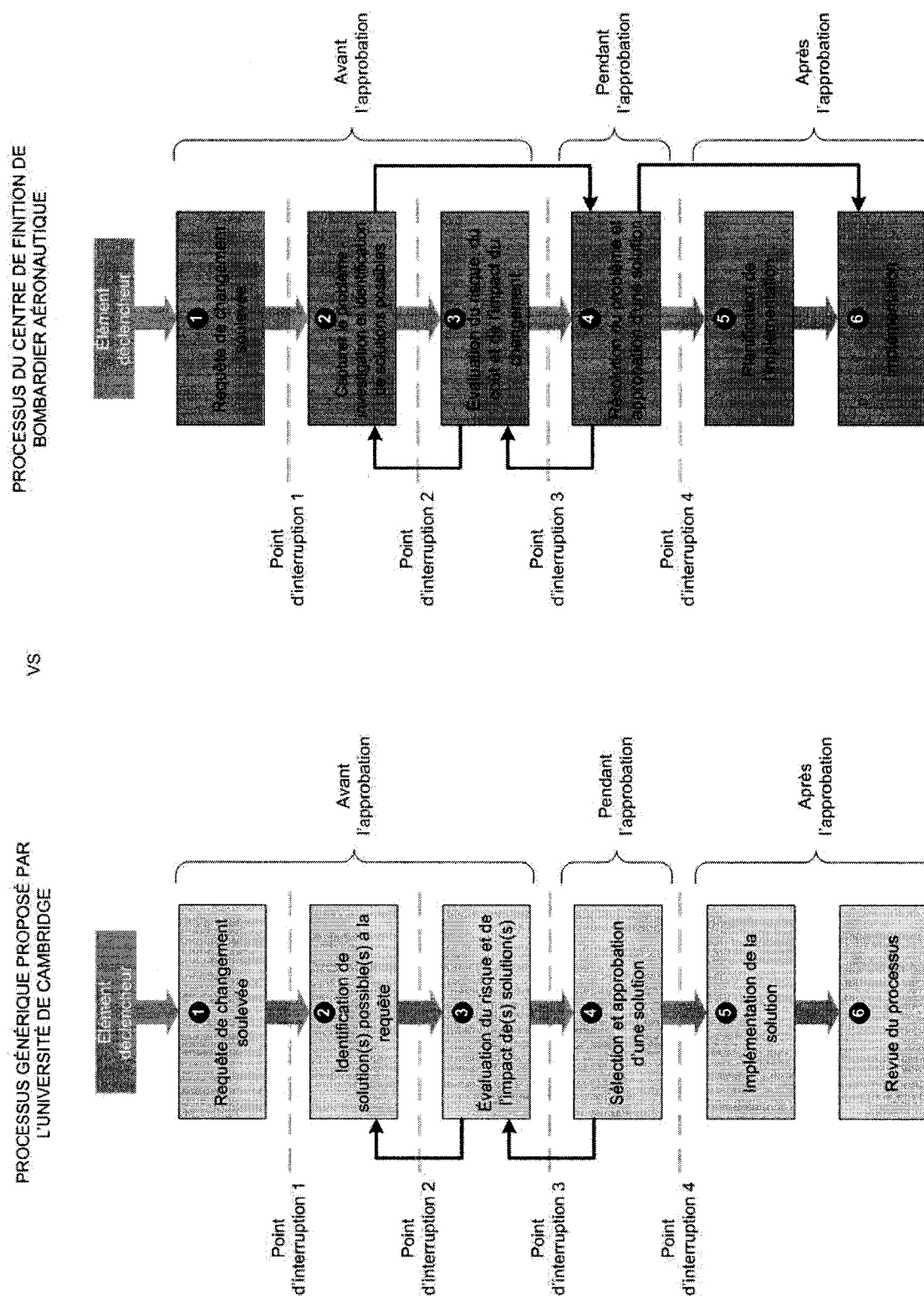


Figure 82: Comparaison entre le processus générique de l'Université Cambridge et celui de Bombardier

7.2.2. Comparaison du processus Bombardier avec le modèle CMII

Deux des principales caractéristiques du modèle proposé par CMII, à la section 1.4.4, sont la capacité d'offrir une rétroaction et la capacité « Fast-Track », permettant au processus d'être exécuté plus rapidement au besoin.

La rétroaction a comme fonction première d'apporter au processus les actions correctives nécessaires à la résolution du problème. La rétroaction peut cependant aussi servir à favoriser l'amélioration continue. Les flèches à la gauche du processus Bombardier servent à apporter cette rétroaction. Il existe cependant aussi de la rétroaction à un niveau qui n'est pas visible dans le diagramme de la page précédente; le cycle d'évaluation de la qualité, présent à l'intérieur de l'étape 4, sert aussi à apporter les actions correctives afin que le design soit conforme aux attentes des départements de stress, poids et méthodes.

Pour ce qui est de la capacité « Fast-Track », c'est exactement le rôle des flèches à la droite du diagramme, ou du processus RFC. Les problèmes techniques peu complexes, ne nécessitant pas absolument une évaluation et une planification approfondie, peuvent emprunter ces raccourcis et être résolus plus rapidement, économisant ainsi beaucoup de temps et d'argent.

7.3. Résumé

La plupart des applications informatiques utilisées au cours du design et de l'amélioration du produit sont utilisées par le département d'ingénierie de design ainsi que d'autres départements d'ingénierie, comme Stress, Poids et PP&C. Bien que certains logiciels de modélisation graphique soient utilisés au cours de la phase de design conceptuel du produit, très peu d'attention leur furent portés puisqu'ils sont exclusivement utilisés par le département de design industriel et non d'ingénierie. Le système ERP de la compagnie, quand à lui, est presque exclusivement utilisé par le département de méthodes.

Les échanges de données, qui ont préalablement été produites à partir des applications mentionnées ci haut, sont effectués d'une manière beaucoup moins stricte et réglementée que ce que l'on voit d'habitude dans l'industrie aéronautique. Ceci est probablement dû au fait que la nature du produit, la finition des appareils, conçue et fabriquée à l'usine étudiée, est beaucoup moins sensible et secrète que ce que l'on retrouve dans les usines développant la structure et les systèmes des avions.

Le flux de travaux faisant parti des processus étudiés est dirigés par cinq (5) applications spécifiques à l'usine. Ces applications, des bases de données Ms. Access pour la majorité, sont personnalisées afin de mieux répondre aux besoins de chacun des processus de gestion du changement de l'entreprise. Bien que certaines de ces bases de données gèrent en parallèle les données d'un même changement, il n'existe aucune interopérabilité entre ces applications. Il n'existe pas non plus d'interopérabilité entre ces applications et les SGDT de l'entreprise, ce qui peut, à la limite être considéré comme étant une faiblesse.

Une étude sur la structuration des données révéla qu'une très faible partie des données de l'entreprise est classée dans une structure de produit. Par contre, la tendance semble démontrer, surtout avec l'utilisation de plus en plus fréquente de Enovia, que plus les données sont récentes, plus elles sont structurées. Cette même étude avait comme objectif d'estimer le volume et la quantité des informations gérées par les systèmes de gestion des données techniques de l'entreprise. Il fut possible d'avoir un aperçu de l'étude et de l'immensité du volume des informations utilisées par l'usine mais les moyens et le temps nécessaire afin d'avoir des résultats pertinents n'étaient pas disponibles à ce stade des recherches.

La fréquence d'utilisation des différentes applications informatiques fut déterminée à partir du modèle IDEF0. Une tendance visible dans chacun des processus est que la base de données servant à gérer le flux de travaux du processus est l'application la plus fréquemment utilisée.

Pour ce qui est de la fréquence d'implication des différents départements dans la gestion du changement, les départements de méthodes, d'ingénierie (incluant

Stress, Poids et PP&C) ainsi que gestion de configuration sont très impliqués, mais celui qui l'est le plus est le département de programme. Ce résultat est logique puisque le département de programme joue le rôle de chef d'orchestre lorsqu'il en vient aux processus de gestion des modifications dans l'usine.

Pour ce qui est des différents résultats des analyses temporelles, ils ont révélés que beaucoup de temps est utilisé afin d'accomplir des tâches qui n'ont pas de valeur ajoutée pour l'entreprise. Le temps de chargement qui consomme une bonne partie des journées de travail des ingénieurs de design en est un bon exemple. Les résultats semblent aussi indiquer que les départements d'ingénierie et de méthodes sont surchargés lorsqu'il vient le temps d'apporter les modifications aux dessins et de générer les ADM respectivement. Ce phénomène est visible même si le transfert des travaux est effectué par lots de petites quantités entre les départements.

Finalement, le processus général de gestion des modifications du centre de finition de Bombardier est assez semblable aux modèles présentés dans la littérature. Il possède les caractéristiques principales et le même nombre d'étapes que celui présenté par l'Université Cambridge, qui fut principalement construit en se basant sur des recherches effectuées chez Westland Helicopter, en Angleterre. Il fut cependant possible de comparer les deux processus et de distinguer leurs différences. Il possède aussi les caractéristiques que suggèrent le manuel d'infrastructure d'entreprise CMII.

Conclusion

Comme il fut possible de le voir dans la littérature, les changements initiés sont présents dans la plupart des processus de développement de produits (section 1.3.1) mais, comme le démontre cette recherche, les produits personnalisés sont particulièrement touchés par ce type de changements. Les modifications sont la plupart du temps le résultat de requêtes de clients, voulant apporter des changements au design durant la période suivant la signature du contrat (voir chapitre 5).

Bien que chaque compagnie possède ses processus uniques, plusieurs caractéristiques communes peuvent être retrouvées dans les processus. Un processus complet de résolution de changements possède généralement les six étapes suivantes (Voir sections 1.4.3 et 7.2.1 pour plus de détails) :

1. Le déclenchement du processus (requête)
2. L'identification de solutions possibles
3. L'évaluation du risque et de l'impact des solutions
4. La sélection et l'approbation d'une solution
5. L'implémentation de la solution
6. La revue du processus

Selon l'infrastructure CMII, présentée à la section 1.4.4, un processus de gestion des modifications devrait aussi être structuré en boucle fermée afin d'offrir une rétroaction permettant d'apporter des ajustements. Une autre caractéristique avantageuse selon CMII est la capacité d'un processus d'être exécuté plus rapidement au besoin lorsque des requêtes urgentes doivent être résolues plus rapidement qu'à l'habitude.

Comme discuté au chapitre 2, les modifications sont normalement effectuées par l'entremise d'une panoplie d'outils informatiques modernes, comme les systèmes CAO, les SGDT, les SGPF, les logiciels ERP et/ou MES. Ces systèmes informatiques sont cependant très complexes, assez difficiles à implémenter et les processus des entreprises y sont parfois mal adaptés. Le manque de communication (ou

interopérabilité) entre ces applications, le manque de ressemblance entre les différentes structures de produits et les échanges de données avec les partenaires/fournisseurs sont souvent problématiques et peuvent dramatiquement faire augmenter le temps et l'effort nécessaire afin d'implémenter les modifications.

Une certaine méthodologie de documentation et d'analyse des processus, inspirée de travaux de différents auteurs, comme Clarkson et al (2004), fut développée et appliquée au cours de cette recherche (voir chapitre 3). Il fut ensuite possible de représenter les données premièrement collectées par entrevues sur des diagrammes de processus. Il est important de noter que cette étape a permis, pour la première fois, à l'entreprise de voir ses processus d'une manière très détaillée. Des diagrammes IDEF0 ont par la suite été élaborés. Ces derniers ont permis de tirer beaucoup d'information sur l'utilisation des applications informatiques (voir chapitre 4) et l'implication des différents départements de l'entreprise au cours de la gestion des changements d'ingénierie. Il fut par exemple possible de déterminer le nombre de tâches nécessitant l'utilisation d'un certain logiciel ou l'implication d'une certaine personne lors de la résolution d'une requête.

Une brève étude exploratoire, utilisant la méthode IDEF3, fut aussi réalisée avec comme objectif premier de déterminer l'utilité d'une telle méthode d'analyse dans ce type de contexte de recherche. Le modèle construit a cependant aussi permis d'avoir une bonne idée de la séquence des activités dans les processus. Il fut aussi utilisé afin de simuler le temps d'exécution des tâches nécessaires à la gestion des modifications (voir section 5.7).

Les processus documentés furent ensuite confrontés à ceux retrouvés dans la littérature. Le processus Bombardier fut par exemple comparé à un processus présenté par Clarkson et al. (2004). Les principales différences provenaient du fait que l'approche présentée par Clarkson ressemblait plutôt à une philosophie de design du type « set-based », utilisée notamment par Toyota et décrite par Liker et al. (1996). En utilisant la méthode « set-based », on émet plusieurs solutions possibles dès le début du processus et on garde celle jugée comme étant la plus appropriée par la suite. Par contre, Bombardier

semble utiliser une approche dite « point-based », où une solution particulière est adoptée dès le début et raffinée au cours des différentes phases du design (section 7.2).

Les recherches ont aussi permis de comprendre qu'il existe un lien entre tous les aspects documentés dans ce projet de recherche; les applications informatiques, les processus, les documents et les ressources humaines. Les numéros des documents (EO, NIEO, MODSUM, etc.) qui sont nécessaires à l'exécution des processus sont enregistrés dans les systèmes de gestion des flux de travaux. Ces systèmes sont capables, en même temps, de garder un suivi des travaux effectués avec les logiciels de CAO, les SGDT et logiciels ERP en enregistrant les numéros de dessins et d'avis de modifications. Ces applications permettent même de retracer les documents tout au long de leur cycle de signature en indiquant le statut de ces derniers ainsi que le nom et le département de la personne l'ayant en sa possession. C'est pour cette raison que l'on peut considérer ces bases de données comme étant le lien entre les processus, le système d'information et les ressources humaines (départements) de l'entreprise, comme l'illustre la figure 83.

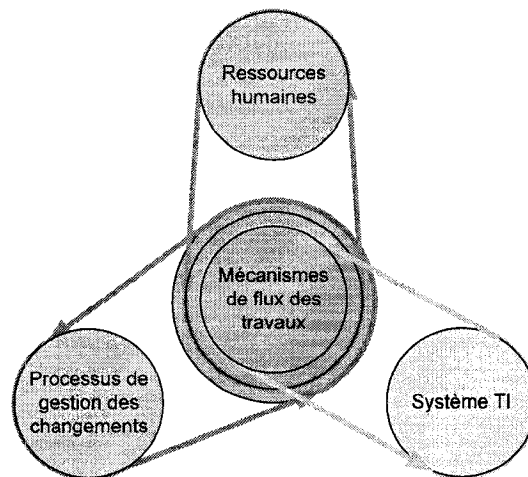


Figure 83: Lien entre les processus et le système TI

Contributions scientifiques

Cette étude a d'abord et avant tout permis d'en apprendre beaucoup sur la gestion des changements d'ingénierie, surtout pour des produits complexes et personnalisés. Cette branche de la gestion des modifications semble avoir été peu

documentée par d'autres auteurs (Voir section 1.2). Par contre, le fait que les consommateurs modernes désirent de plus en plus posséder des produits qui leurs sont exclusifs, devrait donner de l'importance à la gestion des changements d'ingénierie pour ce type de produit dans les années à venir. Cet ouvrage devrait donc aider la communauté scientifique à mieux comprendre les processus nécessaires au développement de tels produits.

L'analyse des processus du chapitre 7 a permis d'avoir une bonne vision d'ensemble de l'utilisation des diverses applications du système d'information lors de la résolution de différents types de changements. Une bonne compréhension du flux de travaux et de l'organisation des données, qui se révéla comme étant beaucoup moins formelle que ce qui était imaginé au départ, est un autre aspect bénéfique apporté par l'étude de ces processus.

Les analyses ont aussi permis de saisir le lien existant entre la charge de travail et le temps d'exécution des activités. Il fut par exemple possible de voir un lien direct existant entre le nombre de tâches effectuées en parallèle et le temps nécessaire afin d'accomplir ces tâches (voir sections 7.1.4 et 7.1.5).

Finalement, il fut possible de comparer les processus documentés avec ceux retrouvés dans la littérature (section 7.2). Ceci a rendu évidentes les différences et les similitudes des processus documentés lorsque comparés à des processus génériques élaborés par d'autres auteurs s'étant basés sur les résultats de recherches effectuées dans d'autres entreprises. Les caractéristiques des processus étant reliées à la philosophie de l'entreprise et à la nature des produits qu'elle fabrique ont ainsi été rendus plus visibles.

Recommandations pour l'entreprise

Les processus de l'entreprise sont actuellement gérés par des applications indépendantes qui n'ont pas la capacité de communiquer entre-elles. Il serait donc premièrement intéressant d'avoir un seul mécanisme de flux de travaux servant à gérer tous les processus (voir figure 84). Les gens des différents départements auraient donc accès, par l'entremise d'une seule application, aux données de toutes les requêtes de

changements de l'usine. En ayant des applications capables de communiquer ensembles, il serait donc plus facile de retracer les origines d'un changement ayant migré d'un processus à un autre. Par exemple, lors de la découverte de l'implication des fournisseurs au cours du processus RFC, les données (numéros de dessins, numéros d'avis de modifications, heures d'ingénierie, etc.) contenues dans la base de données RFC doivent présentement toutes être transférées manuellement dans la base de données DCP (voir sections 5.3.5). Ce transfert de données ne serait pas nécessaire si les bases de données seraient intégrées et permettrait ainsi d'économiser temps et argent.

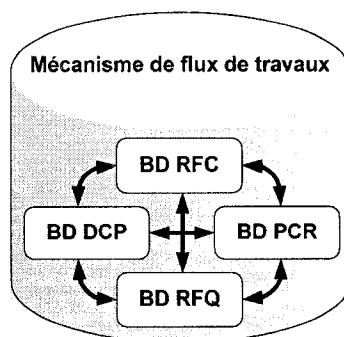


Figure 84: Mécanisme de gestion des flux de travaux proposé

Pour ce qui est des processus, ces derniers semblent quand même déjà très adéquats et comme le démontre l'étude comparatrice du chapitre 5, ils possèdent les caractéristiques majeures du processus proposé par l'université Cambridge ainsi que du modèle CMII. Les analyses ont cependant permis de déceler une faiblesse évidente dans les processus documentés; le cycle de vérification du design. Cette partie du processus de gestion du changement, est très itérative en raison d'un manque de communication entre les départements impliqués et pourrait être réalisée d'une manière permettant de minimiser le nombre d'itérations nécessaires afin d'implémenter une solution. Afin d'améliorer la communication, les départements d'ingénierie, stress, poids, PP&C et méthodes devraient tous se rencontrer pour discuter de la solution proposée, avant d'apporter une modification à un dessin, un peu comme le suggère le modèle de Westland Helicopter. La même rencontre devrait avoir lieu lors du rejet d'un design, comme l'illustre la figure 85.

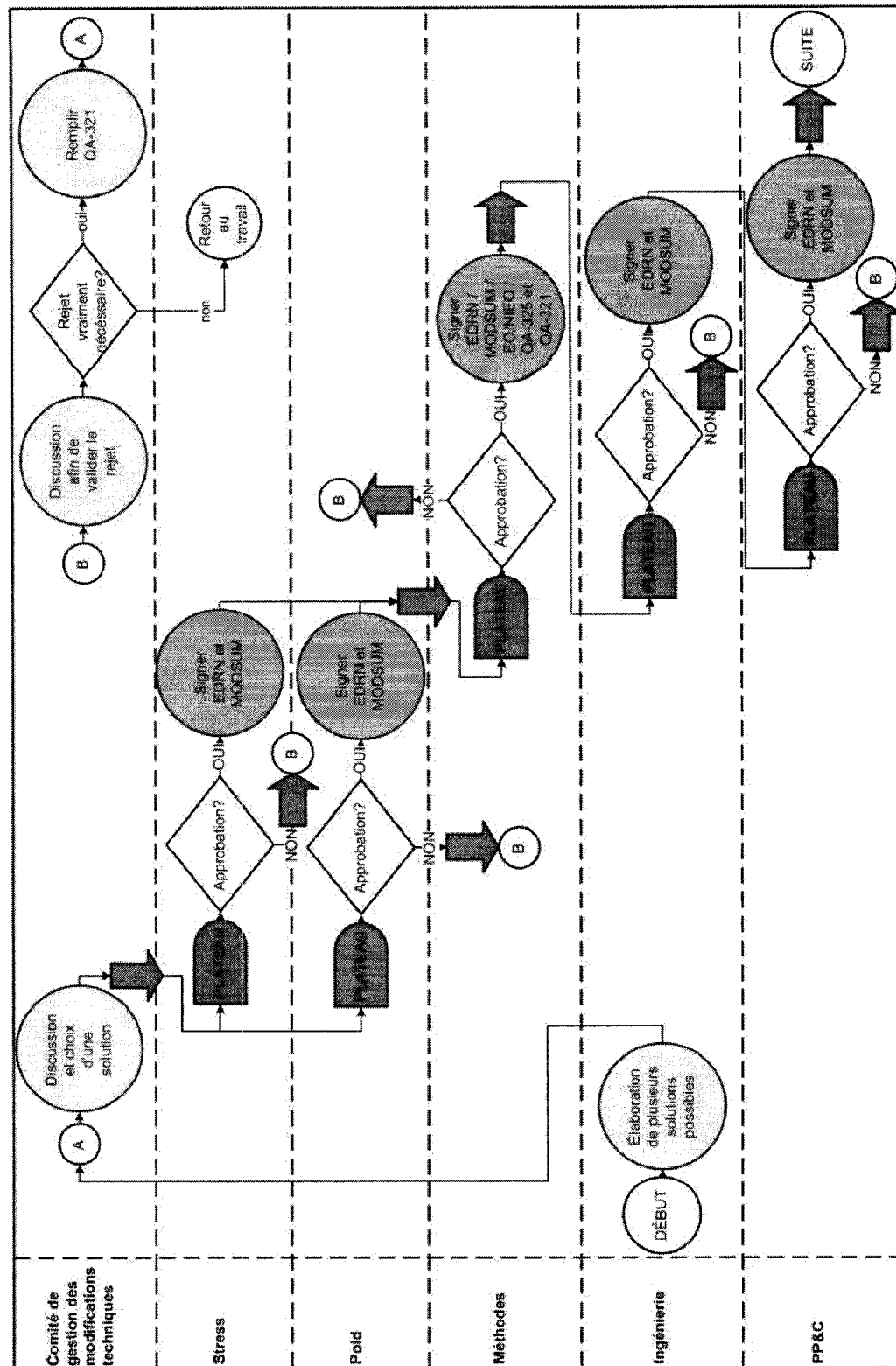


Figure 85: Solution proposée pour la vérification du design

Développements futurs

Pour poursuivre le travail, les données et les résultats des diverses analyses pourraient être réutilisés afin d'effectuer d'autres analyses plus poussées. Les travaux effectués avec la méthode IDEF3 dans cette recherche n'étaient qu'exploratoires et avaient comme objectif premier de déterminer les possibilités d'utilisation de cette méthode de représentation dans ce type de recherche. Il serait cependant très intéressant dans des travaux futurs de pousser plus loin ces analyses. Elles nécessiteraient cependant de recueillir plus d'information afin de pouvoir simuler toutes les tâches accomplies en parallèle par les personnes impliquées dans tous les processus de gestion des modifications de l'entreprise étudiée. Ces analyses pourraient permettre de trouver, avec plus de confiance, les sections des processus nécessitant plus d'attention et possiblement une restructuration.

D'un point de vue industriel, les résultats de cet ouvrage sont déjà utilisés afin d'aider à choisir et à développer les solutions informatiques futures du centre de finition de Bombardier. Les diagrammes peuvent aider, par exemple, à l'attribution de rôles aux différents utilisateurs des SGDT et des logiciels ERP. Certaines applications ayant la capacité de faire le suivi des dessins, comme Enovia LCA, pourraient même être programmées afin d'être mieux adaptées aux processus de l'entreprise.

Finalement, les diagrammes des processus qui furent le fruit des efforts de documentation aident au département d'amélioration continue de Bombardier à améliorer ses processus de gestion des modifications. La ré-ingénierie de ces derniers pourrait possiblement aider l'entreprise à réduire le temps et ainsi le coût de production des ses produits.

Bibliographie

- Asimow, W. (1962) Introduction to design. Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Barley, S. (1986) Technology as an occasion for structuring: Observations on CT scanners and the social ordering of radiology departments. *Administrative Science Quarterly* **Vol. 31** pp. 78-108.
- Barr, G., Burgess, S., Connor, A. and Clarkson, J. (2000) Tendering for engineering contracts. *Engineering design conference* Brunel University, UK.
- Batini, C., Ceri, S. and Navathe, S.B. (1992) Conceptual Database Design - An Entity-Relationship Approach. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Bhuiyan, N., Gatard, G. and Thomson, V. (2006) Engineering Change Request Management in a New Product Development Process. *European Journal of Innovation Management* **Vol. 9** (No. 1):pp. 5-19. Montreal, Canada.
- Bhuiyan, N., Gerwin, D. and Thomson, V. (2004) Simulation of the New Product Development Process for Performance Improvement. *Management Science* **Vol.50** (No.12):pp.1690-1703, INFORMS ®. Montréal, Canada.
- Bucciarelli, L.L. (1994) Designing Engineers. MIT Press Cambridge, MA, USA.
- Clark, K.B. and Fujimoto, T. (1991) Product development performance: strategy, organisation and management in the world auto industry. Harvard Business School Press Boston, Massachusetts.
- Clarkson, J., Simons, C. and Eckert, C. (2001) Predicting change propagation in complex design. *Proceedings of 13th international conference on design theory and methodology, 9-12 September* Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

- Clarkson, J., Simons, C. and Eckert, C. (2004) Predicting change propagation in complex design. *Transactions of the ASME. Journal of Mechanical Design* **Vol. 126** (No. 5):pp. 788-797, ASME. 0738-0666. USA.
- Cooke, A., McMahon, C. and North, M. (2002) Sources of error in the design process. *Proceedings of IDMME 2002* Clermont-Ferrand, France.
- Cooper, K. (1993) The rework cycle: benchmarking the projects manager. *Project Management Journal* **Vol. 24** (No. 1):pp. 17-21.
- Coughlan P.D. (1992) Engineering change and manufacturing engineering deployment. *Integrating design and manufacturing for competitive advantage* Oxford University Press
- Cross, N. (1984) Developments in design methodology. Wiley Chichester, NY, USA.
- Cross, N. (1989) Engineering Design Methods: Strategies for Product Design. Wiley The Open University, Milton Keynes, Chichester, UK.
- Daenzer, W. and Huber, F. (1994) Systems engineering - Leitfadenzur methodischen Durchführung umfangreicher Plan-ungsvorhaben. 8th edn. Industrielle Organisation Zürich, Germany.
- Dale, B.G. (1982) The Management of Engineering Change Procedure. *Engineering Management International* **Vol.1** (No.3):pp.201-208, Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Netherlands.
- Debaecker, D. (2004) PLM - La gestion collaborative du cycle de vie des produits. *Product Life-Cycle Management* Lavoisier Paris, France.
- Diprima, M. (1982) Engineering change control and implementation considerations. *Production & Inventory Management* **Vol.23** (No.1):pp.81-87.

- Dougherty, D. (1992) Interpretive barriers to successful product innovation in large firms. *Organisation Science* **Vol. 3** pp. 179-202.
- Dylla, N. (1991) Denk – und Handlungsabläufe beim Konstruieren. *Konstruktionstechnik München* **Vol.5** Hanser, Munich and TU, Germany.
- Eckert, C., Clarkson, J. and Zanker, W. (2004) Change and customisation in complex engineering domains. *Research in Engineering Design* **Vol. 15** pp. 1-21, Springer-Verlag London Limited.
- Eckert, C., Stacey, M. and Clarkson, J. (2000) Algorithms and inspirations: creative reuse of design experience. *Proceedings of the Greenwich 2000 symposium: digital creativity* pp. 1-10, University of Greenwich. London, UK.
- Ehrlenspiel, K. (1995) Integrierte Produktentwicklung. Hanser, Munich.
- Ehrlenspiel, K., Kiewert, A. and Lindemann, U. (1998) Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Eppinger, S., Whitney, D., Smith, R. and Gebala, D.A. (1994) A model-based method for organizing tasks in product development. *Res Eng Des* **Vol. 6** pp.1-13.
- Fortin, C. and Hall, W. (2005) Intégration de la conception et de la fabrication. *MEC-6508* École Polytechnique de Montréal.
- Fortin, C. and Huet, G. (2006) MPM: Iterative Synchronisation of Engineering Data with Manufacturing Realities. Montréal, Canada.
- Fricke, E., Gebhard, B., Negele, H. and Igenbergs, E. (2000) Coping with Changes: Causes, Findings, and Strategies. *Syst Eng* **Vol.3** pp.169–179, John Wiley & Sons, Inc. Division of Astronautics, Technische Universität München, Germany.

- Gamache, C. (1993) Méthodologie d'intégration adaptée aux activités du bureau des méthodes. *mémoire de maîtrise* École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada.
- Giesecke, F.E., Mitchell, A., Spencer, H.C., Hill, I.L. and Dygdon, J.T. (1982) Dessin technique. ERPI St-Laurent, Qc., Canada.
- Guess, V.C. (2002) CMII for Business Process Infrastructure. Holly Pub. Scottsdale, Arizona, USA.
- Günther, J. (1998) Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess. Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis. *Konstruktionstechnik München Vol. 30* Shaker, Aachen and TU. Munich, Germany.
- Henderson, K. (1999) On line and on paper. *The MIT Press* Cambridge, MA, USA.
- Huang, G.Q. and Johnstone, G. (1995) CMCEA: change mode, cause and effects analysis - a concurrent engineering approach to cost-effective management of product design changes. ICED'95 Praha, Czech Republic.
- Huang, G.Q. and Mak, K.L. (1999) Current practices of engineering change management in UK manufacturing industries. *International Journal of Operations and Production Management Vol. 19* (No. 1):pp. 21-37, Emerald Publishing. Hong-Kong, China.
- IEEE-SA Standards Board (1998) IEEE Standard for Functional Modeling Language – Syntax and Semantics for IDEF0. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc New York, USA.
- Inness J. (1994) Achieving successful product change. *Financial Times* Pitman Publishing UK.

- Jarratt, T., Clarkson, J. and Eckert, C. (2005) Engineering change. Design process Improvement; A review of current practice pp.262-283, Sprigner. University of Cambridge, UK.
- Kim, C.-H., Yim, D.S. and Weston, R.H. (2001) An integrated use of IDEF0, IDEF3 and Petri net methods in support of business process modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering* **Vol.215** (No.4):pp.317-330, Wilson applied science & technology abstract. 0954-4089. Korea.
- Krishnan, V., Eppinger, S.D. and Whitney, D.E. (1997) A model-based framework to overlap product development activities. *Management Science* **Vol. 43** (No. 4):pp.437-451. 0025-1909.
- Leech, D.J. and Turner, B.T. (1985) Engineering design for profit. Chichester.
- Liker, Jeffrey K., Sobek 11, Durward K., Ward, Allen C. et Cristiano, John J. (1996) Involving Suppliers in Product Development in the United States; and Japan: Evidence for Set-Based Concurrent Engineering. *IEEE Transactions on Engineering Management* **Vol. 43**, (No. 2):pp.165-178, Michigan, USA.
- Lindemann, U. and Reichwald, R. (1998) Integriertes Änderungsmanagement. Springer, Berlin Heidelberg, NY. NY, USA.
- Lockhart, S.D. and Johnson, C.M. (2000) Engineering Design Communication - Conveying Design Through Graphics. pp.115-164, Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Mackrell, J. (1992) Solids-based M-CAD systems-selection and testing. *AUTOFACT'92 Conference Proceedings* pp.6-1-21, SME. Dearborn, MI, USA.
- Malik, I.H. and Majid, I. (2005) Multi Paradigm Modelling and Simulation for Engineering Change Management (ECM), using IDEF0, IDEF3, State

Transition(ST) Petri Nets and Colored Petri Nets (CPN). *Modelling and Simulation (COMP-522A), Project Report* McGill University, Montreal, Canada.

Maranzana, R. and Rivest, L. (2003) IP2CM Project : Integrated Product Process Change Management. *Proposition de recherche soumise au CRIAQ, Theme PLM-MDO* École des Technologies Supérieures, Montréal, Canada.

Mauil, R., Hughes, D. and Bennett, J. (1992) The role of the bill-of-materials as a CAD/CAPM interface and the key importance of engineering change control. *Computing & Control Engineering Journal* **Vol. 3** (No. 2):pp. 63-70, IEEE. 0956-3385. UK.

Monahan, R.E. (1995) Engineering documentation control practices and procedures. Marcel Dekker.

Nichols, K. (1990) Getting engineering changes under control. *Journal of Engineering Design* **Vol.1** (No.1):pp.5-15.

NIST (1993) Standard for Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Materials Laboratory, Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Air Force Systems Command. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio 45433, USA.

O'Donovan, B., Eckert, C. and Clarkson, J. (2005) Design planning and modelling. *Design process Improvement; A review of current practice* pp. 61-87, Springer. Cambridge EDC, UK.

O'Sullivan, A. (2000) Commercializing complex products; Conflict, cooperation, and communication across multiple boundaries. *Doctor of Philosophy thesis* McGill University, Montréal, Canada.

- Pahl, G. and Beitz, W. (1997) Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung. 4th edn. Springer, Berlin Heidelberg. New York.
- Perry, M. and Sanderson, D. (1998) Coodinating joint design work: the role of communication and artefacts. *Design Studies* Vol. 19 pp.273-288. San Antonio, Texas .
- Pikosz, Peter and Malmqvist, Johan (1998) A comparative study of engineering change in three swedish engineering companies. edn. Atlanta, GA.
- Planche, R. (1988) Maîtriser la modélisation conceptuelle. Masson Paris, France.
- Reidelbach, M.A. (1991) Engineering change management for long-lead-time production environments. *Production and Inventory Management Journal* Vol. 32 (No. 2):pp.84-88, Elsevier Inc. Virginia Beach, VA, USA.
- Rivière, A., DaCunha, C. and Tollenaere, M. (2002) Performances in engineering changes management. *Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. 4th International Conference* pp. 369-378, Kluwer Academic Publishers. Clermont-Ferrand, France.
- Rolland, C., Foucaut, O. and Benci, G. (1988) Conception des systemes d'information. La méthode REMORA. Eyrolles
- Saaksvuori, A. and Immonen, A. (2005) Product Lifecycle Management, 2nd ed. Springer Helsinki, Finland.
- Seen, J.A. (1987) Analyse et conception de systèmes d'information. McGraw-Hill
- Sieberg, J. and Walter, R. (2003) A scheduling and resource optimising MES for the semiconductor and MEMS industry. *14th Annual IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop* pp. 101-105, IEEE. Munich, Germany.

- Stark, J. (2005) Product Lifecycle Management; 21st Century Paradigm for Product Realisation . Springer Bauhaus-Universität Weimar, Germany.
- Steward, D. (1981) The design structure system: a method for managing the design of complex systems. *IEEE Trans Eng Manage EM* **Vol.8** (No.2):pp.71-74.
- Terwiesch, C. and Loch, C.H. (1999) Managing the process of engineering change orders: the case of the climate control system in automobile development. *Journal of Product Innovation Management* **Vol. 16** (No. 2):pp. 160-172, Elsevier Science. 0737-6782 . New York, NY, USA.
- Tollenaere, M. (1998) Conception de produits mécaniques - méthodes, modèles et outils. Editions HERMES Paris, France.
- Ullman, D.G., Herling, D. and D'Ambrosio, B. (1997) What to do next: using problem status to determine the course of action. *Research in Engineering Design - Theory, Applications, and Concurrent Engineering* **Vol.9** (No.4):pp.214-227, Springer-Verlag GmbH & Company KG. Berlin, Germany.
- Watts, F. (1984) Engineering changes: a trade study. *Production & Inventory Management* **Vol. 25** (No. 4):pp. 55-62, Elsevier Inc. USA.
- Wright, I.C. (1997) A review of research into engineering change management: Implications for product design. *Design Studies* **Vol. 18** (No. 1):pp.33-39, Elsevier Ltd.
- Zabusky, S.E. (1995) Launching Europe: An ethnography of European cooperation in space science. Princeton University Press
- Zanker, W. and Lindemann, U. (1998) Weaknesses of today's development processes. *Proceedings of 4th international congress of project engineering* Cordoba. Universidad de Córdoba, Área de Proyectos de Ingeniería, Cordoba.