

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA PRODUCTION AUTOMATISÉE
M. Ing.

PAR
BRIÈRE-CÔTÉ, Antoine

VERS LA COHÉSION DES STRUCTURES D'UN PRODUIT AÉRONAUTIQUE
PERSONNALISÉ SELON L'APPROCHE D'ADAPTATION DE PRODUIT SUR
COMMANDE

MONTREAL, LE 14 DÉCEMBRE 2007

© Antoine Brière-Côté, 2007

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE

M. Louis Rivest, directeur de mémoire
Département de génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

M. Alain Desrochers, codirecteur de mémoire
Département de génie mécanique à l'Université de Sherbrooke

M. Roland Maranzana, président du jury
Département de génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

M. Benoit Côté, membre du jury
Bombardier Aéronautique inc., Ville Saint-Laurent, Québec

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 29 NOVEMBRE 2007

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens premièrement à remercier mon directeur de recherche, M. Louis Rivest, pour son enseignement, ses conseils et son support dans la réalisation de mes travaux. Durant ces deux années de collaboration, il a su stimuler mon intérêt nouveau pour la recherche universitaire au point où j'envisage maintenant d'en faire une carrière. Je remercie également mon co-directeur de recherche, M. Alain Desrochers, dont les idées et les suggestions pour la création de ce mémoire ont été d'une grande valeur.

Je tiens évidemment à remercier tous les membres du personnel de Bombardier Aéronautique et du Centre de Finition Bombardier de Montréal qui ont collaboré à ce projet. Je remercie notamment MM. Robert Temple, Vincent Plante et Michel Béland pour leur précieuse assistance et leur importante contribution.

Enfin, des remerciements tout spéciaux s'adressent à ma famille. À ma conjointe, Noémi, pour sa patience et ses encouragements, ainsi qu'à mes enfants, Florane et Antonin, pour m'avoir aidé à lâcher prise durant les moments les plus exigeants.

Ce travail a été financé par le Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale du Québec (CRIAQ) dans le cadre du projet *Integrated Product and Process Change Management (IP²CM)*.

VERS LA COHÉSION DES STRUCTURES D'UN PRODUIT AÉRONAUTIQUE PERSONNALISÉ SELON L'APPROCHE D'ADAPTATION DE PRODUIT SUR COMMANDE

BRIÈRE-CÔTÉ, Antoine

RÉSUMÉ

L'architecture d'un environnement de développement numérique de produits complexes doit prévenir la dispersion des structures hétérogènes du produit, principalement due à la divergence des points de vue sur le produit au sein d'une entreprise, afin d'assurer l'efficacité des mécanismes de propagation des modifications. Pour y parvenir, ce mémoire propose la caractérisation des exigences relatives à la définition, la gestion et la maîtrise des structures du produit au cours de son cycle de vie. On y présente un modèle intégré où les différentes structures du produit sont associées, dans l'ordre selon lequel elles sont définies, aux phases des processus de développement et de vente-livraison. Ce modèle s'applique aux produits personnalisés selon l'approche d'adaptation sur commande, dont une étude de cas réalisée chez un constructeur aéronautique nous a permis de documenter les particularités et les enjeux. L'analyse de la situation chez l'industriel au niveau de la gestion des structures du produit nous amène alors à proposer le concept de structure générique adaptative du produit (SGAP) et à formuler des avenues d'amélioration à court et à long terme menant à l'implémentation de ce concept. Ayant pour objectif la réutilisation efficace des données techniques en adaptation de produit, la SGAP implique la caractérisation et la classification adéquates des articles nouvellement développés. Ainsi, on suggère notamment la mise en valeur des relations entre les structures du produit et l'exploitation des fonctionnalités offertes par les systèmes de gestion des données techniques (PDM) ou de gestion du cycle de vie du produit (PLM).

TOWARD BETTER COHESION BETWEEN THE PRODUCT STRUCTURES OF AN AEROSPACE ENGINEER-TO-ORDER PRODUCT

BRIÈRE-CÔTÉ, Antoine

ABSTRACT

In order to insure the efficiency of potential engineering change propagation mechanisms, computer supported development of complex products should rely on an information framework that prevents the scattering of heterogeneous product structures, which is mainly due to the differing viewpoints on the product within a company. To reach this goal, this thesis proposes the documentation of requirements regarding the definition, control and management of product structures throughout the product lifecycle. We present an integrated model in which the various product structures are linked with respect to the sequence in which they are defined to the different phases of the product development process and the sales-delivery process of engineer-to-order products. Moreover, we documented the characteristics and concerns of engineer-to-order product design during a case study at a major aerospace company. Our analysis of product structure management issues observed during the case study leads to the proposition of the adaptive generic product structure (AGPS) concept as well as to the proposition of short and long-term improvement strategies toward the implementation of such concept. In order to improve product data reuse in engineer-to-order product design, the AGPS calls for the adequate characterization and classification of newly designed items. Thus, we propose to emphasize the sets of relationships between product structures and to take advantage of functionalities available in product data management (PDM) or product lifecycle management (PLM) systems.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
1.1 Structures et vues du produit	5
1.1.1 Modélisation des vues et de la structure.....	7
1.1.1.1 Modèle niveau-par-niveau.....	8
1.1.1.2 Modèle des hiérarchies non-isomorphes	9
1.1.1.3 Modèles mixtes	11
1.1.2 Caractérisation des structures du produit	14
1.1.2.1 Structures du produit dans un contexte de développement de produit.....	16
1.1.2.2 Structures du produit dans un contexte PLM.....	18
1.2 Configuration du produit	23
1.2.1 Typologie des approches de personnalisation	25
1.2.2 Processus de configuration.....	27
1.2.2.1 Modèle de configuration	29
1.2.2.2 Configuration d'une vente et configuration d'une structure du produit.....	30
1.2.2.3 Structure générique du produit	31
1.2.2.4 Configuration et approche de personnalisation.....	33
1.2.3 Gestion de la configuration	35
1.3 Propagation du changement.....	38
1.3.1 Propagation entre structures du produit.....	38
1.3.2 Propagation entre applications informatiques	39
1.4 Synthèse	43
CHAPITRE 2 OBSERVATIONS EN INDUSTRIE	45
2.1 Mise en situation	45
2.1.1 Description du milieu industriel.....	46
2.1.2 Problématique et objectif	48
2.1.3 Limitations.....	50
2.1.3.1 Le programme de finition du <i>Global Express XRS</i>	50
2.1.3.2 La première version d'une IDL (rev.NC).....	50
2.1.3.3 L'évolution du processus de définition de la configuration	51
2.1.4 Méthodologie employée en industrie	51
2.1.4.1 Recherche préliminaire	51
2.1.4.2 Enquête sur le processus de définition de la configuration.....	52
2.1.4.3 Identification des processus clients	55
2.1.4.4 Avenues d'amélioration	56
2.2 Compte-rendu des observations.....	56
2.2.1 Description du système informatique.....	57

2.2.2	Le processus de définition de la configuration	61
2.2.2.1	Intrants du processus	62
2.2.2.2	Livrables du processus	64
2.2.2.3	Déroulement du processus	71
2.2.3	Processus clients	80
2.2.3.1	Gestion du calendrier de conception	81
2.2.3.2	Conception détaillée et production des dessins	82
2.2.3.3	Gestion de la configuration	84
2.2.3.4	Planification de la fabrication.....	84
2.2.4	Analyse préliminaire de la situation.....	86
2.2.4.1	Recherche d'intégration	86
2.2.4.2	Justesse et exhaustivité limitées des données	88
2.2.4.3	Répertoires de configurations.....	91
2.3	Modélisation du processus de définition de la configuration	92
2.3.1	Technique de modélisation	93
2.3.1.1	IDEF0	94
2.3.1.2	Vues du modèle.....	96
2.3.2	Résultats de la modélisation.....	102
2.3.2.1	Contexte de la modélisation	102
2.3.2.2	Modèle IDEF0	103
2.3.2.3	Vue auxiliaire de l'information	114
2.3.2.4	Vue auxiliaire des rôles	118
2.3.2.5	Vue des outils informatiques	120
2.3.2.6	Matrices des relations.....	122
2.4	Synthèse	125
CHAPITRE 3 ANALYSE DE LA GESTION DES STRUCTURES DU PRODUIT		
ADAPTÉ SUR COMMANDE ET AVENUE DE SOLUTION		
3.1	Synthèse sur les structures du produit propres à l'adaptation sur commande.....	126
3.1.1	Description du produit générique et description de la variante.....	127
3.1.2	Vues sur le produit correspondant aux structures générique et spécifique.....	131
3.1.3	Particularités relatives au produit adapté sur commande.....	132
3.1.3.1	Structure générique du produit adapté sur commande.....	133
3.1.3.2	Évolution vers la structure spécifique d'une variante	135
3.2	Modèle d'évolution des structures du produit.....	141
3.2.1	Structures décrivant le produit générique.....	142
3.2.1.1	Définition du produit générique	143
3.2.1.2	Conception détaillée des variantes primaires et du tronc commun	146
3.2.2	Structures décrivant les variantes du produit.....	149
3.2.2.1	Phase de ventes	151
3.2.2.2	Phase d'offre	152
3.2.2.3	Phase de commande	155
3.3	Analyse des observations réalisées en milieu industriel.....	159

3.3.1	Analyse du processus de vente-livraison.....	160
3.3.2	Analyse de la structure technique de la variante	163
3.3.3	Analyse du processus de configuration de la structure technique.....	166
	3.3.3.1 Structure de la vente.....	167
	3.3.3.2 Structure générique adaptative du produit.....	169
3.4	Synthèse	173
CHAPITRE 4 PROPOSITION D'AVENUES D'AMÉLIORATION AU		
PARTENAIRE INDUSTRIEL		
		175
4.1	Actions à court terme.....	175
	4.1.1 Uniformiser la création des IDL rev.NC	176
	4.1.2 Améliorer la caractérisation et la gestion des dessins récurrents d'ingénierie.....	178
	4.1.3 Présenter l'information de l'IDL selon différents points de vue.....	182
	4.1.4 Projet complémentaire au BiCCM	183
4.2	Actions à long terme.....	185
	4.2.1 Structurer les données techniques à partir des articles.....	186
	4.2.2 Encourager la caractérisation des nouveaux articles lors de la phase d'ingénierie personnalisée.....	189
	4.2.3 Intégrer le processus de définition de la configuration à un SGDT	193
4.3	Synthèse	197
CONCLUSION.....		
		199
RECOMMANDATIONS.....		
		202
ANNEXE I	SYSTÈME INFORMATIQUE AU DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE DU BiCCM.....	204
ANNEXE II	TABLE DES ACTIVITÉS MODÉLISÉES AU SEIN DU MODÈLE IDEF0 DU PROCESSUS DE DÉFINITION DE LA CONFIGURATION.....	209
ANNEXE III	GLOSSAIRE DES CONCEPTS DU MODÈLE IDEF0 DU PROCESSUS DE DÉFINITION DE LA CONFIGURATION.....	211
ANNEXE IV	VUE AUXILIAIRE DE L'INFORMATION DU MODÈLE IDEF0	222
ANNEXE V	MATRICES DE RELATIONS ENTRE LES VUES AUXILIAIRES DU MODÈLE IDEF0	229
LISTE DE RÉFÉRENCES.....		
		237

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.1	Structures du produit observées chez <i>Volvo Car Corporation</i> en Suède par Svensson et Malmqvist (2002).....	23
Tableau 1.2	Caractéristiques des différentes approches de personnalisation	26
Tableau 1.3	Caractéristiques des stratégies de gestion des structures du produit.....	41
Tableau 2.1	Description des attributs de dessins recensés au sein des IDL.....	68
Tableau 2.2	Exemples de répertoires de configurations.....	76
Tableau 2.3	Évaluation de la justesse et de l'exhaustivité de l'IDL par les ingénieurs de conception.....	90
Tableau 2.4	Description et représentation graphique des relations au sein de la vue auxiliaire de l'information.....	100
Tableau 2.5	Matrice des relations entre les vues auxiliaires des rôles et des systèmes informatiques	122
Tableau 2.6	Matrice (partielle) des relations entre les vues auxiliaires de l'information et des rôles	124
Tableau 3.1	Correspondances entre les concepts relatifs aux produits faits sur commande.....	131
Tableau 3.2	Correspondances entre les étapes du processus relatif au CBR et les activités étudiées au BiCCM.....	173
Tableau 4.1	Exemple fictif d'une matrice de configurations pour la soute à bagages	181
Tableau 4.2	Attributs de dessins demandés par certains processus clients.....	182

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	Approches de modélisation des vues et de la hiérarchie.....	7
Figure 1.2	Exemple de modèle UPDM pour une pale de turbine.	9
Figure 1.3	Projection fonctionnelle entre les structures fonctionnelle et technique.....	11
Figure 1.4	Exemple de modèle mixte.....	12
Figure 1.5	Super-nomenclature d'un SGDT.....	13
Figure 1.6	Structures « Études » et « Fabrication » au sein d'une même super-nomenclature.....	14
Figure 1.7	Aperçu des quatre classes de structures du produit.	15
Figure 1.8	Modèles du produit en développement.....	17
Figure 1.9	Modèle du produit initialisé par les exigences.	18
Figure 1.10	Exemple de structure fonctionnelle pour une automobile.	19
Figure 1.11	Exemple d'organigramme technique pour un moteur à explosion.....	20
Figure 1.12	Vers la génération de l'information relative aux variantes d'un produit fait sur commande.	24
Figure 1.13	Typologie du CODP.	25
Figure 1.14	Processus relatifs aux produits configurables.....	28
Figure 1.15	Processus de configuration.....	29
Figure 1.16	Modèle représentant la variété d'un produit.....	32
Figure 1.17	Détails de la structure générique du produit.....	33
Figure 1.18	États de la configuration.	37
Figure 1.19	Stratégies de gestion des structures du produit.....	40
Figure 1.20	Chaîne des processus pour le flux d'information entre GDT et MRP.	42

Figure 1.21	Aperçu de la méthodologie d'analyse de l'impact du changement proposée par Ouertani, Gzara-Yesilbas et Lossent (2004).....	43
Figure 2.1	Exemple d'un plan d'aménagement d'un avion Global.	46
Figure 2.2	Exemple de liste indentée de dessins.....	48
Figure 2.3	Interrogation étudiée grâce aux entrevues.	53
Figure 2.4	Vue d'ensemble du système informatique au département d'ingénierie de conception du BiCCM.....	58
Figure 2.5	Hierarchie typique des types de dessins au sein de l'IDL.....	66
Figure 2.6	Déroulement du processus de définition de la configuration.....	72
Figure 2.7	Décomposition du modèle IDEF0.....	95
Figure 2.8	Concept de modélisation IDEF0.	95
Figure 2.9	Les quatre vues d'un SGII.....	97
Figure 2.10	Trois vues auxiliaires au modèle IDEF0.	98
Figure 2.11	Exemples de représentation graphique des relations entre concepts au sein de la vue auxiliaire de l'information.	101
Figure 2.12	Distinction entre les relations implicites au modèle IDEF0 et les relations exclusives à la vue auxiliaire de l'information.....	102
Figure 2.13	Diagramme A-0 : Processus de définition de la configuration.	105
Figure 2.14	Diagramme A0 : Définir la configuration du produit.	106
Figure 2.15	Diagramme A2 : Créer l'IDL rev.NC.....	109
Figure 2.16	Diagramme A22 : Rechercher des dessins récurrents d'ingénierie.....	112
Figure 2.17	Exemple de concept spécifique à la vue de l'information.	115
Figure 2.18	Diagramme des concepts relatifs au dossier de conception spécifique au client.	115
Figure 2.19	Diagramme des concepts relatifs au cycle de vie de l'IDL.....	116
Figure 2.20	Diagramme de concepts relatifs au dossier de libération de la définition de la configuration.	117

Figure 2.21	Organigramme de la vue auxiliaire des rôles.	119
Figure 2.22	Pourcentages de participation des rôles du processus.....	120
Figure 2.23	Diagramme de la vue auxiliaire des systèmes informatiques.	121
Figure 3.1	Vers la génération de l'information relative aux variantes d'un produit fait sur commande.	127
Figure 3.2	Exemples de structures générique et spécifique du produit.....	129
Figure 3.3	Structure des états de la configuration.....	130
Figure 3.4	Représentation des différentes positions du CODP au sein d'une structure générique du produit.....	133
Figure 3.5	Modèle d'un projet d'ingénierie associé au processus de vente-livraison d'un produit adapté sur commande.....	136
Figure 3.6	Évolution de la description d'une variante d'un produit adapté sur commande.....	139
Figure 3.7	Évolution de la structure spécifique d'une variante d'un produit adapté sur commande.....	140
Figure 3.8	Structures du produit relatives à la définition du produit générique.	143
Figure 3.9	Relations causales entre les objets des structures des exigences, fonctionnelle et générique (technologique).	145
Figure 3.10	Structures du produit relatives à la conception des variantes primaires.	146
Figure 3.11	Synchronisation du processus de vente-livraison, du projet d'ingénierie associé et de leurs livrables.	150
Figure 3.12	Structure du produit relative à la phase de vente.	151
Figure 3.13	Phase d'offre.....	154
Figure 3.14	Structures du produit relatives à la phase de commande.	157
Figure 3.15	Aperçu du processus de définition de la configuration au BiCCM.....	160
Figure 3.16	Comparaison des étapes et livrables des processus de vente-livraison et de définition de la configuration.....	161

Figure 3.17	Application du modèle de Mesihovic et Malmqvist (2000a) aux processus clients du processus de définition de la configuration.....	163
Figure 3.18	Structure technique correspondant à l'ensemble des IDL.....	164
Figure 3.19	Comparaison de la structure des IDL à la structure du produit selon Maurino (1993).....	166
Figure 3.20	Exemple du premier niveau de la structure retrouvée au sein de la spécification du produit.....	168
Figure 4.1	Organigramme technique.....	178
Figure 4.2	Agrégation d'associations séquentielles entre la caractéristique et le dessin.	187
Figure 4.3	Structuration des données techniques selon le concept d'objet technique.....	188

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AMO	Advanced material order
ASME	American Society of Mechanical Engineers
BA	Bombardier Aéronautique
BES	Bombardier Engineering System
BiCCM	Bombardier inc. Completion Center in Montreal
BOM	Bill of materials
CAO	Conception assistée par ordinateur
CBR	Case-based reasoning
CFAO	Conception et fabrication assistées par ordinateur
CODP	Customer order decoupling point
CRIAQ	Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale du Québec
CSP	Constraint satisfaction programming
DAO	Dessin assisté par ordinateur
DPS	Design planning schedule
DTS	Drawing Tracking System
EBOM	Engineering bill of materials
EO	Engineering order
GA	General assembly
GDT	Gestion des données techniques
GÉD	Gestion électronique des documents
IDL	Indented drawing list
IP ² CM	Integrated Product Process Change Management

LIPPS	Laboratoire d'ingénierie des produits, des procédés et des systèmes
MBOM	Manufacturing bill of materials
MDL	Master drawing list
MGP	Module générique primaire
MGS	Module générique secondaire
MRP	Material requirements planning
MRP-II	Manufacturing resource planning
NIEO	Non-incorporated engineering order
PDM	Product data management
PDP	Plan directeur de production
PDR	Preliminary design review
PGI	Progiciel de gestion intégré
PLM	Product lifecycle management
PLMCC	Product Lifecycle Management Competency Center
PSM	Product structure management
Rev.NC	Revision: No change
SAV	Service après-vente
SGAP	Structure générique adaptative du produit
SGDT	Système de gestion des données techniques
SGII	Système de gestion de l'information en ingénierie
TI	Technologie de l'information
UPDM	Unified Product Data Model

INTRODUCTION

Représentée au sein des nomenclatures, la structure du produit fait partie du quotidien des entreprises manufacturières depuis longtemps. Selon Garwood (1988), plusieurs décisions critiques prises par ces entreprises dépendent de la façon dont le produit est structuré. Puis, avec l'avènement de systèmes tels le *material requirements planning* (MRP), puis le *manufacturing resource planning* (MRP-II), les implications de la structure du produit sur les différentes activités reliées au cycle de vie du produit se sont mises à attirer davantage d'attention. Aujourd'hui, l'entreprise numérique est supportée par une série de systèmes informatiques – conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO), *product data management* (PDM), progiciels de gestion intégrés (PGI), etc. – offrant de nombreuses fonctionnalités en vue de la mise en place d'un système de gestion du cycle de vie du produit (*product lifecycle management*, PLM). Comme le mentionne Maurino (1993), la gestion des données techniques (GDT) couvre dorénavant l'intégralité des informations techniques associées au produit, tout au long de son cycle de vie, réunissant les différentes fonctions de l'entreprise autour du besoin commun de maîtriser l'information technique. Dans ce contexte, la structure du produit sert aujourd'hui à la gestion et à l'analyse de l'information sur le produit, plus particulièrement grâce aux relations hiérarchiques entre les différents objets d'information (Sääksvuori et Immonen, 2004).

Malgré l'intégration qu'offrent de tels systèmes, il reste néanmoins que plusieurs problèmes reliés à la structure du produit proviennent du fait qu'elle est utilisée par de nombreux départements à différentes phases du cycle de vie d'un produit : à chaque endroit où elle est utilisée, on la voit différemment. Comme le souligne Maurino (1993) :

« [...] le produit n'est pas appréhendé de manière uniforme par les différents acteurs de l'entreprise étendue. Chaque fonction [de l'entreprise] considère le produit selon un point de vue qui lui est propre, et en utilisant un mode de représentation spécifique. » (Maurino, 1993, p. 6)

À chaque mode de représentation du produit correspond évidemment une façon de structurer le produit qui satisfait les besoins spécifiques d'une fonction au niveau de la maîtrise de l'information qu'elle génère et/ou manipule. Par exemple, la conception du produit implique

avant tout une décomposition du produit et de l'information par domaines d'expertise technique (mécanique, électronique, hydraulique, etc.) alors que la fabrication du produit est basée sur une décomposition du produit en opérations de production. L'hétérogénéité des points de vue tout au long du cycle de vie du produit conduit donc à l'existence de plusieurs structures du produit hétérogènes qui ont pour effet de segmenter l'ensemble de l'information relative à un seul et même produit.

À l'hétérogénéité des points de vue se combine également l'hétérogénéité des systèmes informatiques utilisés pour gérer et manipuler ses différentes structures du produit. Intervenant à différents moments au cours du cycle de vie du produit, ces systèmes influencent les modes de représentation du produit avec leurs modèles de données implicites et leurs propres inventaires de fonctionnalités, et parfois même en concurrence. La communication entre ces systèmes étant généralement déficiente et une interopérabilité¹ adéquate demeurant difficile à obtenir, les structures du produit se retrouvent alors dispersées les unes par rapport aux autres.

Cela occasionne des difficultés à propager efficacement le changement d'ingénierie vers toutes les structures du produit, étant donné le nombre élevé d'interventions manuelles nécessaires, ce qui augmente les délais et le potentiel d'erreurs. Des éléments d'information peuvent être dédoublés inutilement ou se contredire d'une structure du produit à l'autre : tout ceci menant éventuellement à une détérioration de la cohésion générale de l'information relative au produit sur l'étendue de son cycle de vie. Une telle situation devient hautement problématique lorsqu'il est question du développement fortement itératif d'un produit aéronautique où la gestion du changement constitue un élément clé pour une entreprise au niveau de la compétitivité, de la productivité, de la qualité et des délais.

¹ « Capacité que possèdent des systèmes informatiques hétérogènes à fonctionner conjointement, grâce à l'utilisation de langages et de protocoles communs, et à donner accès à leurs ressources de façon réciproque. » (L'Office québécois de la langue française, 2007)

Cette problématique de définition et de maintien de la cohésion des structures du produit prend toute sa mesure dans un contexte de développement de produit aéronautique. Le projet de recherche présenté ici a d'ailleurs été mené dans le cadre du projet *Integrated Product and Process Change Management* (IP²CM) du Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale du Québec (CRIAQ). Toutefois, en plus d'être a priori complexes, les produits aéronautiques sont également sujets à personnalisation, c'est-à-dire que les exemplaires produits sont généralement adaptés aux attentes et aux besoins exprimés par chaque client tout en respectant les contraintes du fabricant. Cette implication du client au niveau de la définition du produit nécessite alors une meilleure gestion et une maîtrise rigoureuse des nombreuses configurations du produit évoluant à travers différents états et sujettes aux mêmes modes de représentation du produit.

Avant de réfléchir aux outils qui permettront de propager efficacement les changements d'ingénierie parmi les structures hétérogènes du produit, il faut d'abord connaître et maîtriser la nature et l'organisation de l'information qui sera éventuellement sujette à changement. Ce projet comporte donc comme objectif principal la caractérisation des exigences relatives à la définition, à la gestion et à la maîtrise des différentes structures du produit au cours de son cycle de vie sur lesquelles s'appuiera l'élaboration de l'architecture d'un environnement de développement numérique de produits complexes personnalisés. Il est nécessaire d'adopter une approche conceptuelle de la problématique en tentant avant tout d'identifier, comprendre et relativiser les différents modes de représentations du produit et leur influence directe sur la gestion et l'analyse de l'information basées sur le concept de la structure du produit. Selon le contexte particulier des produits aéronautiques personnalisés, le projet vise la réalisation de ces trois objectifs spécifiques :

- la caractérisation des différentes structures du produit rencontrées durant le cycle de vie d'un produit personnalisé;
- la documentation et l'analyse des processus et des outils en vigueur en industrie et reliés à la définition et à la gestion des structures du produit;

- la proposition d'un modèle présentant l'évolution de la structuration du produit personnalisé en fonction des divers processus constituant son cycle de vie.

La méthodologie de recherche employée dans la réalisation de ce projet se reflète dans la structure du présent mémoire. D'abord, une revue de la littérature scientifique sur des sujets essentiels au projet telle la structure du produit, la configuration de produit et la propagation des changements d'ingénierie s'impose afin de regrouper les différents concepts et points de vue en lien avec la problématique de l'hétérogénéité des structures du produit au cours de son cycle de vie. Cette revue est présentée au premier chapitre de ce mémoire. Puis, le projet se consacre à l'observation et à la documentation de la pratique industrielle, grâce à un séjour chez Bombardier Aéronautique (BA), afin d'en saisir les enjeux et les difficultés liés à l'évolution des structures du produit gérées par plusieurs systèmes informatiques. Le second chapitre de ce mémoire présente un compte-rendu détaillé de cette étude de cas.

Une fois en présence des points de vue théorique et pratique sur la problématique, la troisième étape du projet consiste ensuite à réaliser l'analyse des besoins en gestion des structures du produit pour un produit personnalisé. Présentée au troisième chapitre, cette analyse comprend notamment une synthèse des connaissances recueillies, l'élaboration du modèle d'évolution des structures du produit et une analyse comparative entre les observations réalisées en entreprise et le corpus de connaissances documentés dans la littérature scientifique. Finalement, le projet se conclut par la proposition à l'entreprise d'avenues d'amélioration au niveau de son environnement de développement numérique afin d'évaluer la pertinence des exigences en matière de définition et de gestion des structures du produit identifiées grâce à l'analyse. La description de ces avenues d'amélioration, divisées en deux groupes, soient les actions à court terme et les actions à long terme, termine le corps de ce mémoire au sein du quatrième et dernier chapitre.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Cette revue de la littérature scientifique expose différentes facettes du concept au cœur de ce projet : la structure du produit. Elle a pour objectif d'explorer et de comparer les visions de différents auteurs sur les enjeux relatifs à la définition et à la gestion de structures du produit, dans le contexte de la gestion de l'information relative au produit, lors des différentes phases de son cycle de vie. Par ailleurs, en plus de situer le présent projet par rapport au corpus de connaissances actuel, cette revue de la littérature sert à présenter le vocabulaire qui est utilisé par la suite dans ce mémoire.

Ce premier chapitre est divisé en trois sections. Tout d'abord, la première section aborde l'aspect de la structuration du produit lors des différentes phases du cycle de vie du produit. Plus particulièrement, on y discute des différentes vues portées par les nombreuses fonctions d'une entreprise sur l'information relative au produit, de la façon dont l'information propre à chaque vue peut être incluse au modèle de la structure du produit et en quoi ces vues influencent la composition du produit en éléments d'information. La deuxième section présente le thème de la configuration de produit et décrit les besoins particuliers du domaine en ce qui concerne la structuration d'un produit personnalisé. Ensuite, il sera question au sein de la troisième section de la gestion des changements d'ingénierie, plus spécialement du problème de la propagation des modifications d'ingénierie à travers les différentes structures du produit.

1.1 Structures et vues du produit

Certains auteurs, comme Peng et Trappey (1998), Do, Choi et Jang (2002), et He et al. (2006), définissent la structure du produit comme étant typiquement une classification hiérarchique des articles constituant un produit, décrivant les matériaux, les composants, les sous-assemblages et autres articles au sein d'une structure par niveaux. Il s'agit là d'une définition qui se rapproche évidemment de celle de la nomenclature (*bill of materials*, BOM),

définie comme étant une « liste hiérarchisée et exhaustive du type et de la quantité des matières premières, des composants et des sous-ensembles qui sont nécessaires à la fabrication d'un produit » (L'Office québécois de la langue française, 2007). Les deux concepts sont même parfois confondus, surtout en pratique, comme le soulignent Sääksvuori et Immonen (2004, p. 215).

Toutefois, dans le contexte où la structure du produit est utilisée pour modéliser le produit à plusieurs phases de son cycle de vie et par plusieurs acteurs différents, comme le présente la première section de cette revue de littérature, on ne peut se limiter au seul concept d'une simple décomposition du produit en sous-ensembles et en articles. Une définition de la structure du produit comme celle de Maurino (1993) ou de Svensson et Malmqvist (2002) convient alors davantage. Maurino (1993) définit la structure du produit comme la « description des niveaux successifs de décomposition du produit en objets techniques ». Cet ensemble d'objets et de leurs relations est défini dans le but d'être utilisé par une fonction particulière de l'entreprise qui décide de la nature des objets utilisés et de la façon dont ils sont reliés entre eux (Svensson et Malmqvist, 2002). Ainsi, selon cette définition, une nomenclature constitue la simple représentation d'une structure du produit composée d'objets qui correspondent à des articles.

Chaque fonction, métier ou discipline au sein d'une entreprise impliquée dans le développement d'un produit complexe possède son propre point de vue sur ce produit. Il s'agit là d'une affirmation qui semble faire consensus dans la littérature scientifique touchant au domaine de la gestion de l'information relative au produit. Ces différents points de vue sont généralement caractérisés par des besoins spécifiques vis-à-vis des processus qu'ils exécutent et des données qu'ils génèrent selon leur rôle au sein du cycle de vie du produit.

Lorsqu'il est question de développer la structure du produit et de s'en servir pour organiser l'information relative au produit dans un contexte d'ingénierie concurrente, ou encore de gestion du cycle de vie du produit (PLM), les besoins particuliers provenant de chaque point de vue sur cette information sont pris en compte dans le développement du modèle de

données techniques. Cette première section présente donc d'abord deux approches de modélisation de la structure du produit en relation avec les vues, pour ensuite présenter des exemples de structures rencontrées au cours du cycle de vie d'un produit telles que décrites dans la littérature.

1.1.1 Modélisation des vues et de la structure

Avec l'intention de développer un cadre de référence pour faciliter la recherche de solutions au problème de la gestion des données techniques de conception, van den Hamer et Lepoeter (1996) présentent un modèle divisant le problème en cinq dimensions indépendantes : les versions, les vues, la hiérarchie (structure), les états et les variantes de l'information. Selon ces auteurs, afin de maîtriser les enjeux réels reliés à la gestion des données de conception, il est nécessaire d'en considérer deux ou même plus à la fois, comme lorsqu'il est question de décrire la hiérarchie du produit en considérant l'hétérogénéité des vues sur les données techniques. En réponse à cet exemple de problème « bidimensionnel », ils présentent deux approches distinctes de modélisation de la structure du produit, soit le modèle *niveau-par-niveau* et le modèle des *hiérarchies non-isomorphes*, tous deux schématisés à la figure 1.1.

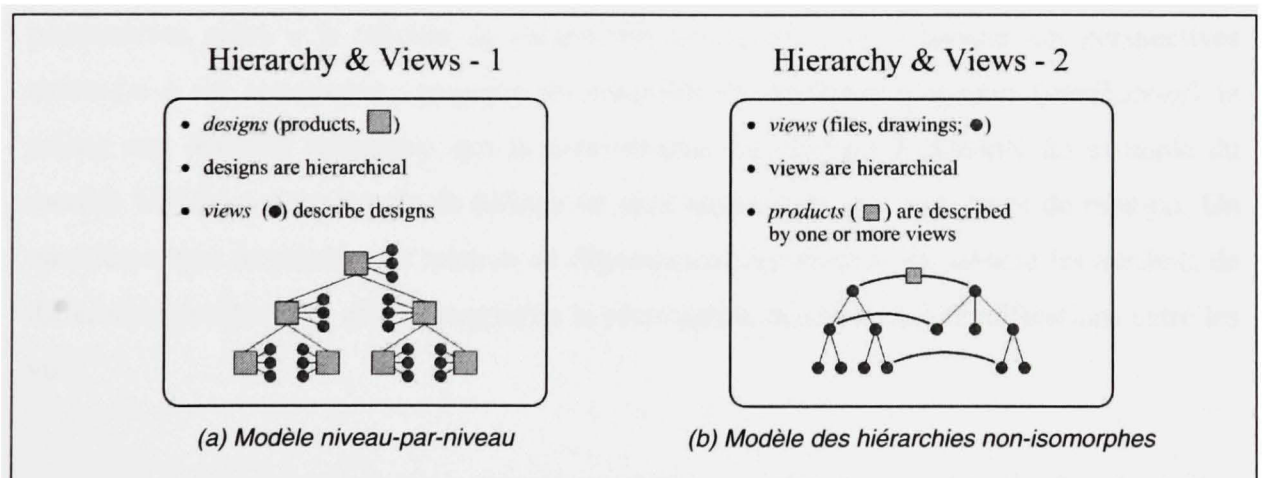


Figure 1.1 *Approches de modélisation des vues et de la hiérarchie.*
(van den Hamer et Lepoeter, 1996)

1.1.1.1 Modèle niveau-par-niveau

La première approche intitulée « modèle niveau-par-niveau » est schématisée à la figure 1.1(a). Au sein de ce modèle, le produit ne possède qu'une seule structure de décomposition et chaque composant de la structure peut être associé à plusieurs vues de ce même composant. En d'autres mots, une hiérarchie centrale sert de cadre à toutes les vues. Les principaux avantages de cette approche sont qu'elle est simple et qu'elle encourage la centralisation des données, ce qui en assure une meilleure cohérence. Toutefois, son problème est qu'elle suppose que toutes les vues s'accordent sur une décomposition unique du produit, ce qui n'est pas toujours le cas pour les produits complexes et au sein d'environnements hétérogènes de développement numérique.

À titre d'exemple, le modèle de données intitulé *Unified Product Data Model* (UPDM) présenté par Cleetus (1995) représente un cas de modèle niveau-par-niveau. Le modèle UPDM est formé d'une seule structure du produit utilisant avant tout la relation partitive (*part-of*) pour exprimer les niveaux successifs de décomposition du produit. Afin de considérer les différentes vues sur le produit, le modèle permet à chaque nœud individuel représentant un composant de la structure de pouvoir être représenté selon différentes perspectives grâce à la relation de perspective (*perspective-of*). Chacune des perspectives associées à un composant comporte un ensemble de relations d'attribut (*attribute-of*) la reliant aux données techniques qui la caractérisent. La figure 1.2 présente un exemple du modèle UPDM pour une pale de turbine où sont représentés ces trois types de relation. Un quatrième type de relation, la relation de dépendance (*dependent-on*), associe les attributs de différentes perspectives afin de supporter la propagation manuelle des modifications entre les vues.

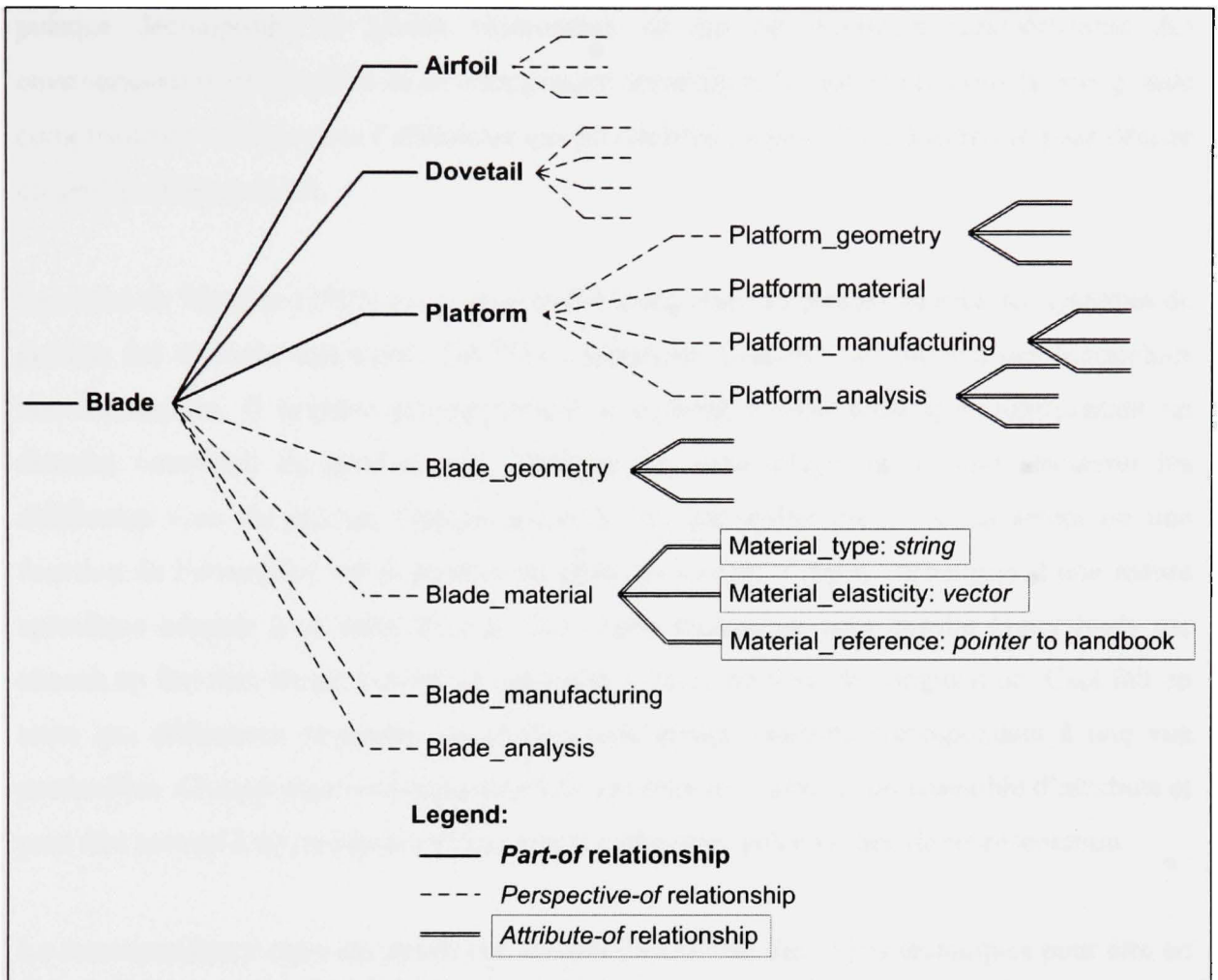


Figure 1.2 *Exemple de modèle UPDM pour une pale de turbine.*
(Cleetus, 1995)

1.1.1.2 Modèle des hiérarchies non-isomorphes

L'alternative au modèle niveau-par-niveau présenté par van den Hamer et Lepoeter (1996) se nomme le modèle des hiérarchies non-isomorphes et est illustrée à la figure 1.1(b). Au sein de ce modèle, chaque vue possède sa propre hiérarchie pouvant être choisie librement. Les données techniques sont alors associées aux éléments des différentes hiérarchies conformément à la vue qu'elles représentent. Les éléments équivalents au sein de deux ou plusieurs hiérarchies distinctes peuvent pour leur part être associés entre eux à l'aide de « relations d'équivalence », supportant du même coup la propagation des modifications sur les données. Les auteurs mentionnent que ce modèle permet une gestion plus facile des vues

puisque décomposées et gérées séparément, ce qui est d'ailleurs caractéristique des environnements hétérogènes de développement numérique. Ils notent toutefois la plus grande complexité du modèle pour l'utilisateur qui est confronté à plus d'une hiérarchie pour décrire un seul et même produit.

La vision de Maurino (1993) en ce qui a trait à la structure du produit au sein des systèmes de gestion des données techniques (SGDT) s'apparente beaucoup au modèle des hiérarchies non-isomorphes. Il emploie principalement le concept d'objet technique, représentant un élément constitutif du produit (vis, pièce usinée, assemblage, etc.), pour structurer les différentes vues du produit. Chaque point de vue particulier porté par un acteur ou une fonction de l'entreprise sur le produit est traité au moyen d'objets techniques d'une nature spécifique adaptée à ce point de vue. Ces objets techniques sont ensuite hiérarchisés par chacun en fonction de ses besoins et organisés à l'aide de liens de composition. Ceci fait en sorte que différentes structures du produit sont gérées, chacune correspondant à une vue particulière. Chaque objet technique possède une référence unique, un ensemble d'attributs et peut être associé à un ou plusieurs documents techniques grâce au lien de représentation.

La correspondance entre ces structures est gérée au niveau des objets techniques pour être en mesure de supporter en permanence le dialogue entre les fonctions de l'entreprise, typiquement ce que les relations d'équivalence accomplissent au sein du modèle des hiérarchies non-isomorphes de van den Hamer et Lepoeter (1996). Selon la vision de Maurino (1993), l'essentiel de cette correspondance est toutefois simplement assurée par la codification des objets techniques, comme par exemple les articles qui composent à la fois les structures technique, industrielle et logistique. Malgré tout, ce principe ne s'applique pas à la correspondance entre objets techniques de natures différentes ou n'appartenant pas simultanément aux deux structures à mettre en relation. La liaison entre ces différents objets techniques est alors gérée par le lien de projection. La figure 1.3 présente un exemple de projection fonctionnelle entre les structures fonctionnelle et technique du produit. Une description plus détaillée des structures du produit décrites par Maurino (1993) est présentée à la section 1.1.2.

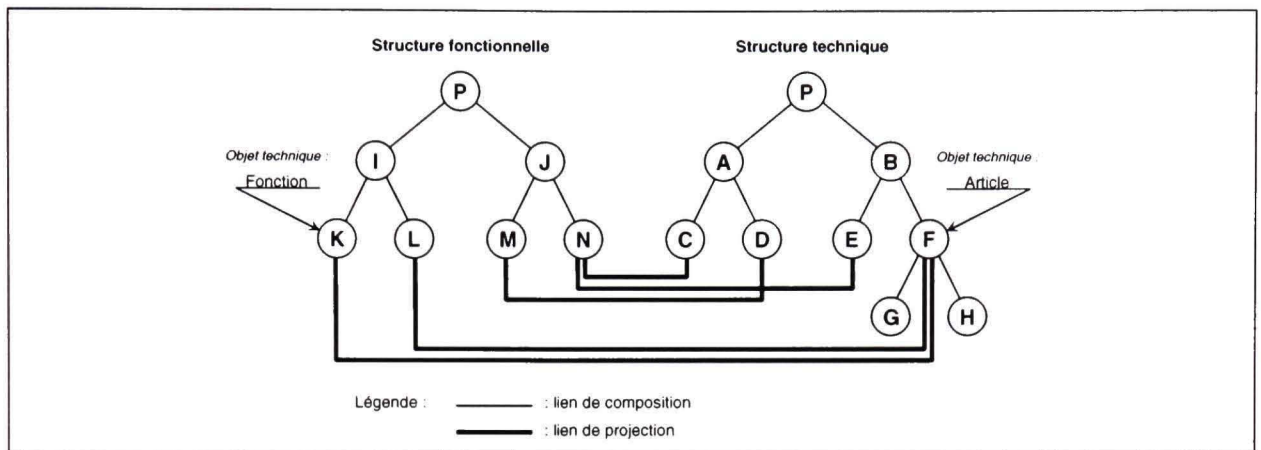


Figure 1.3 *Projection fonctionnelle entre les structures fonctionnelle et technique.*
(Maurino, 1993)

1.1.1.3 Modèles mixtes

Finalement, van den Hamer et Lepoeter (1996) mentionnent que des modèles mixtes peuvent également être proposés. Ces modèles combinent à la fois des caractéristiques des modèles niveau-par-niveau et à hiérarchies non-isomorphes, le premier étant, par exemple, utilisé pour les niveaux supérieurs de la structure (conception préliminaire des principaux constituants) et le second étant utilisé pour les niveaux inférieurs (détails de conception).

Cet exemple de modélisation mixte de la structure du produit constitue d'ailleurs la solution retenue par Eynard et al. (2006; 2004) pour l'implémentation d'un SGDT. Confrontés à deux points de vue distincts sur le produit, soient ceux de la conception et de la fabrication (assemblage), chacun associé à une décomposition spécifique du produit telle qu'illustré à la figure 1.4(a), les auteurs décident d'établir une structure commune à toutes les vues au sein des niveaux supérieurs (« branches »), alors que les composants élémentaires (« feuilles »), davantage utilisés lors d'activités spécifiques, sont chacun dédiés à une seule vue. Cette structure mixte est présentée à la figure 1.4(b). Ils visent ainsi à éliminer la duplication des données au sein de plusieurs structures du produit. Les données partagées entre les vues sont associées aux composants de la partie commune de la structure pour être ensuite retrouvées

automatiquement, lorsque requises pour la réalisation d'une activité, grâce à l'application de gestion des processus (*workflow management*) du SGDT.

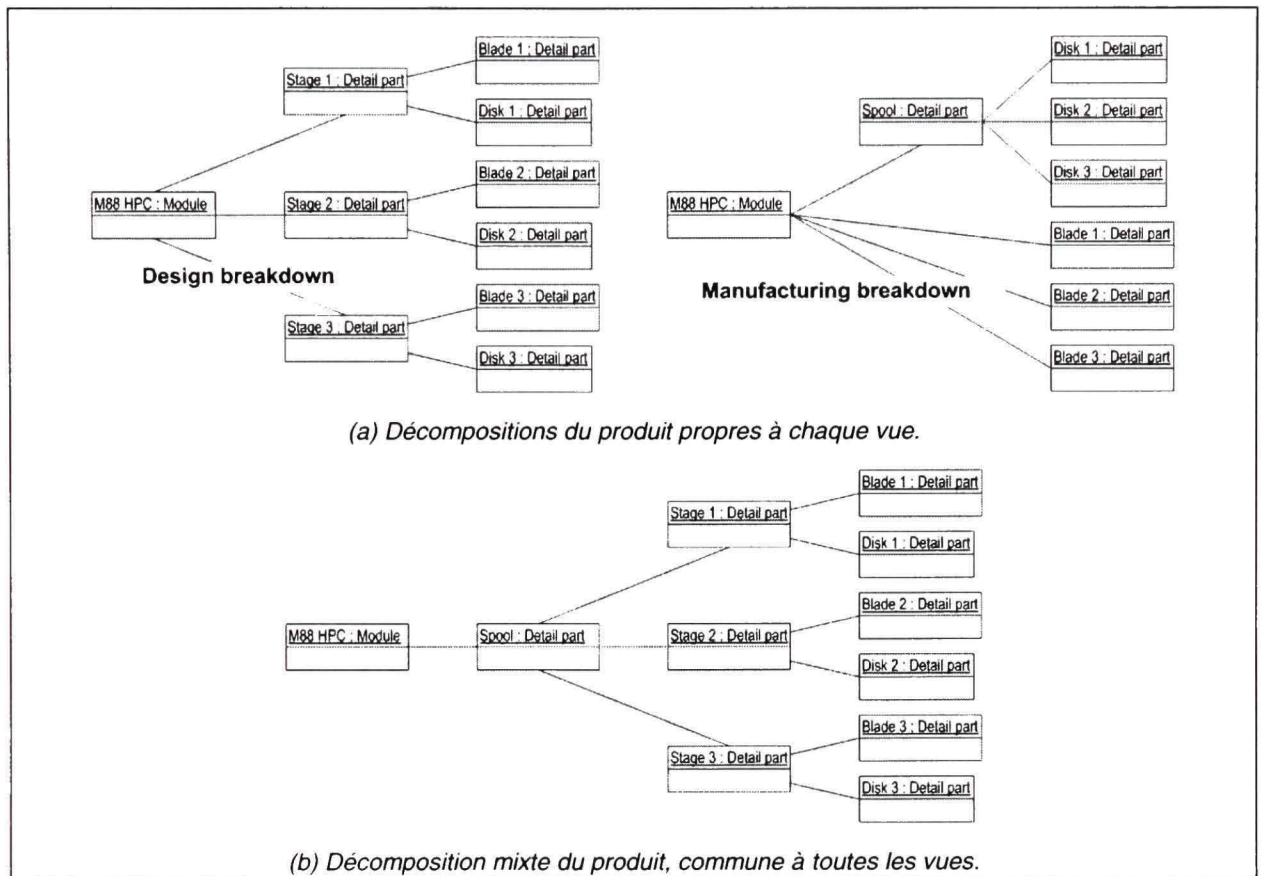


Figure 1.4 Exemple de modèle mixte.
(Eynard et al., 2004)

Randoing (1995) présente également une approche mixte à la modélisation conjointe des vues et de la structure du produit au sein des SGDT. Cette approche assume d'abord que le produit n'a qu'une seule structure complète nommée la « super-nomenclature », référençant toutes les informations nécessaires à la fabrication du produit. Essentiellement, la super-nomenclature n'est composée que d'éléments et de liens composé-composant pouvant chacun posséder une multitude d'attributs. Pour les éléments, le principal attribut est celui de nature qui permet de faire la distinction, par exemple, entre les éléments représentant les composants physiques des autres éléments (plans, spécifications, documents, etc.). Puis, pour les liens composé-composant, l'attribut le plus important est celui d'utilisation ou de vue

utilisateur, qui permet d'identifier à quelle vue appartient un élément de la super-nomenclature. La figure 1.5 présente un exemple de super-nomenclature.

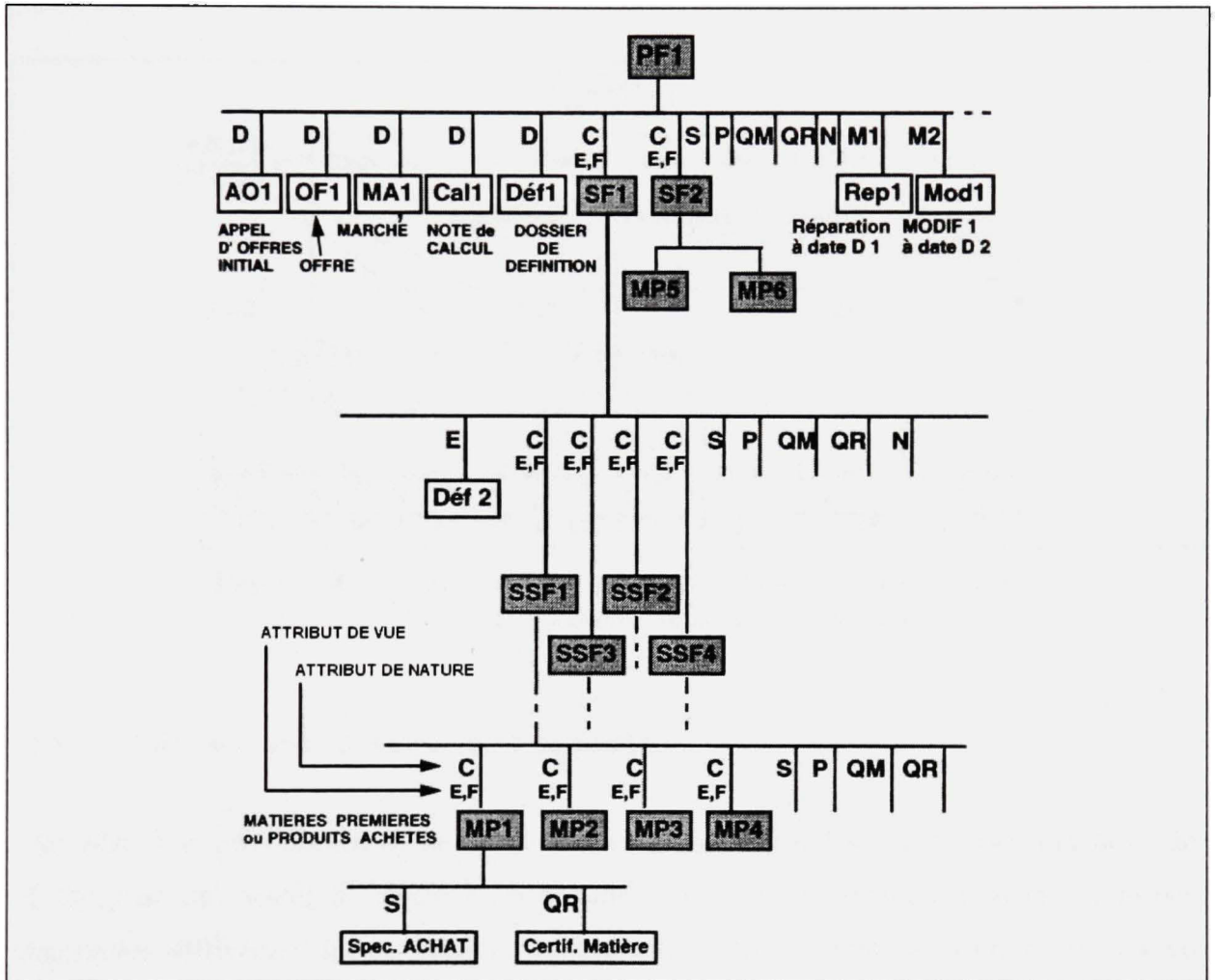


Figure 1.5 *Super-nomenclature d'un SGDT.*
(Randoing, 1995)

Selon l'approche de Randoing (1995), les différentes vues sur l'information relative au produit ne sont en réalité que certaines parties de la super-nomenclature obtenues grâce à des tris sur l'attribut de vue utilisateur. Toutefois, contrairement au modèle niveau-par-niveau de van den Hamer et Lepoeter (1996), le concept de vue n'est pas associé aux éléments de la structure unique, mais bien aux liens entre les éléments. Ainsi, lorsqu'un élément doit être partagé par deux vues dont les structures du produit sont différentes, celui-ci peut être associé

à la super-nomenclature par plus d'un lien composé-composant, soit un par vue comme le montre la figure 1.6. On peut alors retrouver plusieurs hiérarchies non-isomorphes au sein d'une seule super-nomenclature qui n'a toutefois plus l'apparence d'un arbre.

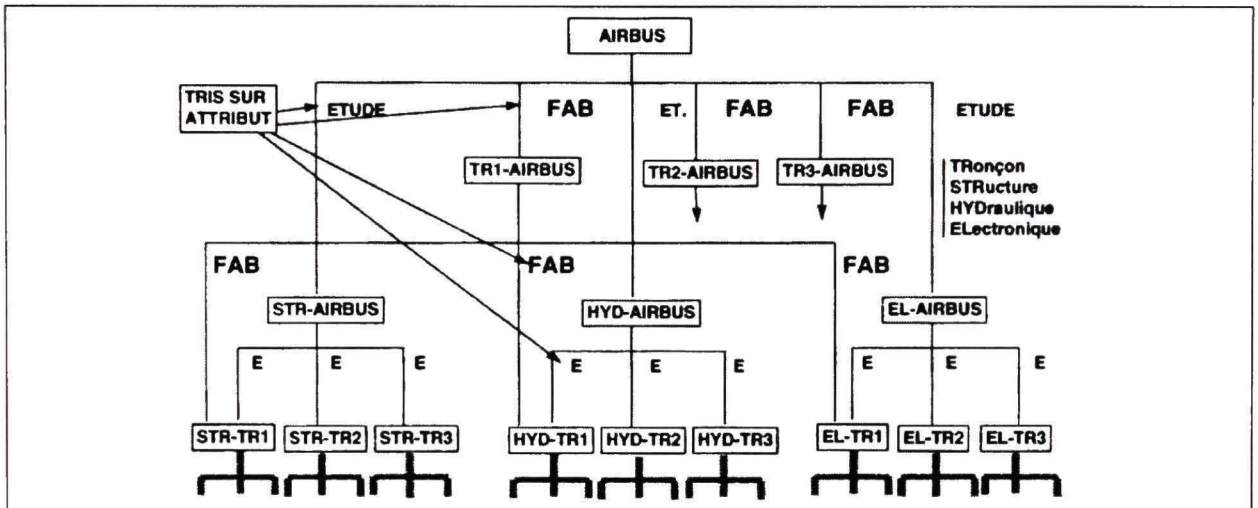


Figure 1.6 Structures « Études » et « Fabrication » au sein d'une même super-nomenclature.
(Randoing, 1995)

1.1.2 Caractérisation des structures du produit

Au sein d'un environnement de développement numérique, les nombreuses fonctions de l'entreprise ont besoin d'accéder à sensiblement la même information, chacune ayant des demandes différentes sur la manière de présenter cette information. Comme on l'a vu précédemment, ce problème peut être résolu par l'utilisation de plusieurs structures du produit (hiérarchies non-isomorphes). Andreasen, Hansen et Mortensen (1996) et Hansen et Riitahuhta (2001) proposent en ce sens une classification des nombreuses structures possibles du produit en quatre groupes, illustrées à la figure 1.7 :

- *Structures orientées vers la synthèse du produit* : supportent les étapes de conception menant à la description détaillée du produit à fabriquer lors d'un projet de développement.

- *Structures à orientation fonctionnelle* : décrivent la fonctionnalité et l'opération du produit selon les différents métiers ou disciplines de conception (ex. : contrôle, cinématique, thermodynamique, etc.).
- *Structures orientées vers la vie du produit* : décrivent le produit selon les différents contextes correspondant aux phases de son cycle de vie.
- *Structures d'assortiment du produit* : décrivent le produit en fonction de ses variantes et de sa familiarité avec d'autres produits sur le marché.

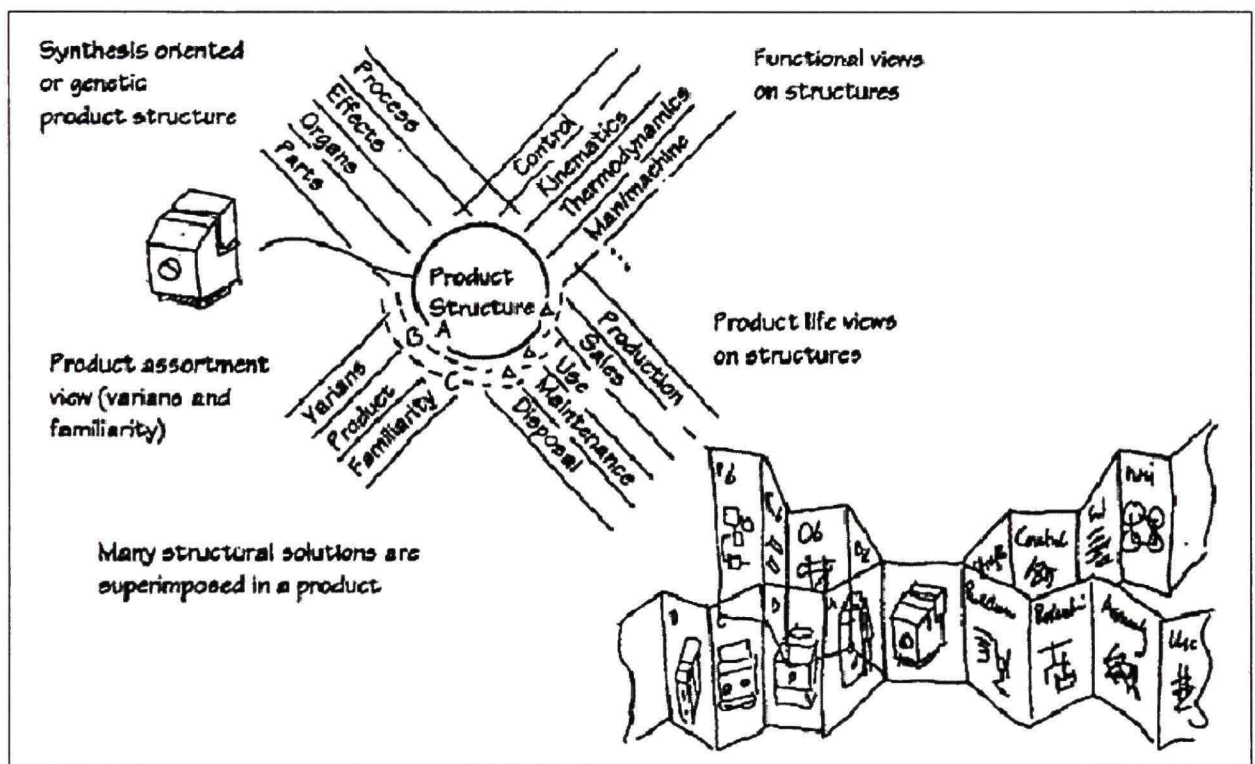


Figure 1.7 *Aperçu des quatre classes de structures du produit.*
(Hansen et Riitahuhta, 2001)

On s'intéresse donc ici à la caractérisation des structures du produit au cours de son cycle de vie. Les classes de structures orientées vers la synthèse du produit et vers la vie du produit sont celles qui décrivent l'évolution du produit à travers différents états et qui nous intéressent donc davantage. La prochaine sous-section traite ainsi des structures du produit pouvant être associées à la synthèse du produit lors de son développement, alors que la sous-section

suivante traite des structures décrivant le produit selon les différentes phases de son cycle de vie.

Quant aux autres classes de structures, on considère ici qu'elles décrivent plutôt le produit d'un point de vue statique. Les états du produit qu'elles décrivent peuvent d'ailleurs être reclassés au sein des deux premières classes. Par exemple, la caractérisation des structures à orientation fonctionnelle est intimement liée aux différentes disciplines de conception du produit. Or, la conception du produit représente la fin de la synthèse du produit. Ces structures peuvent donc être interprétées comme différentes vues d'une même et seule structure (*Voir* Figure 1.7, onglet « parts »). Enfin, puisque le sujet des familles de produits et du processus de configuration est en lien avec l'étude de cas en milieu industriel, les structures d'assortiment du produit sont quant à elle décrites au sein de la section 1.2 de cette revue de la littérature sur le processus de configuration du produit.

1.1.2.1 Structures du produit dans un contexte de développement de produit

Selon Callahan (2006), pour les produits complexes, ils existent plusieurs perspectives depuis lesquelles toutes les équipes de conception doivent représenter et voir le produit. Typiquement, ces perspectives, qu'il définit comme des domaines de conception, se suivent de phases en phases, depuis par exemple les fonctions et les simulations, jusqu'à la géométrie, puis les plans. Chaque perspective, à laquelle certains auteurs comme Erens et Verhulst (1997) et Malmqvist et Svensson (1999) associent une structure du produit, décrit le produit selon un certain niveau d'abstraction. Chaque composant d'une structure est alors implémenté par un ou des composants de la prochaine structure de niveau d'abstraction plus détaillé. La correspondance entre chaque paire de structures représente ainsi la synthèse de la conception du produit.

Erens et Verhulst (1997) affirment que le développement d'une famille de produits requiert la description du produit au sein de trois domaines ou modèles : fonctionnel, technologique et physique. Ces modèles du produit, illustrés à la figure 1.8, sont utilisés durant plusieurs

phases du développement afin d'organiser l'information relative au produit, incluant à la fois des dépendances hiérarchiques (structures de produit) et non-hiérarchiques (interfaces). Les auteurs décrivent chacun des trois modèles comme suit :

- Le **modèle fonctionnel** constitue une description de la fonctionnalité du produit. Dérivé à partir de la spécification du produit, il comprend notamment la structure hiérarchique des fonctions.
- Le **modèle technologique** est la description de l'application des technologies, ou principes de solution, qui assure la fonctionnalité et l'opération du produit, mais pas nécessairement sa fabrication. Il comprend notamment la structure technologique du produit, décrivant la décomposition des modules technologiques.
- Le **modèle physique** décrit la réalisation physique du produit à partir de ses pièces et ses assemblages qui matérialisent les modules technologiques. La structure physique y présente la décomposition des assemblages devant être fabriqués et entretenus.

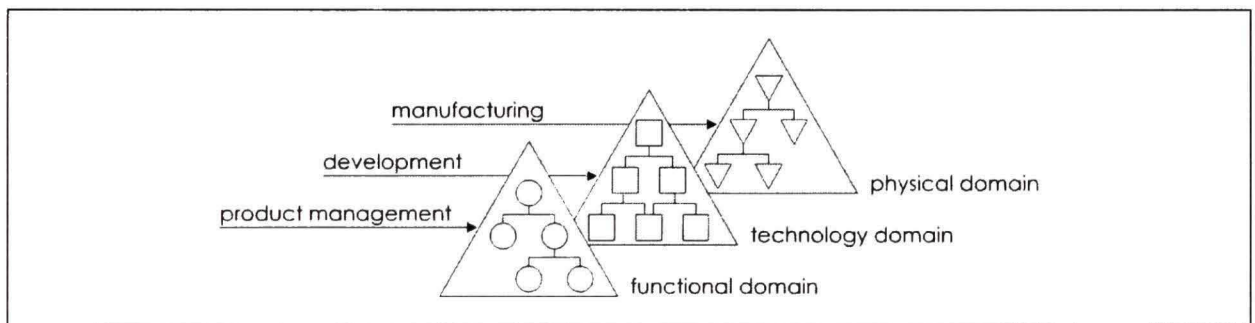


Figure 1.8 *Modèles du produit en développement.*
(Erens et Verhulst, 1997)

Le modèle chromosomique développé par Andreasen (1992) regroupe essentiellement trois structures du produit requises pour décrire un système technique et son processus de transformation. Elles se nomment les structures de fonctions, d'organes et de composants, et correspondent sensiblement aux structures fonctionnelles, technologiques et physiques de Erens et Verhulst (1997) respectivement. De plus, ces structures sont reliées entre elles par des relations causales exprimant la synthèse du produit : les fonctions sont assumées par les organes, et les organes sont matérialisés par les composants.

Malmqvist et Svensson (1999) présentent pour leur part un modèle chromosomique étendu comprenant une quatrième structure, nommée la structure des exigences, en amont des structures de fonctions, d'organes et de composants. Ainsi incluses au sein du modèle étendu, les exigences sont à leur tour reliées à la structure de fonctions par des relations causales : les exigences définissent les fonctions. Malmqvist (2001) ainsi que Ulrich et Eppinger (2004) plaident d'ailleurs pour l'organisation de l'ensemble des exigences du produit au sein d'une structure, même si simplement intuitive, afin d'en éliminer les incohérences et les redondances et afin d'en assurer une formulation adéquate pour les étapes subséquentes du développement. Svensson et Malmqvist (2001) s'appuient sur ce modèle du produit à quatre structures initialisé par les exigences, illustré à la figure 1.9, à titre de référence pour une étude de cas sur les systèmes de gestion des exigences (*requirements management*).

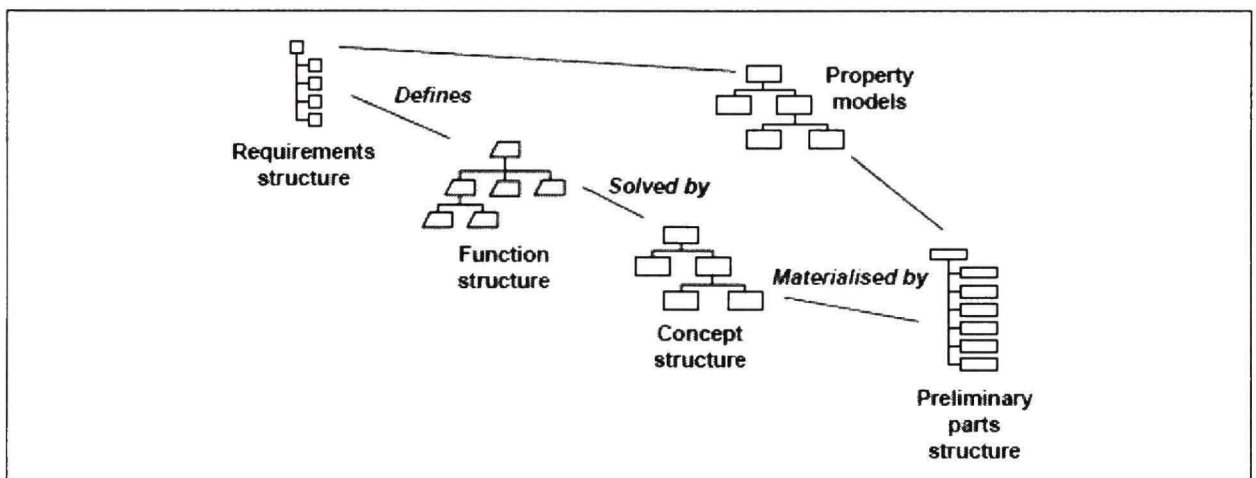


Figure 1.9 *Modèle du produit initialisé par les exigences.*
(Svensson et Malmqvist, 2001)

1.1.2.2 Structures du produit dans un contexte PLM

Pour en revenir au travail de Maurino (1993) qui traite de l'ensemble des données techniques générées lors du cycle de vie d'un produit, l'auteur identifie en tout quatre vues sur le produit : fonctionnelle, technique, industrielle et logistique; il associe une structure du produit à chacune de ces vues au sein d'un SGDT, tel que mentionné précédemment. La nature, qu'il s'agisse de fonctions ou d'articles, et la structuration des objets techniques

constituent les deux principales caractéristiques qui différencient les structures du produit entre elles.

La structure fonctionnelle décrite par Maurino (1993) représente les niveaux successifs de décomposition du produit en fonctions et en contraintes, comme l'illustre l'exemple de la figure 1.10. On y classe les fonctions de manière logique afin d'identifier les relations de dépendances entre elles et d'évaluer leur ordre d'importance. Cette structure représente le point de vue du marketing, des ventes, du client, ... qui désirent avant tout exprimer le besoin en termes de finalité, sans référence aux solutions techniques susceptibles d'y répondre. Elle se déduit en général de la structuration interne des documents d'expression du besoin (cahier de charges, spécifications). Toutefois, en plus d'être l'un des premiers résultats de la définition du produit comme le décrit Erens et Verhulst (1997), Maurino (1993) ajoute qu'elle peut également être utilisée comme outil de gestion du besoin contractuel, comme instrument d'analyse de la valeur et comme moyen de capitalisation des connaissances.

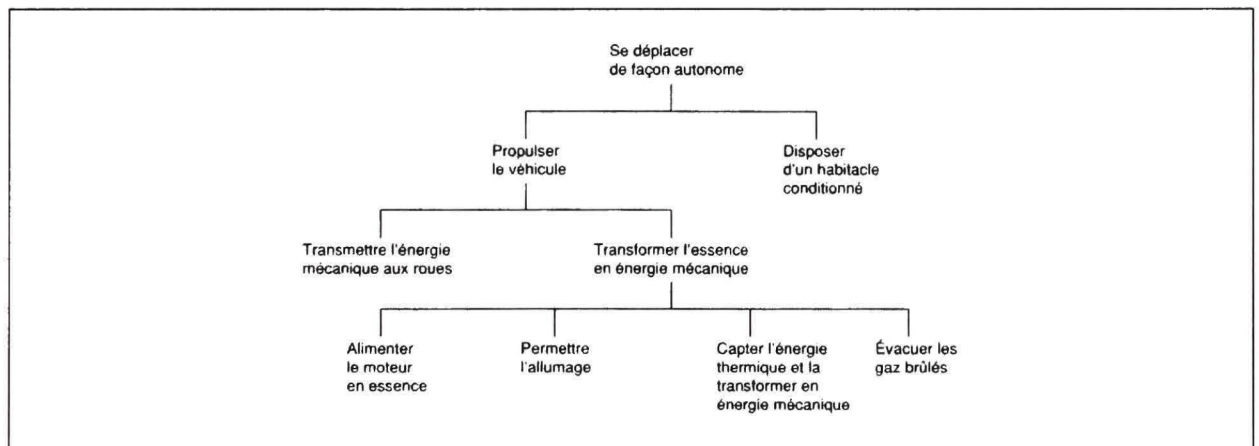


Figure 1.10 *Exemple de structure fonctionnelle pour une automobile.*
(Maurino, 1993)

Maurino (1993) définit la structure technique comme la représentation de la décomposition hiérarchisée du produit en organes matériels et logiciels. Également appelée la nomenclature d'études, elle structure la vision du produit portée principalement par les bureaux d'études de façon à permettre la description de la solution technique élaborée en réponse à l'expression fonctionnelle du besoin et aux exigences techniques. La méthode de structuration des

niveaux supérieurs de la structure technique, également appelés organigramme technique, est intimement liée au métier de l'entreprise et à son savoir-faire, comme le montre l'exemple de la figure 1.11. Le niveau de décomposition de l'organigramme technique est tel que la conception détaillée de chaque organe élémentaire peut être confiée à un service d'études maîtrisant un domaine de compétences techniques déterminé (mécanique, électronique, logiciel, etc.). Cette méthode de structuration est d'ailleurs identifiée comme une exigence par Giannini et al. (2002) afin de supporter les réseaux de PME collaborant au développement d'un produit. La hiérarchie résultante ne doit donc pas simplement fournir une nomenclature, mais se doit de mettre en évidence les parties du produit qui peuvent être conçues séparément. L'enrichissement de la structure technique à partir de l'organigramme technique, lors de la conception détaillée du produit et selon des techniques propres à chaque métier, permet de définir l'ensemble des organes constitutifs du produit.

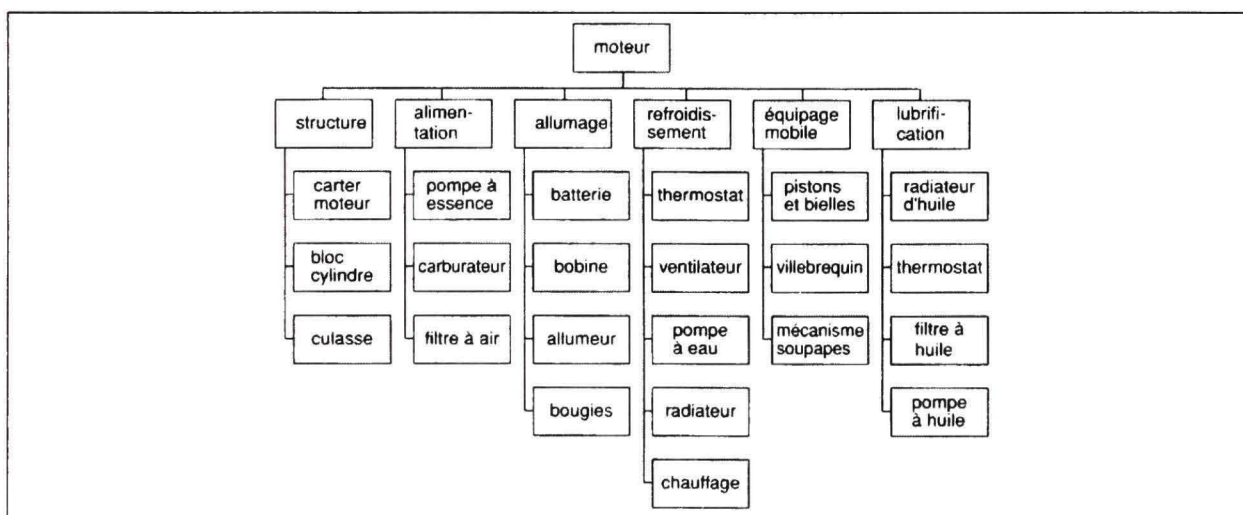


Figure 1.11 Exemple d'organigramme technique pour un moteur à explosion.
(Maurino, 1993)

La structure industrielle, ou nomenclature de production, présentée par Maurino (1993), constitue une description des étapes successives d'élaboration du produit à partir des matières, composants et sous-ensembles. Elle permet d'obtenir une vision hiérarchique du produit qui s'appuie sur les articles (composés et composants) et qui prend en compte l'organisation de la production. Le principe de base derrière la structure industrielle est la

structuration en fonction du flux matières lors de la production. Dans l'objectif de réaliser les exemplaires du produit attendu, la structure industrielle est utile en particulier :

- aux méthodes pour identifier les étapes de production et les gammes associées,
- à la planification pour établir le plan directeur de production,
- à la production pour lancer et suivre les ordres de fabrication,
- aux achats pour planifier les approvisionnements et suivre les livraisons.

Enfin, Maurino (1993) décrit la structure logistique du produit comme étant la description arborescente des éléments de soutien logistique, hiérarchisés en fonction d'un échelon de maintenance du produit. Il s'agit de la structure du produit caractérisant le point de vue particulier des rédacteurs de la documentation technique, du service après-vente (SAV) ou de l'utilisateur. Elle peut décrire, par exemple, parmi les niveaux inférieurs, les opérations de remplacement des composants d'un ensemble. Männistö et al. (2001) décrivent également une structure logistique du produit, qu'ils appellent pour leur part la structure d'après-vente, en spécifiant que la méthode de structuration employée doit refléter la pertinence des concepts relatifs à la maintenance de produit. Par exemple, des composants nécessitant un entretien régulier, comme des freins, doivent occuper une position plus importante au sein de la structure d'après-vente que dans la nomenclature de production. Le rôle de chacun des composants individuels au sein du produit en opération doit également être pris en compte dans l'organisation de la structure : deux composants identiques peuvent ne pas avoir à supporter le même chargement, ce qui influence grandement leur entretien.

Pour en revenir à la vue industrielle telle que présentée par Maurino (1993), certains auteurs caractérisant des structures du produit utilisées au cours de son cycle de vie y associent plus d'une structure, étant donné le grand nombre d'acteurs partageant cette vue. C'est le cas notamment de Watts (2000) qui décrit en tout quatre types de nomenclatures, chacune représentant une décomposition différente du produit et dont deux feraient partie de la vue industrielle. En effet, il fait la distinction entre la nomenclature de fabrication, dont la structure est strictement basée sur les opérations de fabrication, et la nomenclature des matériaux dont la structure reflète l'approvisionnement des composants provenant de

fournisseurs, leur expédition et leur manutention. Les autres nomenclatures qu'il décrit sont la nomenclature d'ingénierie, basée sur la répartition des responsabilités lors de la conception, ainsi que la nomenclature de support, basée sur la décomposition de l'ensemble des pièces de rechange.

Svensson et Malmqvist (2002) ont pour leur part cherché à savoir par une étude de cas si la multitude de structures du produit rencontrées au sein d'un environnement hétérogène de développement numérique était simplement due à la divergence des fonctionnalités des différents systèmes utilisés par les diverses fonctions de l'entreprise, ou s'il existait réellement d'importantes différences entre les points de vue sur le produit influençant ainsi la définition des structures du produit. À la suite d'une étude réalisée chez le fabricant automobile *Volvo*® en Suède, ils en sont arrivés à identifier six différentes structures, toutes fortement dépendantes d'un certain domaine d'activité de l'entreprise. Le tableau 1.1 résume leurs observations. La correspondance entre les structures du produit observées se situe principalement aux niveaux supérieurs où sont structurés les différents modules pouvant être inclus au sein de la configuration d'une automobile.

Tableau 1.1

**Structures du produit observées chez *Volvo Car Corporation*
en Suède par Svensson et Malmqvist (2002)**

Nom de la structure du produit	Description
Structure de conception	<ul style="list-style-type: none"> • Le produit est décomposé en systèmes et sous-systèmes d'un point de vue fonctionnel. • Utilisée par le département de conception.
Structure de fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Les matériaux et les opérations menant à la fabrication du produit fini définissent l'organisation de la structure.
Structure d'achat	<ul style="list-style-type: none"> • Basée sur une classification des pièces; • Comprend les pièces et assemblages provenant de la structure de fabrication; • Utilisée par les acheteurs seulement.
Structure de gestion des commandes	<ul style="list-style-type: none"> • Structure les commandes pour être en mesure d'émettre les différents ordres de fabrication aux diverses usines.
Structure des pièces de rechange	<ul style="list-style-type: none"> • Les pièces de rechange sont structurées en kits de rechange comprenant tous les éléments requis pour effectuer une réparation spécifique.
Structure de service	<ul style="list-style-type: none"> • La documentation technique et les kits de rechange sont structurés par classes d'interventions de service.

1.2 Configuration du produit

L'industrie aéronautique constitue un secteur manufacturier « clientisé », c'est-à-dire dont les activités commerciales et de production sont « étroitement liées aux attentes et aux exigences du client » (L'Office québécois de la langue française, 2007). Les avions étant évidemment des produits sophistiqués, très complexes et hautement technologiques, la planification et la programmation de leur fabrication ne débute que lorsque le client place une commande auprès de l'entreprise, contrairement aux simples biens de commodité qui sont ordinairement produits en anticipation de la demande. Watts (2000), entre autres, distingue ainsi les

produits « *build-to-order* », ou faits sur commande, et les produits « *build-to-stock* », ou d'inventaire. De manière générale, il existe une typologie pour les différentes approches à la personnalisation des produits faits sur commande². Elle est présentée en première partie de cette section pour mieux comprendre les activités du partenaire industriel de ce projet. La figure 1.12, tirée de Erens, McKay et Bloor (1994), résume bien le principe sur lequel s'appuie le développement des familles de produits faits sur commande.

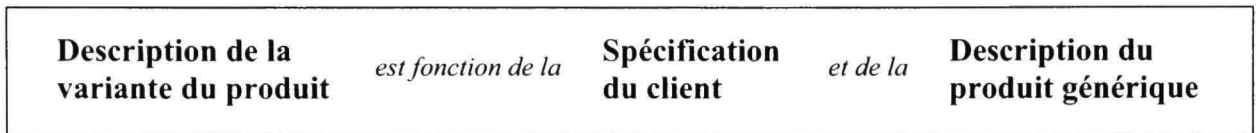


Figure 1.12 *Vers la génération de l'information relative aux variantes d'un produit fait sur commande.*
(Erens, McKay et Bloor, 1994)

De plus, les processus fondamentaux au sein des entreprises de fabrication sont typiquement les processus de développement et de vente-livraison, le processus de fabrication faisant partie de ce dernier processus (Sääksvuori et Immonen, 2004). Dans le cas des produits faits sur commande, le processus de vente-livraison est caractérisé par un sous-processus critique nommé le « processus de configuration ». La seconde partie de cette section aborde justement le sujet du processus de configuration où entre en jeu la modélisation du produit à partir de sa structure. Puis, la dernière partie traite de la gestion de la configuration, discipline dont « l'importance est pleinement reconnue dans la conception, la fabrication et le support des systèmes complexes et dont la sécurité est un élément critique, tels les produits de l'industrie aéronautique » (Burgess, McKee et Kidd, 2005, p. 290).

² Le terme « produit fait sur commande » constituera dans l'ensemble du texte le terme générique pour toutes les variantes d'approche de personnalisation.

1.2.1 Typologie des approches de personnalisation

Dans le but de développer une typologie des différentes approches de personnalisation du produit selon les exigences particulières du client, Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) introduisent avant tout le concept de « *customer order decoupling point* » (CODP), ou point de découplage de la commande du client, illustré à la figure 1.13. Le CODP fait référence au moment dans le flux des idées et des matières depuis lequel prennent place les activités déclenchées par la commande du client. Les activités en amont du CODP demeurent quant à elles alimentées par des activités de planification basées sur les prévisions. Différentes positions du CODP mènent à différentes situations de production.

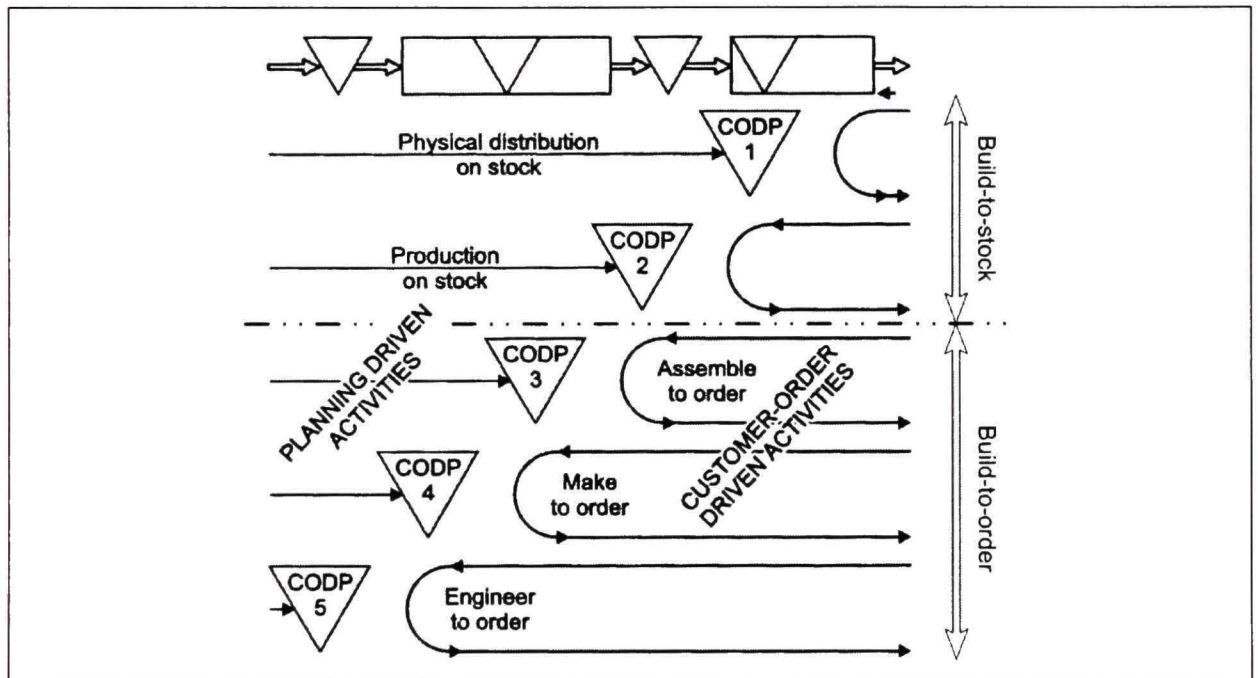


Figure 1.13 *Typologie du CODP.*
(Wortmann, Muntslag et Timmermans, 1997)

Toujours selon Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997), on dénombre ainsi trois situations de production où la position du CODP fait en sorte qu'il y a personnalisation du produit. Ces trois approches sont l'assemblage sur commande (*assemble-to-order*), la fabrication sur commande (*make-to-order*) et l'adaptation sur commande (*engineer-to-*

order).³ Le tableau 1.2 présente un résumé des principales caractéristiques de ces trois approches de personnalisation du produit.

Tableau 1.2

Caractéristiques des différentes approches de personnalisation
(Wortmann, Muntslag et Timmermans, 1997)

<i>Approches</i> <i>Caractéristiques</i>	Adaptation sur commande	Fabrication sur commande	Assemblage sur commande
Attention des cadres supérieurs portée sur :	Contrats d'achats avec les clients	Capacités de production	Innovation du produit
Contingence des opérations au niveau de :	Spécification du produit	Préparation de la fabrication	Gestion des commandes
Complexité des opérations au niveau de :	Ingénierie	Fabrication des composants	Assemblage
Attention des cadres intermédiaires portée sur :	Gestion de projets	Sous-traitance et contrôle de la production	PDP* et contrats d'achats avec les clients
Systèmes d'information utilisés principalement pour :	Supporter l'ingénierie de conception du produit	Supporter l'ingénierie des méthodes	Supporter l'approvisionnement et l'entrée des commandes
Nature des systèmes d'information orientée vers :	Génération de solutions	Solutions de référence	Règles de configuration

* Plan directeur de production.

³ Traduction des termes anglais tirée du *Grand Dictionnaire Terminologique* de L'Office québécois de la langue française (2007).

L'assemblage sur commande correspond à une approche simple où l'entreprise fabrique à l'avance différents sous-ensembles ou modules et n'assemble le produit qu'à la réception de la commande et selon les exigences du client (Burden, 2003). L'automobile et l'ordinateur personnel sont des exemples de produits assemblés sur commande. La fabrication sur commande correspond pour sa part à une approche de personnalisation où l'entreprise attend la réception de la commande pour concevoir et fabriquer le produit qui n'est qu'en fait qu'une combinaison de composants standards (Burden, 2003). Étant donné que les composants sont déjà définis, l'effort de conception réside principalement dans le choix et la documentation de la combinaison (Rouibah et Caskey, 2003). À titre d'exemple de produit fabriqué sur commande, Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) mentionnent les machines-outils. Finalement, l'adaptation sur commande mène à des produits dont une partie est configurée à partir d'ensembles de composants prédéfinis et réutilisables, alors que les autres composants sont entièrement créés pour répondre aux exigences spécifiques du client (Mesihovic et Malmqvist, 2000a). Chaque variante du produit est nouvelle et implique un grand nombre de décisions liées à sa conception, ce qui nécessite évidemment plus de travail de la part de l'ingénierie (Rouibah et Caskey, 2003). Chaque nouvelle tâche d'adaptation de produit est donc généralement gérée comme un projet d'ingénierie, indépendamment du processus de développement qui survient avant le CODP.

1.2.2 Processus de configuration

Dans le domaine de la configuration de produit, un produit fait sur commande correspond typiquement à un produit configurable qui représente un ensemble de variantes différentes, mais fortement reliées entre elles par le fait qu'elles sont toutes conçues à partir du même ensemble de modules ou composants prédéfinis et qu'elles ont tous sensiblement la même structure. La figure 1.14, tirée de Peltonen, Pitkanen et Sulonen (1996), présente, dans le contexte des produits configurables, les processus fondamentaux au sein des entreprises de fabrication. Alors que le processus de développement représente le cycle de vie du produit abstrait et générique, le processus de vente-livraison représente pour sa part le cycle de vie du produit concret, des exemplaires (Sääksvuori et Immonen, 2004). Le processus de vente-

livraison regroupe typiquement les activités requises pour assurer la proposition, la commande, la personnalisation, la fabrication, la livraison, l'usage et le soutien logistique d'un exemplaire du produit.

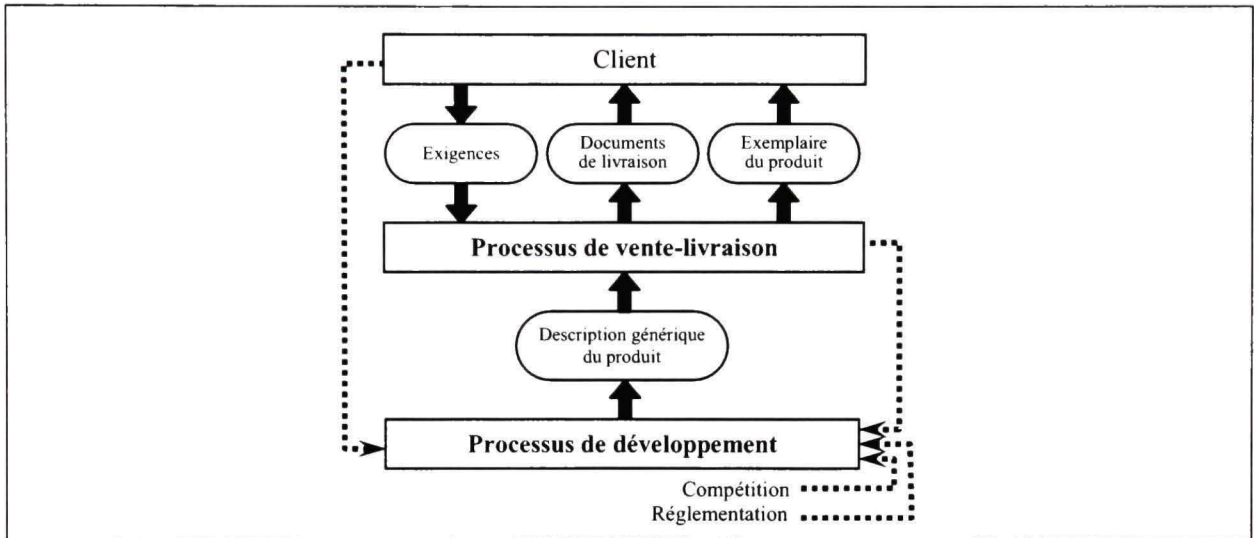


Figure 1.14 *Processus relatifs aux produits configurables.*
(Peltonen, Pitkanen et Sulonen, 1996)

Au sein du processus de vente-livraison se retrouve généralement le processus de configuration. Selon Peltonen (2000), ce processus vise à générer, à partir de composants prédéfinis, une structure du produit valide et possiblement complète – tout dépendant de l'approche de personnalisation – répondant à l'ensemble des exigences du client provenant de la spécification de commande (*order specification*) et respectant la description générique du produit fournie par un modèle de configuration ou une structure générique du produit. La figure 1.15 illustre le processus de configuration que l'auteur décrit comme étant itératif, depuis l'énoncé des exigences jusqu'à la description spécifique de l'exemplaire.

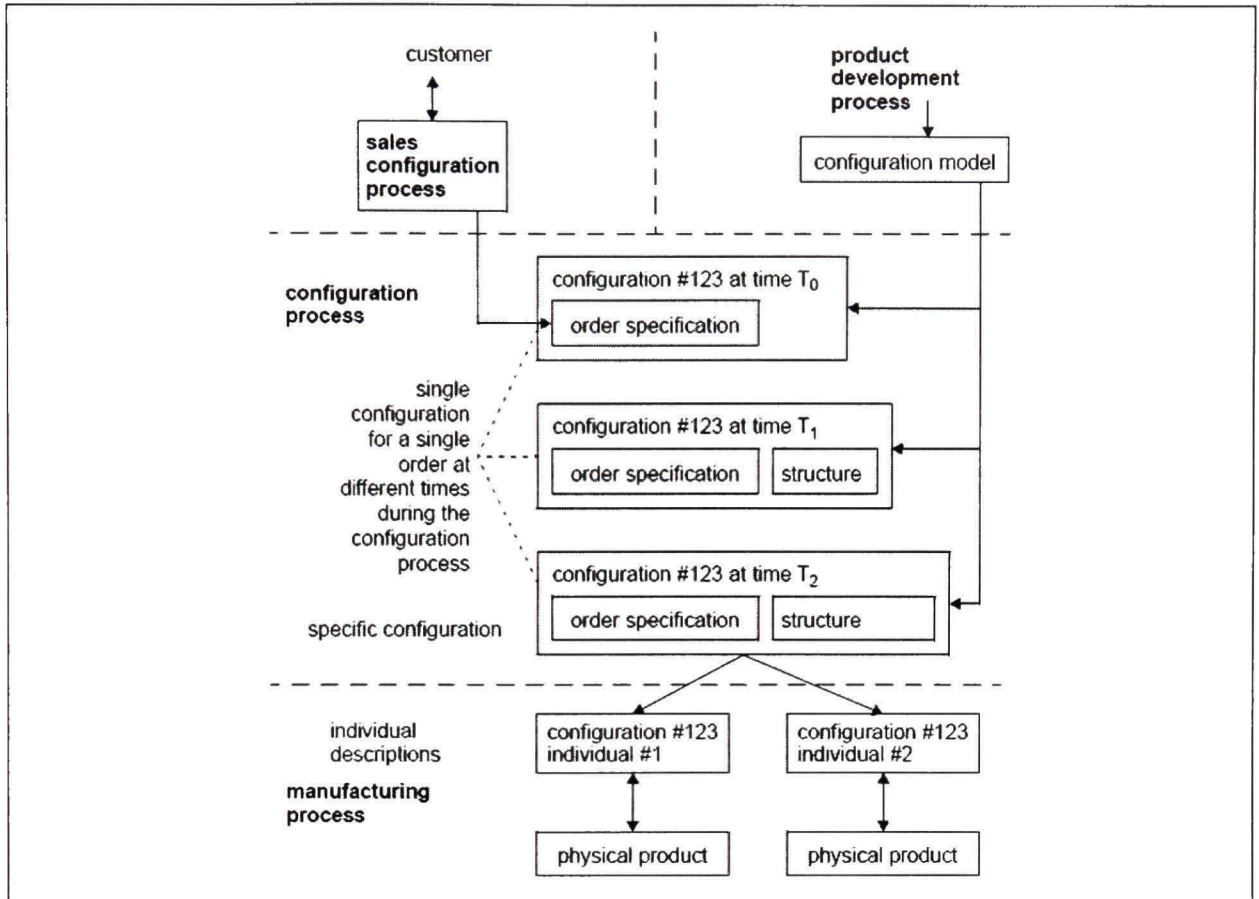


Figure 1.15 *Processus de configuration.*
(Peltonen, 2000)

1.2.2.1 Modèle de configuration

Toujours selon Peltonen (2000), le processus de configuration doit être contrôlé par un modèle de configuration. L'auteur affirme que :

« Le modèle de configuration pour un produit configurable décrit toutes les variantes possibles d'un produit et spécifie la façon de créer une variante appropriée pour une spécification de commande donnée, ou du moins la façon de vérifier si une variante donnée se conforme à la spécification. » (Peltonen, 2000, p. 43) [Notre traduction]

Plusieurs approches existent pour la modélisation des produits configurables (Sabin et Weigel, 1998). Lorsqu'il est question d'utiliser un SGDT, Peltonen (2000) suggère d'adopter la structure du produit à la base de la description des produits configurables, avec la condition que cette structure témoigne de la « configurabilité » du produit. Autrement dit,

l'architecture et la structure du produit, définies lors du processus de développement du produit, doivent être le plus modulaire possible, de manière à ce qu'une variante particulière du produit puisse être créée en combinant un sous-ensemble des différents modules disponibles. Le modèle de configuration est alors constitué d'une structure explicite du produit et de règles de configuration (Männistö, Peltonen et Sulonen, 1996).

La structure explicite présente directement quels composants doivent être sélectionnés pour mener à une configuration valide. Elle doit incorporer des concepts comme les pièces optionnelles ou alternatives, ainsi que les composants paramétriques. Autrement dit, à la structure hiérarchique des composants (relations partitives) doit s'incorporer une classification hiérarchique des articles (relations génériques) pouvant matérialiser les composants de la structure. D'autres auteurs tels que Callahan (2006) et Zhang et al. (2005), entre autres, s'attardent au problème que pose la modélisation des produits configurables et des connaissances relatives à leur configuration à partir de la structure hiérarchique du produit.

1.2.2.2 Configuration d'une vente et configuration d'une structure du produit

Mesihovic et Malmqvist (2004) affirment qu'il est possible d'identifier en pratique au moins deux vues différentes d'un modèle de configuration pour un même produit configurable : commerciale et technique. Il y a en effet une distinction à faire entre les processus de configuration d'une vente et d'une structure du produit. Selon Sääksvuori et Immonen (2004), la configuration d'une vente implique strictement les paramètres, propriétés et caractéristiques du produit d'un point de vue commercial, ainsi que les règles de configuration qui définissent les conditions qui doivent être satisfaites par leurs combinaisons pour générer des variantes valides. Les règles de configuration proviennent généralement de contraintes commerciales, techniques, industrielles, logistiques ou de règlements imposés par une autorité législative (Wortmann, Muntslag et Timmermans, 1997). Le livrable principal est la structure de la vente qui organise les paramètres correspondants aux exigences du client au sein d'un document que Peltonen (2000) nomme

la « spécification de commande », ou que Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) nomment la « spécification commerciale ». Cette structure est alors reprise par le processus de configuration de la structure du produit comme intrant pour produire la structure technique de la nouvelle variante en conformité avec les exigences du client.

1.2.2.3 Structure générique du produit

Männistö et al. (2001) font une distinction entre les concepts de « modèle de configuration » et de « structure générique du produit ». Selon les auteurs, alors que le concept de modèle de configuration est relié spécifiquement à la description d'un produit configurable, le concept de structure générique du produit concerne simplement la modélisation d'un produit comportant un large nombre de variantes (ex. : produit adapté sur commande). Leur rôle dans la description d'une famille de produit demeure toutefois sensiblement le même. Le mot « structure » indique que l'intérêt principal de la modélisation réside dans la variation de la structure du produit, alors que le mot « générique » montre qu'un seul modèle de données est recherché afin de représenter plusieurs variantes du produit.

Le mot « générique » est d'ailleurs utilisé pour la même raison lorsqu'il est question d'une nomenclature générique, ou *generic BOM*. Burden (2003) définit la nomenclature générique comme une nomenclature décrivant le plus fidèlement possible le produit type que les clients commandent dans un environnement de configuration. À chaque fois qu'un client commande une configuration personnalisée, une copie de la nomenclature générique est modifiée selon ses exigences et conservée en tant que nomenclature spécifique à la commande (*work order BOM*). La nomenclature générique vise à régler le problème du nombre potentiellement immense de nomenclatures à gérer lorsqu'il est question de décrire toutes les variantes d'une famille de produit avant le processus de configuration.

On illustre fréquemment le concept de la variété du produit par une figure en forme de sablier, comme le montre la figure 1.16 tirée de Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997). Comme le décrivent McKay, Erens et Bloor (1996), le sommet du sablier représente

l'ensemble des nombreuses variantes du produit. Ces variantes sont des combinaisons de différents composants standards ou prédéfinis provenant d'un plus petit ensemble, soit celui des variantes primaires (*primary variants*), localisé au col du sablier. Chaque variante primaire possède ensuite sa propre structure spécifique, représentée par l'élargissement de la base du sablier.

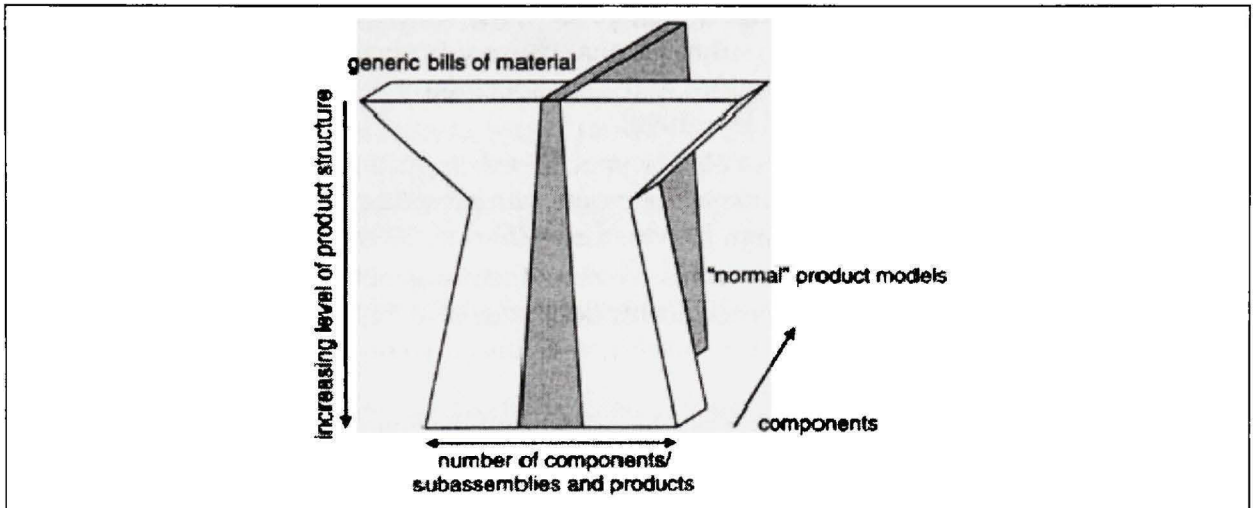


Figure 1.16 *Modèle représentant la variété d'un produit.*
(Wortmann, Muntslag et Timmermans, 1997)

La structure générique du produit s'insère entre les ensembles des variantes du produit et des variantes primaires dans la partie supérieure du sablier, comme le montre la figure 1.17. Les modules génériques primaires (MGP), ou *generic primary products*, modélisent d'abord les différents types élémentaires de composants qui doivent composer chaque variante du produit. Les variantes primaires sont reliées à ces MGP à l'aide de relations génériques selon le type de composant auquel elles appartiennent. La discrimination des variantes primaires reliées à un même MGP conduit notamment à la définition des paramètres de ventes. Les MGP composent par la suite les modules génériques secondaires (MGS), ou *generic secondary products*, selon la décomposition typique du produit générique. Chaque structure spécifique à une variante du produit constitue alors une instance de la structure générique du produit.

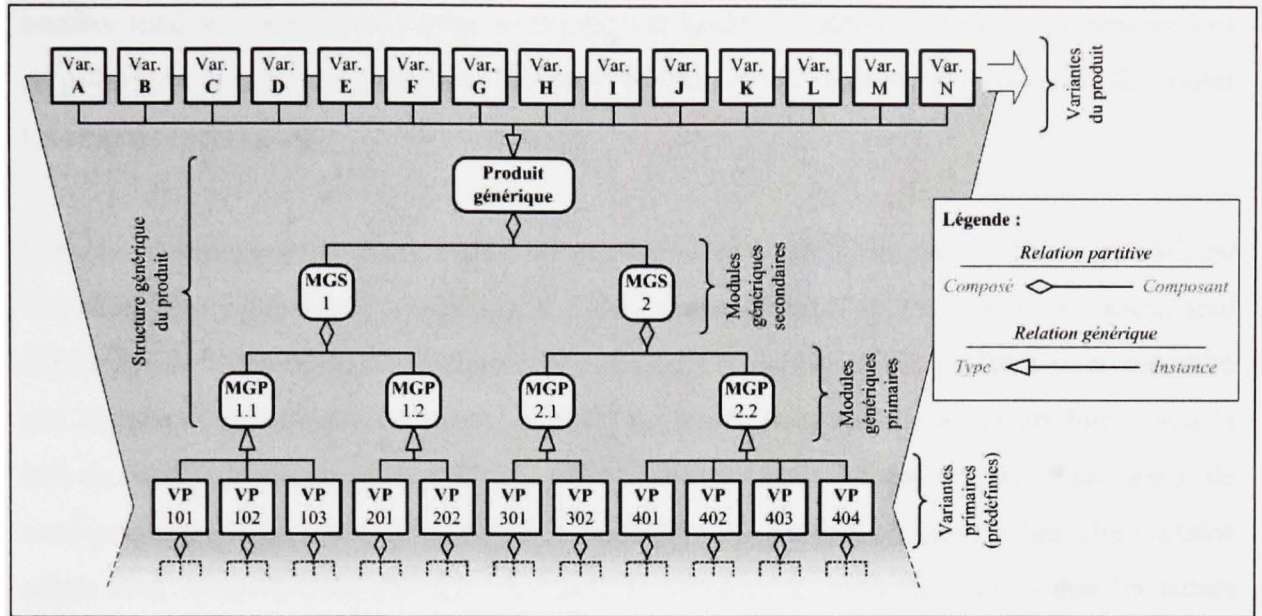


Figure 1.17 *Détails de la structure générique du produit.*

Le niveau de détail dans la description des composants de la structure constitue une caractéristique importante qui distingue le concept de structure générique de produit du concept plus conventionnel de la structure de produit. Toujours selon McKay, Erens et Bloor (1996), la structure générique du produit, représentée au sein de la zone blanche de la figure 1.16, permet de décrire toutes les variantes possibles d'une famille de produit, mais la quantité de données qu'on y définit se limite normalement à une brève description des composants et aux paramètres utiles au processus de configuration. La structure de produit conventionnelle, représentée par la zone grise de la figure 1.16, ne décrit qu'une seule variante à la fois, mais la quantité d'informations sur les nombreux composants de la structure est beaucoup plus importante.

1.2.2.4 Configuration et approche de personnalisation

Mesihovic et Malmqvist (2000a; 2000b) décrivent le processus de configuration tel qu'on le retrouve dans des situations différentes de personnalisation, soit d'assemblage sur commande et d'adaptation sur commande. Lorsqu'un produit est assemblé sur commande, son modèle de configuration est généralement construit à la fin du processus de développement et se base sur un nombre fixe de modules et de contraintes pour leur assemblage. Conséquemment, le

nombre total de variantes possibles du produit est limité. La structure du produit générée lors du processus de configuration est complète et définitive : la variante identifiée satisfait toutes les exigences du client.

Lors de la configuration d'un produit adapté sur commande, seule une partie du produit est constituée des composants prédéfinis et celle-ci peut varier d'un exemplaire à l'autre, tout dépendant de l'ensemble des composants standards et prédéfinis disponibles pour répondre aux exigences spécifiques du client. À partir de la structure générique du produit jouant le rôle du modèle de configuration dans le cas du produit adapté sur commande, le processus de configuration génère alors une structure « ouverte » du produit au sein de laquelle certains objets sont complètement identifiés à l'aide de composants prédéfinis, alors que les autres objets de la structure demeurent non-identifiés. Un processus de conception doit alors suivre le processus de configuration de manière à identifier et concevoir les composants dits modifiables au sein de la structure technique du produit. Mesihovic et Malmqvist (2000a; 2000b) nomment ce processus propre à l'adaptation de produit sur commande « concevoir-pour-configurer » (*design-to-configure*), alors que Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) le nomment l'ingénierie personnalisée (*customer driven engineering*). Selon cette approche, la structure générique du produit peut être utilisée pour fournir de l'information sur les composants modifiables, comme par exemple les exigences particulières du client qui demeurent à être satisfaites, la fonction des composants, leur type, des paramètres et des ébauches, aux concepteurs qui auront la tâche de compléter la configuration et la structure technique du produit.

1.2.3 Gestion de la configuration

La gestion de la configuration est « une discipline d'ingénierie et un processus visant le maintien de l'intégrité des produits au fur et à mesure qu'ils évoluent lors de leur développement et de leur production »⁴ (Buckley, 1996). Il s'agit d'une discipline largement utilisée par les entreprises afin de supporter le contrôle de la conception, de la fabrication et du soutien logistique de leur produit. Ceci est d'autant plus vrai pour les entreprises du secteur aéronautique, étant donné la nature de leurs produits.

Guess (2002) donne une définition traditionnelle de la gestion de la configuration qui comprend quatre activités principales : l'identification des articles de configuration, le contrôle des modifications, l'enregistrement des états de la configuration et la tenue d'audits et de revue. On s'intéresse ici plus particulièrement à la première et la troisième activité, respectivement, leur impact étant plus important sur la définition des structures du produit.

L'identification des éléments de configuration (*configuration items*) constitue essentiellement l'identification des entités au sein d'une configuration qui assumeront la ou les fonctions du produit final (Organisation internationale de normalisation, 2003). La maîtrise de ces éléments est donc critique, d'où une gestion stricte de leur configuration et de leur documentation. Ce sont des ensembles eux-mêmes configurables, possédant leurs propres caractéristiques fonctionnelles et physiques. Ce sont des objets de haut niveau au sein de la structure technique du produit, des objets à haut risque (performances, sécurité, etc.) ou des objets spécifiquement développés pour une variante particulière (Maurino, 1993). En d'autres termes, les organes assumant les fonctions du produit, tels que décrits notamment par Andreasen (1992), constituent les éléments de configuration. L'identification des éléments de

⁴ Notre traduction.

configuration représente donc l'identification des objets qui seront organisés au sein de la structure technologique du produit (ou des niveaux supérieurs de la structure technique).

Selon le *Grand Dictionnaire Terminologique* (L'Office québécois de la langue française, 2007), un type d'élément de configuration est un « regroupement des éléments de configuration selon leurs attributs communs ou la fin à laquelle ils sont destinés. » Il s'agit là d'une définition qui correspond fortement à celle du module générique primaire donnée par Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997). D'ailleurs, toujours selon le *Grand Dictionnaire Terminologique*, la variante d'un élément de configuration est un « élément de configuration qui a les mêmes fonctionnalités de base qu'un autre élément de configuration, mais qui comporte, à certains égards, de légères différences », ce que Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) appellent pour leur part une variante primaire. Le concept d'élément de configuration est donc fortement relié à celui de structure générique du produit.

L'enregistrement des états de la configuration a pour objectif d'assurer la traçabilité de la description des éléments de configuration et de leurs caractéristiques, et l'accessibilité à l'information nécessaire à la gestion de la configuration tout au long du cycle de vie du produit. Cette information inclut notamment la liste des éléments de configuration identifiés, l'état des modifications proposées affectant la configuration et le statut de mise en application des modifications approuvées (Bombardier inc., 2004a). Maurino (1993) et Randoing (1995) identifient plusieurs états de la configuration dans le cycle de vie des données techniques. Ces états sont énumérés à la figure 1.18 et les trois principaux sont :

- La **configuration de référence**, ou le dossier de définition (*as-designed*), est donnée par l'ensemble des données techniques d'expression fonctionnelle du besoin, de spécification et de définition du produit, obtenues respectivement en fin de phases de faisabilité, de définition et de développement. Elle décrit l'état objectif, standard du produit.
- La **configuration applicable**, ou le dossier d'exécution (*as-planned*), est donnée par la configuration de référence complétée par les propositions de modifications acceptées par le client : précision des variantes et options, ajouts spécifiques au client,

etc. Elle décrit l'état attendu d'un exemplaire tel que défini contractuellement avec le client avant le début de la fabrication.

- La **configuration réalisée** ou finale (*as-built*) correspond à la configuration applicable à laquelle s'ajoutent les écarts éventuels dus au processus de fabrication du produit. Elle décrit l'état réel d'un exemplaire du produit.

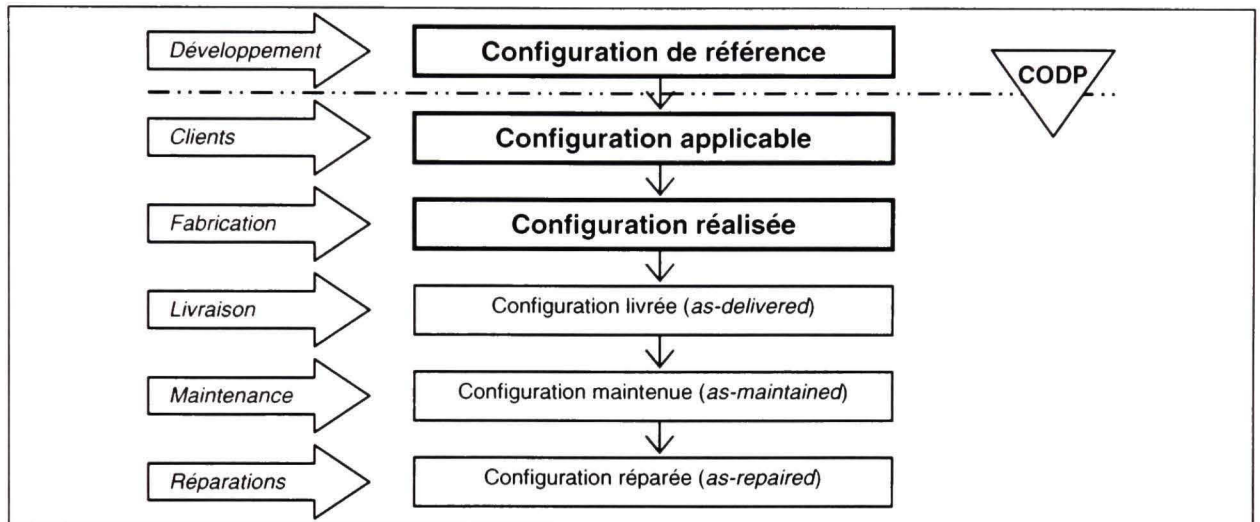


Figure 1.18 États de la configuration.

Burgess, McKee et Kidd (2005) ont effectué une enquête auprès d'industries européennes du secteur aérospace afin de savoir comment celles-ci pratiquent la gestion de la configuration au sein de leur organisation. Ils ont notamment découvert que les activités liées à la gestion de la configuration sont fortement fragmentées parmi les différentes fonctions des entreprises. Sans responsable pour les encadrer, les fonctions se limitent généralement aux activités de gestion de la configuration faisant partie de leur propre domaine d'activités. Il fut reconnu par ces mêmes industriels que la gestion de la configuration ne peut être vue comme un seul et unique processus, mais comme l'interaction de plusieurs processus. Les entreprises modifient alors leur organisation de manière à inclure une fonction responsable de gérer les activités et les exigences de la gestion de la configuration durant tout le cycle de vie du produit.

Ce problème de cloisonnement des fonctions par rapport à la gestion de la configuration est fortement relié à celui de la gestion des données techniques et des structures du produit. Les activités reliées à la gestion de la configuration dépassent les simples limites fonctionnelles d'une entreprise et posent alors les mêmes problèmes en termes de gestion des données techniques à travers l'entreprise numérique et durant tout le cycle de vie du produit.

1.3 Propagation du changement

Cette section de la revue de la littérature survole brièvement le thème de la propagation du changement d'ingénierie du point de vue de la gestion des structures du produit. On s'intéresse d'abord à la propagation des modifications entre structures hétérogènes au sein d'un même outil informatique, pour ensuite élargir le problème à la gestion des multiples structures du produit au sein de plusieurs applications différentes.

1.3.1 Propagation entre structures du produit

De Kraker, Dohmen et Bronsvort (1997) s'attardent aux problèmes que pose la gestion de plusieurs vues d'un même modèle géométrique du produit en conception assistée par ordinateur (CAO), dont la propagation des modifications apportées à une vue vers les autres vues. Essentiellement, chaque vue est représentée par un modèle de caractéristiques renfermant à la fois de l'information géométrique et fonctionnelle, cette dernière étant exprimée sous forme de contraintes. Les auteurs proposent alors de relier chaque vue par des liens entre vues aux niveaux des caractéristiques géométriques et des contraintes. Plusieurs de ces contraintes sont d'ailleurs déterminées automatiquement à la création d'une vue par l'imposition d'une géométrie équivalente parmi les modèles. Lors de la modification d'un paramètre, l'ajout ou la suppression d'une caractéristique depuis la vue d'édition, ces liens permettent de propager automatiquement la modification et, si il y a conflit entre la vue éditée et d'autre vues, de régénérer les modèles de caractéristiques conflictuels en fonction des propriétés spécifiées des vues et de leur ordre de priorité.

Les contraintes entre vues de de Kraker, Dohmen et Bronsvoot (1997) s'apparentent ainsi aux liens de projection de Maurino (1993) ou aux relations d'équivalence de van den Hamer et Lepoeter (1996) entre les objets des différentes structures du produit. Toutefois, selon de Kraker, Dohmen et Bronsvoot (1997), une vue doit impérativement posséder des propriétés spécifiées telles un nom, une bibliothèque de caractéristiques, un ensemble de modifications permises et des spécifications pour la régénération de la vue à la suite d'une modification. Ces propriétés sont essentielles à la propagation automatique des modifications, car elles formalisent les contraintes à respecter lors de la régénération d'un modèle de caractéristiques. Aucune des publications scientifiques consultées ne propose un formalisme semblable pour les principes de structuration des différentes structures du produit. On présente toutefois des exemples de règles génériques sur la structuration du produit selon différents points de vue, notamment Maurino (1993).

1.3.2 Propagation entre applications informatiques

Lors d'une étude de cas chez le fabricant automobile *Volvo*[®], Svensson et Malmqvist (2002) ont expérimenté la propagation de modifications d'ingénierie au niveau de la structure technique du produit vers d'autres structures gérées au sein de différentes applications constituant leur système informatique. Par exemple, la correction de la forme d'un conduit, et conséquemment la génération d'un nouveau numéro de pièce, a eu un impact sur un total de onze systèmes, en l'occurrence ceux de l'usine de fabrication, des départements de service, des pièces de rechange et des ventes, et sur de nombreux autres sous-systèmes, ce qui en a rendu le suivi difficile. Les auteurs ont malgré tout observé qu'alors que certains changements étaient propagés automatiquement grâce à une certaine intégration des fonctions et/ou des applications, d'autres devaient l'être manuellement. De plus, la propagation manuelle du changement au sein des structures de fabrication s'est avérée la plus difficile et la plus exigeante, car l'organisation de ces structures (composition des ensembles) devait être modifiée.

Svensson et Malmqvist (2002) présentent également trois stratégies pour la gestion des structures du produit (*product structure management*, PSM) au sein des SGDT et des PGI. Elles sont illustrées à la figure 1.19 et résumées au tableau 1.3, tous deux tirés de Svensson et Malmqvist (2002). Au niveau de la propagation des modifications, la première stratégie, intitulée « l'indépendance fonctionnelle » (*Voir Figure 1.19(a)*), rend l'analyse de l'impact du changement difficile étant donnée la gestion séparée des structures technique et industrielle et l'obligation de transférer les données entre SGDT et PGI, soulevant le besoin pour une intégration des systèmes. La seconde stratégie intitulée « l'intégration en phase de développement » (*Voir Figure 1.19(b)*), rend possible l'analyse de l'impact entre les structures puisque toutes deux gérées au sein du SGDT à l'origine. Le transfert des données de la structure industrielle vers le PGI demeure toutefois nécessaire. La troisième stratégie, intitulée « l'intégration sur le cycle de vie » (*Voir Figure 1.19(c)*) facilite finalement à la fois l'analyse de l'impact et la propagation des modifications, car il n'y a que le PGI pour gérer toutes les structures, éliminant ainsi le besoin d'intégration. Cette dernière stratégie limite toutefois grandement le nombre de fonctionnalités disponibles pour la gestion des structures, fonctionnalités généralement mieux développées au sein des SGDT.

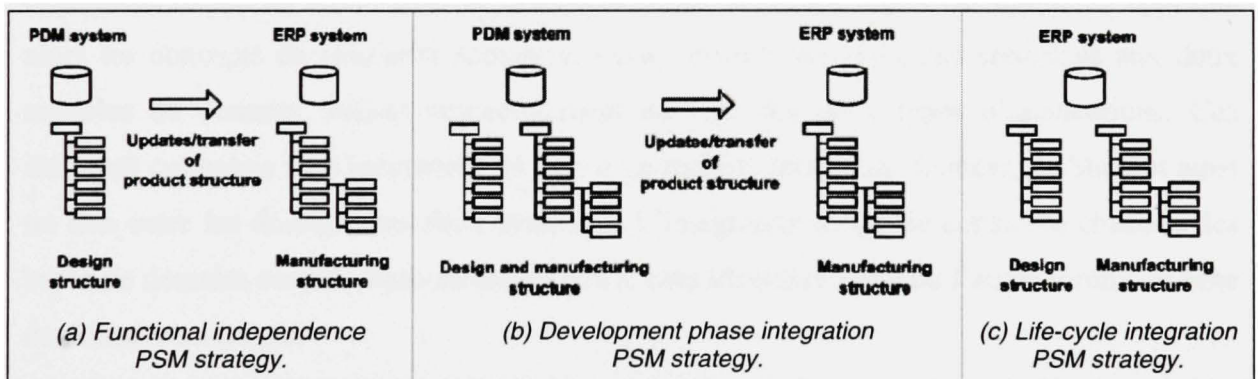


Figure 1.19 *Stratégies de gestion des structures du produit.*
(Svensson et Malmqvist, 2002)

Tableau 1.3
Caractéristiques des stratégies de gestion des structures du produit
 (Svensson et Malmqvist, 2002)

		Functional independence	Development phase integration	Life cycle integration
Strategical	Information structure	Separate structure	Separate/Single	Single structure
	Information system architecture	Separate systems	Separate/Single	Single system
	Current process Organization	Processes uncoupled Functional organization	Processes partly coupled Supports cross-functional teams	Processes fully coupled Supports cross-functional teams
Operational	Manage changes	Impact analysis difficult	Impact analysis possible	Impact analysis possible
	Allow discipline specific views	One view per system	Combination	Multiple views in one system
	Ensure consistency	Transfer	Transfer	Propagation within system

Svensson et Malmqvist (2002) en concluent que le niveau d'intégration des différentes structures du produit dépend du niveau d'intégration entre les systèmes, plus particulièrement entre leurs différents modèles de données. L'exemple de l'approche de Ou-Yang et Jiang (2002) le démontre. Les auteurs proposent une méthodologie pour supporter l'intégration du flux d'information, en occurrences les modifications d'ingénierie, entre les applications de GDT, utilisée lors de la conception, et de planification des besoins en matières (MRP), utilisée en vue de la fabrication du produit. Comme le mentionnent les auteurs, plusieurs types de données gérées au sein des SGDT, telle la nomenclature (structure du produit), sont également requis en MRP pour la planification de la production. Leur approche applique alors les concepts de similarité sémantique pour trouver des éléments communs aux deux modèles de données utilisés respectivement au sein des deux types d'applications. Ces éléments communs sont incorporés au sein d'un modèle intégré de données, établissant ainsi un lien entre les données des deux systèmes. L'intégration proposée considère chacune des bases de données comme équivalente à l'autre, sans identifier l'une ou l'autre comme la base de données maîtresse.

Le flux d'information identifié par les auteurs, tel qu'illustré à la figure 1.20, montre toutefois que l'intégration de l'information entre les fonctions de gestion des nomenclatures d'ingénierie (*Engineering BOM*) et de production (*Production BOM*) n'est réalisé qu'au niveau de la définition des articles du produit, et non de la nomenclature. Ainsi, une modification apportée à une nomenclature telle l'ajout, la suppression ou le déplacement d'un article ne peut influencer l'autre nomenclature automatiquement : seule l'information

sur l'article est transmise ou mise à jour. La propagation manuelle des changements de composition des articles au sein des nomenclatures demeure nécessaire.

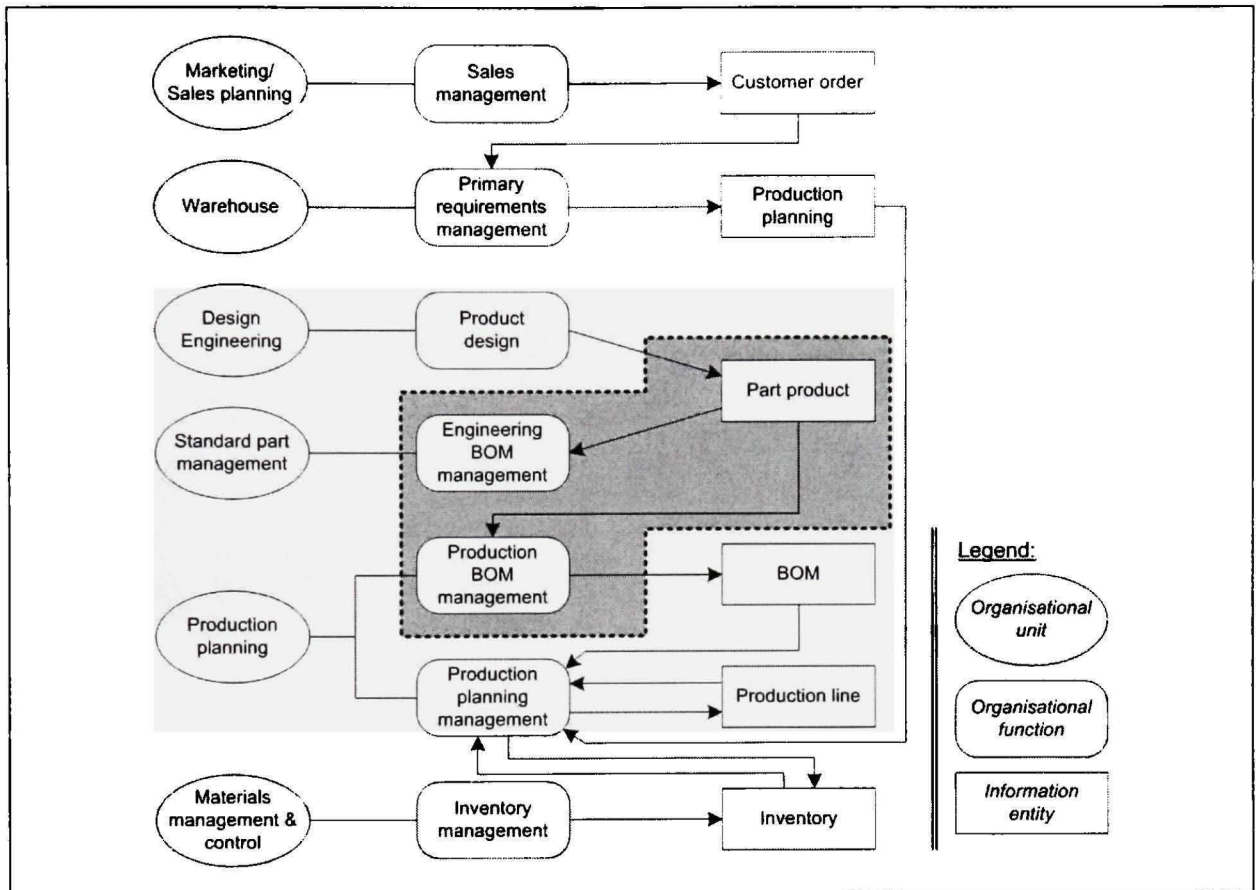


Figure 1.20 *Chaîne des processus pour le flux d'information entre GDT et MRP.*
(Ou-Yang et Jiang, 2002)

L'automatisation de l'analyse de l'impact et de la propagation du changement entre plusieurs applications comporte des obstacles. Par exemple, Ouertani, Gzara-Yesilbas et Lossent (2004) proposent une méthode, illustrée à la figure 1.21, pour automatiser l'analyse de l'impact d'une modification entre outils informatiques par la modélisation des interactions entre les concepts des différentes applications, autant les classes d'entités que leurs instances, et la propagation des impacts par la programmation et la satisfaction de contraintes (*constraint satisfaction programming, CSP*) à l'aide d'un solveur. Ils ne proposent toutefois pas l'architecture informatique nécessaire à l'implantation de cette méthode. Aux dires des auteurs, l'approche proposée est avant tout basée sur une capture manuelle des multiples

dépendances, ce qui requiert un effort considérable de capitalisation, de capture et de modélisation des interactions. Dans le cas d'un produit adapté sur commande, cet exercice serait malheureusement à répéter à chaque projet étant donné la création continue de nouvelles variantes. Malgré tout, les auteurs envisagent l'utilisation des techniques de raisonnement par cas, ou *case-based reasoning* (CBR), de manière à déduire automatiquement les interactions entre éléments du système en exploitant les décisions prises lors d'anciennes analyses de l'impact du changement.

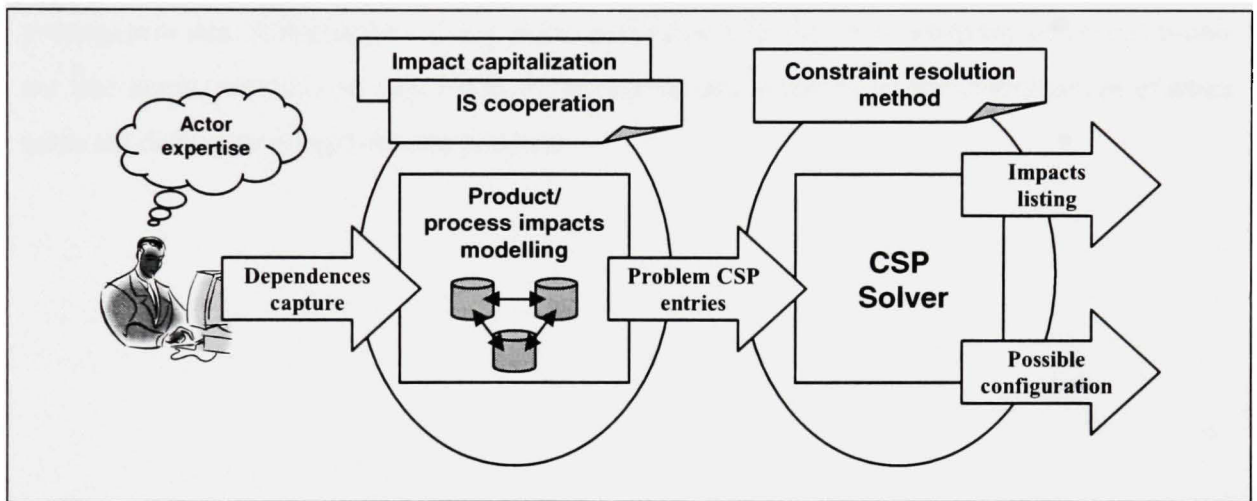


Figure 1.21 *Aperçu de la méthodologie d'analyse de l'impact du changement proposée par Ouertani, Gzara-Yesilbas et Lossent (2004). (Ouertani, Gzara-Yesilbas et Lossent, 2004)*

1.4 Synthèse

Ce premier chapitre présente une revue de la littérature sur les thèmes de la structuration du produit, de la configuration d'un produit personnalisé et de la propagation des changements d'ingénierie. D'abord, on introduit le concept de structure du produit comme étant un mode de représentation du produit qui varie selon les points de vue au sein d'une entreprise, que ce soit au niveau de la nature des objets structurés ou de la manière dont ceux-ci sont reliés entre eux. On identifie d'ailleurs plusieurs de ces points de vue, qui vont de l'énoncé des exigences jusqu'au support logistique d'un produit, ainsi que leurs structures du produit correspondantes.

L'adaptation de produit sur commande constitue une approche de personnalisation de produit qui se démarque de l'assemblage et de la fabrication sur commande par le fait qu'elle comprend la conception des nouveaux composants à chaque projet pour répondre à certaines exigences particulières au client. Chacune de ces approches sous-entend malgré tout une description générique du produit au sein d'un modèle de configuration qui peut notamment prendre la forme d'une structure générique du produit. En se référant à la structure générique du produit, le processus de configuration permet également de définir deux autres structures du produit : la structure de la vente et la structure technique. Finalement, les approches de propagation des changements d'ingénierie présentés à la fin de ce chapitre se basent toutes sur une acquisition et une formalisation préalables des relations et des dépendances existant entre les différentes structures du produit.

CHAPITRE 2

OBSERVATIONS EN INDUSTRIE

Le premier chapitre de ce mémoire présentait une revue de la littérature scientifique sur le sujet des structures du produit, plus spécifiquement des thèmes comme les vues portées par les différentes fonctions d'une entreprise sur le produit, le concept de configuration du produit, ainsi que la propagation du changement entre structures d'un même produit et au sein d'un environnement numérique hétérogène. Ce second chapitre constitue pour sa part un compte-rendu détaillé d'une étude de cas réalisée en industrie, toujours sur le sujet des structures du produit. Il débute d'abord par une mise en situation des travaux réalisés en milieu industriel, pour ensuite présenter la synthèse des observations effectuées sur un processus particulier exécuté par l'entreprise, le processus de définition de la configuration. Finalement, on y présente les résultats de la modélisation de ce processus à l'aide d'une technique personnalisée basée sur la technique de modélisation IDEF0.

2.1 Mise en situation

La problématique abordée dans ce mémoire a été mise de l'avant dans le cadre du projet IP²CM sous la responsabilité du CRIAQ. Ce projet impliquait notamment la participation du partenaire industriel Bombardier Aéronautique inc. (BA), chef de file mondial dans la conception, la prestation et la fabrication de produits et services aéronautiques destinés aux marchés des avions d'affaires, régionaux et amphibies. Le projet s'est déroulé au Centre de finition de Bombardier à Montréal, plus couramment appelé le « BiCCM » (*Bombardier inc. Completion Center in Montreal*). Le contexte spécifique de recherche proposé par cette entreprise était le processus de définition de la configuration.

L'objectif spécifique de la recherche en industrie, en relation avec les besoins du partenaire, est de comprendre les intérêts, les décisions et les problèmes d'une entreprise lors de la définition individuelle des nombreuses configurations d'un produit complexe, ainsi que de la gestion de ces configurations au sein d'un environnement de développement numérique a

priori hétérogène. Dans le contexte de ce mémoire, l'atteinte de cet objectif doit permettre l'observation, la documentation et l'analyse des processus et des outils utilisés dans le milieu industriel pour définir, modifier et exploiter les structures du produit.

2.1.1 Description du milieu industriel

Le BiCCM constitue une filiale de la multinationale Bombardier Aéronautique inc. dont la mission au sein du groupe est la conception et la réalisation de l'aménagement intérieur des avions d'affaires de très haute gamme de la série *Global*. Comme l'explique l'entreprise sur son site internet⁵, cette série d'avions d'affaires de grande dimension et de très long courrier comprend deux modèles, soit le *Global 5000* et le *Global Express XRS*, et privilégie la performance, le luxe et la satisfaction des clients les plus exigeants. Typiquement, comme le présente la figure 2.1, l'aménagement intérieur d'un avion *Global* peut comprendre, en plus des sièges de haute qualité, l'installation de divans, de cuisinettes, de cabinets de toilettes, ainsi que de systèmes de divertissement et de contrôle de l'environnement de la cabine, etc.

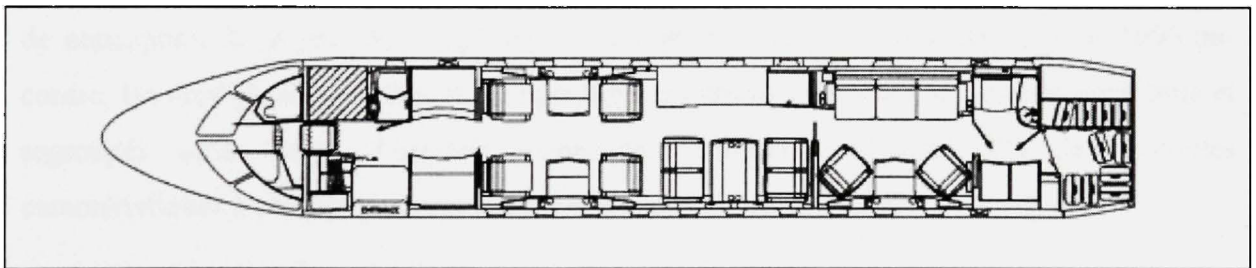


Figure 2.1 Exemple d'un plan d'aménagement d'un avion *Global*⁶.

Comme partout dans l'industrie aéronautique, l'environnement manufacturier que l'on retrouve au BiCCM est avant tout clientisé et leur produit est fait sur commande (*build-to-*

⁵ Bombardier inc. 2007. *Bombardier Aéronautique : Famille Bombardier Global*. En ligne. <www.bombardier.com>. Consulté le 24 janvier 2007.

⁶ Ibid.

order). Le contrat de vente d'un avion constitue le cahier de charge et renferme les spécifications du client, mais les spécifications de conception du manufacturier demeurent nécessaires afin de définir ce qui est faisable (Watts, 2000). Plus particulièrement, chaque configuration d'un aménagement intérieur est personnalisée selon l'approche d'adaptation sur commande (*engineer-to-order*), où une partie du produit final est configurée à partir d'ensembles de composants prédéfinis et réutilisables, alors que le reste des composants doit être créé pour répondre aux exigences spécifiques du client (Mesihovic et Malmqvist, 2000a).

Une des caractéristiques majeures qui différencient les programmes respectifs des deux modèles de la série *Global* demeure le niveau de personnalisation du produit, c'est-à-dire la proportion de la configuration du produit définie par l'ingénierie de conception incluant de nouveaux composants conçus spécifiquement afin de répondre aux exigences particulières du client. En effet, selon les estimations d'ingénieurs de conception, les avions de modèle *Global Express XRS* sont constitués en moyenne de 30% de nouveaux composants et de nouvelles installations exigeant leur propre phase développement, donc davantage d'efforts de conception de la part de l'ingénierie. Du côté des avions de modèles *Global 5000* par contre, les configurations définies comportent majoritairement des composants prédéfinis et regroupés sous forme d'options, comportant environ seulement 5% de nouvelles caractéristiques à chaque nouveau contrat d'aménagement d'avions.

Étant donné le contexte de recherche mis de l'avant, le département d'ingénierie ciblé par la recherche était celui de l'ingénierie de conception. Ces ingénieurs répartis en équipes selon leurs champs d'expertise, soit trois au sein du programme du *Global 5000* et en six au sein du programme du *Global Express XRS*, ont pour rôle de définir et de concevoir la configuration de chaque avion selon les exigences du client : ils sont responsables de la structure technique de l'exemplaire du produit. Entre autres, ils ont pour tâches de réaliser les études de faisabilité, de repérer les aménagements et/ou les composants réutilisables, de concevoir les nouveaux aménagements, de produire, livrer et modifier les dessins et les documents d'ingénierie, etc.

2.1.2 Problématique et objectif

Le processus de définition de la configuration est exécuté par l'ingénierie de conception au lancement d'un nouveau projet d'aménagement intérieur. Ce processus est fondamental au démarrage et à l'exécution du projet. Il a pour résultat de traduire et restructurer les exigences du client nouvellement validées et libérées en une représentation technique exploitable par l'ingénierie. Cette représentation constitue en fait la première représentation explicite de la structure du produit à réaliser, au sein de laquelle sont identifiés en grand nombre les premiers composants de sa configuration applicable. Elle est développée au sein de plusieurs documents intitulés *Indented Drawing Lists (IDL)*, ou listes indentées de dessins, dont un exemple simplifié est présenté à la figure 2.2. Rassemblés au sein d'un dossier portant le même nom, ces documents permettent de regrouper l'information technique utile à la planification et au démarrage de processus concourants au sein d'un même projet de finition, dont notamment la gestion de la configuration.

LEVEL 0	LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	DRAWING TITLE
GC998-0001				GENERAL ASSY AIRCRAFT COMPLETE, GREEN
	GM198-0001			WING COMPLETE
		GM319-0001		MAIN LANDING GEAR SYSTEM INSTL
		GM419-0001		FLIGHT CONTROL SYSTEM INSTL
		GM429-0001		FUEL SYSTEM INSTL
		GM439-0001		ECS SYSTEM INSTL
		GM469-0001		ANTI-ICE SYSTEM INSTL
		GM479-0001		HYDRAULIC SYSTEM INSTL
		GM598-0001		HARNESS INSTL
		GM119-1501		FUEL TANK ACESS COVER INSTL

L'indentation entre les numéros de dessins représente les liens parent/enfants.

Figure 2.2 *Exemple de liste indentée de dessins.*
(Bombardier inc., 2005)

Exécuté au lancement des nouveaux projets de finition d'avions *Global Express XRS*, le processus de définition de la configuration est un processus complexe impliquant un grand nombre d'intervenants. La présence de nombreuses opportunités d'amélioration⁷, jumelée à l'importance du processus dans la réussite de chaque projet de finition, ont ainsi motivé l'entreprise à vouloir renouveler son organisation et à améliorer son efficacité. Les acteurs du processus avaient d'ailleurs été sollicités afin d'identifier et d'ajuster, dans la mesure de ce qu'ils jugeaient opportun, certains aspects de leur propre exécution du processus. Pour le BiCCM, la prochaine étape consistait donc à coordonner toutes ses démarches isolées vers une exécution intégrée du processus de définition de la configuration. Notamment, une première avenue avancée par l'entreprise était de revoir la nature des directives, des normes et des instructions encadrant l'exécution du processus lors des projets de finitions *Global Express XRS* au sein de la documentation de référence du département d'ingénierie.

L'étude du processus de définition de configuration a donc pour mandat industriel la documentation et la modélisation du processus menant entre autres à la génération du dossier des IDL par l'ingénierie de conception. Les observations et résultats obtenus grâce à cette étude en milieu industriel seraient ainsi destinés à être exploités par l'entreprise lors de la mise en place de projets d'amélioration à court et à long termes. Il fut d'ailleurs entendu de proposer, à la conclusion de l'étude industrielle, une série d'avenues d'amélioration sur lesquelles baser d'éventuels projets, tout en considérant également les résultats des recherches scientifiques réalisées en marge de la collaboration, dans le cadre plus large du projet de recherche à la maîtrise.

⁷ Les contraintes de confidentialité établies avec le partenaire industriel nous empêchent d'être plus précis.

2.1.3 Limitations

L'étude du processus de définition de la configuration fut soumise à trois contraintes définies en prélude, permettant ainsi d'établir les limites du sujet de la recherche en milieu industriel.

2.1.3.1 Le programme de finition du *Global Express XRS*

Le processus de définition de la configuration exécuté lors des projets de finition d'avions de modèle *Global Express XRS* fut initialement identifié comme celui pouvant profiter le plus d'une attention particulière, notamment au niveau de son organisation et de sa documentation de référence. La direction du BiCCM exprimait toutefois la volonté de documenter les deux variantes du processus, c'est-à-dire l'équivalent du côté du programme *Global 5000* également. Il fut toutefois entendu de limiter la portée de l'étude au processus de définition de la configuration ayant cours au sein du programme du *Global Express XRS* et comportant un niveau supérieur de personnalisation. Toute information recueillie concernant le processus du programme *Global 5000* allait être traitée à titre de référence seulement afin de permettre ainsi l'analyse axée davantage vers l'opportunité d'amélioration plus importante au sein du programme de finition *Global Express XRS*, étant donné notamment le temps disponible pour effectuer le travail en milieu industriel.

2.1.3.2 La première version d'une IDL (rev.NC)

L'utilisation de l'information représentée au sein d'une IDL ne se limite pas à la simple exécution du processus étudié ici au cours d'un projet de finition. Elle s'étend plutôt sur plusieurs phases du cycle de vie d'un projet, de son lancement jusqu'à la libération finale de la configuration. En réalité, ce document et l'information qu'il contient évoluent à travers plusieurs statuts de maturité à la suite de leur exploitation au sein de plusieurs processus. Toutefois, le processus de définition de la configuration étudié ici n'implique que la création de la première version d'une IDL, identifiée « rev.NC » (« *revision: no change* »), ce qui place toute révision de la même IDL, majoritairement issue de changements majeurs d'ingénierie, hors contexte par rapport à l'étude.

2.1.3.3 L'évolution du processus de définition de la configuration

Même s'il a été documenté et modélisé dans le but subséquent d'être amélioré, le processus de définition de la configuration est demeuré un processus « vivant », c'est-à-dire qu'il a évolué avec le reste de l'entreprise, malgré le fait qu'il était sous observation. Qu'il s'agisse de projets d'amélioration concurrents ou d'actions correctives mineures déclenchées de manière isolée par les acteurs mêmes du processus, des changements sont survenus au sein du processus lors de l'étude. Afin de définir les limites « temporelles » du processus étudié, seuls les changements ayant été pleinement appliqués au processus au moment de l'observation ont été pris en compte. Tout autre changement au stade préliminaire ou faisant l'objet d'une requête a été négligé. En d'autres mots, l'état du processus étudié a été défini comme étant celui exécuté et donc observable durant les mois de juin, juillet et août 2006.

2.1.4 Méthodologie employée en industrie

La méthodologie suivante a été utilisée afin de répondre à l'objectif établi avec le BiCCM qui consistait à documenter et à modéliser le processus de définition de la configuration du programme *Global Express XRS*. Elle a permis d'organiser la cueillette d'information et de données très pertinentes au projet tels que la définition et la gestion de la configuration, ainsi que la gestion de la structure du produit, le tout dans le contexte d'un processus industriel.

Les étapes de cette méthodologie sont présentées dans cette section, soit la recherche préliminaire, l'enquête détaillée sur le processus, l'identification des processus clients et l'élaboration des recommandations d'actions correctives.

2.1.4.1 Recherche préliminaire

Avant d'entreprendre l'enquête sur le processus de définition de la configuration au BiCCM, il a d'abord été nécessaire de se familiariser avec les activités et les concepts techniques chez Bombardier Aéronautique en ce qui concerne la gestion de la configuration. Une recherche

préliminaire a donc été réalisée au Centre de compétences en gestion du cycle de vie des produits (*Product Lifecycle Management Competency Center, PLMCC*). De l'information sur plusieurs aspects a été recueillie, dont principalement sur le processus global de gestion de la configuration tel que documentée au sein des manuels du Système d'ingénierie de Bombardier (*Bombardier Engineering System, BES*) et parmi d'autres documents provenant de projets réalisés au PLMCC. Entre autres, suffisamment d'informations préliminaires ont été recueillies sur l'IDL, principal document du processus de définition de la configuration au BiCCM, dont l'utilisation est également répandue à travers l'organisation.

Cette recherche préliminaire a également permis de rassembler bon nombre de renseignements en lien avec le sujet de ce mémoire. Par exemple, il fut possible de recueillir les définitions de quelques concepts d'ingénierie de la compagnie, tels que les nomenclatures d'études (*engineering bill of materials, EBOM*) et de production (*manufacturing bill of materials, MBOM*), ainsi que la description des applications de modélisation en CAO et/ou en dessin assisté par ordinateur (DAO) et du SGDT faisant partie du système informatique au BiCCM.

2.1.4.2 Enquête sur le processus de définition de la configuration

Par la suite, lors des premières présences sur les lieux au BiCCM, le processus de définition de la configuration a fait l'objet d'une enquête approfondie, réalisée par l'entremise d'entrevues auprès des participants au processus. Une attention particulière était réservée à la décomposition du processus en activités et en informations élémentaires, ainsi qu'à l'identification d'outils ou de mécanismes propres au processus utilisés lors de certaines de ces activités. Toute pièce de documentation fournissant des directives sur le processus étudié était de plus recueillie dans le but subséquent de faire l'évaluation de la documentation de référence vis-à-vis le processus de définition de la configuration.

Cette phase des recherches a également impliqué le processus de définition de la configuration exécuté lors des projets d'aménagement intérieur des avions de modèle *Global*

5000, processus qui est pour sa part mieux documenté. Entre autres, des entrevues ont aussi été réalisées auprès de ses acteurs, en plus de consulter la documentation disponible sur le processus, de manière à recueillir des données comparatives pouvant être utilisées lors de l'analyse du processus relatif au programme *Global Express XRS*.

2.1.4.2.1 Entrevues auprès des participants

La tenue d'entrevues auprès des acteurs du processus s'est avéré une avenue de recherche intéressante afin de connaître l'impact de la documentation relative au processus de définition de la configuration du programme *Global Express XRS* sur son exécution. Ces entrevues ciblaient directement les ingénieurs impliqués dans l'exécution et la supervision du processus, tels que les chefs d'équipe et les chargés de projets en ingénierie de conception. Elles se basaient avant tout sur une série de questions empruntant un vocabulaire familier à l'organisation amenant les participants à fournir des réponses à la question de fond suivante, conceptualisée à la figure 2.3 : « Comment l'ingénierie de conception analyse-t-elle les exigences du client pour en arriver à définir la configuration d'une nouvelle variante du produit à l'aide d'une IDL lors du lancement d'un projet d'aménagement intérieur d'un avion? »

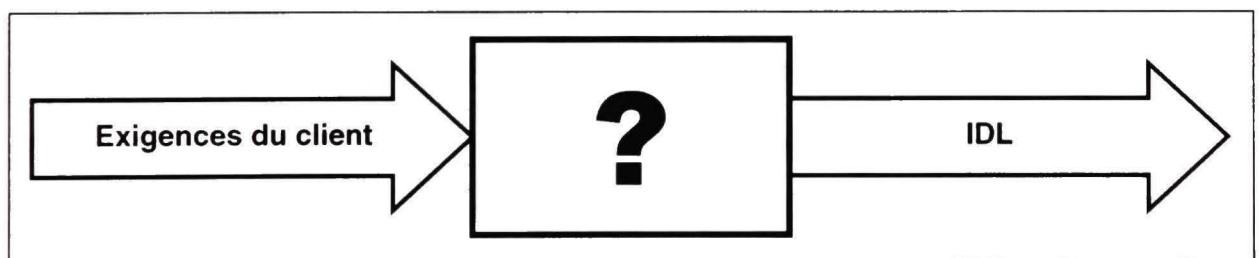


Figure 2.3 *Interrogation étudiée grâce aux entrevues.*

Lors de cette phase des recherches, quatorze entrevues furent réalisées sur deux rondes. Lors de chaque ronde, l'objectif était d'interviewer au moins un acteur du processus provenant de chacune des six équipes d'ingénierie de conception œuvrant aux projets du programme *Global Express XRS*, ainsi qu'au moins un acteur du processus ayant cours lors des projets du programme *Global 5000*. Préalablement à la deuxième ronde d'entrevues, un rapport

préliminaire (Brière-Côté, 2006a) présentant les résultats de la première ronde fut présenté à un comité technique de direction. Il fut également distribué aux participants de la première ronde afin de les encourager à formuler des commentaires sur les résultats, à soulever de nouvelles interrogations sur le processus, et/ou à compléter leurs réponses. Les réactions au rapport préliminaire devaient alors être recueillies lors de la seconde ronde d'entrevues.

La seconde ronde d'entrevues comprenait également une nouvelle série de questions adressées aux ingénieurs de conception concernant spécifiquement la gestion de la structure du produit depuis leur point de vue. Afin d'élargir le domaine de discussion au-delà de l'IDL et davantage vers la problématique plus abstraite des nombreuses représentations de la structure du produit au sein de leur environnement numérique de développement, il leur a été demandé de répondre à la question suivante : « Comment l'ingénierie de conception parvient-elle à représenter efficacement la structure du produit à la fois à l'aide de documents, en occurrence l'IDL, et au sein du système de gestion des données techniques, dont certaines applications telles que *Enovia LCA* possèdent des fonctionnalités liées à la gestion de la structure du produit, dans l'objectif de livrer les dessins d'ingénierie et de définir la configuration d'un nouvel aménagement intérieur? »

2.1.4.2.2 Modélisation du processus

Afin de structurer l'information recueillie lors des entrevues et d'obtenir un portrait du processus de définition de la configuration dans son intégralité, les modèles des deux variantes du processus (celle du *Global 5000* à titre comparatif) ont été développés selon la méthode de modélisation *IDEF0* (National Institute of Standards and Technology, 1993). Cette technique particulière a permis de concentrer l'analyse sur les éléments d'informations et les objets qui caractérisent l'occurrence unique de certaines activités. En plus de constituer des documents livrables dans le cadre de la collaboration, ces modèles ont permis de décomposer tout le processus menant aux IDL en plusieurs séries hiérarchisées de diagrammes de plus en plus détaillés décrivant les fonctions et les activités, ainsi que leurs

interfaces informationnelles, le tout dans le contexte des divers processus d'ingénierie au BiCCM.

2.1.4.3 Identification des processus clients

À cette étape de l'étude sur le processus, l'objectif fut d'identifier ses clients, c'est-à-dire tout processus exécuté par un ou des départements, y compris l'ingénierie de conception, qui dépend des IDL à un moment ou un autre durant un projet d'aménagement d'avion. Une fois identifiés, les responsables de ces processus requérant les IDL comme intrant pouvaient alors en fournir une description sommaire. Il fut ici considéré important d'étudier non seulement l'exécution du processus de définition de la configuration, mais également l'importance de ses livrables par rapport à l'ensemble des processus de l'entreprise, puisque la valeur d'un processus spécifique est souvent évaluée à travers la qualité et l'utilité de ce qu'il produit.

Donc, en complément aux informations recueillies lors de la seconde ronde d'entrevues auprès d'ingénieurs de conception, une troisième et dernière ronde d'entrevues fut réalisée afin d'identifier et d'interroger les acteurs des processus clients au processus de définition de la configuration. Un acteur de chaque processus client utilisant les IDL fut invité à fournir de la documentation de référence concernant son processus et à répondre à la question suivante : « Comment exploitez-vous les IDL et influencez-vous leur évolution lors de l'exécution de vos propres processus? »

Encore une fois, quelques questions concernant la gestion de la structure du produit ont été ajoutées à la troisième ronde d'entrevues. Afin de bien documenter le développement et l'utilisation du MBOM au BiCCM, ces questions supplémentaires étaient spécifiquement dirigées vers les participants du bureau des méthodes. Ils ont ainsi fourni de l'information sur le processus exploitant la configuration applicable représentée entre autres au sein du dossier des IDL pour développer la nomenclature de production pour un projet d'aménagement intérieur.

2.1.4.4 Avenues d'amélioration

Enfin, dès que l'enquête fut terminée, l'information recueillie et le processus modélisé, des recommandations d'actions correctives ont pu être développées et présentées à la direction du BiCCM, ainsi qu'aux acteurs du processus de définition de la configuration, par l'entremise d'un second rapport (Brière-Côté, 2006b; 2006c). Chaque recommandation présentée à la compagnie était appuyée par un concept d'ingénierie provenant de la littérature scientifique pour ainsi apporter un point de vue plus théorique à la réalité pratique et demeurer dans le contexte de ce mémoire.

Une première série de recommandations visait d'abord à suggérer des actions correctives simples et logiques à appliquer à court terme au sein du processus de définition de la configuration, de manière à supporter les projets d'amélioration en cours à travers le département d'ingénierie au BiCCM. En fait, elles devaient éventuellement être mises en application par les gens du BiCCM à la conclusion des observations en milieu industriel. Puis, une seconde série de recommandations a été développée, cette fois dans l'objectif d'être abordée à plus long terme, ciblant principalement l'environnement hétérogène de développement numérique au BiCCM.

2.2 Compte-rendu des observations

Cette section du second chapitre présente un compte-rendu détaillé des observations réalisées en milieu industriel, principalement sur le sujet du processus de définition de la configuration. Elle débute par un portrait général du système informatique en place au BiCCM tel que vu depuis le domaine d'activités de l'ingénierie de conception. L'identification et la description des composants du système de gestion des données techniques de l'entreprise permettent tout d'abord de placer le processus étudié en contexte avec les outils informatiques qui le supportent. La section se poursuit ensuite avec une description rigoureuse des différentes caractéristiques du processus de définition de la configuration tel qu'observé en entreprise, majoritairement grâce aux séries d'entrevues. On prolonge le compte-rendu des observations avec la description des processus clients, c'est-à-

dire les processus suivant le processus étudié qui exigent un ou plusieurs de ses livrables pour pouvoir débiter. Finalement, la section se termine par une analyse préliminaire de la situation du processus, certains aspects ayant été directement identifiés par les acteurs du processus.

2.2.1 Description du système informatique

Au département d'ingénierie de conception du BiCCM, le système informatique se divise en trois groupes d'applications : les outils de CAO/DAO, le SGDT, et le PGI. La figure 2.4 présente schématiquement une vue d'ensemble du système informatique tel qu'observé lors de l'étude.

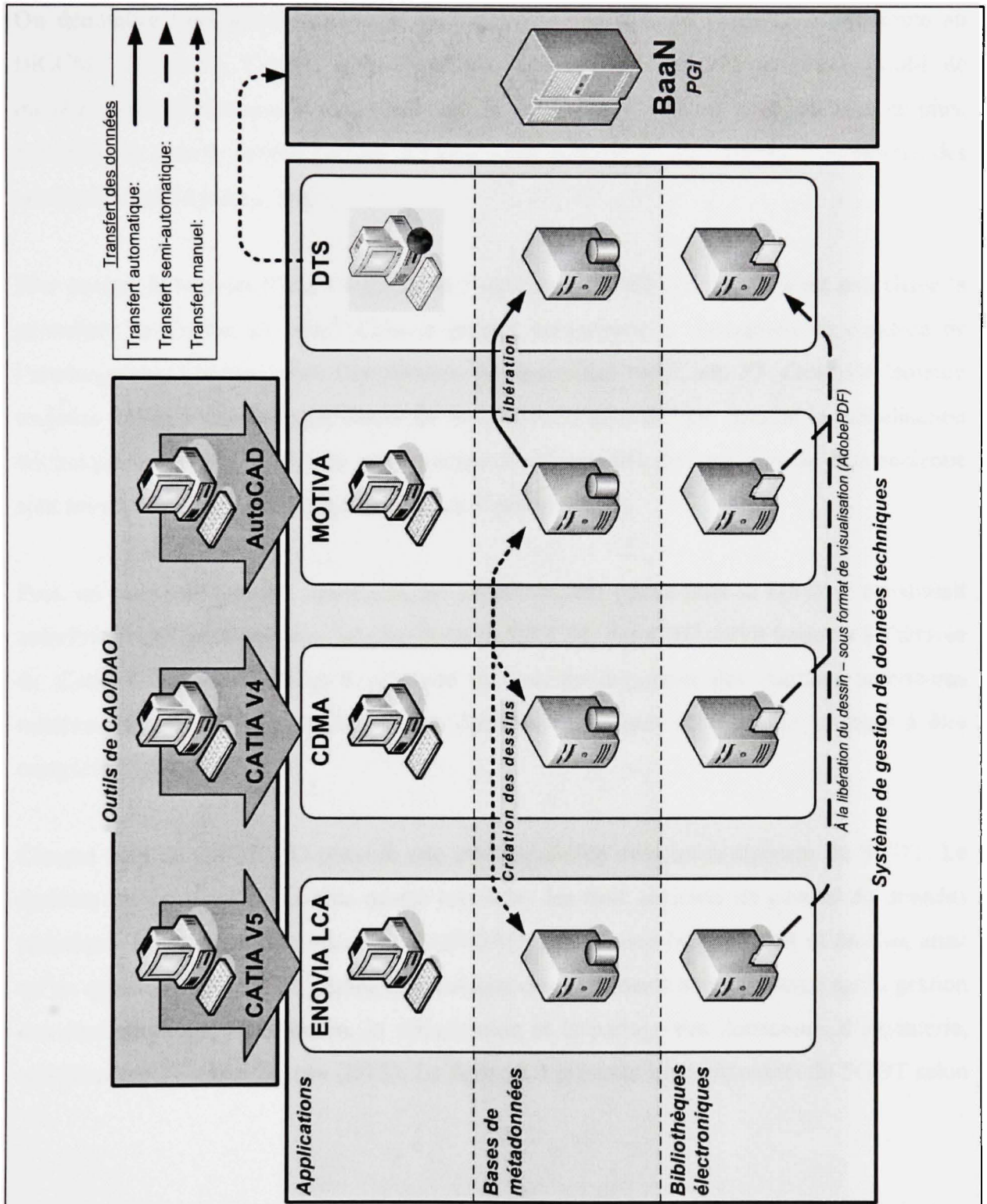


Figure 2.4 *Vue d'ensemble du système informatique au département d'ingénierie de conception du BiCCM.*

On dénombre trois principaux outils de CAO/DAO au sein du système informatique au BiCCM : *Catia V5*, *Catia V4* et *AutoCAD*. Le logiciel *Catia V5* constitue l'outil de modélisation géométrique le plus récent utilisé par le BiCCM. Il est utilisé de plus en plus, par exemple, pour le développement des maquettes numériques, des dessins d'ingénierie, des nomenclatures de pièces, etc.

Plus ancien, le logiciel *Catia V4* constitue l'application CAO avec laquelle est modélisée la géométrie de l'avion de base⁸. Celle-ci permet notamment la conception en contexte de l'aménagement intérieur après l'exportation des maquettes vers *Catia V5*. *Catia V4* demeure toujours utilisé à des fins spécifiques de modélisation géométrique comme la modélisation surfacique avancée, étant donné que certaines fonctionnalités de cette version plus ancienne sont mieux maîtrisées par les concepteurs de l'entreprise.

Puis, un troisième logiciel, *AutoCAD*, est lui strictement utilisé pour le DAO. Il constituait autrefois l'outil principal pour la conception au BiCCM. *AutoCAD* survit toujours à l'arrivée de *Catia V5* étant donné qu'il supporte un volume important des données antérieures relatives au produit. Le transfert de ces données vers *Catia V5* demeure toujours à être complété.

Chaque outil de CAO/DAO possède une interopérabilité avec un composant du SGDT. Le système est composé en tout de quatre logiciels : les trois logiciels de gestion de données techniques en relation avec les outils CAO/DAO, soit *Enovia LCA*, *CDMA* et *Motiva*, ainsi qu'un quatrième logiciel de gestion électronique des documents axé davantage sur la gestion des configurations, l'indexation, la visualisation et la partage des documents d'ingénierie, soit *Drawing Tracking System (DTS)*. La figure 2.4 présente les composants du SGDT selon

⁸ L'avion de base ("*Green*" Aircraft) constitue l'avion de départ autorisé pour le vol et livré au BiCCM depuis une autre usine de BA pour être personnalisé selon les exigences du client : il ne comporte aucune finition.

trois niveaux élémentaires de fonctionnalités que Sääksvuori et Immonen (2004) décrivent ainsi :

- La **bibliothèque électronique** constitue le système central de classement des données techniques entreposées au sein de fichiers informatiques, telles les maquettes numériques et les dessins d'ingénierie, et ce à différents états de maturité.
- La **base de métadonnées**, essentielle au maintien de la structure du système, doit manipuler les relations entre les nombreuses données sur le produit, la structure de l'information et les règles et principes nécessaires pour assurer l'enregistrement systématique de l'information. Les métadonnées sont des données sur des données : elles décrivent les données techniques produites à l'aide des différentes applications du système informatique.
- L'**application** constitue l'interface avec l'utilisateur, gère l'interopérabilité avec d'autres logiciels, en occurrence les outils de CAO/DAO, et exécute les fonctions de gestion de la bibliothèque électronique et de la base de métadonnées.

Cette décomposition du SGDT en trois niveaux permet notamment de distinguer les différents transferts d'information au sein même du système. Dans la majorité des cas, le transfert d'information entre les différents composants nécessite l'intervention de l'utilisateur, qu'elle soit partielle (transfert semi-automatique) ou totale (transfert manuel). Par exemple, les métadonnées relatives aux dessins d'ingénierie gérées au sein d'*Enovia LCA* et *CDMA*, ou plus précisément les fiches signalétiques⁹ comme les nomme Maurino (1993), doivent être recréées manuellement dans *Motiva* pour éventuellement accompagner un document libéré vers DTS. Au niveau des échanges de données au sein des bibliothèques électroniques, les transferts se font d'ailleurs uniquement vers DTS à la libération des dessins d'ingénierie et ce sous la forme de fichiers de visualisation *Adobe PDF*.

⁹ Information structurée, la plupart du temps sous la forme d'attributs, identifiant le dessin d'ingénierie, décrivant son état de maturité, son origine, son contenu, etc.

DTS constitue le principal point d'accès à l'information technique pour le centre de finition, puisqu'on y répertorie et gère systématiquement toute la documentation libérée relative aux projets et aux configurations clients du produit. Encore une fois transférées manuellement, les données techniques relatives au produit transitent finalement du SGDT via DTS vers le PGI, où elles seront exploitées au sein de la structure de fabrication entre autres par le bureau des méthodes, les départements de logistique, de production et d'assurance qualité.

En annexe I, un ensemble de cinq figures décrit plus en détails le système informatique tel qu'observé au département d'ingénierie du BiCCM. Cet ensemble comprend notamment des figures décrivant graphiquement chacun des trois groupes d'applications du système, et détaillant le rôle et les interactions des composants du SGDT selon chaque fonctionnalité élémentaire.

2.2.2 Le processus de définition de la configuration

Pour les projets de la plateforme *Global Express XRS*, le processus de définition de la configuration est exécuté de manière concourante par les six équipes composant l'ingénierie de conception. Ces équipes de conception, possédant chacune un champ de compétences relatif à l'aménagement intérieur des avions d'affaires (avionique, systèmes mécaniques, sièges, cloisons et ameublement, revêtement intérieur, et installation mécanique), ont pour mandat, en exécutant ce processus, de définir la configuration applicable des systèmes et des installations dont ils ont la responsabilité. Il en résulte une configuration partiellement définie en six parties plus ou moins reliées entre elles, chacune d'elles étant décrites par une IDL. Le processus porte d'ailleurs, à l'intérieur de l'entreprise, le nom informel de « *IDL process* » ou « processus de l'IDL », ce document d'ingénierie constituant le principal livrable du processus de définition de la configuration.

Selon ce qu'en dit un document interne du BiCCM (BiCCM, 2003f), le premier objectif du processus de définition de la configuration est de fournir une vue claire et structurée du

savoir-faire relatif au produit pouvant être réutilisé au sein de la nouvelle configuration de l'aménagement intérieur d'un avion. Il vise également à mettre en évidence les tâches de développement nécessaires pour compléter la configuration applicable, tâches qui peuvent par la suite être planifiées au sein du projet. Son exécution favorise d'ailleurs l'ingénierie concourante, car elle fournit une représentation de l'étendue du travail à accomplir aux départements des méthodes et de la production, ainsi qu'aux groupes de certification, ce qui leur permet de planifier en avance l'exécution de leur propres processus. En fait, il fournit de l'information précieuse pour la gestion du projet de finition.

Cette section présentera d'abord une description détaillée des intrants du processus, soit les documents et leurs éléments d'informations qui permettent de définir une configuration. Ensuite, les livrables du processus seront décrits, dont le document intitulé IDL. La description du processus en tant que tel suivra enfin grâce à un récit sommaire de son exécution.

2.2.2.1 Intrants du processus

Préalablement au lancement d'un projet de finition, l'entreprise, par l'entremise de son département d'ingénierie de définition, s'affaire à concevoir et proposer au nouveau client, avec qui elle a conclu une entente pour la vente d'un ou plusieurs avions, un aménagement intérieur répondant à ses exigences. Cette nouvelle conception est alors décrite grâce au dossier de conception formé de trois types de documents : la spécification du produit, l'énoncé des travaux et les plans d'aménagement. Ce sont ces trois documents qui, une fois libérés à la suite de leur validation finale par le client, permettent à l'ingénierie de gestion de projets de lancer ce nouveau projet de finition en commandant, entre autres, la définition de la nouvelle configuration de l'aménagement intérieur.

La spécification du produit, l'énoncé des travaux et les plans d'aménagement constituent ainsi les intrants du processus de définition de la configuration, car ils font état de ce qui est attendu par le client de la nouvelle variante personnalisée du produit. Cette conception

spécifique au client, bien que complète, demeure toutefois difficilement exploitable par l'ingénierie, puisqu'elle est représentée à ce stade par plusieurs documents, non sans redondance, qui la décrivent davantage selon un langage contractuel compréhensible par le client qu'à l'aide d'un langage technique : d'où la nécessité du processus étudié ici. Les trois prochains paragraphes serviront à décrire sommairement chacun des trois types de documents formant le dossier de conception spécifique au client.

2.2.2.1.1 La spécification du produit

La spécification du produit, ou *Completion Specification*, est un document unique volumineux définissant les exigences techniques et administratives, en plus du travail à accomplir pour la conception, la fabrication, l'installation, l'intégration, l'essai et la certification de l'aménagement intérieur d'un avion. Il est structuré par chapitres au sein desquels sont décrits textuellement les différents systèmes mécaniques et électriques de l'avion, l'aménagement des sections de la cabine, les listes d'équipements, ainsi que d'autres caractéristiques de la conception personnalisée selon les choix du client. Aucun schéma ou image n'est disponible pour appuyer la description textuelle des spécifications : il faut se référer aux différents plans d'aménagement pour obtenir des données visuelles de la conception spécifique au client. De plus, plusieurs caractéristiques du produit y sont énumérées plus d'une fois, comme par exemple les composants d'éclairage qui sont cités à la fois au sein des chapitres sur l'éclairage et sur l'aménagement de la cabine principale.

2.2.2.1.2 Énoncé des travaux

L'énoncé des travaux, ou *Statement of Work*, est un second document unique énumérant la sélection des options prédéfinies, ainsi que toutes déviations requises par le client par rapport aux spécifications de référence et/ou aux options prédéfinies du modèle d'avion. En d'autres mots, il permet d'identifier les choix particuliers du client pour la nouvelle conception séparément du reste des caractéristiques de base du produit. On y classe également les nouveaux composants requis par le client selon leur impact sur le travail à accomplir, allant des changements mineurs à la configuration, aux nouveaux équipements ou aux changements

architecturaux majeurs nécessitant un effort de développement important. Ce document est d'ailleurs transmis aux fournisseurs-partenaires afin de leur communiquer la définition de leur part de responsabilité dans la réalisation du nouveau projet. Les descriptions qu'on y retrouve sont toutefois très sommaires. Chaque caractéristique spécifique au client énumérée dans l'énoncé des travaux est accompagnée d'une référence au numéro du chapitre de la spécification du produit au sein de laquelle elle est décrite plus en détails.

2.2.2.1.3 Plans d'aménagement

Les dessins ou plans d'aménagement sont des dessins d'ingénierie représentant les besoins de développement en conception. Selon la norme ASME Y14.24M-1989 de la *American Society of Mechanical Engineers* (ASME, 1989), ils sont similaires aux dessins de détail, d'assemblage ou d'installation à l'exception qu'ils présentent des données picturales, de notation ou dimensionnelles dans la mesure de ce qui est nécessaire pour transmettre la solution de conception utilisée pour la préparation des autres dessins d'ingénierie. De plus, ils n'établissent pas la numérotation des items qu'ils représentent, bien qu'ils en estiment la quantité préalablement au travail de conception. Pour chaque conception spécifique à un nouveau client, on retrouve plus d'une vingtaine de plans représentant chacun une partie spécifique de l'aménagement intérieur. Leur numéro, titre et révision sont énumérés au sein d'une liste annexée à la spécification du produit.

2.2.2.2 Livrables du processus

Le processus de définition de la configuration produit deux livrables en deux temps, c'est-à-dire qu'un premier livrable est obtenu avant la toute fin du processus, alors que l'obtention du dernier marque la fin du processus en tant que tel. Le premier livrable est, comme il a déjà été mentionné précédemment, le dossier comprenant les six IDL, soit une par équipe de l'ingénierie de conception. Le second livrable, pour sa part, résulte du premier. Il s'agit d'index de dessins, six plus précisément puisque chaque index correspond à une IDL. Ces index sont libérés au sein du SGDT de l'entreprise, plus précisément au sein de la base de métadonnées du logiciel DTS utilisé comme outil de gestion de la configuration. Ces index

représentent, au sein du système informatique, la définition de la nouvelle configuration grâce à la structure de dessins définie par les IDL.

2.2.2.2.1 Indented Drawing List

L'*Indented Drawing List* (IDL) est un document d'ingénierie validé établissant la décomposition systématique de l'ensemble des données d'ingénierie requises pour permettre la réalisation d'une configuration personnalisée donnée d'un aménagement intérieur pour un avion. Toutefois, ce document ne constitue pas une nomenclature, comme le concept de décomposition du produit pourrait le laisser sous entendre. Il définit plutôt les livrables d'ingénierie requis par la suite pour définir la nomenclature de fabrication du produit (BiCCM, 2005). En d'autres mots, dès leur validation, les premières versions (rev.NC) de chacune des six IDL constituent les premiers documents d'ingénierie définissant la nouvelle configuration applicable de l'exemplaire personnalisé. On s'en sert pour autoriser les autres processus, en occurrence la planification de la fabrication, à utiliser les données d'ingénierie telles que représentées au sein des dessins, des *engineering orders* (EO), des *non-incorporated engineering orders* (NIEO) et autres documents qu'elles énumèrent.

Normalement, comme c'est le cas au sein du programme *Global 5000*, l'IDL est un document devant être validé par l'ingénierie de conception, puis obligatoirement libéré pour en autoriser la diffusion et l'usage au sein de l'entreprise. Toutefois, la première version validée de l'IDL, identifiée ici comme le premier de deux livrables du processus de définition de la configuration du programme *Global Express XRS*, ne fait pas l'objet de restrictions sévères sur sa diffusion et son usage. Contrairement au programme *Global 5000*, le document est rendu disponible dès sa validation par l'ingénierie de conception et est utilisé aussitôt par les différents acteurs du projet. Éventuellement, l'IDL est libérée au même titre que tous les documents d'ingénierie. Cependant, puisque sa libération n'est pas conditionnelle à l'exécution des processus concourants ou subséquents au processus de définition de la configuration, il est juste de préciser que le réel livrable du processus, soit

l'IDL rev.NC validée, mais non libérée, est un document qui n'a pas atteint sa pleine maturité.

Essentiellement, l'IDL est une liste contenant les numéros et les titres des dessins, ainsi que leurs relations parent-enfants respectives, relatifs à un projet spécifique pour chacune des six équipes de l'ingénierie de conception (BiCCM, 2005). Quatre types de dessins d'ingénierie sont principalement énumérés dans une IDL : les dessins d'installation, les dessins d'ensemble, les dessins de détail, ainsi que les dessins d'assemblage général, ou *General Assembly (GA) drawings*. La figure 2.5 présente la hiérarchie typique de ces types de dessins. Cette hiérarchie des dessins est représentée au sein de l'IDL grâce à l'indentation des éléments énumérés.

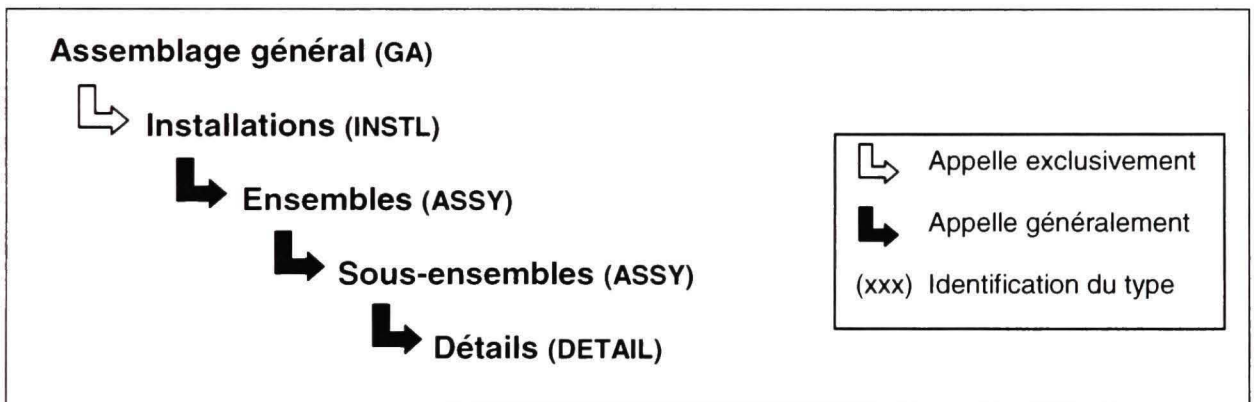


Figure 2.5 *Hiérarchie typique des types de dessins au sein de l'IDL.*
(BiCCM, 2003f)

Les dessins d'assemblage général constituent le premier niveau de la structure de dessins et présentent la disposition physique des différentes installations au sein du produit final. Au sein de leur nomenclature, ils n'interpellent que des dessins d'installations identifiés par leur numéro suivi d'un suffixe identifiant la configuration applicable de l'installation.

Les dessins d'installations présentent quant à eux la configuration générale et toute l'information nécessaire au positionnement et à l'installation d'éléments sur leur structure porteuse, leurs éléments adjacents ou associés (ASME, 1989). Ceux-ci sont très utilisés dans le contexte de l'aménagement intérieur d'avion, où l'avion de base constitue la principale

structure porteuse. L'information qu'ils contiennent peut inclure des données dimensionnelles, des données de contrôle d'interface, des descriptions d'éléments de quincaillerie, ainsi que de l'information générale sur la configuration utile à l'installation. Ils fournissent également de l'information d'installation détaillée pour des éléments avec liens fonctionnels, tel un système de contrôle, électrique ou hydraulique, qui ne peut être présentée efficacement sur un dessin d'ensemble (Bombardier inc., 2004b).

L'IDL est développée dans des tableaux à partir d'un gabarit standard lui-même développé à l'aide du logiciel *Microsoft Excel*. Les numéros et titres de dessins qui y sont énumérés sont également accompagnés d'informations complémentaires sous la forme d'une série d'attributs disposés en colonnes. Chaque liste est généralement divisée en plusieurs sections, soit une par feuille de calcul, regroupant chacune un sous-ensemble d'éléments de finition et formant le premier niveau de décomposition de la structure des dessins énumérés.

Le gabarit standard de création pour une IDL n'est toutefois pas commun à toute l'ingénierie de conception. En effet, malgré qu'il fût mentionné à plusieurs reprises lors de l'étude qu'un gabarit standard avait autrefois été développé, maintenu et utilisé par l'ingénierie de conception, il a plutôt été observé que chaque équipe de conception possédait son propre gabarit. Ces gabarits personnalisés sont l'agrégation de plusieurs modifications apportées au gabarit autrefois standard par chacune des équipes de conception afin de mieux répondre à leurs besoins particuliers en ce qui a trait à la description et au nombre des attributs caractérisant les dessins énumérés. Il en résulte par conséquent une hétérogénéité parmi les six IDL d'un même dossier. Malgré tout, l'étude de ces six gabarits divergents a permis d'identifier un total de quinze attributs décrivant de manière générale chaque élément énuméré dans la liste. La description de chacun de ces attributs, ainsi que le titre de la colonne correspondante au sein des gabarits, est présentée au sein du tableau 2.1. Ce décompte n'inclut toutefois pas cinq autres attributs recensés à une seule reprise au sein des gabarits d'IDL. L'information que contiennent ces attributs n'est d'ailleurs utilisée qu'au sein d'activités spécifiques aux équipes de conception qui la définissent.

Tableau 2.1

Description des attributs de dessins recensés au sein des IDL

Titre de colonne	Description de l'attribut
Niveau 1, 2, ...	Le numéro du dessin est positionné dans la colonne de l'un des niveaux en fonction de ses relations parent-enfants au sein de la décomposition hiérarchique des dessins.
Titre	Titre du dessin.
Type	Type de dessin (ex. : installation, assemblage, détail, etc.)
Code	Code de classification d'un dessin, attribué en fonction de la nature de la tâche de conception qui lui est associée : (1) = Dessin récurrent (aucune modification); (2) = Modification d'ingénierie (EO/NIEO/Révision); (3) = Nouveau dessin; (4) = Dessin en référence (relations avec les autres IDL); (5) = Nouveau dessin en référence (ex. : pièces achetées).
Rév. Doc.	Identification de la révision du dessin.
EO/NIEO	Numéro(s) de document(s) définissant un ou des changements permanents (EO) ou temporaires (NIEO) affectant le dessin auquel ils sont associés.
Groupe resp.	Équipe d'ingénierie de conception responsable de la tâche de conception associée au dessin.
Heures	Estimation grossière du délai nécessaire à l'ingénierie de conception pour l'exécution de la tâche de conception associée au dessin.
INSTL	Numéro(s) d'article(s) identifiant le ou les articles devant être ajouté(s) à la nomenclature de l'ensemble de niveau immédiatement supérieur. <i>Note: Au BiCCM, un dessin récurrent peut définir plusieurs articles, assemblages ou installations, chacun identifié par un suffixe (numéro d'article) ajouté au numéro du dessin et séparé par un trait d'union : la règle « une pièce, un dessin » ne s'applique que depuis peu.</i>
Quantité	Quantité de l'article requis dans la nomenclature de l'ensemble de niveau immédiatement supérieur.
E-ITEM	Référence identifiant l'échéancier technique au sein duquel sera gérée la tâche de conception associée au dessin d'ingénierie.

Tableau 2.1

Description des attributs de dessins recensés au sein des IDL (suite)

Titre de colonne	Description de l'attribut
MOD	Référence identifiant la section de la structure de l'avion définie pour des besoins de production et de certification et associée au dessin.
GX réf.	Numéro de dessin faisant référence à l'ancien programme <i>Global Express</i> .
Commentaires	Champ libre; parfois utilisé pour identifier le format d'un nouveau dessin.
Rév. Index	Identification de la révision de l'IDL à laquelle une modification par rapport à l'élément énuméré a été incorporée; vide à la première version (rev.NC).

L'information inscrite au sein de l'IDL comme attributs décrivant les dessins provient généralement de trois sources : le dossier de conception, l'ingénieur et les dessins récurrents eux-mêmes. En effet, pour certains attributs comme l'identification de l'équipe responsable ou les numéros 'E-ITEM' ou 'MOD', la structuration du document de la spécification du produit par systèmes et sections de la cabine permet d'identifier correctement le champ de compétences relatif au dessin d'ingénierie. L'ingénieur de conception doit également générer de nouvelles données sur les dessins, surtout lorsqu'il s'agit de nouveaux livrables pour un projet qui débute, comme les titres des dessins et l'estimation des heures de travail. Quant à d'autres attributs comme la quantité de pièces et les numéros d'articles, ils constituent en réalité une fenêtre sur une partie de l'information comprise au sein des dessins récurrents : l'information est tout simplement reproduite au sein des IDL. Lorsqu'il est impossible d'avancer des données pour les nouveaux dessins avant leur développement, l'ingénieur préfère alors s'abstenir et laisse les attributs vides.

2.2.2.2.2 Index des dessins

Le second livrable du processus de définition de la configuration est l'ensemble des index de dessins obtenus à la suite de la libération, au sein du SGDT, de la définition de la configuration représentée par les IDL. Ces index présentent en fait la même information que les IDL, soit toute la documentation décrivant la configuration applicable d'un projet. Ils sont identifiés à l'aide du même numéro de document et ont en dénombre autant qu'il y a d'IDL, soit un pour chaque champ de compétences en ingénierie de conception. Il s'agit ici plutôt d'une évolution du support de l'information, passant de simples tableaux édités vers des listes interactives au sein d'un logiciel de gestion électronique des documents (GÉD) comme DTS. Ce logiciel a pour principale fonctionnalité la création et la gestion de l'information relative à ces index.

En effet, les index de dessins demeurent des listes structurées, mais dont chaque élément est dorénavant une entrée de base de données représentant un document d'ingénierie valide et libéré. Créés manuellement, ces index n'énumèrent que deux classes de dessins d'ingénierie énumérés par les IDL : les dessins récurrents, déjà gérés au sein du SGDT et pouvant être libérés sans modification pour définir la nouvelle configuration (code 1), et les nouveaux dessins qui devront être développés (code 3). Étant gérés par un logiciel spécifique à la GÉD au sein du SGDT, les index permettent de visualiser et d'imprimer les documents d'ingénierie qu'ils énumèrent, à la condition que ces documents possèdent un fichier de visualisation sous format standard *Adobe PDF* entreposée dans la bibliothèque électronique du logiciel. À la fin du processus, les nouveaux dessins sont répertoriés au sein de ces index, mais ils ne sont évidemment pas accessibles, puisqu'inexistants.

Chaque entrée de la base de données de DTS, représentant un document libéré, est répertoriée par un index de dessins et accompagnée de cinq attributs complémentaires au numéro du document qui identifie l'entrée. Ces attributs sont respectivement la description ou le titre du document, l'identification de la révision du document en vigueur pour la définition de la configuration applicable du produit, le numéro 'MOD' correspondant (réf.

tableau 2.1), la date de sa libération, ainsi que la liste des numéros d'articles à inclure dans la nomenclature. L'information répertoriée dans un nouvel index provient de deux sources, soit le SGDT et l'IDL, selon qu'il s'agisse de répertorier un dessin récurrent ou un nouveau dessin. Lorsqu'il s'agit d'un dessin récurrent, l'information contenue dans les attributs, en plus du lien vers la copie de visualisation dans la bibliothèque électronique, est localisée manuellement à partir des bases de métadonnées de Motiva et de DTS et copiée automatiquement à l'index. Seule la liste des numéros d'articles, spécifique à la nouvelle configuration, est retranscrite de l'IDL vers DTS. Lorsqu'il s'agit d'une nouvelle entrée pour un nouveau dessin, seuls le numéro, le titre et le numéro 'MOD' du dessin sont retranscrits à l'index de dessins depuis l'IDL.

Essentiellement, l'ensemble des six index de dessins au sein de DTS établit le point de départ vers le rassemblement graduel de la configuration applicable de la variante. Les index seront par la suite développés progressivement durant le cycle de vie du projet de finition à partir de données validées par l'ingénierie. Au dernier stade du projet, leur union mène à la création de la *master drawing list* (MDL), ou liste maîtresse de dessins, un document établissant l'état final de la configuration applicable en vue de sa validation par le contrôle de la qualité et l'obtention du certificat de navigabilité de l'avion (BiCCM, 2003f).

2.2.2.3 Déroulement du processus

Sommairement, le processus de définition de la configuration est exécuté en trois principales étapes. Il débute d'abord quelques semaines avant le lancement d'un nouveau projet de finition par l'ingénierie de gestion de projets, soit durant la participation de l'ingénierie de conception au processus de validation du dossier de conception spécifique au client. Ensuite, après que le dossier de conception ait obtenu l'approbation du client et de l'entreprise, le projet est lancé et le dossier maintenant libéré est distribué aux six équipes de conception afin de leur permettre de définir la nouvelle configuration par la création de leur IDL respectif. Enfin, une fois les listes de dessins terminées, la troisième étape est entreprise, soit celle menant à la libération de la définition de la nouvelle configuration représentée au sein des

IDL. La figure 2.6 résume schématiquement le déroulement du processus de définition de la configuration du point de vue d'une équipe de conception à la fois.

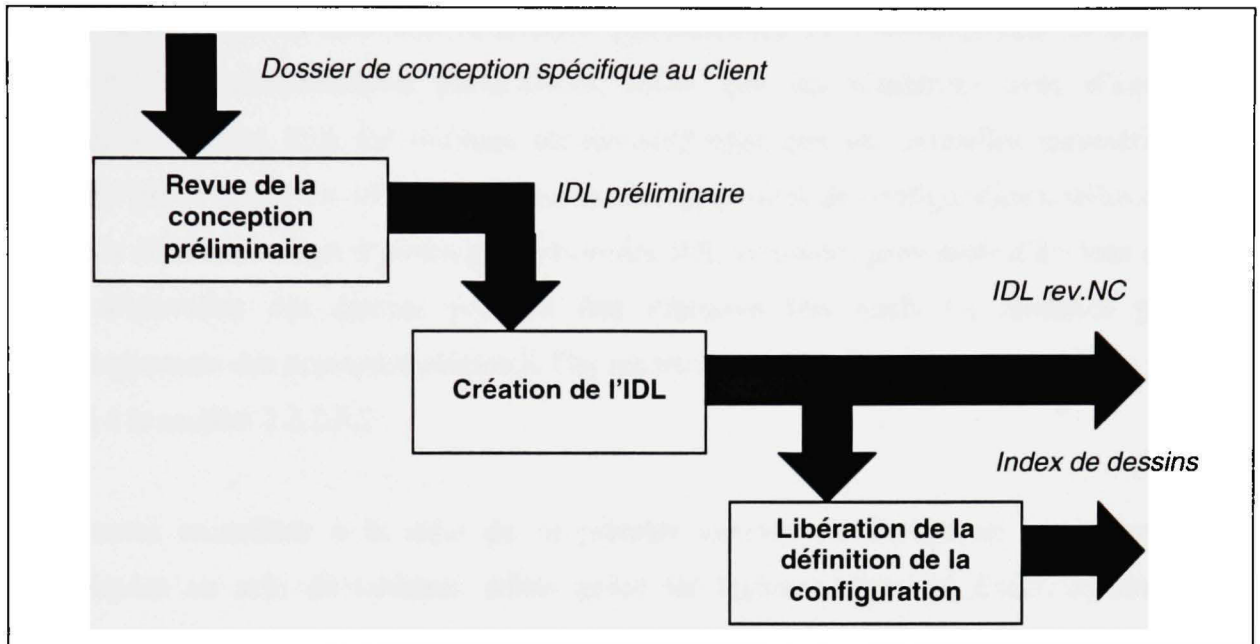


Figure 2.6 *Déroulement du processus de définition de la configuration.*

2.2.2.3.1 Revue de la conception préliminaire

L'ingénierie de conception entre en possession du dossier de conception spécifique au client pour la première fois à l'approche de la revue de conception préliminaire ou *preliminary design review* (PDR). Il s'agit d'une rencontre multidisciplinaire impliquant entre autres des ingénieurs de définition en contact avec le client, des ingénieurs de conception, des gestionnaires du projet, des agents du bureau des méthodes, etc., tenue dans le but de valider d'un point de vue technique le dossier de conception spécifique au client. Les chargés de projet de chacune des six équipes de conception se voient alors transmettre une ébauche du dossier de conception afin d'en faire la revue et la vérification. Ils évaluent notamment la faisabilité de la conception spécifique au client, ainsi que la charge de travail technique. Les résultats de ce premier examen de la conception doivent par la suite être communiqués à l'occasion du PDR.

La disponibilité du dossier de conception spécifique au client avant le lancement du projet, bien qu'au stade d'ébauche, permet aux six chargés de projet de l'ingénierie de conception de débiter le processus de définition de la configuration. Il leur est possible d'examiner pour une première fois la nouvelle conception personnalisée de l'aménagement et d'en faire ressortir les caractéristiques particulières, telles que les similarités avec d'anciennes conceptions ayant déjà été définies ou réalisés, ainsi que les nouvelles caractéristiques exigées par le client. On utilise, entre autres, des répertoires de configurations, telles que des recueils d'anciens plans d'aménagement ou des IDL archivées provenant d'anciens projets, afin d'identifier des dessins pouvant être réutilisés tels quels ou modifiés pour le développement des nouveaux éléments. Ces répertoires de configurations sont décrits plus en détail à la section 2.2.2.3.2.

Les notes recueillies à la suite de ce premier examen du dossier de conception sont regroupées au sein de tableaux édités grâce au logiciel *Microsoft Excel*, tableaux qui deviendront par la suite une IDL. En effet, on prend à cette étape le soin de créer sur le réseau local le fichier pour la nouvelle IDL, à partir soit d'une copie du gabarit standard ou d'une copie d'une ancienne IDL. Une ancienne IDL est choisie si la conception qu'elle décrit s'apparente à la nouvelle conception spécifique au nouveau client. Ceci permet d'en récupérer le plus d'information possible. On y note du même coup les résultats de la revue de la conception préliminaire de manière à pouvoir les exploiter lorsque le dossier de conception sera libéré et que le projet sera lancé. Le dossier de conception n'est qu'une ébauche à ce stade du processus : il est donc sujet aux changements provenant de nouvelles exigences du client. L'information accumulée lors de cette première étape au sein de l'IDL identifiée ici comme préliminaire n'est donc pas définitive, mais sert plutôt à planifier l'étape suivante, celle de la création de l'IDL.

2.2.2.3.2 Création des IDL rev.NC

Le lancement d'un projet d'aménagement intérieur d'un avion est signalé aux différents départements d'ingénierie de l'entreprise par le département d'ingénierie de gestion de

projets. Ce jalon dans le cycle de vie d'un projet est notamment caractérisé par la libération du dossier de conception spécifique au client. À ce stade, la spécification du produit, l'énoncé des travaux et les plans d'aménagement font officiellement état de ce qui est attendu par le client d'un point de vue technique de l'exemplaire personnalisé qu'il vient d'acheter. Il est alors possible pour les six équipes de conception d'exécuter l'essentiel du processus de définition de la configuration, soit la création de la première version de leur IDL.

Le délai imposé à l'ingénierie de conception par l'ingénierie de gestion de projets pour créer les IDL est de deux semaines à partir de la date de lancement du projet. Ce délai ne concerne que ce deuxième sous-processus. À chaque lancement, les IDL sont créées de manière concurrente par les six équipes de l'ingénierie de conception. Certaines équipes répartissent la tâche parmi leurs membres selon les champs de compétences plus spécifiques à chacun, ce qui permet une meilleure analyse du dossier de conception, l'exploitation d'un plus grand savoir-faire sur le produit, et la réduction du délai de création. De plus, étant donné la grande quantité d'information devant être recherchée et incluse dans une IDL, cette étape est généralement effectuée itérativement, soit caractéristique par caractéristique, ensemble par ensemble, ou installation par installation.

La création d'une IDL débute par une seconde analyse des exigences du client, cette fois beaucoup plus approfondie que lors de la revue de conception préliminaire, par les ingénieurs de conception. Ils cherchent ainsi à maîtriser la partie du produit dont ils ont la responsabilité. À l'aide des notes recueillies préalablement au sein de l'IDL préliminaire, ils retrouvent la description détaillée des caractéristiques de finition (équipements, installations, systèmes, interfaces, etc.) au sein de la spécification du produit, et ils les situent au sein du produit à l'aide des plans d'aménagement. Ils distinguent également, grâce à l'énoncé des travaux, les nouvelles caractéristiques spécifiquement exigées par le client.

Ensuite, cette étape se poursuit par la recherche de dessins récurrents d'ingénierie applicables à la nouvelle configuration. On utilise ici des répertoires de configurations afin de repérer les dessins ayant déjà été développés, validés et libérés lors d'anciens projets et pouvant être

libérés à nouveau pour définir la nouvelle configuration applicable du produit. On cherche ainsi à éviter d'investir inutilement des ressources dans la conception de composants ayant déjà été définis et à profiter du savoir-faire développée par l'ingénierie au fil des projets. Ces répertoires de configurations sont généralement d'anciens documents d'ingénierie toujours valides, des recueils de notes personnelles créés et utilisés par les ingénieurs eux-mêmes, ou les bases de données du SGGT. Le tableau 2.2 présente une liste non exhaustive d'exemples de répertoires recensés lors de l'enquête, accompagnée d'une courte description de la manière dont chaque répertoire de configurations est exploité pour la recherche de dessins récurrents d'ingénierie.

Tableau 2.2

Exemples de répertoires de configurations

Répertoires de configurations	Description
DTS	<p><i>Qu'est-ce que c'est?</i></p> <p>DTS gère la base de données informatique utilisée pour la gestion des configurations du produit. On y retrouve les configurations de référence de tous les projets d'aménagement intérieur d'avions, donc tous les documents d'ingénierie valides et libérés, ainsi que leur nomenclature.</p> <p><i>Comment l'utilise-t-on?</i></p> <p>DTS est muni d'un engin de recherche sémantique. On y effectue des recherches par mots-clés parmi les titres de documents afin de repérer et visualiser des dessins potentiellement réutilisables.</p>
Anciens plans d'aménagement	<p><i>Qu'est-ce que c'est?</i></p> <p>Ce sont des plans d'aménagement d'anciennes configurations présentant graphiquement ce qui a déjà été développé par le passé. Ils sont imprimés, annotés et regroupés par titre dans des cartables. Ils peuvent aussi être récupérés sur DTS.</p> <p><i>Comment les utilise-t-on?</i></p> <p>Pour chaque nouveau plan d'aménagement à analyser, on feuillette le cartable correspondant et on repère les caractéristiques communes de finition afin d'identifier les configurations d'où il est possible de récupérer des dessins récurrents d'ingénierie.</p>
IDL archivées	<p><i>Qu'est-ce que c'est?</i></p> <p>Toutes les IDL sont conservées sur le réseau local sous leur format électronique. Lorsqu'elles sont mises à jour durant les projets, elles contiennent une représentation plus ou moins fidèle de la configuration de chaque variante déjà développée.</p> <p><i>Comment les utilise-t-on?</i></p> <p>En connaissant les conceptions comportant des caractéristiques similaires à la nouvelle, il est possible de récupérer des portions de listes indentées de dessins pour les ajouter à une nouvelle IDL.</p>

Tableau 2.2

Exemples de répertoires de configurations (suite)

Répertoires de configurations	Description
Matrices de configurations	<p><i>Qu'est-ce que c'est?</i></p> <p>Ce sont des tableaux sous <i>Microsoft Excel</i> créés et entretenus individuellement par des ingénieurs de conception dans le but de résumer l'historique des configurations. On y note les numéros de projets, leurs caractéristiques de finition et les numéros de dessins correspondants.</p> <p><i>Comment les utilise-t-on?</i></p> <p>On repère les caractéristiques de finition du nouveau projet ou leur combinaison parmi celles des conceptions précédentes de manière à retrouver des dessins récurrents.</p>
IDL de référence	<p><i>Qu'est-ce que c'est?</i></p> <p>Il s'agit de listes structurées mises à jour de tous les dessins d'ingénierie valides à leur révision la plus récente pour un champ de compétences particulier. Leur format respecte celui du gabarit de l'IDL.</p> <p><i>Comment les utilise-t-on?</i></p> <p>On recherche et met en évidence les dessins réutilisables pour la nouvelle configuration parmi la liste de référence et on supprime tout ce qui est non applicable, obtenant du même coup une ébauche d'IDL.</p>

À ce stade, une première partie de la nouvelle configuration est définie grâce à l'exploitation du savoir-faire développé antérieurement par l'ingénierie. Il devient également possible de mieux évaluer l'effort de conception qui devra être déployé par la suite pour répondre aux exigences spécifiques au projet. On poursuit en identifiant les tâches de conception qui devront être effectuées. On définit également les livrables qui en résulteront, en majorité de nouveaux dessins d'ingénierie, en leur attribuant des numéros d'identification préliminaires. On évalue, selon la nature de la tâche, le nombre d'heures de travail qui seront nécessaires pour la compléter, qu'il s'agisse d'une modification mineure apportée à un dessin récurrent, d'une révision de conception ou du développement complet de nouveaux éléments.

Une fois les dessins récurrents d'ingénierie applicables à la nouvelle configuration identifiés, et de nouveaux livrables définis pour planifier la phase prochaine de conception détaillée, on

possède l'essentiel de l'information nécessaire à la définition de la configuration. L'opération suivante consiste alors à enregistrer ces données techniques au sein de l'IDL. Tout dépendant de la méthode de recherche employée, le document de départ à ce stade peut être soit l'IDL préliminaire ou la copie d'une liste de référence dont les données non pertinentes ont été épurées (*Voir* Tableau 2.2). Le document est édité sous *Microsoft Excel*. On y énumère par la suite tous les dessins applicables à la définition de la configuration du produit en prenant soin de respecter et de représenter les relations parent-enfants entre chaque dessin. On y ajoute également, dans la mesure de l'utile ou du possible, toutes les informations relatives aux attributs des dessins (*Voir* Tableau 2.1).

Enfin, chaque IDL complétée doit être vérifiée par le chargé de projet de l'équipe de conception qui l'a créée. La vérification permet une dernière fois d'éliminer les incohérences, les omissions et les ambiguïtés, de manière à obtenir des listes de dessins claires et justes. Si la quantité d'erreurs ou les erreurs elles-mêmes sont trop importantes, une IDL peut être réacheminée aux ingénieurs de conception afin d'être corrigée. Le document est finalement approuvé, premièrement par le chargé de projet, ensuite par le chef de l'équipe de conception, qui apposent chacun leur nom et la date d'approbation sur la page titre du document. On obtient ainsi le premier livrable du processus de définition de la configuration, soit les six IDL validées dont les fichiers sont mis à disposition sur le réseau local, au plus tard deux semaines après le lancement du projet.

2.2.2.3.3 Libération de la définition de la nouvelle configuration

La dernière étape du processus de définition de la configuration, soit la libération de cette définition de la nouvelle configuration, peut également être considérée comme l'une des premières étapes du processus global de gestion de la configuration. En effet, cette étape constitue en quelque sorte le transfert de la définition de la configuration de l'ingénierie de conception vers le groupe de gestion de la configuration qui aura dorénavant la responsabilité de la gérer. D'ailleurs, ce dernier groupe effectue presque la totalité des activités reliées à

cette dernière étape qui a pour but premier de libérer l'information représentée au sein des six IDL.

Premièrement, pour libérer la définition de la configuration, chaque équipe de conception doit préparer un dossier de libération au sein duquel elle doit inclure une copie de son IDL rev.NC validée et un formulaire de notification de changement (BiCCM, 2004). À la base, ce formulaire est utilisé par l'ingénierie de conception pour communiquer et autoriser une modification à la configuration du produit. On y indique notamment l'identification, la description et l'entrée en vigueur (numéro de série de l'avion) des documents à libérer, remplacer ou supprimer au sein des index de dessins. On y recueille aussi des signatures au fil d'un cycle de validation. Ainsi, sur le formulaire joint à une IDL, on inscrit le numéro du document de l'IDL à libérer, pour ensuite spécifier le numéro de série de l'avion auquel s'applique la configuration nouvellement définie, et le numéro de l'avis de lancement qui a commandé la création de l'IDL.

Le dossier de libération entreprend par la suite le cycle d'approbation qui le mènera de l'ingénierie de conception jusqu'à la gestion de la configuration. Le cycle commence d'abord par la signature du formulaire de notification de changement par le chargé de projet qui l'a préalablement complété. Celui-ci transmet par la suite le dossier à son chef de groupe afin que ce dernier le vérifie et l'approuve à son tour. Le dossier de libération est ensuite envoyé au bureau des méthodes où un des agents doit confirmer l'entrée en vigueur de la nouvelle configuration (numéro de série de l'avion) et apposer une troisième signature sur le formulaire. Enfin, le dossier atteint sa destination finale au sein du groupe de gestion de la configuration où il est vérifié et signé une quatrième et dernière fois. Ceci termine le cycle d'approbation du dossier de libération de la définition de la configuration.

Une fois en possession d'IDL valides dont la libération a été approuvée, le groupe de gestion de la configuration s'acquitte de deux dernières tâches : la libération du document et le transfert de l'information de l'IDL vers le SGDT. La libération du document est une opération simple du même ordre que la libération de nouveaux dessins au sein de la base de

données de DTS. La copie de l'IDL provenant du dossier de libération est d'abord numérisée – on n'utilise pas le fichier *Microsoft Excel* car celui-ci évolue toujours. Puis, la copie numérisée est entreposée dans la bibliothèque électronique de DTS. Une nouvelle entrée de document est alors créée dans le SGDT pour joindre la copie de visualisation de l'IDL au reste de la documentation relative à la configuration de la nouvelle variante personnalisée du produit et pour en permettre l'accès depuis DTS. Le dossier papier, pour sa part, est archivé.

Pour ce qui est du transfert du contenu de l'IDL vers le SGDT, autrement dit de l'information qu'elle contient sur la définition de la configuration, elle constitue une opération longue et répétitive qui a pour but de reproduire les listes de dessins depuis les tableaux créés à l'aide de *Microsoft Excel* vers les index de dessins au sein du logiciel DTS. Ce transfert permet d'abord et avant tout, en plus de représenter la nouvelle configuration sur support informatique, de répertorier tous les dessins et autres documents d'ingénierie énumérés par les IDL au sein des index de dessins spécifiques au nouveau projet. Pour chaque IDL, le groupe de gestion de la configuration crée un nouvel index dans DTS. Comme mentionné plus tôt à la section 2.2.2.2.2, seuls les dessins récurrents et les nouveaux dessins y sont répertoriés en respectant l'indentation des listes. Lors de la libération de dessins récurrents, il est d'abord nécessaire de les retrouver au sein du SGDT et de DTS en effectuant des recherches simples, pour ensuite les affecter à la nouvelle configuration. Quant aux nouveaux dessins, puisqu'ils ne sont toujours qu'au stade de « tâches à compléter », il faut préalablement leur attribuer un numéro, créer les nouvelles entrées de document au sein du SGDT et parfois générer des fichiers de CAO/DAO avant de pouvoir les affecter à un index de dessins. Le résultat final est six index de dessins au sein de DTS répertoriant les dessins d'ingénierie identifiés par les IDL et à partir desquels il est déjà possible d'accéder aux copies de visualisation des dessins récurrents.

2.2.3 Processus clients

Parmi tous les processus ayant lieu au BiCCM durant le cycle de vie d'un projet de finition, certains peuvent être identifiés comme étant des processus clients du processus de définition

de la configuration. On entend ici par processus client tout processus ayant pour intrant un ou des livrables du processus à l'étude. Dans ce cas-ci, il s'agit des processus exigeant soit les IDL rev.NC nouvellement créées et validées et/ou les index de dessins comme intrant.

Ainsi, lors de l'étude auprès de membres de l'entreprise, il a été possible d'identifier quatre processus clients : la gestion du calendrier de conception, la conception détaillée et la production des dessins, la gestion de la configuration, et la planification de la fabrication. Ces quatre processus ont d'ailleurs un important point en commun : le dossier formé des six IDL constitue leur principal intrant. Ceci s'explique par le fait que les IDL contiennent une quantité significative d'informations et qu'elles sont mises à disposition rapidement, normalement seulement quelques jours après le lancement d'un nouveau projet de finition et bien avant l'échéance du délai imposé de deux semaines. Ces deux facteurs favorisent l'ingénierie concourante. Quant au second livrable du processus de définition de la configuration, soit les index de dessins, les processus clients l'exigeant pour démarrer sont ceux de la gestion de la configuration et de la planification de la fabrication.

2.2.3.1 Gestion du calendrier de conception

Le premier processus client à requérir les IDL pour démarrer est celui de la gestion du calendrier de conception ou de la *design planning schedule* (DPS). Le département d'ingénierie responsable de ce processus est le département de gestion de projets, aussi responsable d'émettre l'avis de lancement d'un projet de finition et d'imposer le délai de deux semaines pour la création des IDL à l'ingénierie de conception.

Le processus de gestion du calendrier de conception a pour objectif d'établir un échéancier clair et détaillé qui encadrera le processus de conception détaillée de la nouvelle variante du produit et de production des livrables d'ingénierie. En projetant dans le temps la livraison des nouveaux dessins d'ingénierie qui devront être validés et libérés, l'ingénierie de gestion de projets favorise l'ingénierie concourante entre départements en assurant la disponibilité de l'information de définition du produit pour les autres étapes du projet, comme par exemple à

celles de l'approvisionnement et de la fabrication, et ce à des périodes clés de leurs propres échéanciers.

Le dossier des IDL constitue par conséquent une source fiable d'information pour développer le calendrier de conception, car il fournit un très bon aperçu des tâches de conception à compléter. Ces tâches, telles que la modification ou la création de dessins, peuvent être planifiées et regroupées au sein d'échéanciers spécifiques. Au sein d'une IDL, elles sont identifiées par les dessins classifiés par les codes 2 (modification d'ingénierie) et 3 (nouveau dessin). Certains attributs de dessins énumérés dans l'IDL le sont d'ailleurs spécifiquement pour le développement du calendrier de conception. Ces attributs sont l'identification de l'équipe responsable de la tâche, l'estimé de la charge de travail en heures et le numéro de l'échéancier au sein duquel sera gérée la tâche de conception associée au dessin d'ingénierie.

Pour exécuter ce premier processus client, l'ingénierie de gestion de projets n'utilise que les IDL rev.NC validées, c'est-à-dire les livrables du processus de définition de la configuration. On ne les consulte sur le réseau local que lorsque chacune des équipes de conception en annonce la disponibilité. Dans l'éventualité où le délai de deux semaines n'est pas respecté pour une IDL, l'équipe de conception fautive en est avertie et, selon le retard accumulé, l'ingénierie de gestion de projets peut décider malgré tout d'utiliser l'IDL en création, en attendant toutefois la validation de cette IDL pour libérer le calendrier de conception correspondant.

2.2.3.2 Conception détaillée et production des dessins

Dans le déroulement normal d'un projet de finition, l'ingénierie de conception entreprend la conception détaillée de la nouvelle variante personnalisée du produit et la production des nouveaux dessins à la suite du processus de définition de la configuration. Ce second processus client vise à compléter la documentation de la configuration définie précédemment. Jumelée au calendrier de conception (DPS), une IDL devient alors un outil polyvalent pour l'ingénierie de conception, lui permettant de planifier, de mettre en contexte

et d'encadrer l'effort de conception à déployer. En effet, le dossier formé des six IDL constitue, au début du processus client, la représentation la plus avancée de la structure du produit dont il faut terminer le développement.

De plus, lors de la conception détaillée et de la production des dessins, une majorité des équipes de conception entretiennent leur IDL en y inscrivant les ajouts et les modifications découlant de leur travail. On tente ainsi de maintenir à jour cette représentation de la structure du produit et l'information qu'elle contient de manière à suivre l'évolution de la nouvelle configuration du produit telle que vue par l'ingénierie de conception. D'ailleurs, cette vue du produit par l'ingénierie de conception peut constituer une excellente référence lorsque vient le temps de vérifier la configuration applicable d'un exemplaire lorsque le groupe de gestion de la configuration l'exige.

L'IDL mise à jour permet également à l'ingénierie de conception de documenter l'ensemble des changements à apporter à la configuration au sein du SGGT lorsque vient le temps de libérer les nouveaux dessins. En annexant certaines parties des listes indentées aux formulaires de notification de changement, il est alors possible de communiquer rapidement l'évolution de la structure de dessins au groupe de gestion de la configuration.

Une très grande partie de l'information incluse dans l'IDL via les attributs de dessins est exploitée par l'ingénierie de conception lors de la conception détaillée et de la production de dessins. Les attributs les plus importants sont toutefois ceux en rapport direct avec les dessins d'ingénierie applicables à la définition de la configuration en tant que tel, comme les numéros, titres, révisions et particulièrement les relations parent-enfants qu'ils partagent. La profusion d'information et la facilité d'utilisation qu'offre l'IDL à titre d'outil de suivi fait d'ailleurs en sorte qu'on la préfère aux index de dessins lors de la production des dessins. Bien que ceux-ci constituent à ce stade du projet la référence maîtresse à titre de structuration du produit et de configuration, leur exploitation demeure plus contraignante en raison de la lourdeur de la base de données dont ils constituent l'interface et le peu d'informations disponibles à même les index.

2.2.3.3 Gestion de la configuration

La gestion de la configuration constitue logiquement un processus client du processus de définition de la configuration. L'un a pour but de définir la configuration, l'autre de la gérer. Le point de séparation entre les deux processus demeure toutefois difficile à situer, comme il est discuté au début de la section 2.2.2.3.3. En effet, l'étape de libération de la définition de la configuration, ayant sommairement pour but de traduire les IDL en index de dessins, peut être vu à la fois comme la fin du processus de définition et le début d'un processus de gestion de la configuration. Après tout, cette étape possède des caractéristiques similaires à celles des autres processus client : son intrant principal est l'ensemble des IDL rev.NC validés et il implique la participation d'intervenants autres que l'ingénierie de conception, soit le groupe de gestion de configuration. Donc, du point de vue des processus clients, il est possible de considérer les opérations concernant la création des index de dessins comme étant également les opérations initiales au sein du processus client de gestion de la configuration.

Quant à l'essentiel du processus de gestion de la configuration, son but premier se résume réellement en la gestion et au maintien des index de dessins répertoriant la documentation applicable aux multiples configurations du produit. Ces index sont souvent appelés à être modifiés au sein de DTS avec l'évolution du travail de conception et la livraison des nouveaux dessins par l'ingénierie de conception. La tâche du groupe de gestion de configuration est donc de recueillir cette nouvelle documentation et de la répertorier au sein des index. Il s'agit en fait d'assurer jusqu'en fin de projet, et même au-delà, une documentation appropriée et rigoureuse de la configuration applicable de chaque variante du produit et de la rendre accessible au reste de l'entreprise, que ce soit pour la fabrication, le contrôle de qualité ou pour les autorités de certification.

2.2.3.4 Planification de la fabrication

Le quatrième processus client du processus de définition de la configuration est la planification de la fabrication effectuée par le bureau des méthodes. Plus spécifiquement, le

dossier formé des six IDL nouvellement validées et les nouveaux index de dessins au sein du SGGT permettent la définition des premières nomenclatures de production qui formeront bientôt la structure de fabrication, et ce très tôt dans le cycle de vie d'un projet. En effet, certains délais de production étant plus longs que d'autres, le bureau des méthodes se retrouve souvent dans l'obligation de débiter la planification de la fabrication dès que les premières données concernant la configuration applicable d'un aménagement intérieur deviennent disponibles, en occurrence les IDL. La planification des premières nomenclatures de production peut d'ailleurs parfois se révéler d'une grande importance, puisqu'elle permet ensuite au département de logistique de planifier rapidement l'approvisionnement en pièces de certains secteurs de production dont les délais de production et de livraison sont contraignants.

Les IDL sont généralement utilisées par le bureau des méthodes lorsque les délais liés à la réalisation du projet sont courts. Grâce à des attributs de dessins comme les quantités requises d'articles au sein d'ensembles ou d'installations, l'information fournie par les IDL est suffisante pour élaborer les nomenclatures de production de composants majeurs dont l'ingénierie est complètement récurrente. La planification s'arrête toutefois là. En effet, il demeure impossible à ce point d'élaborer les nomenclatures de nouveaux ensembles nécessitant de l'information provenant de nouveaux dessins, ou de ceux pour lesquels une modification est à prévoir. La seule exception survient lorsque l'ingénierie de conception avance certaines quantités de composants récurrents à la demande du bureau des méthodes à l'aide d'une commande hâtive de matériel, ou *advanced material order* (AMO). Enfin, aucune opération de fabrication ne peut être planifiée à partir de l'information provenant des IDL, ni aucun ordre de fabrication hâtif ne peut être émis par le département, car seuls les dessins d'ingénierie libérés autorisent la définition et l'ordonnancement des activités de production.

Il faut alors attendre les index de dessins pour poursuivre la planification et espérer entreprendre les premières opérations de fabrication. D'ailleurs, lorsque les délais imposés au bureau des méthodes permettent plus de flexibilité, les agents des méthodes préfèrent

débuter la planification plus tard, soit dès que les nouveaux index de dessins deviennent disponibles dans DTS. Contrairement aux IDL, les index représentent officiellement l'état de la configuration applicable de l'exemplaire à fabriquer, en plus de donner directement l'accès aux documents d'ingénierie qu'ils ont pour fonction de répertorier.

2.2.4 Analyse préliminaire de la situation

En relation avec l'objectif d'approfondir la documentation du processus de définition de la configuration et d'éventuellement en arriver à mettre de l'avant des avenues d'amélioration, l'étude réalisée au BiCCM a été complétée d'une analyse préliminaire de la situation du processus. Les aspects discutés ici découlent directement ou indirectement de commentaires et d'observations, sans être le résultat d'une analyse détaillée. Il s'agissait ici plutôt d'user de sens critique face aux observations alors qu'elles étaient réalisées et d'identifier les aspects du processus qui logiquement pouvait bénéficier de plus d'attention.

2.2.4.1 Recherche d'intégration

La cohésion au sein du processus de définition de la configuration représente certainement l'un des aspects présentant le plus important défi. Ceci est dû notamment à la nature des directives et de la documentation technique et administrative relative au processus du programme *Global Express XRS*. Les acteurs du processus, principalement les six équipes de l'ingénierie de conception, assument individuellement la tâche de contrôler le processus qui, par conséquent, varie d'une équipe à l'autre. L'une des observations décrivant cette situation est l'abandon du gabarit standard pour la création des IDL. À la manière des formats de dessins et des cartouches standards utilisés lors de la création des dessins d'ingénierie, ce gabarit standard devait à la base établir et maintenir les règles quant au format et à la nature de l'information de l'IDL (attributs de dessins). Toutefois, bien qu'on ait fait mention de ce gabarit à plusieurs reprises lors des entrevues, aucune observation subséquente n'a pu proprement confirmer son utilisation.

L'étude d'un dossier complet comprenant les six IDL d'un projet récent a plutôt révélé la possible existence de six gabarits différents ayant fort probablement évolué séparément à partir d'un gabarit standard autrefois défini. Ces six gabarits d'IDL répondent davantage aux besoins de chaque équipe de conception vis-à-vis le processus. Les divergences entre les IDL de chaque équipe ne se limitent pas seulement à leurs différences par rapport à ce qu'a déjà pu être le gabarit. La description, la nature et la quantité des données énumérées peuvent varier d'une IDL à l'autre, ou même à l'intérieur même d'une seule IDL. Par exemple, plusieurs colonnes d'attributs de dessins sont parfois laissées vacantes, partiellement complétées ou utilisées à d'autres fins. Ceci s'explique par le fait que certaines équipes ou quelques individus développent leur IDL en fonction de ce qu'ils jugent pertinent selon leur point de vue et leurs propres besoins. Malheureusement, on porte ainsi atteinte à la clarté et la cohésion du dossier des six IDL dans la représentation de la définition de la nouvelle configuration du produit.

La démarche à prendre par rapport aux livrables du processus fait également l'objet de nombreux débats parmi les équipes de conception. En effet, certaines équipes veulent retarder l'étape menant à la libération de la définition de la nouvelle configuration et à la création des index de dessins dans DTS. L'argument avancé : on juge inutile de libérer la définition incomplète d'une configuration. Au lieu de rendre les nouveaux index disponibles le plus tôt possible, identifiant ainsi officiellement les dessins récurrents d'ingénierie applicables à la nouvelle configuration pour le bien des processus clients, ces équipes préfèrent voir cette étape être retardée au processus de conception détaillée, plus particulièrement lors de la libération graduelle des nouveaux dessins. Elles tenteraient ainsi de réduire le nombre d'échanges (libération et changements) avec le groupe de gestion de configuration en libérant de l'information plus mature et moins sujette à changer. Ils retarderaient toutefois du même coup des processus clients comme la planification de la fabrication.

2.2.4.2 Justesse et exhaustivité limitées des données

Comme mentionné plus tôt, le processus de définition de la configuration est exécuté durant la période avoisinant le lancement d'un projet de finition, période qui précède évidemment la phase de conception détaillée. L'information sûre et valide pouvant être recueillie au sein d'une IDL lors du processus de définition de la configuration est alors limitée. Cette situation fut fréquemment décrite par les participants à l'étude, se posant eux-mêmes la question suivante : « La justesse et l'exhaustivité des données énumérées dans l'IDL rev.NC sont-elles suffisantes pour justifier leur libération si tôt dans le projet et leur utilisation par les processus clients ? » Sans une réponse à cette question, il devient difficile pour plusieurs de justifier le processus lui-même. C'est d'autant plus difficile pour certaines équipes de conception dont les champs d'expertise font en sorte que les éléments de configuration qu'ils ont à définir comportent de nombreux nouveaux composants toujours à l'état conceptuel et pour lesquels presque aucune donnée technique n'a encore été validée.

La justesse des données d'une IDL rev.NC, obtenue à la suite du processus de définition de la configuration, est définie ici comme la qualité globale d'une IDL qui la rend apte à définir la configuration. Des données justes, lorsqu'inscrites à une IDL, y demeureront durant tout le cycle de vie du projet puisqu'elles sont sûres, applicables et valides dès le départ. Seul un changement imprévu à la conception spécifique au client pourrait alors les rendre inapplicables.

L'exhaustivité des données d'une IDL signifie pour sa part que l'inventaire des données nécessaires à la définition complète de la configuration est complet. Tous les éléments de configuration qui doivent être définis par un ou des dessins d'ingénierie ont été identifiés et définis. L'exhaustivité ne garantit toutefois pas que ces données ne soient pas modifiées ou remplacées par la suite.

L'ingénieur de conception participant à la création d'une IDL peut par exemple faire face à ces trois situations :

- Lors de la recherche des dessins récurrents d'ingénierie, la quantité de données à repérer et énumérer peut devenir imposante. Il y a alors risque d'omission, ce qui peut nuire à l'exhaustivité des données.
- Les sources consultées pour retrouver les dessins récurrents d'ingénierie, en occurrence les répertoires de configurations, sont majoritairement informelles et peuvent ne pas être parfaitement mises à jour, ce qui remet en cause la justesse des données qu'on en tire.
- Lors de l'identification des nouvelles tâches d'ingénierie et de leurs livrables, très peu ou aucune donnée valide n'est disponible. L'ingénieur doit donc en générer lui-même pour en arriver à définir la configuration, sans toutefois avoir l'assurance à ce stade du projet que ces données s'avèreront être justes ou sans savoir à quel point leur énumération est exhaustive.

Dans le cadre de l'étude, il fut demandé à chacun des participants d'estimer les niveaux de justesse et d'exhaustivité atteints en moyenne par les IDL auxquelles ils ont contribué au fil des projets. Les résultats sont présentés au tableau 2.3 avec de brèves justifications. On y constate que l'équilibre atteint par chaque équipe de conception entre justesse et exhaustivité des données au sein de leur IDL dépend surtout des éléments de configuration qu'ils ont à définir et de leur propre manière d'exécuter le processus.

Tableau 2.3

Évaluation de la justesse et de l'exhaustivité de l'IDL par les ingénieurs de conception

Équipe de conception	Justesse	Exhaustivité	Justifications
Cloisons/ Ameublement	80%	80%	<ul style="list-style-type: none"> • Beaucoup d'heures sont consacrées à la création de l'IDL; • L'information provenant du dossier de conception est plus précise; • Aucune interchangeabilité des composants, donc beaucoup de nouveaux dessins.
Sièges	70%	95%	<ul style="list-style-type: none"> • On tente d'énumérer tous les dessins; • Composants fortement sujet aux modifications; • IDL créée avant le lancement du projet.
Revêtement intérieur	95%	70%	<ul style="list-style-type: none"> • Exhaustivité limitée aux dessins récurrents d'ingénierie.
Avionique	95%	60%	<ul style="list-style-type: none"> • On omet volontairement les composants développés par les fournisseurs.
Systèmes mécaniques	80%	90%	<ul style="list-style-type: none"> • Composants relatifs aux systèmes avioniques et diagrammes de câblage fortement sujets aux modifications; • Partie importante de dessins récurrents; • IDL créée avant le lancement.
Installation mécanique	95%	50%	<ul style="list-style-type: none"> • On dépend surtout de la configuration définie par les autres équipes.

La volonté de certaines équipes de conception de retarder la dernière étape du processus de définition de la configuration, la libération de la définition de la configuration, relève également de cette situation. En effet, les niveaux de justesse et d'exhaustivité atteignables pour les données de l'IDL rev.NC sont parfois jugés par certaines équipes comme inadéquats pour considérer le besoin ou la pertinence de les libérer. Il peut effectivement paraître inopportun de libérer un document d'ingénierie inévitablement incomplet et imprécis, ce qui

n'arriverait pas pour un dessin d'ingénierie. Selon ces équipes, l'IDL devrait plutôt être considérée comme un document interne à l'ingénierie de conception, sujet à validation certes, mais ne pouvant pas être utilisé aussi ouvertement par les autres processus.

2.2.4.3 Répertoires de configurations

Comme le présente le tableau 2.2, il existe au moins cinq types de répertoires de configurations qui sont consultés par l'ingénierie de conception pour rechercher des dessins récurrents d'ingénierie applicables à la définition d'une nouvelle configuration. Selon les résultats de l'étude, ces cinq types sont les plus utilisés : ils ont été identifiés plus d'une fois lors des entrevues. Toutefois, parmi ces cinq types, un seul est sujet à la gestion des configurations : la base de données de DTS du SGDT. Les quatre autres ne sont pour leur part que des recueils de notes personnelles ou des documents annotés. Au moment d'être consultés à titre de répertoires de configurations, la validité des dessins d'ingénierie auxquels ils réfèrent demeure à être confirmée autrement. Aucun contrôle rigoureux n'est imposé afin de suivre l'évolution au fil des projets de la description des configurations au sein de ces recueils de notes. La majorité des sources de données utilisées pour définir en grande partie les nouvelles configurations grâce aux dessins récurrents ne sont donc peut-être pas aussi justes qu'elles pourraient l'être.

Par exemple, les recueils de notes comme les matrices de configurations, les IDL de référence ou les cartables de plans d'aménagement, sont des outils de recherche personnels, maintenus et utilisés individuellement par chaque ingénieur de conception qui en est le créateur. Ils ne sont donc pas directement exposés à la propagation des modifications d'ingénierie ou à la libération des nouveaux documents. Assurer leur mise à jour devient par conséquent une tâche de suivi et de documentation supplémentaire pour l'ingénieur de conception, tâche qui s'accroît avec le nombre de répertoires à entretenir. Quant aux IDL archivées, bien que certaines équipes de conception s'efforcent de les maintenir à jour durant la phase de conception détaillée, les utilisant même comme référence pour la validation finale

des configurations applicables, le contrôle des modifications n'y est jamais aussi rigoureux que celui de la gestion des configurations au sein de DTS.

Comment alors expliquer que les recherches des dessins récurrents d'ingénierie ne se fassent pas exclusivement au sein du SGDT, plus spécifiquement grâce à la base de données DTS, étant donné qu'elle constitue la source la plus fiable de dessins valides directement soumis à la gestion des configurations ? La principale raison donnée par les participants à l'étude est que les recherches dans DTS sont difficiles et souvent peu efficaces. En effet, DTS possède une très large base de données regroupant dans un même endroit des milliers de dessins provenant de différents projets et de différents champs d'expertise. Lorsqu'il s'agit de retrouver des dessins particuliers à partir de caractéristiques précises du produit, les seules informations disponibles pour procéder à la recherche ne sont souvent que quelques mots clés à comparer aux milliers de titres de dessin de la base de données. Les résultats de recherche peuvent alors s'avérer imprécis ou divergents, d'autant plus qu'au départ, aucune règle formelle n'est imposée pour l'attribution des titres aux nouveaux dessins par l'ingénierie de conception.

C'est donc dans un souci de gagner en rapidité et en efficacité que les ingénieurs participants à la recherche des dessins récurrents d'ingénierie utilisent davantage, et malgré tout, des répertoires personnels de configurations. Ces outils leur permettent, par exemple, de diviser les domaines de recherche en sous-domaines basés sur les champs d'application et ainsi mieux cibler leurs recherches. Ils leur permettent également de caractériser les dessins qu'ils répertorient par de nouveaux attributs, comme des références à la spécification du produit ou aux plans d'aménagement, afin de s'offrir plus d'options de recherche et d'accélérer cette étape de la création de l'IDL qui demeure parmi les plus longues.

2.3 Modélisation du processus de définition de la configuration

Comme le souligne Svensson et al. (1999), « le but principal de la modélisation d'un processus existant est d'acquérir le savoir-faire implicite au processus et de s'en servir

comme modèle pour de futures exécutions du processus. » Les auteurs ajoutent, en se référant à Davenport (1993), que la maîtrise d'un processus en cours est important pour, entre autres, faciliter sa compréhension générale en utilisant le modèle comme outil d'apprentissage, prendre connaissance de l'ampleur des actions correctives à apporter et identifier les problèmes présents afin d'éviter de les répéter dans le futur. C'est pourquoi il a été proposé aux gens du BiCCM de produire un modèle détaillé du processus de définition de la configuration pour ainsi les aider à répondre à leur besoin d'améliorer la cohésion du processus figurant parmi les plus importants dans le cycle de vie d'un projet de finition.

Le prochain sous-chapitre présente donc la théorie et les résultats de la modélisation du processus de définition de la configuration. Tout d'abord, une brève description de la technique de modélisation retenue, soit la technique de modélisation IDEF0, sera présentée accompagnée des arguments appuyant son choix. On y discutera également de l'approche de Svensson et al. (1999) qui propose de décomposer l'information du processus ainsi modélisé en vues particulières pour en faciliter la compréhension et l'exploitation. Enfin, les principales caractéristiques du modèle résultant et de ses différentes vues seront exposées à l'aide d'exemples et de courtes discussions.

2.3.1 Technique de modélisation

La principale technique de modélisation retenue pour la création du modèle du processus de définition de la configuration se nomme IDEF0 et fait partie de la famille de langages *ICAM Definition* développée durant les années 1970 par la *U.S. Air Force* (National Institute of Standards and Technology, 1993). Grâce à cette technique a priori très rigoureuse, la modélisation du processus étudié est de plus complémentée par une série de modèles simples, appelés ici vues auxiliaires et matrices de relations, développées en se basant sur l'approche de Svensson et al. (1999).

2.3.1.1 IDEF0

La norme FIPS-183 (National Institute of Standards and Technology, 1993) décrit IDEF0 comme étant une technique de modélisation basée sur la combinaison de graphiques et de texte qui sont présentés de manière systématique et permettant de faciliter la compréhension, appuyer l'analyse, fournir des arguments pour des changements potentiels, spécifier des exigences, ou appuyer le design et l'intégration de systèmes. Cette technique de modélisation fut « spécifiquement développée pour la modélisation du flux des informations au sein de systèmes complexes et étroitement liés » (Malmstrom, Pikosz et Malmqvist, 1999). Elle met principalement le focus sur les éléments d'information et les objets qui engendrent l'occurrence unique et spécifique d'activités formant un processus (Knowledge Based Systems Inc., 2003). La séquence des activités importe peu : ce sont les relations entre activités et informations qui sont principalement représentées par l'exercice de modélisation IDEF0.

Un modèle IDEF0 est généralement composé d'une série hiérarchisée de diagrammes montrant et décrivant graduellement à des niveaux de plus en plus détaillés les activités et leurs interfaces dans le contexte d'un système (National Institute of Standards and Technology, 1993). Comme l'explique Malmstrom, Pikosz et Malmqvist (1999), tout processus peut normalement être décomposé en plusieurs sous-processus, qui peuvent à leur tour être décomposés selon un niveau de détails plus précis, et ainsi de suite jusqu'à ce que, par exemple, soit atteint le niveau des simples tâches individuelles réalisées à la minute. Cette décomposition du processus en un ensemble des tâches singulières, illustrée à la figure 2.7, mène également à la décomposition des objets et de leurs éléments d'informations. Comme le présente la figure 2.8, les objets et les éléments d'informations d'un processus sont modélisés conceptuellement par des flèches. Lorsque reliées à des boîtes, ces flèches modélisent les relations entre les concepts et les activités du processus selon quatre types d'interaction : les intrants, les livrables, les contrôles et les mécanismes.

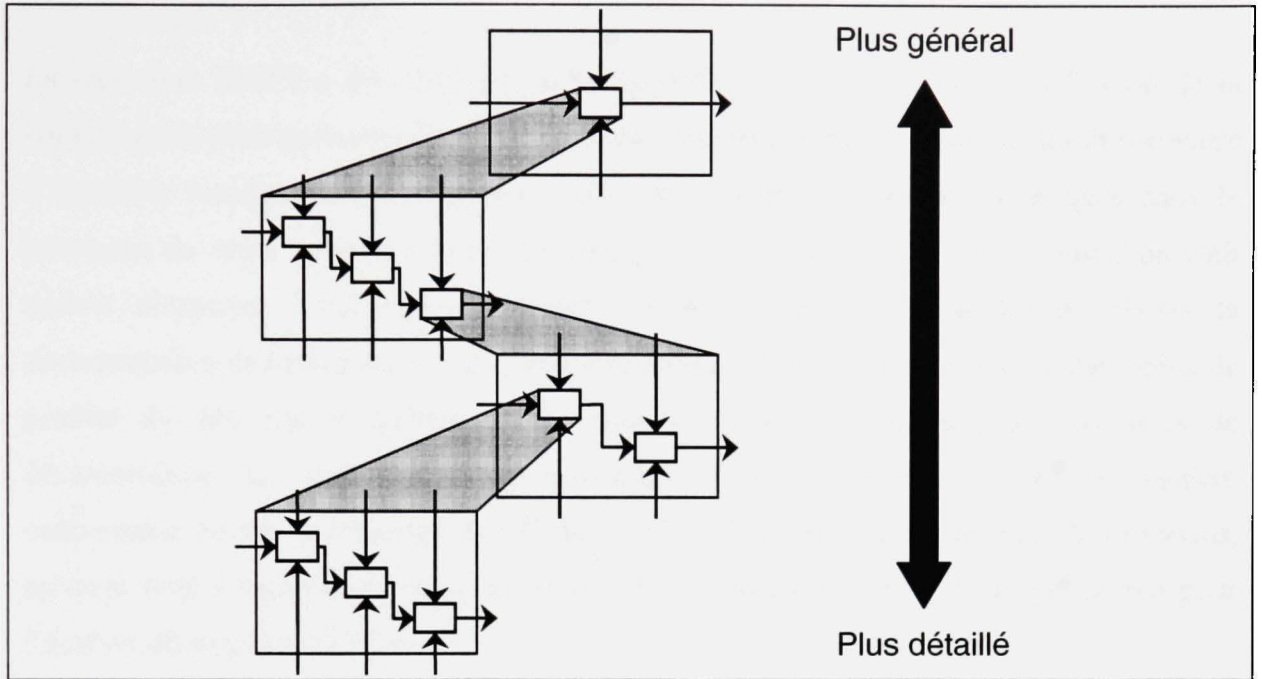


Figure 2.7 *Décomposition du modèle IDEF0.*
(Malmstrom, Pikosz et Malmqvist, 1999)

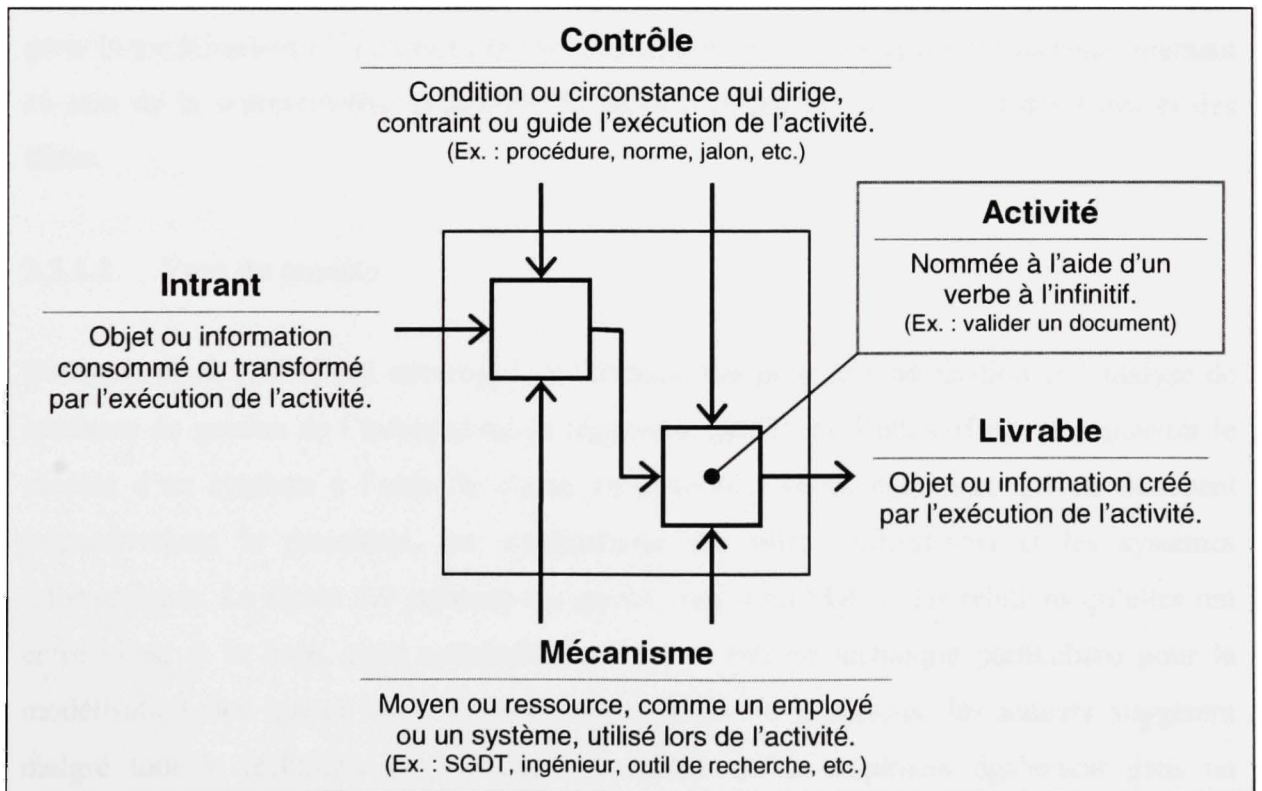


Figure 2.8 *Concept de modélisation IDEF0.*
(National Institute of Standards and Technology, 1993)

La technique IDEF0 a été choisie pour la modélisation du processus de définition de la configuration principalement pour deux raisons. Premièrement, la technique devait permettre d'identifier rapidement les principaux outils et éléments de contrôle impliqués dans le processus en cours, ainsi que le ou les moments où on fait appel à eux. L'intention était surtout d'appuyer l'analyse du processus vis-à-vis l'objectif de départ de réviser la documentation du processus et d'en évaluer la disponibilité. Deuxièmement, il était prévu de profiter du fait que le modèle IDEF0 peut se développer par étapes successives de décomposition. La modélisation du processus pouvait alors être réalisée de manière concourante au fur et à mesure que l'étude était réalisée auprès des acteurs du processus, ajoutant tour à tour des niveaux de détails et ce jusqu'à la limite de la pertinence pour l'analyse du processus à venir.

Le logiciel utilisé pour la modélisation IDEF0 se nomme *AIOWIN*, version 7.2, et est développé par *Knowledge Based System Inc.* (2004). Il possède l'avantage, entre autres, de gérer la modélisation et la décomposition des activités et des concepts à la fois conjointement au sein de la représentation principale du modèle et séparément grâce à des listes et des filtres.

2.3.1.2 Vues du modèle

Svensson et al. (1999) ont développé une architecture pour la modélisation et l'analyse de systèmes de gestion de l'information en ingénierie (SGII), où l'objectif est de concevoir le modèle d'un système à l'aide de quatre sous-modèles reliés entre eux qui en décrivent respectivement le processus, les informations, les rôles (utilisateurs) et les systèmes informatiques. La figure 2.9 présente ces quatre vues d'un SGII et les relations qu'elles ont entre elles. À la base, cette architecture n'impose aucune technique particulière pour la modélisation des quatre vues. Pour le sous-modèle du processus, les auteurs suggèrent malgré tout la technique de modélisation IDEF0 qu'ils emploient également dans un exemple. Pour les trois autres sous-modèles décrivant l'information, les rôles et les systèmes

informatiques, les auteurs proposent des techniques élémentaires pour la modélisation des concepts et de leurs relations telles les diagrammes simples d'entités-relations, l'organigramme et la structure hiérarchique, respectivement. Les relations entre les éléments de chaque vue ou sous-modèle sont représentées pour leur part au sein de matrices.

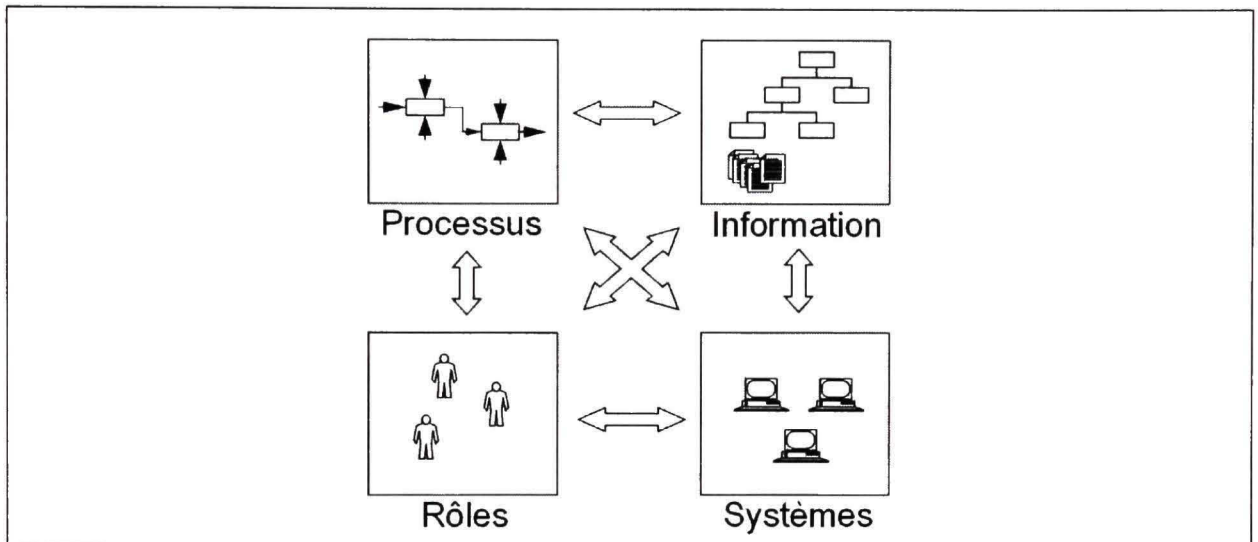


Figure 2.9 *Les quatre vues d'un SGII.*
(Svensson et al., 1999)

Considérons maintenant, par exemple, le modèle d'un SGII composé des quatre vues tel que proposé par Svensson et al. (1999) et dont la modélisation de la vue du processus est réalisée grâce à la technique IDEF0. Étant donné la nature beaucoup plus complexe du modèle IDEF0, la vue du processus se démarque des autres vues du modèle du SGII par le fait qu'elle représente seule et en contexte tous les concepts modélisés au sein des trois autres vues. En effet, en plus de représenter les activités du processus, le modèle IDEF0 inclut également les objets et éléments d'information sous la forme d'intrants, de produits, de contrôles ou de mécanismes. Les rôles et les technologies de l'information y sont également représentés comme des mécanismes utilisés au sein du processus, puisqu'il s'agit de ressources nécessaires à l'exécution de chaque activité. Même les relations entre les activités du processus et les éléments des trois autres vues y sont implicitement représentées (interfaces flèches/boîtes).

Par conséquent, lorsque la modélisation d'un processus est réalisée grâce à la technique IDEF0, le modèle résultant peut être considéré comme la vue principale d'un processus duquel peuvent être extraites les trois vues auxiliaires de l'information, des rôles et des systèmes informatiques, ainsi que les relations entre elles. La fonction de ces trois vues auxiliaires devient alors de faciliter la compréhension et l'analyse du modèle IDEF0 en isolant les différents concepts modélisés de la complexité du contexte du processus. La figure 2.10 illustre cette approche, présentant maintenant le modèle du processus comme le modèle central autour duquel gravitent les trois autres sous-modèles.

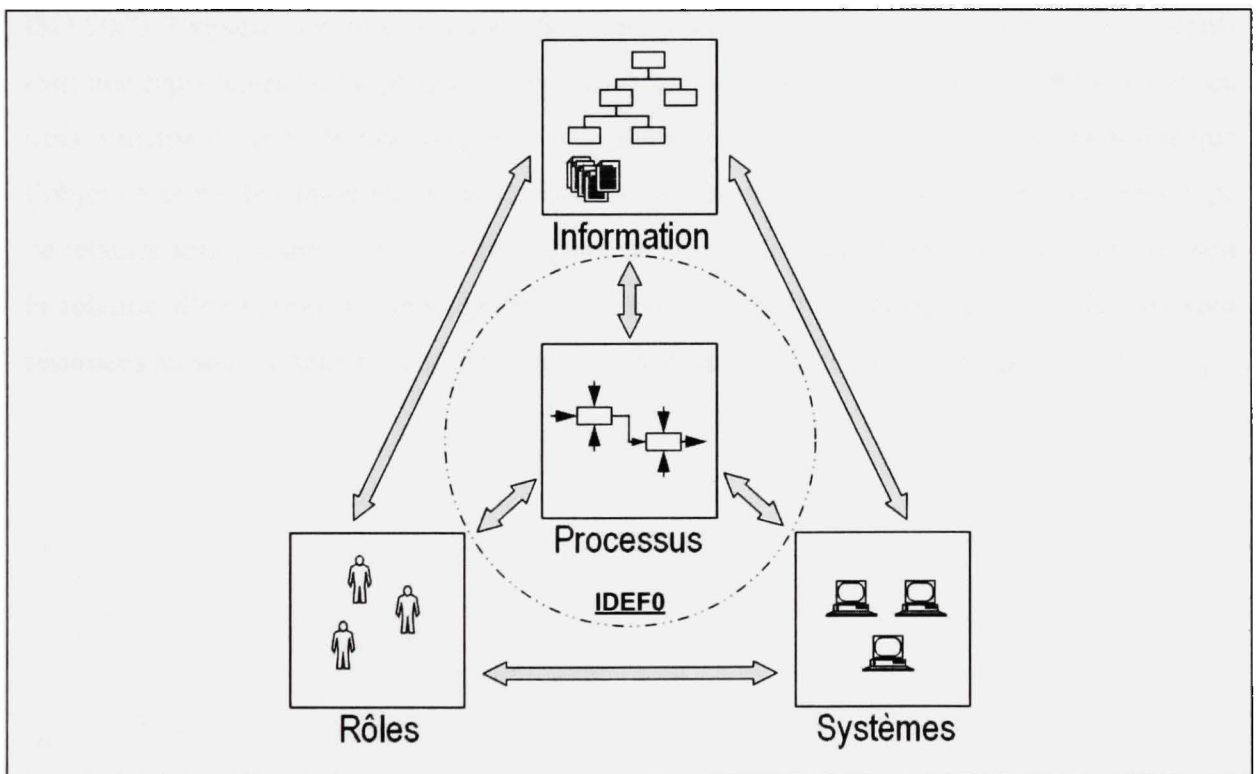


Figure 2.10 *Trois vues auxiliaires au modèle IDEF0.*

Ainsi, pour la modélisation du processus de définition de la configuration, il est proposé de développer, en complément au modèle IDEF0, les trois sous-modèles correspondants aux vues auxiliaires, ainsi que les trois matrices représentant les relations entre les éléments de chacune de ces vues. Il s'agit ici de profiter de l'abondance d'informations que le modèle IDEF0 permet de regrouper pour approfondir l'analyse du processus selon les aspects plus précis de l'information, des rôles et des systèmes informatiques.

Le choix des techniques de modélisation utilisées pour développer les trois vues auxiliaires du modèle IDEF0 s'inspire des suggestions présentées par (Svensson et al., 1999). Tout d'abord, la vue des rôles sera modélisée par un organigramme, choix logique lorsqu'il est question de personnel. La vue des technologies de l'information ou des systèmes informatiques sera pour sa part représentée par une simple structure hiérarchique.

Quant à la vue de l'information, elle sera modélisée à l'aide d'une technique que nous proposons et qui s'inspire fortement des diagrammes de concepts de la norme internationale ISO 9000 (Organisation internationale de normalisation, 2000). Ces diagrammes de concepts sont une représentation graphique des relations entre concepts. Ces relations sont classées en trois principaux types: la relation générique, partitive et associative. De plus, étant donné que l'objet de la modélisation est un processus où certains concepts évoluent, un quatrième type de relation sera considéré au sein des diagrammes de concepts de la vue de l'information, soit la relation d'évolution. La description et la représentation graphique de ces relations sont résumées au sein du tableau 2.4, chacune accompagnée d'un exemple à la figure 2.11.

Tableau 2.4
Description et représentation graphique
des relations au sein de la vue auxiliaire de l'information

Relation	Description	Représentation graphique
Relation générique ^A	Les concepts subordonnés héritent de l'ensemble des caractéristiques du concept de rang supérieur et intègrent la description des caractéristiques qui les différencient des concepts de rang supérieur et de rang égal.	Représentée par un schéma en éventail ou en arbre, sans flèches. (Voir Figure 2.11(a))
Relation partitive ^A	Les concepts subordonnés constituent des éléments de l'ensemble de rang supérieur, dans le cadre d'une relation hiérarchique, c'est-à-dire où les composants génèrent le tout.	Représentée par un râteau, sans flèches. (Voir Figure 2.11(b))
Relation associative ^A	La relation associative permet d'identifier la nature d'une relation entre deux concepts dans le cadre d'un champ notionnel ^B .	Représentée par des flèches aux deux extrémités d'une ligne. (Voir Figure 2.11(c))
Relation d'évolution	La relation d'évolution permet d'identifier l'évolution d'un état conceptuel vers un autre état conceptuel; lorsque subordonnés, les concepts constituent des états consécutifs de maturité du concept de rang supérieur.	Représentée par des flèches unidirectionnelles fortes entre états consécutifs, et des flèches fines pour les subordonner à un concept de rang supérieur. (Voir Figure 2.11(d))

^A Tirée de la norme ISO 9000 (Organisation internationale de normalisation, 2000).

^B Ensemble de notions qui ont des liens entre elles et qui peuvent être groupées autour d'une notion-clé (L'Office québécois de la langue française, 2007).

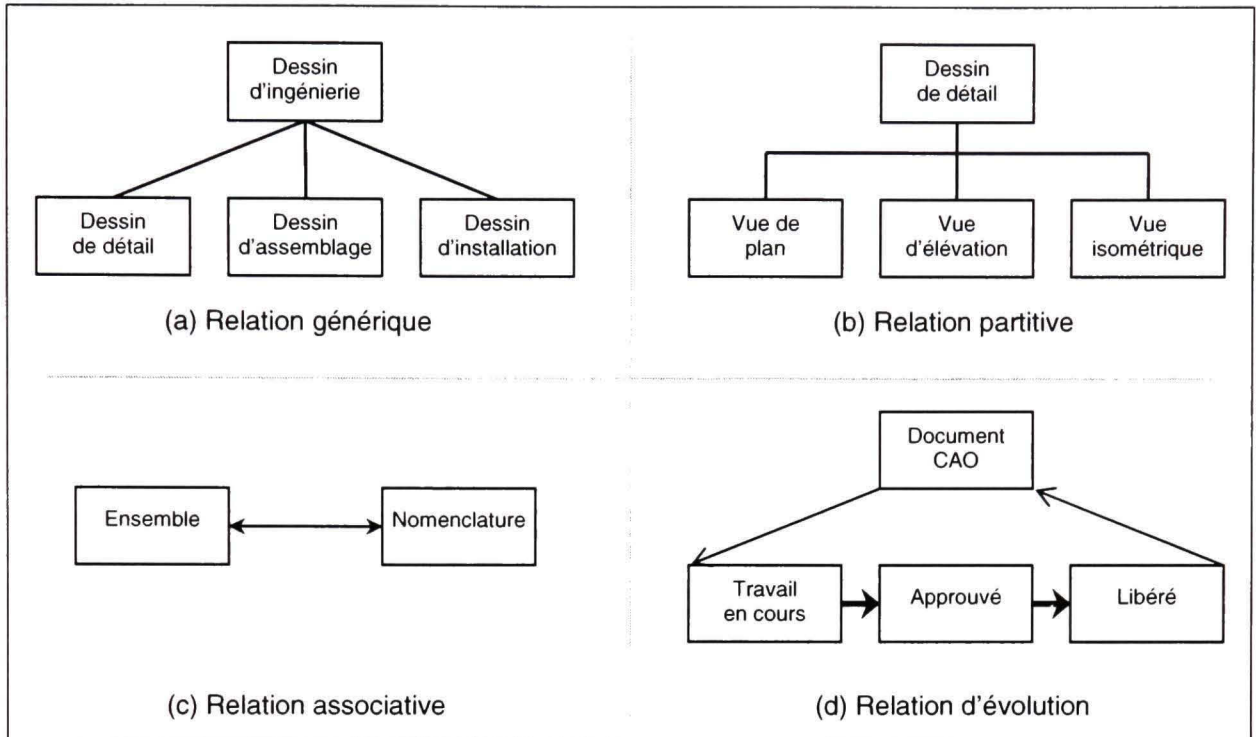


Figure 2.11 *Exemples de représentation graphique des relations entre concepts au sein de la vue auxiliaire de l'information.*

Toujours concernant la vue auxiliaire de l'information, une partie importante des relations entre concepts qui y seront représentées se trouveront préalablement modélisée au sein du modèle IDEF0. Ces relations sont majoritairement génériques et partitives étant donné la décomposition et le regroupement des concepts sur les différents niveaux de décomposition des activités. Afin de distinguer les relations propres au modèle IDEF0 des relations exclusivement représentées au sein de la vue auxiliaire, deux types de traits seront utilisés. Comme le montre l'exemple de la figure 2.12, les traits continus seront utilisés pour représenter les relations modélisées au sein du modèle IDEF0, alors que des traits pointillés seront utilisés pour représenter les relations exclusives à la vue de l'information.

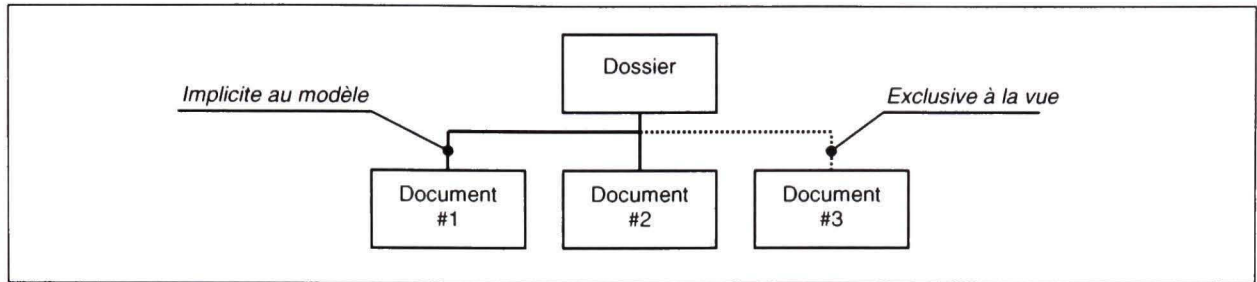


Figure 2.12 *Distinction entre les relations implicites au modèle IDEF0 et les relations exclusives à la vue auxiliaire de l'information.*

2.3.2 Résultats de la modélisation

La deuxième partie de cette section sur la modélisation IDEF0 présente les résultats de la modélisation du processus de définition de la configuration à partir des observations réalisées lors de l'étude. On décrit d'abord le contexte de la modélisation, tel que le recommande la technique IDEF0, pour ensuite présenter un court échantillon de diagrammes tirés du modèle final. Enfin, on présente les trois vues auxiliaires qui ont été extraites du modèle final, ainsi que les trois matrices de relations entre ces vues.

2.3.2.1 Contexte de la modélisation

Préalablement à la création du modèle, il est recommandé d'énoncer formellement l'utilité et le point de vue du modèle par rapport à l'objet de modélisation, i.e. le processus de définition de la configuration. Ces énoncés sont présentés au sein du diagramme contextuel du modèle, afin d'établir le contexte de l'exercice de modélisation. L'utilité du modèle exprime la raison pour laquelle le modèle est créé et influence par le fait même sa structure. Le point de vue détermine quant à lui ce qui peut être « vu » au sein du contexte du processus, et selon quelle perspective : certaines observations sur un sujet particulier peuvent paraître importantes d'un certain point de vue et futiles d'un autre (National Institute of Standards and Technology, 1993).

Ainsi, tel que discuté plus tôt, l'utilité du modèle IDEF0 développé ici vise la compréhension, l'acquisition du savoir-faire implicite et la maîtrise du processus de

définition de la configuration. Le point de vue de la modélisation, pour sa part, est celui d'un observateur provenant de l'extérieur de BA qui doit mener à un portrait objectif de la situation.

Étant donné les variations dans l'exécution du processus de définition de la configuration par les six équipes d'ingénierie de conception, la construction d'un seul modèle IDEF0 du point de vue global d'une étude extérieure à l'entreprise ne peut évidemment mener qu'à un portrait unique du processus en cours. Chacune des équipes exécutant le processus en privilégiant leurs intérêts spécifiques, une modélisation complète de l'état actuel aurait nécessité jusqu'à six modèles pouvant être très ou peu différents les uns des autres. L'utilité du modèle n'étant toutefois pas d'identifier les particularités de six versions d'un même processus, mais bien d'en acquérir le savoir-faire et d'en identifier les éléments communs et/ou manquants afin d'intégrer le processus de façon formelle, le modèle IDEF0 réalisé ici en présente finalement l'état générique. Il s'agit en fait d'un modèle respectant la majorité des versions du processus. Toutefois, dans les cas particuliers où le savoir-faire relié au processus varie beaucoup selon les versions, le modèle inclut les particularités de chacune d'elles.

2.3.2.2 Modèle IDEF0

Le modèle IDEF0 du processus de définition de la configuration comporte un total de 25 diagrammes au sein desquels sont représentées 81 activités, et ce sur jusqu'à six niveaux de décomposition en y incluant la racine du modèle, i.e. le niveau initial où est représenté le contexte du processus. Le modèle contient également un total de 119 concepts représentant les objets et les éléments d'information en relation à 461 différents endroits avec les activités du processus.

Pour des raisons de confidentialité, le modèle IDEF0 n'est pas présentée intégralement dans ce mémoire. Ainsi, il a été remis directement au partenaire industriel. L'annexe II présente toutefois la table des activités, soit la liste structurée des activités du modèle, ainsi que la

numération des pages des diagrammes correspondant à ces activités. Cette table est suivie à l'annexe III d'un glossaire au sein duquel une courte définition est donnée pour chaque concept représenté au sein du modèle.

Les figures 2.13 à 2.16 présentent un échantillon du modèle comprenant dans l'ordre les diagrammes A-0, A0, A2 et A22 qui forment l'une des branches de l'arborescence de décomposition du modèle. Cette arborescence des activités peut d'ailleurs être explorée au complet en annexe II au sein de la table des diagrammes. L'échantillon de diagrammes débute par le diagramme A-0 au sein duquel est décrit le contexte du processus avec notamment ses intrants et ses livrables, et se termine par le diagramme A22 où sont modélisées les activités élémentaires relatives à la recherche de dessins récurrents d'ingénierie qui forment le dernier niveau de décomposition de cette branche.

Au premier niveau du modèle IDEF0, le diagramme contextuel présente le sujet du modèle, dans ce cas-ci le processus de définition de la configuration, par une boîte unique avec des flèches à ses bornes. Ce diagramme, intitulé A-0 (prononcé « A moins zéro »), est présenté à la figure 2.13. Puisqu'une simple boîte doit représenter tout le processus, le nom qui la décrit est très général, soit celui du processus lui-même. C'est aussi vrai pour les flèches à son interface étant donné qu'elles doivent également représenter l'ensemble complet des interfaces externes du processus.

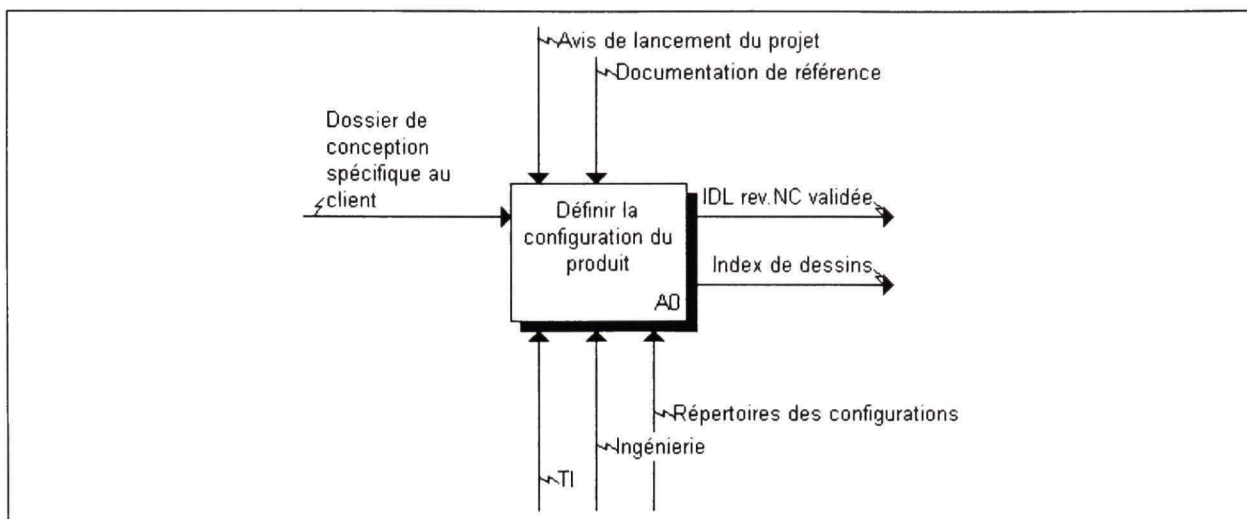


Figure 2.13 *Diagramme A-0 : Processus de définition de la configuration.*

Ainsi, on retrouve sur ce premier diagramme des objets décrits très vaguement tels que les technologies de l'information (TI), l'ingénierie et la documentation de référence. L'intrant et les livrables principaux du processus, soit respectivement le dossier de conception spécifique au client, une IDL rev.NC validée et un index de dessins, y sont toutefois bien identifiés dans le souci de bien décrire le contexte et d'établir les limites et l'orientation du modèle. L'avis de lancement du projet est identifié à ce niveau du modèle, car il situe tout le processus dans le cycle de vie d'un projet. Quant aux répertoires de configuration, bien qu'ils soient utilisés lors d'activités plus spécifiques du processus, ils sont également représentés à ce niveau pour souligner leur apport important à l'exécution du processus comme mécanisme et source d'informations.

L'activité unique représentée abstraitement au premier niveau du modèle par le diagramme contextuel est ensuite décomposée en ses principales tâches grâce à son diagramme enfant identifié A0 et illustré à la figure 2.14. On y retrouve la représentation des trois étapes décrites précédemment à la section 2.2.2.3, soit respectivement la révision de la conception préliminaire, la création de l'IDL et la libération de la définition de la nouvelle configuration. Ces trois activités se décomposent également en plusieurs sous-activités, comme le symbolisent les ombres sous chacune des boîtes.

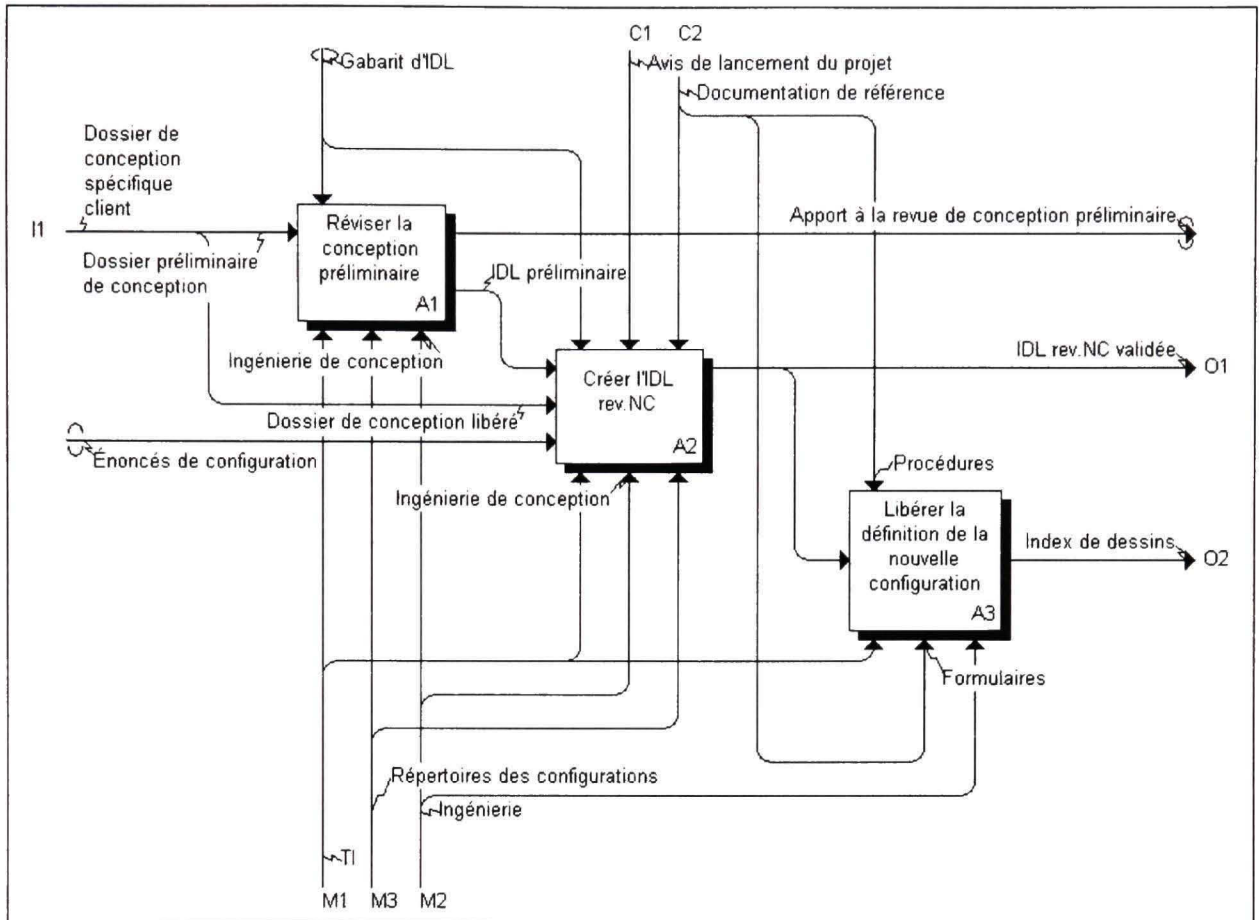


Figure 2.14 *Diagramme A0 : Définir la configuration du produit.*

On retrouve également, au sein de ce deuxième diagramme, les huit concepts formant l'interface du diagramme contextuel supérieur. Ceux-ci sont identifiés et numérotés en périphérie du diagramme selon la nature de leur utilisation (*Input*, *Control*, *Output*, *Mechanism*) et l'ordre d'entrée dans la boîte du diagramme A-0. Par exemple, le mécanisme de l'ingénierie est numérotée 'M2' sur le diagramme enfant puisqu'il s'agit du mécanisme dont la flèche arrive en deuxième sous la boîte du diagramme parent.

Puisque le niveau de détails du modèle augmente après une première décomposition du processus en plusieurs activités, ces concepts décrits de façon abstraite au niveau précédent sont maintenant décomposés en plusieurs concepts de nature plus concrète qui rejoignent plus spécifiquement l'interface des activités. Par exemple, la documentation de référence se divise à ce niveau en deux objets de granularité plus fine, soit en des ensembles distincts de

procédures et de formulaires. D'ailleurs, bien que la documentation de référence soit représentée comme un élément de contrôle agrégé à l'entrée du processus, les formulaires qui en font partie sont plutôt représentés à ce second niveau comme un mécanisme du sous-processus de libération de la définition de la nouvelle configuration. Ce changement de vocation est tout à fait permis par la méthode IDEF0, car cela permet de préciser le contexte particulier de ce sous-processus par rapport au processus entier.

Outre les huit premiers concepts provenant du diagramme contextuel et référencés à ce second niveau du modèle, quatre autres concepts sont représentés dans ce diagramme. Le premier de ces quatre concepts est l'IDL préliminaire, qui constitue un élément de transition, tandis que les trois autres concepts sont, pour leur part, externes au processus comme ceux du diagramme contextuel. Ils ne sont toutefois représentés qu'au second niveau du modèle, car ils ne caractérisent pas le contexte du processus, mais seulement le contexte plus détaillé des activités auxquelles ils sont reliés. Chacun est identifié en périphérie du diagramme grâce à des parenthèses placées à son extrémité libre.

Par exemple, les énoncés de configurations sont des documents remis à l'ingénierie de conception par les principaux fournisseurs-partenaires de l'entreprise énumérant les articles et livrables d'ingénierie associés à leur part de responsabilité dans la nouvelle configuration à définir. Ces énoncés ne sont représentés au sein du modèle qu'en tant qu'intrants de second ordre du processus, car bien que les dessins d'ingénierie qu'ils énumèrent doivent normalement être ajoutés à l'IDL, ils le sont rarement. À ce stade d'un projet, on omet souvent les énoncés de configuration à cause de leur délai de livraison qui dépasse parfois le délai alloué pour la création des IDL. Il demeure toutefois que lorsqu'ils sont pris en compte lors de la définition de la configuration, la création de l'IDL constitue l'activité où ils sont traités.

Il y a également le gabarit d'IDL qui ne peut plus être considéré comme un élément de contrôle formel puisqu'on ne le maîtrise plus, comme expliqué précédemment. C'est la raison pour laquelle il n'est pas représenté au sein du contexte du processus. Enfin, il y a

l'apport à la revue de conception préliminaire¹⁰ qui constitue un livrable d'ordre secondaire par rapport au processus de définition de la configuration, car il s'agit davantage d'un concept appartenant au processus de définition du dossier de conception spécifique au client.

La figure 2.15 présente le diagramme A2 qui représente la décomposition sur un troisième niveau de l'activité représentée par la boîte A2 au sein du diagramme A0. Il s'agit en fait de la subdivision du sous-processus de création de l'IDL en cinq nouvelles activités plus concrètes et dont il est facile de préciser la nature grâce à leurs noms. Quatre d'entre elles ont été malgré tout subdivisées à leur tour au sein de quatre autres diagrammes de rang inférieur comme le symbolise leur ombre. La seule activité pour laquelle aucune décomposition supplémentaire n'est disponible est la définition des nouvelles tâches d'ingénierie et de leurs nouveaux livrables, car aucune information précise provenant de l'enquête ne permettait d'approfondir sa description.

¹⁰ Apport à la revue de conception préliminaire : résultats de la revue et de la vérification du dossier de conception préliminaire spécifique au client par l'ingénierie de conception devant être communiqués aux autres intervenants du projet lors de la prochaine revue de conception préliminaire.

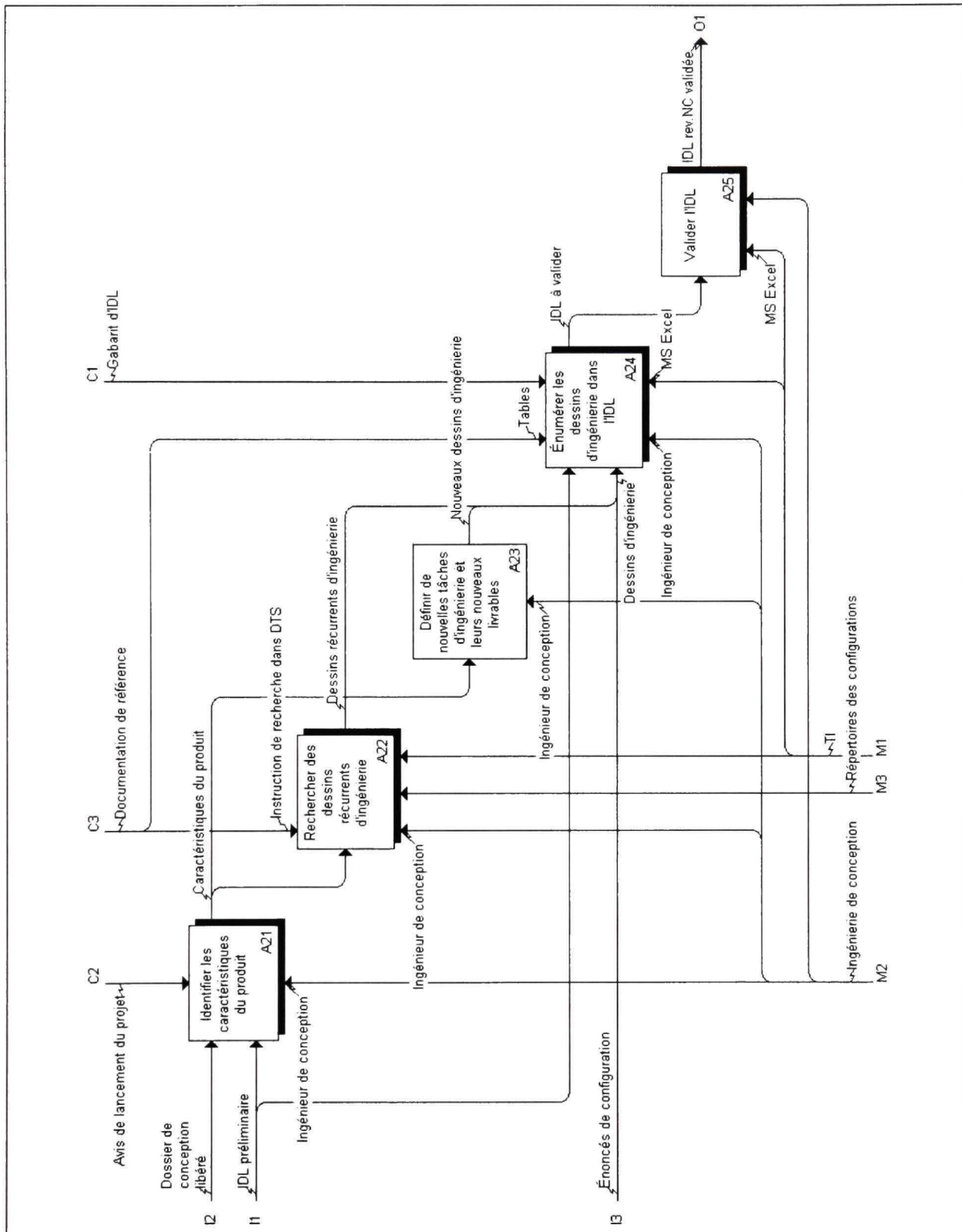


Figure 2.15 Diagramme A2 : Créer l'IDL rev.NC.

Le diagramme A2 présente notamment un exemple d'activités concourantes modélisées à l'aide de la technique IDEF0. En effet, les activités A22 et A23 sont représentées au sein du diagramme de telle façon qu'elles puissent être exécutées simultanément après l'exécution de l'activité A21 et avant l'activité A24. Cet ordonnancement des activités est modélisé par l'imposition du même intrant sur les activités concourantes A22 et A23, soit les caractéristiques du produit provenant de l'activité A21, et par l'agrégation de leurs livrables respectifs vers l'activité cliente A24.

Pour ce qui est des concepts, on en retrouve dix-neuf différents au sein de ce troisième diagramme, soit les dix concepts externes situés en périphérie faisant référence au contexte de l'activité sur le diagramme de niveau supérieur, quatre concepts provenant de la décomposition de certains de ces dix premiers concepts, et cinq autres concepts agissant comme éléments de transition internes au diagramme. Tous les concepts externes, tels les énoncés de configuration ou le gabarit d'IDL, sont représentés à ce niveau sans parenthèses comparativement au niveau supérieur puisqu'ils font tous bel et bien partie du contexte spécifique au diagramme. L'élément de contrôle représentant la documentation de référence utilisée lors du processus de définition de la configuration se divise encore une fois à ce niveau en deux sous-concepts représentant respectivement l'instruction de recherche dans DTS et le regroupement des tables utilisées lors de l'énumération des dessins d'ingénierie dans l'IDL.

L'étude du diagramme A2 permet notamment de constater le peu d'éléments de contrôle qui ont pu être associés par les acteurs à certaines activités du processus lors de l'étude. Bien qu'il puisse devenir difficile pour un acteur de faire référence à une instruction ou une directive lorsque les activités qu'ils exécutent sont de plus en plus élémentaires, on doit tout de même s'attendre à ce que les directives concernant une activité comme la validation de l'IDL, pouvant être jugée comme critique dans un processus d'ingénierie, soit maîtrisées. On observe ainsi qu'un travail d'intégration demeure à être fait au niveau de la documentation supportant le processus.

Finalement, la figure 2.16 présente un des derniers niveaux de décomposition du modèle où l'activité A22 du diagramme A2 est subdivisée en cinq activités élémentaires. Le diagramme A22 représente les diverses activités de recherche de dessins récurrents d'ingénierie exécutées lors de la création des IDL. La modélisation IDEF0 permet ici de modéliser chacune des méthodes de recherche disponible à l'ingénieur de conception sans toutefois en imposer le nombre et l'ordre. Dans la réalité, l'ingénieur est libre de choisir la ou les méthodes qu'il désire exploiter pour rechercher des dessins récurrents à partir des caractéristiques du produit, à la condition qu'il ait accès au répertoire de configurations correspondant à cette méthode. Grâce à ce diagramme, le modèle IDEF0 parvient ainsi à inclure quelques caractéristiques spécifiques aux différentes manières d'exécuter le processus par les équipes de conception.

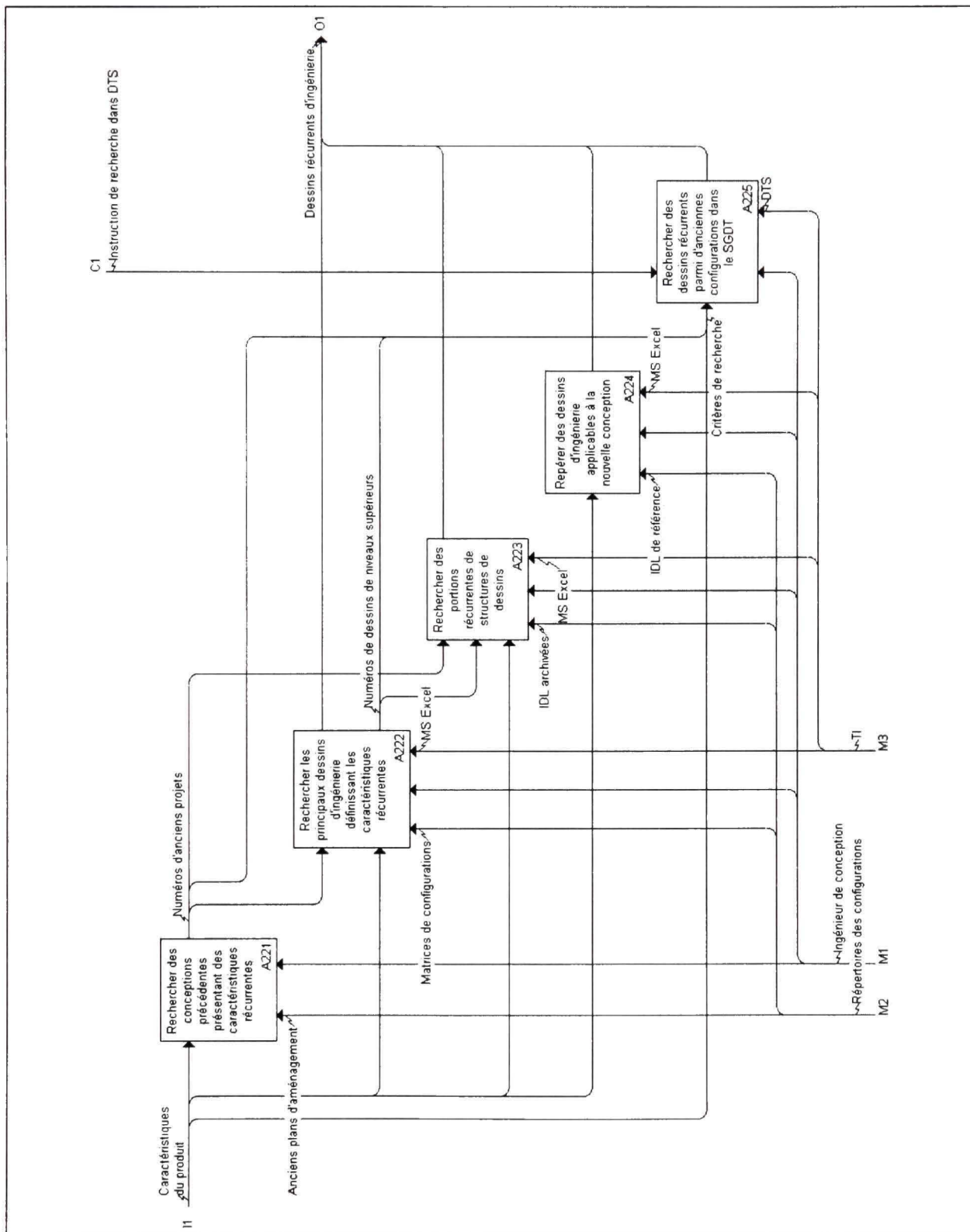


Figure 2.16 Diagramme A22 : Recherche des dessins récurrents d'ingénierie.

Par exemple, la recherche peut débuter par la consultation d'anciens plans d'aménagement (A221) pour rechercher d'anciennes conceptions présentant des caractéristiques récurrentes, pour se poursuivre au sein de matrices de configurations (A222) à l'aide des numéros de projets correspondant à ces conceptions similaires afin d'en retirer les numéros de dessins de niveaux supérieurs comme des dessins d'installation, et se terminer dans la base de données des configurations du SGDT pour rechercher les derniers niveaux de dessins (A225). L'ingénieur d'une autre équipe d'ingénierie de conception peut, pour sa part, se servir uniquement d'une liste de référence (A224), ou rechercher les dessins récurrents d'ingénierie grâce à la combinaison des matrices de configurations et des IDL archivées (A223), à la condition de connaître au préalable les numéros de projets similaires ou de les repérer au sein des matrices. Chacune des méthodes peut ainsi être exploitées, à la condition d'avoir tous les mécanismes et les éléments d'informations en main.

Ce dernier diagramme comporte un total de quinze concepts : six concepts externes, six autres concepts provenant de leur décomposition et trois concepts internes agissant comme éléments de transition. À ce niveau, les répertoires de configurations représentés sous la forme d'un mécanisme sont décomposés selon chacun des types tels que décrits au tableau 2.2 de la section 2.2.2.3, à l'exception du logiciel DTS qui constitue plutôt une TI. Chacun de ces types est ensuite associé à une activité de recherche. De plus, le diagramme ne présente qu'un seul élément de contrôle, l'instruction de recherche dans DTS, agissant seulement sur l'activité de recherche au sein du SGDT. L'absence de contrôle pour les quatre autres activités témoigne ainsi de la nature informelle des méthodes de recherche de dessins récurrents d'ingénierie à l'aide des répertoires de configurations.

Certaines caractéristiques spécifiques à chacune des six manières d'exécuter le processus, i.e. des concepts, des mécanismes ou des activités qui leur sont particuliers, sont incluses au modèle IDEF0 parce qu'elles respectent le consensus qui se dégage de l'ensemble des équipes d'ingénierie de conception, ce qui permet un point de vue global sur le processus. Par exemple, tout le sous-processus de libération de la définition de la nouvelle configuration (diagramme A3) pourrait être écarté du modèle étant donné qu'il n'est exécuté que par la

moitié des équipes, tel que souligné plus tôt. Il s'y trouve malgré tout, puisqu'il fait consensus parmi la majorité des équipes qu'il s'agit là d'une étape malgré tout importante pour le processus lui-même et les processus clients. À l'opposé, l'identification de la révision des dessins récurrents d'ingénierie énumérés au sein de l'IDL devrait normalement être modélisée par une activité au sein du diagramme A241 ('Énumérer et trier les dessins d'ingénierie selon leurs relations parent-enfants'). Cette activité résulterait également en un concept intitulé « Numéro de révision ». Dans les faits, quelques équipes inscrivent effectivement le numéro de révision des dessins à leur IDL. Ces caractéristiques ne sont toutefois pas incluses au modèle IDEF0 du processus, car la majorité des équipes omettent de le faire. Plutôt, on sous-entend que la dernière révision d'un document constitue la seule version valide au moment de libérer ce document au sein de la définition d'une nouvelle configuration.

2.3.2.3 Vue auxiliaire de l'information

La vue auxiliaire de l'information est extraite du modèle IDEF0 dans le but de représenter à l'extérieur du contexte du modèle un total de 105 objets et éléments d'information impliqués dans l'exécution du processus, ainsi que les relations qui existent entre eux. Cette vue, présentée dans sa totalité à l'annexe IV, est composée d'une série de neuf diagrammes de concepts tels qu'introduits à la section 2.3.1.2 et où la distinction entre relations génériques, partitives, associatives et d'évolution est conservée (*Voir* Tableau 2.4 et Figure 2.11). De plus, sept nouveaux concepts ont été créés et ajoutés exclusivement à la vue de l'information dans le but de mieux la structurer. Ces concepts spécifiques à la vue se retrouvent surtout parmi les niveaux supérieurs des diagrammes afin de mieux regrouper les concepts de même rang. La figure 2.17 présente d'ailleurs un exemple de la représentation d'un de ces concepts au sein de la vue auxiliaire de l'information.

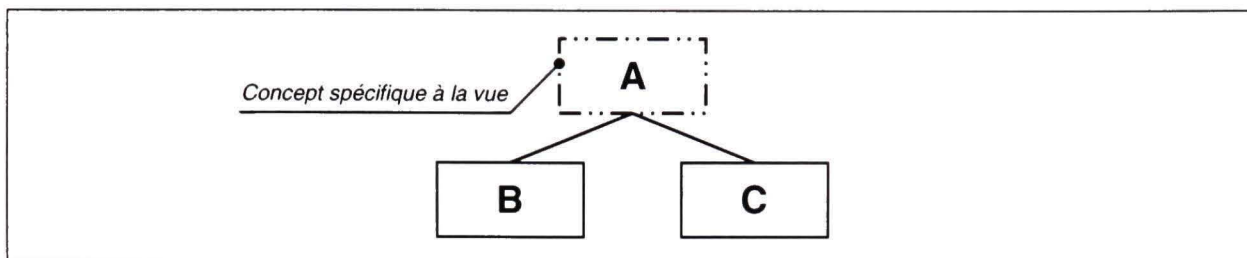


Figure 2.17 *Exemple de concept spécifique à la vue de l'information.*

Un premier exemple de diagramme de concepts de la vue de l'information, présenté à la figure 2.18, est le diagramme des concepts relatifs au dossier de conception spécifique au client, principal intrant au processus de définition de la configuration. Toutes les relations représentées au sein de ce premier diagramme proviennent du modèle IDEF0. Ce diagramme présente également la différence entre les relations génériques et partitives. La représentation de cet élément d'information au sein du modèle IDEF0 montre qu'il est composé de trois documents, soit la spécification du produit, les plans d'aménagements et l'énoncé des travaux. Toutefois, au cours du processus, deux instances différentes de ces trois documents sont traités, soit lorsque le dossier de conception est au stade préliminaire en vue de la révision de la conception préliminaire, et par la suite lorsque le dossier est libéré pour la création des IDL et la conception détaillée. Le diagramme de concepts résultant représente alors les dossiers de conception préliminaire et libéré comme étant deux instances du dossier de conception spécifique au client, tous deux composés de la spécification du produit, des plans d'aménagements et de l'énoncé des travaux.

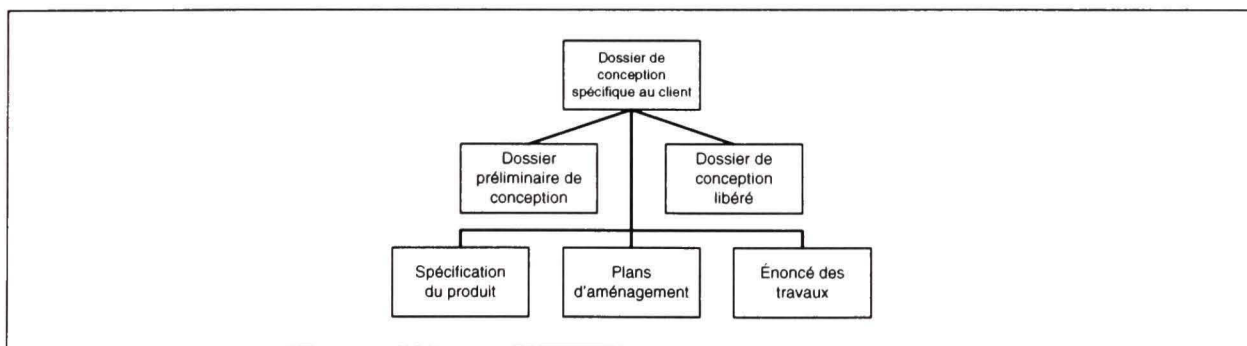


Figure 2.18 *Diagramme des concepts relatifs au dossier de conception spécifique au client.*

Un second exemple de diagramme de concepts provenant de la vue auxiliaire de l'information est présenté à la figure 2.19. Il s'agit du diagramme de concepts relatifs au cycle de vie de l'IDL lors du processus de définition de la configuration. Il présente effectivement une majorité de relations d'évolution entre les différents concepts représentant l'IDL au sein du modèle IDEF0, ce qui permet notamment d'identifier les cinq principaux états de maturité par lesquels l'IDL évolue au cours du processus, en plus de plusieurs états intermédiaires. Par exemple, à un certain stade, l'IDL doit être validée par l'ingénierie de conception. L'IDL passe alors par différents sous-états qui caractérisent le cycle de vérification et de correction du document qui mène conséquemment à son approbation. Le diagramme de la figure 2.19 illustre bien cette étape du processus du point de vue de l'information.

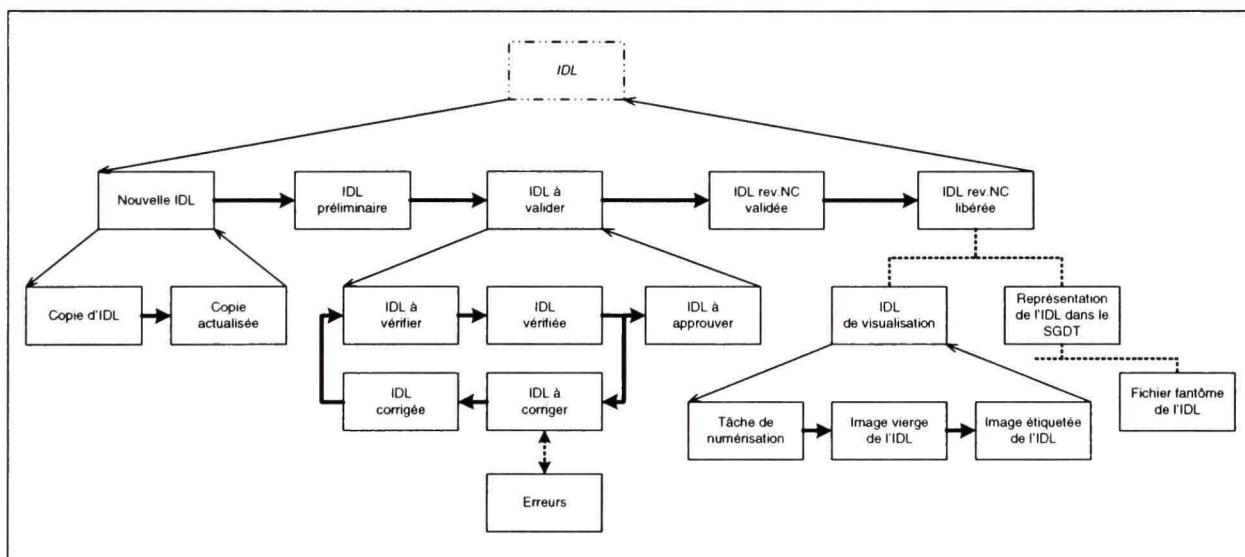


Figure 2.19 Diagramme des concepts relatifs au cycle de vie de l'IDL.

Le diagramme de concepts relatifs au cycle de vie du document de l'IDL représente également des exemples de relations entre éléments d'information qui ne sont pas représentées explicitement au sein du modèle IDEF0. Par exemple, la décomposition de l'IDL rev. NC libérée en constituants tels que l'IDL de visualisation (fichier *Adobe PDF*) et la représentation de l'IDL dans le SGDT (métadonnées décrivant le document) n'est pas modélisée au sein du modèle du processus. Ces constituants sont toutefois des intrants à

l'activité A3333 ('Joindre l'IDL à son index de dessins associé') du diagramme A333 ('Libérer l'IDL rev.NC dans le SGDT'), qui une fois regroupés et joints à l'index produisent l'IDL rev.NC libéré. Cela justifie alors la représentation exclusive à la vue de l'information de relations partitives à l'aide de lignes pointillées entre ces trois concepts.

Enfin, la figure 2.20 présente un troisième diagramme de concepts de la vue auxiliaire de l'information où sont représentés les objets et éléments d'information en relation avec le dossier de libération de la définition de la configuration. Ce diagramme présente d'abord un exemple de relation associative entre les concepts « Copie papier de l'IDL » et « IDL rev.NC validée ». Cette relation propre à la vue de l'information associe ces deux concepts car ils représentent en réalité exactement la même chose : au sein du dossier de libération, la copie papier de l'IDL est une copie de l'IDL rev.NC validée, d'autant plus que cette copie n'évolue pas lorsque le dossier de libération est approuvé, contrairement au formulaire de notification de changement.

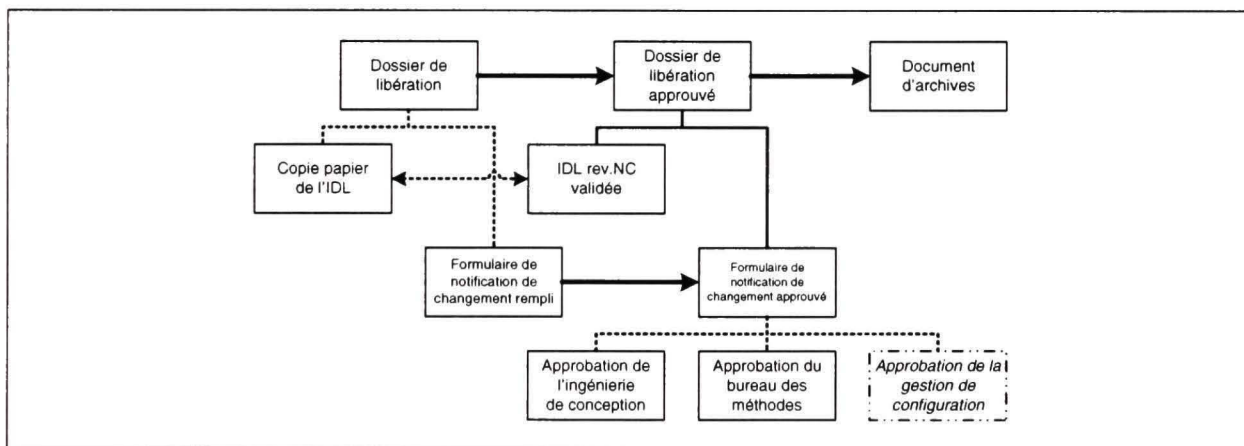


Figure 2.20 *Diagramme de concepts relatifs au dossier de libération de la définition de la configuration.*

D'ailleurs, puisqu'il est question du formulaire de notification de changement, le diagramme de la figure 2.20 présente également un exemple de concept spécifique à la vue de l'information. Il s'agit en fait du concept représentant l'approbation du dossier de libération de la définition de la configuration par la gestion de configuration. En effet, ce concept ne se retrouve pas explicitement au sein du modèle IDEF0, mais est plutôt implicite à l'activité

A323 ('Soumettre le dossier à la gestion de la configuration de design pour revue et approbation') du diagramme A32 ('Approuver le dossier de libération de la configuration'), puisqu'il était impossible de le modéliser, cette dernière approbation déclenchant automatiquement, sans activité intermédiaire, l'approbation complète du dossier. Il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'un élément nécessaire, avec les deux autres approbations, pour permettre au formulaire de notification de changement complété d'évoluer vers son état « approuvé ».

2.3.2.4 Vue auxiliaire des rôles

L'extraction de la vue auxiliaire des rôles depuis le modèle IDEF0 résulte en l'organigramme de la figure 2.21. On y retrouve les trois départements d'ingénierie intervenant lors du processus de définition de la configuration, soit l'ingénierie de conception, le bureau des méthodes et la gestion de configuration. Trois rôles différents sont identifiés parmi les intervenants de l'ingénierie de conception, soit le chef d'équipe, le chargé de projet et l'ingénieur de conception. Ce qu'il faut comprendre de l'ordre hiérarchique entre ces rôles, c'est que le rôle d'ingénieur de conception peut être assuré par le chargé de projet ou même le chef d'équipe, puisqu'ils sont avant tout des ingénieurs de conception. À l'inverse, l'ingénieur de conception demeure limité à son rôle. Pour ce qui est des départements du bureau des méthodes et de la gestion de configuration, aucun rôle plus spécifique n'a pu être identifié par l'étude.

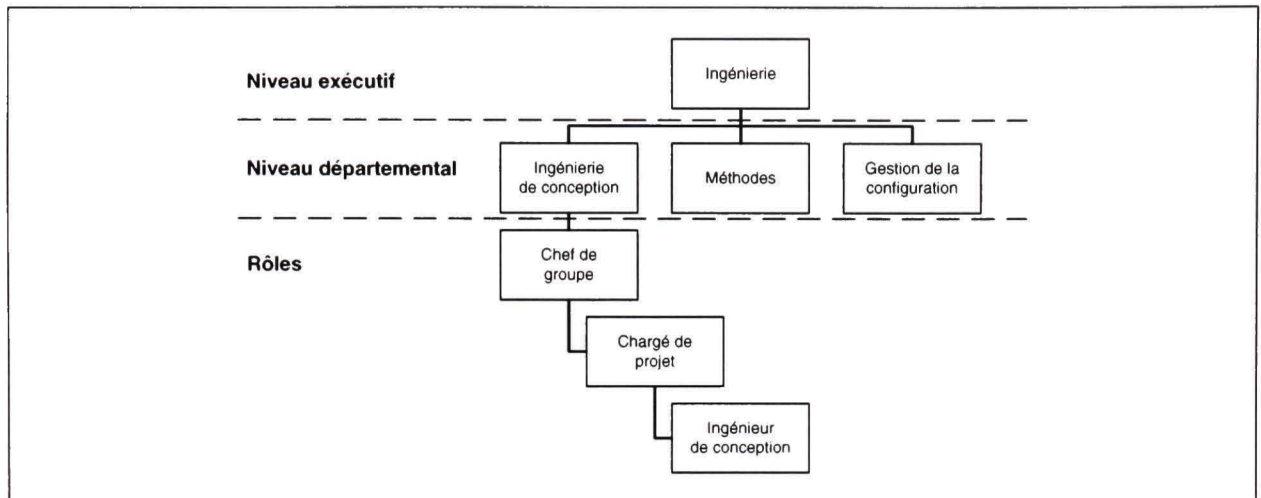


Figure 2.21 *Organigramme de la vue auxiliaire des rôles.*

En se basant sur la vue des rôles, il est possible de mesurer le pourcentage de participation au processus de chacun des rôles identifiés, comme le montre le graphe circulaire de la figure 2.22. Le pourcentage calculé ici mesure uniquement la participation de chaque rôle aux 57 activités élémentaires, c'est-à-dire celles qui ne sont pas décomposées en activités plus élémentaires encore. De plus, lorsqu'une activité élémentaire nécessite la participation de plusieurs rôles différents, comme par exemple l'activité A321 ('Soumettre le dossier à l'ingénierie de conception pour revue et approbation'), une participation est comptabilisée par rôle, ce qui porte le total d'interventions lors du processus à 59. On constate ainsi que l'ingénierie de conception participe à 62.7% des activités élémentaires du processus de définition de la configuration. De plus, puisqu'il occupe également le rôle d'ingénieur de conception, le chargé de projet peut avoir à s'occuper seul d'un maximum de 59,3 % des activités élémentaires du processus. On peut en conclure que l'exécution actuelle du processus s'appuie considérablement sur le savoir-faire des individus les plus expérimentés et possédant une meilleure vue d'ensemble du projet.

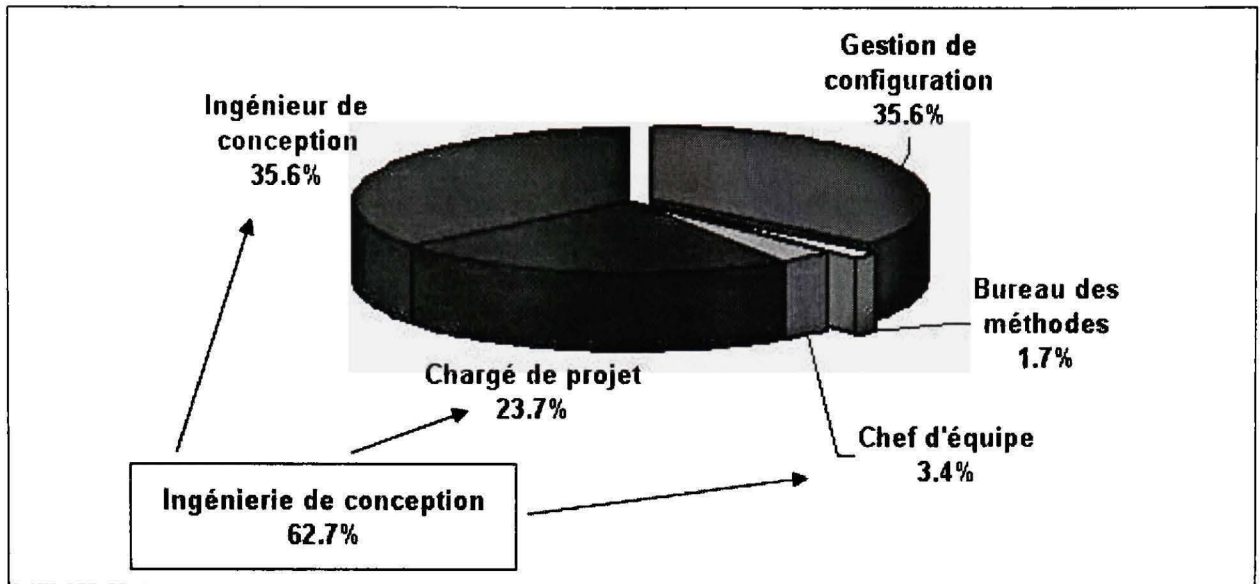


Figure 2.22 Pourcentages de participation des rôles du processus.

2.3.2.5 Vue des outils informatiques

La vue auxiliaire du modèle représentant exclusivement les systèmes et outils informatiques utilisés lors de l'exécution du processus est représentée par le diagramme hiérarchique de la figure 2.23. Cet arbre correspond à la décomposition du concept « TI » du modèle IDEF0 représentant l'ensemble des technologies de l'information. On retrouve au premier niveau deux applications, le tableur *Microsoft Excel* et un éditeur de fichier *Adobe PDF* qui constitue le format standard de visualisation, ainsi que le système de gestion des données techniques tel que décrit à la section 2.2.1 et présenté à la figure 2.1. Dans le cadre du processus de définition de la configuration, seulement deux des quatre applications formant le SGDT sont utilisés, soit *Motiva DesignGroup* et *DTS*, puisqu'il est surtout question d'exploiter des données récurrentes ou de créer de nouvelles entrées au sein des bases de métadonnées. Finalement, une dernière application, *AutoCAD*, est représentée dans le diagramme de la figure 2.23 comme étant subordonnée à *Motiva*. Ceci s'explique par l'interopérabilité entre les deux logiciels qui nécessite qu'*AutoCAD* soit démarré et utilisé par l'entremise de *Motiva*.

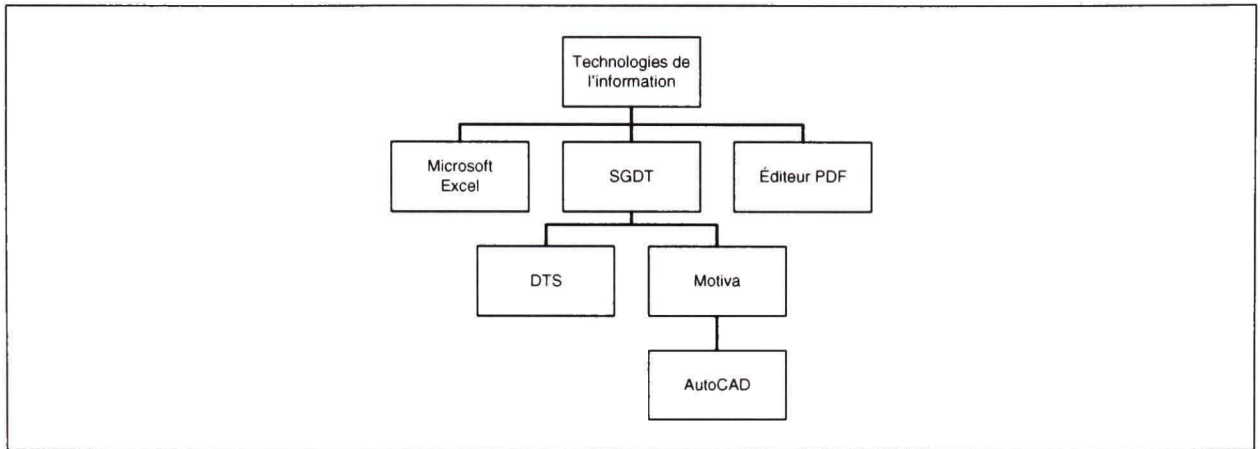


Figure 2.23 *Diagramme de la vue auxiliaire des systèmes informatiques.*

Au sein du modèle IDEF0 du processus, un outil de nature informatique est associé à une activité exclusivement lorsque celle-ci comporte l'utilisation directe d'une ou des fonctionnalités de l'outil. Il ne s'agit pas ici d'identifier l'accès informatique aux différents objets et éléments d'information, mais bel et bien l'outil, c'est-à-dire lorsqu'une opération exécutée au sein de l'application a pour résultat de transformer ou de déplacer les objets ou l'information dans la cadre de l'activité. Ainsi, par exemple, la presque totalité des documents d'ingénierie, y compris les trois documents du dossier de conception spécifique au client, sont accessibles depuis DTS, mais l'application n'est pas identifiée comme un outil informatique lorsqu'il s'agit de traiter le dossier de conception, car son utilisation ne se limite qu'à celui de portail vers l'information et n'est pas exclusive, i.e. il existe d'autres moyens d'obtenir cette même information. Ceci implique que ce modèle IDEF0 n'illustre pas l'ensemble des technologies de l'information habituellement employé dans le cadre du processus. À l'opposé, si la décision de modéliser l'accès à l'information avait été prise, chaque activité modélisée impliquant la consultation de données disponibles sur support informatique comporterait alors plusieurs sous-activités représentant chacune une manière différente d'accéder à l'information. Le modèle final s'en retrouverait par conséquent fortement alourdi.

2.3.2.6 Matrices des relations

Trois matrices permettent de représenter sommairement les relations entre les trois vues auxiliaires au modèle IDEF0 du processus. Au sein du modèle IDEF0, ces relations sont initialement représentées à l'interface des activités. Généralement, lorsque deux éléments provenant de vues auxiliaires différentes font partie des concepts reliés à une même activité, on identifie alors une relation entre ces deux éléments au sein des matrices.

Une première matrice, présentée au tableau 2.5, représente les relations entre les éléments des vues, des rôles et des systèmes informatiques. Ces relations expriment en quelque sorte les exigences de chaque rôle en ce qui concerne l'utilisation des divers systèmes et applications informatiques lors de l'exécution du processus de définition de la configuration.

Tableau 2.5

**Matrice des relations entre les vues auxiliaires
des rôles et des systèmes informatiques**

Technologies de l'information	Rôles			Bureau des méthodes	Gestion de configuration
	Ingénierie de conception				
	Chef d'équipe	Chargé de projet	Ingénieur de conception		
MS Excel	X	X	X		
SGDT			X		X
DTS			X		X
Motiva					X
AutoCAD					X
Éditeur PDF					X

Une seconde matrice identifie pour sa part les relations entre les objets d'information et les rôles impliqués dans le processus. Ces relations identifient la nature de l'information avec laquelle chaque rôle entre en interaction durant le processus, qu'il s'agisse de générer, transformer ou consulter cette information. La matrice des relations entre les vues auxiliaires de l'information et des rôles est présentée partiellement au sein du tableau 2.6 – la matrice complète est présentée à l'annexe V – où seuls les concepts relatifs à la gestion et à la maîtrise du processus sont énumérés. Ce tableau permet notamment d'identifier la documentation de référence disponible et utilisée par chaque rôle pour guider et contrôler certaines de leurs tâches au sein du processus. On y remarque notamment qu'aucune procédure encadrant le travail des ingénieurs de conception durant le processus n'a pu être identifiée durant l'étude de cas : soit cette procédure existe mais n'est pas maîtrisée par les ingénieurs, soit elle n'existe pas formellement. Ceci expose donc une opportunité d'amélioration au niveau de la documentation de support pour le processus.

Tableau 2.6

**Matrice (partielle) des relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des rôles**

Information		Rôles			Bureau des méthodes	Gestion de configuration
		Ingénierie de conception				
		Ingénierie de conception	Chargé de projet	Ingénierie de conception		
		Ingénierie de conception	Chargé de projet	Ingénierie de conception		
<i>Relatifs à la gestion et à la maîtrise du processus</i>	Avis de lancement du projet		X	X		
	Gabarit d'IDL		X	X		
	Documentation de référence	X	X	X	X	X
	Instruction de recherche dans DTS			X		
	Formulaires		X			
	Formulaire de notification de changement		X			
	Tables			X		
	Table de classification des dessins d'ingénierie			X		
	Table des échéanciers			X		
	Table des sections de la configuration			X		
	Procédures	X	X		X	X
	Procédure de notification de changement	X	X		X	X
	Procédure de gestion de configuration					X
	Instruction d'enregistrement dans DTS					X
	Instruction de création d'index de dessins					X
Instruction de génération d'un document sous format standard de visualisation					X	

Finalement, la dernière matrice, présentée entièrement à l'annexe V avec les deux précédentes, présente les relations entre les vues de l'information et les systèmes informatiques. En premier lieu, le recensement des relations entre objets ou éléments d'information et systèmes ou applications informatiques permet de distinguer l'information sur support informatique (environ 66%) de l'information sur support physique (ex. : copie papier) ou de nature abstraite (ex. : aperçu des caractéristiques). De plus, cette matrice identifie la nature de l'information que chaque application informatique impliquée dans le processus est appelée à traiter dans le cadre du processus de définition de la configuration.

2.4 Synthèse

En résumé, ce second chapitre présente un compte-rendu détaillé et une brève analyse préliminaire de l'ensemble des observations ayant été réalisées au sein du milieu industriel du BiCCM. Le processus étudié de définition de la configuration permet globalement de traduire et de restructurer les exigences du client, soit la description d'une nouvelle configuration d'un point de vue contractuel, en une représentation technique exploitable par l'ingénierie. Cette représentation, présentée au sein des IDL rev.NC, constitue en fait la première représentation explicite de la structure du produit à réaliser, au sein de laquelle sont identifiés en grand nombre, mais pas entièrement, les composants de sa configuration applicable.

La cohésion dans l'exécution concurrente du processus par les six équipes de conception présente certainement un défi important, notamment à cause de la nature de la documentation de référence et de l'hétérogénéité des points de vue, des situations et des attentes face au processus lui-même. Afin d'en faciliter la compréhension générale et de prendre connaissance de l'ampleur des améliorations à apporter, le processus fut modélisé selon la technique IDEF0 qui permet de concentrer l'analyse sur les éléments d'informations et les objets qui caractérisent l'occurrence unique de certaines activités. Extraits et structurés au sein de trois vues auxiliaires, ces éléments d'information et leur relations ont pu être analysés hors du contexte des activités du processus pour évaluer notamment la disponibilité des éléments de contrôle pour chaque rôle impliqué dans le processus.

CHAPITRE 3

ANALYSE DE LA GESTION DES STRUCTURES DU PRODUIT ADAPTÉ SUR COMMANDE ET AVENUE DE SOLUTION

La revue de la littérature scientifique présentée au premier chapitre de ce mémoire nous a permis d'explorer d'un point de vue théorique les concepts de structure du produit, de vues particulières sur le produit, de configuration de produit et de propagation de changement entre structures du produit. Le second chapitre présentait quant à lui en détails les résultats de l'étude de cas réalisée en milieu industriel sur un processus impliquant la gestion d'une structure du produit dans un contexte d'adaptation de produit sur commande, soit le processus de définition de la configuration. On se retrouve alors en bonne position pour effectuer la comparaison des deux points de vue, c'est-à-dire théorique et pratique, et ainsi analyser les besoins au niveau de la gestion des structures du produit adapté sur commande. Cette analyse débute d'abord par une synthèse des connaissances acquises sur les structures du produit spécifiques au contexte d'adaptation de produit sur commande et la proposition du concept de structure générique adaptative du produit (SGAP). Elle se poursuit ensuite par la proposition d'un modèle représentant l'évolution de la modélisation du produit adapté sur commande basée sur sa structure selon les différents points de vue portés sur le produit durant les processus de développement de produit et de vente-livraison. Enfin, les observations réalisées en milieu industriel sont comparées à différents concepts théoriques présentés préalablement afin de déduire les besoins de l'ingénierie de conception au BiCCM en matière gestion des structures du produit.

3.1 Synthèse sur les structures du produit propres à l'adaptation sur commande

Cette première section se veut un retour sur les concepts de structure du produit et de configuration de produit présentés au sein de la revue de la littérature scientifique. On vise ainsi à examiner plus en détails le rôle et l'évolution des structures du produit dans un contexte de personnalisation de produit, plus spécifiquement d'adaptation de produit sur commande, tel qu'étudié en milieu industriel au BiCCM. Tout d'abord, on fait la distinction

entre la structure générique du produit et la structure spécifique d'une variante. On recherche ensuite la vue particulière sur le produit à laquelle on peut associer les modèles de la structure générique et de la structure spécifique. Enfin, on discute des particularités que présentent ces deux modèles dans le contexte précis de l'adaptation de produit sur commande, pour en arriver notamment à introduire le concept original de la SGAP.

3.1.1 Description du produit générique et description de la variante

Lorsqu'il est question de la génération et de la gestion de l'information relative à un produit fait sur commande, la figure 1.12 présentée à la section 1.2 et reproduite à la suite du présent paragraphe résume le principe fondamental. En effet, pour en arriver à décrire la variante d'un produit, il faut avant tout être en mesure de décrire le produit d'un point de vue générique et anonyme, description qui est par la suite complétée ou personnalisée par les exigences du client de cette variante. Autrement dit, le produit fait sur commande est décrit selon deux états consécutifs. Il doit d'abord exister une description générique du produit, afin de pouvoir par la suite la préciser et obtenir la description spécifique de la variante. Ainsi, lors de la génération d'une variante, la description du produit générique, qui représente le type, demeure invariante face aux exigences spécifique d'un nouveau client, alors que la description spécifique de la variante du produit, l'instance, en dépend directement.

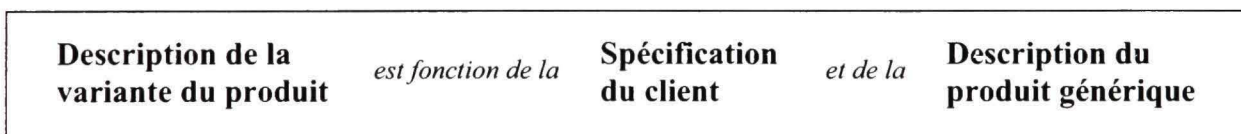


Figure 3.1 *Vers la génération de l'information relative aux variantes d'un produit fait sur commande.*
(Erens, McKay et Bloor, 1994)

Pour ce qui est des structures du produit, elles doivent donc pouvoir décrire le produit autant de manière générique que spécifique, avant et après le traitement de la spécification du client. Le concept conventionnel de la structure du produit, au sein de laquelle sont représentées les relations partitives d'un ensemble sous la forme d'une arborescence avec une seule racine, des branches et des feuilles (ex. : nomenclature à plusieurs niveaux), correspond à la

description spécifique d'un objet individuel. Pour en arriver à représenter la généralité et/ou la variété au sein d'une famille de produits faits sur commande, et ainsi décrire le produit génériquement, il faut alors aller vers des concepts de modélisation tels la structure générique du produit (section 1.2.2). À l'aide de relations partitives et génériques, on y structure principalement les modules et organes génériques du produit plutôt que les composants spécifiques, car ils représentent ce qu'il y a de commun entre les multiples variantes du produit. Peu importe l'aspect qu'on lui donne, le principe fondamental de la structure générique du produit en configuration de produit demeure qu'il doit être possible d'en dériver, par l'imposition de spécifications, les plusieurs structures spécifiques de toutes les différentes variantes du produit.

La figure 3.2, inspirée de l'exemple du système médical de Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997), illustre ce principe. La structure générique du produit organise d'abord les organes ou modules génériques du produit qui représentent en quelque sorte les types de composants que doivent posséder les variantes du système médical fictif. À ces types sont associées des instances, soient les différentes variantes primaires des modules génériques. Par exemple, comme le montre l'exemple de la figure 3.2, tout système médical comprend au sein de sa structure une table où se couche le patient sous examen, d'où la relation partitive entre l'objet « structure » et l'objet « table ». La définition de l'objet « table » demeure générique, puisqu'il existe plusieurs composants de type « table », soit la table fixe et la table mobile, qui peuvent faire partie de la structure du système médical. Les instances « table fixe » et « table mobile » sont alors reliées à l'objet « table » qui définit leur type à l'aide de relations génériques. Lorsqu'une spécification de commande précise que la table de la nouvelle variante à concevoir doit être mobile, la définition de l'objet « table » pour cette variante spécifique ne peut plus être générique et doit alors obligatoirement adopter la définition d'une des deux variantes. L'identification des composants spécifiques fait alors disparaître les relations génériques de la structure : l'objet de type « table » sera plus spécifiquement l'objet « table mobile ».

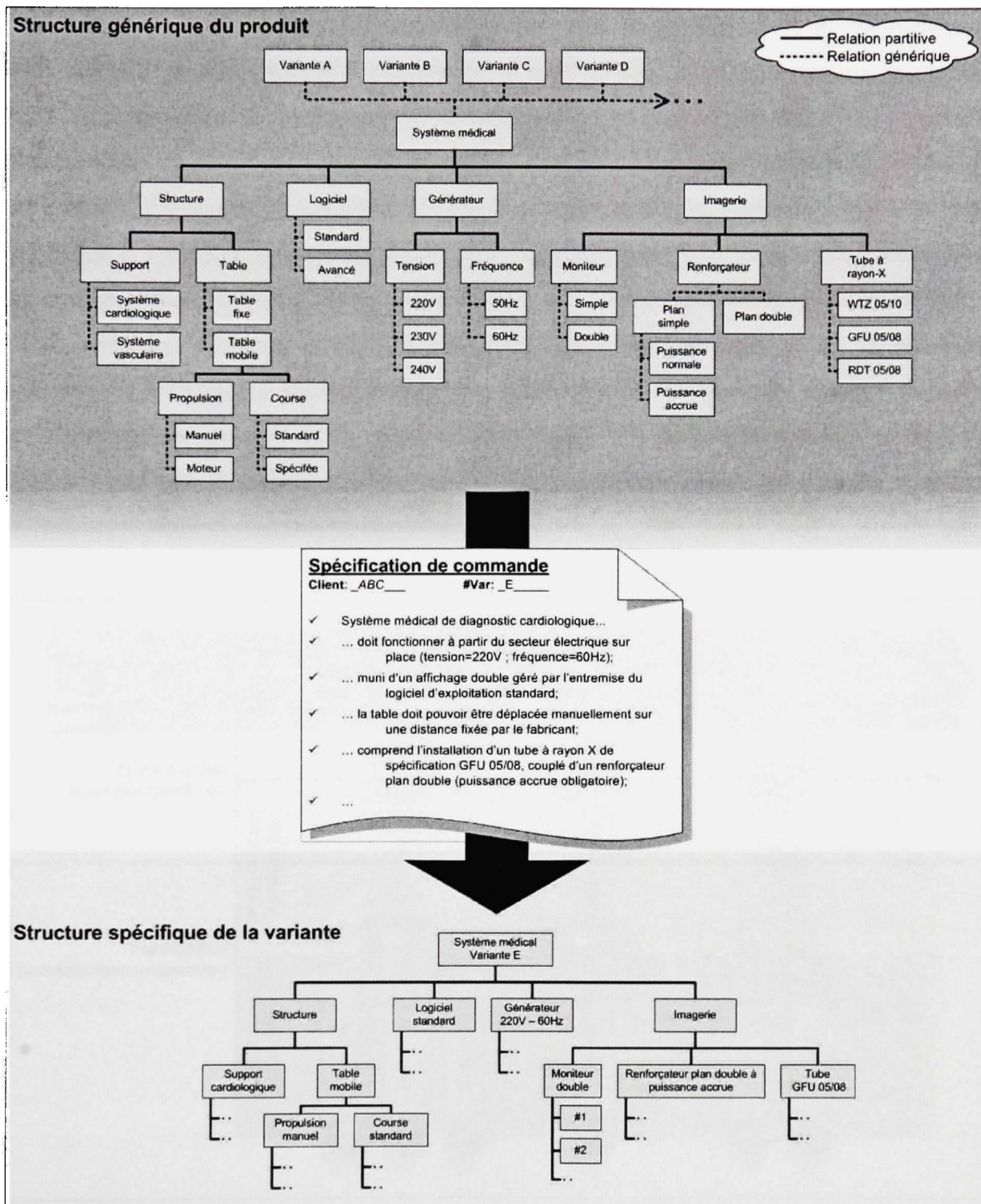


Figure 3.2 Exemples de structures générique et spécifique du produit.
(inspirée de Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997))

Les descriptions générique et spécifique du produit font ainsi référence respectivement aux états objectif (de référence) et applicable de la configuration, tels que décrits à la section 1.2.3. Ces deux états se distinguent par la modification de la configuration de référence du produit selon les spécifications de la commande du client, comme l'illustre la figure 3.3. Il est possible d'associer les concepts propres aux produits configurables tels que « produit générique », « variante » et « exemplaire » aux trois principaux états de la configuration, soit les configurations objectives, applicables et réalisées, respectivement. Le produit générique décrit plusieurs variantes, et chaque description d'une variante mène à un ou plusieurs exemplaires réalisés. Toutefois, dans le cas particulier où les variantes ne sont réalisées qu'une seule fois (exemple de la variante B de la figure 3.3), comme pour le *Global Express XRS*, les concepts de variante et d'exemplaire peuvent être confondus, mais pas les concepts d'états applicables et réalisées de la configuration.

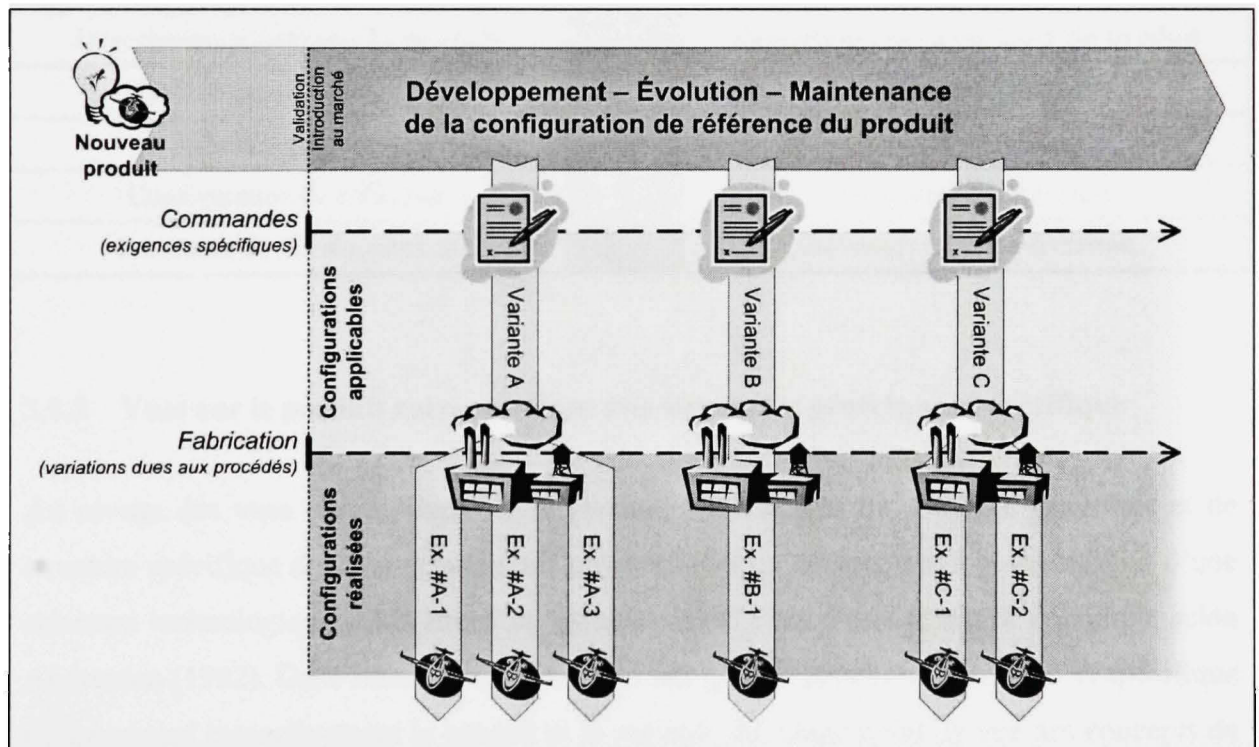


Figure 3.3 *Structure des états de la configuration.*

Selon Maurino (1993), par définition, la configuration de référence d'un produit est obtenue à la fin de la phase de développement du produit. La figure 1.14 présentée à la section 1.2.2

va dans le même sens, montrant que la description générique du produit, en occurrence la structure générique du produit, constitue le principal livrable du processus de développement. Cette même figure montre également que la configuration réalisée du produit, l'exemplaire, constitue l'un des livrables du processus de vente-livraison. On peut alors en déduire que la description d'une variante, ou la définition de la configuration applicable du produit, à partir des exigences du client et de la description générique du produit, constitue l'une des premières étapes du processus de ventes-livraison. En résumé, le tableau 3.1 présente les correspondances entre les concepts présentés au sein de la section 1.2 de la revue de la littérature et le principe fondamental de la figure 3.1.

Tableau 3.1

Correspondances entre les concepts relatifs aux produits faits sur commande

Description générique du produit	Spécification du client	Description de la variante du produit
Produit générique ou type		Variante ou instance
Structure générique		Structure spécifique
Configuration de référence		Configuration applicable
Processus de développement		Processus de vente-livraison

3.1.2 Vues sur le produit correspondant aux structures générique et spécifique

Au niveau des vues particulières sur le produit, les concepts de structure générique et de structure spécifique du produit présentés précédemment s'apparentent à la description d'une structure technologique selon Erens et Verhulst (1997), ou d'une structure organique selon Andreasen (1992). Cette ressemblance vient du fait que les structures générique et spécifique décomposent respectivement le produit et la variante du même point de vue des concepts de solutions ou organes technologiques.

La structure spécifique d'une variante ne se limite toutefois pas à l'organisation des organes de la variante au sein des premiers niveaux, mais organise également les détails de

conception de ces organes maintenant configurés, autrement dit les composants techniques. La structure spécifique s'apparente alors également à la structure technique selon Maurino (1993) qui considère également la conception détaillée du produit. Alors que les niveaux supérieurs de la structure technique organisent la description de la solution en termes de concepts technologiques et de disciplines de conception, formant ainsi la structure organique, ou l'organigramme technique comme le nomme Maurino (1993), ses niveaux inférieurs présentent quant à eux les détails de la conception de chaque organe identifié au sein des niveaux supérieurs. Le sujet des vues particulières sur le produit et des structures du produit adapté sur commande est traité à la section 3.2.

3.1.3 Particularités relatives au produit adapté sur commande

L'approche de personnalisation employée par une entreprise influence directement la description et l'évolution des états objectif et applicable de la configuration de leur produit. Chaque approche est en effet caractérisée par un point de découplage de la commande du client (CODP), point où le flux d'idées et/ou de matières passe d'un flux poussé (relié à un programme de développement ou de production) à un flux tiré (déclenché par une commande). Ce point caractérise en quelque sorte le début du processus de vente-livraison par rapport au processus développement du produit.

La description du produit générique atteint alors différents niveaux de détails en fonction de l'approche de personnalisation. Plus tard le CODP survient, plus avancée sera la description du produit générique lors de la réception de la commande. Par exemple, dans le cas de l'assemblage sur commande, toutes les variantes primaires ont été définies et détaillées au point de pouvoir être préfabriquées. À l'opposé, plus le CODP survient tôt, plus abstraite sera la description du produit générique, voir incomplète, comme dans le cas de l'adaptation sur commande où il est permis aux clients d'introduire de nouvelles exigences que de nouvelles variantes du produit devront satisfaire.

3.1.3.1 Structure générique du produit adapté sur commande

Il est possible de situer les différentes positions du CODP par rapport au niveau d'une structure générique du produit. La figure 3.4 montre les trois positions du CODP correspondant aux approches de personnalisation présentées à la section 1.2.1 au sein de la structure générique du produit telle que décrite par Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997).

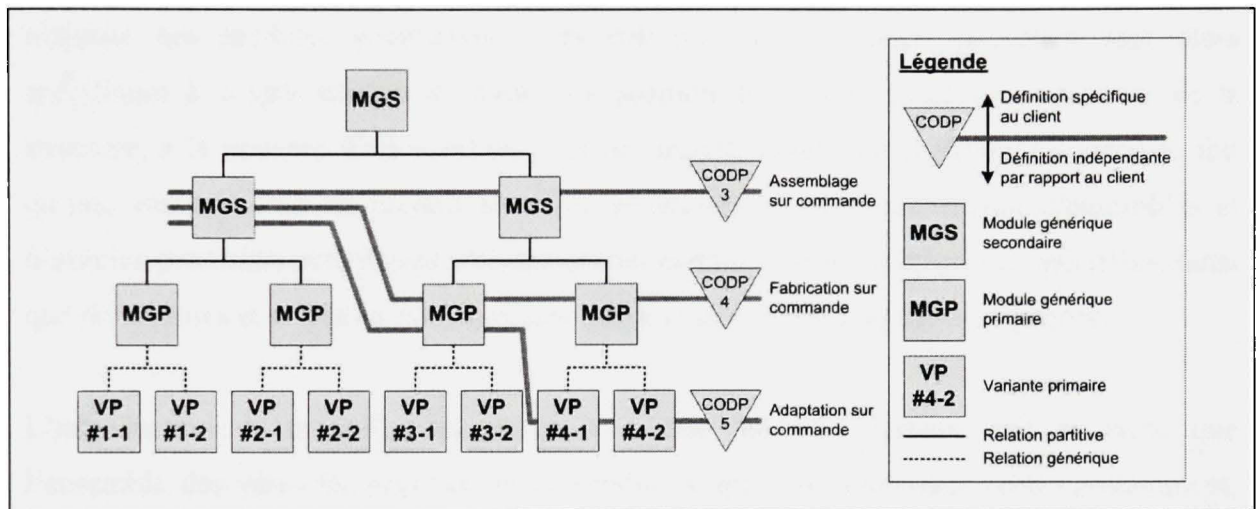


Figure 3.4 *Représentation des différentes positions du CODP au sein d'une structure générique du produit. (inspirée de Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997))*

Lors de l'assemblage sur commande, le CODP (3) se situe strictement au niveau des modules génériques secondaires du produit. La structure du produit est invariante et la nature des composants des modules ne varie qu'en fonction des choix au niveau des variantes primaires prédéfinies. Dans le cas d'un ordinateur personnel, par exemple, les choix ne sont faits qu'au niveau des différents périphériques de l'appareil (écran, disque dur, mémoire vive, etc.) : la structure et l'architecture (interfaces) de ces différents périphériques ne changent pas.

Lors de la fabrication sur commande, le CODP (4) peut également se situer plus bas dans la structure générique, soit au niveau des modules génériques primaires. La composition de certains modules génériques secondaires dépend alors de la spécification du client et peut

regrouper différents ensembles personnalisés. Les variantes primaires associées à ces modules génériques primaires demeurent toutefois prédéfinies et leur nombre dépend de ce que désire offrir le fabricant. Par exemple, l'organisation des principales parties d'une machine-outil dépend directement du choix des composants élémentaires, ceux-ci étant déjà définis pour répondre aux différents besoins du marché.

Puis, lors de l'adaptation sur commande, le CODP (5) descend jusqu'en-deçà des derniers composants configurables, soit au niveau des variantes primaires. La composition de la majorité des modules génériques et la définition des variantes primaires sont alors spécifiques à la spécification du client. La position du CODP sur plusieurs niveaux de la structure, à la manière d'un escalier, pour un produit adapté sur commande illustre le fait qu'une variante d'un tel produit constitue généralement une combinaison d'ensembles et d'articles prédéfinis satisfaisant directement un certain nombre d'exigences spécifiées, ainsi que de modules et d'articles personnalisés qui répondront à de nouvelles exigences.

L'introduction de nouvelles exigences à chaque nouvelle variante fait en sorte que l'ensemble des variantes primaires d'un produit adapté sur commande croît constamment, contrairement aux produits strictement configurables (assemblage et fabrication sur commande) dont les variantes valides sont toutes clairement définies d'avance par un ensemble fini de composants standards, prédéfinis et paramétriques. Évidemment, la diversification constitue l'objectif de l'adaptation de produit sur commande, i.e. offrir davantage de liberté aux différents clients dans la spécification du produit personnalisé qu'ils désirent acquérir tout en respectant les capacités du fabricant. Le concept de structure générique doit cependant s'appliquer différemment au produit adapté sur commande, car le principe décrit dans la littérature selon lequel toute structure générique d'un produit doit agréger les structures spécifiques de toutes ses variantes n'est plus respecté.

En effet, la structure générique d'un produit adapté sur commande est *a priori* incomplète lorsque débute le processus de vente-livraison et la définition d'une nouvelle variante. Elle n'est pas complète en ce sens où, au début de la configuration du produit, elle ne décrit et ne

répertorie pas toutes les fonctions, modules génériques et variantes primaires qui répondront de manière exhaustive aux nouvelles exigences introduites par le futur client. Néanmoins, grâce à un concept original comme celui d'une structure générique adaptative du produit au sein laquelle sont systématiquement incorporées, une fois complétées, les descriptions de chaque nouvelle variante du produit, il devient possible de décrire *a posteriori* l'ensemble des variantes adaptées sur commande à l'aide du concept de la structure générique.

Ainsi, la SGAP, propre au produit adapté sur commande, doit évoluer constamment au fil des projets. Son rôle devient alors plus complexe par rapport à la structure générique d'un produit strictement configurable. Incorporant pour chaque nouvelle variante du produit de nouvelles solutions techniques et leurs nouvelles variantes primaires correspondantes, elle devient une référence indispensable pour la résolution des exigences particulières d'un nouveau client et, par conséquent, pour la définition d'une nouvelle variante du produit. La SGAP répertorie l'ensemble des variantes primaires, toutes sujettes au processus de configuration, qu'elles aient été développées sous la forme de composants standards et optionnels lors du processus de développement, ou en réponse aux besoins spécifiques de clients antérieurs lors du processus de vente-livraison. Elle offre également aux ingénieurs une classification basée sur la structure du produit des solutions techniques développées par le passé, ce qui favorise la recherche et la réutilisation des conceptions antérieures dans le but d'en concevoir de nouvelles.

3.1.3.2 Évolution vers la structure spécifique d'une variante

Dans le contexte de l'adaptation sur commande, le processus de vente-livraison comporte une phase d'ingénierie considérable gérée sous la forme d'un projet. Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) divisent cette phase en trois sous-phases : la phase de vente où a lieu l'analyse du problème et l'énoncé des exigences, la phase d'offre où l'entreprise définit le produit d'un point de vue conceptuel et propose une solution préliminaire au client, et la phase de commande où la solution retenue est décrite en détail en vue d'être réalisée. Cette vision du projet d'ingénierie associé au processus de vente-livraison admet ainsi que chaque

variante est développée selon une démarche linéaire, évoluant depuis les exigences jusqu'à la spécification de production, comme l'illustre la figure 3.5. On remarque au sein de cette figure que des structures du produit, telles que décrites à la section 1.1.2 de la revue de la littérature, sont identifiées par les auteurs comme les livrables de certaines étapes du projet d'ingénierie.

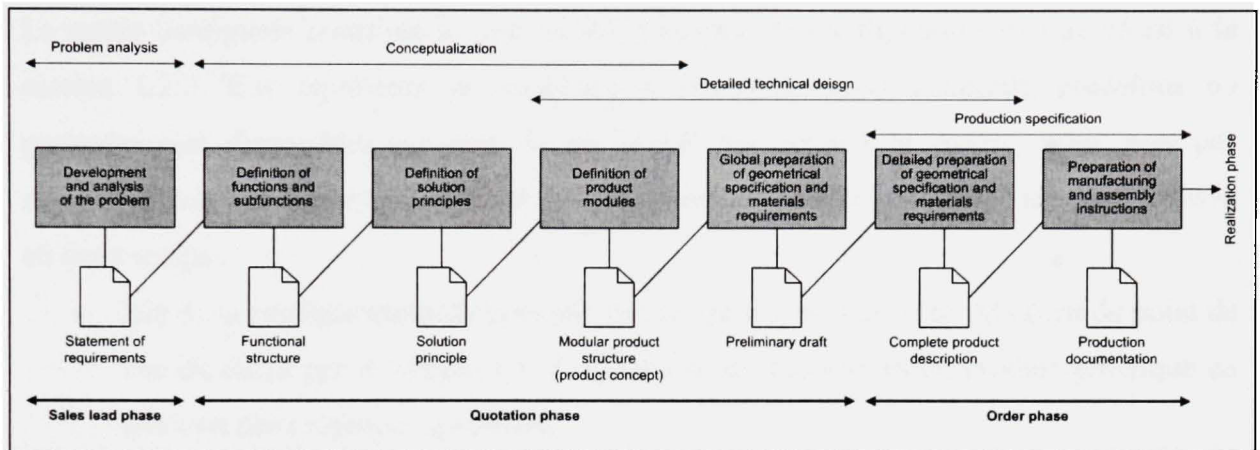


Figure 3.5 *Modèle d'un projet d'ingénierie associé au processus de vente-livraison d'un produit adapté sur commande.*
(Wortmann, Muntslag et Timmermans, 1997)

Toutefois, corroborant la vision de Mesihovic et Malmqvist (2000a), l'étude réalisée au BiCCM a montré que la description d'une variante adaptée sur commande peut être segmentée et que la définition de chaque segment évolue alors différemment lors d'un projet. L'observation du processus de définition de la configuration du programme *Global 5000* a en effet permis de constater que la description d'une variante peut être subdivisée en trois segments : le tronc commun (*baseline*), la partie configurée (*options*) et la partie adaptée (*cost & offerability*).¹¹

¹¹ Les termes entre parenthèses sont ceux utilisés au BiCCM pour identifier les trois segments de la description d'une variante.

Le tronc commun constitue la portion de la configuration du produit qui est applicable à toutes les variantes. Provenant uniquement de la description générique du produit et donc indépendants par rapport aux exigences du client, tous les détails techniques de ce segment sont connus au début du projet : aucun travail d'ingénierie n'est requis à ce niveau durant le processus de vente-livraison.

La partie configurée constitue le résultat du processus de configuration tel que décrit à la section 1.2.2. Elle représente la combinaison des composants standards, prédéfinis ou paramétriques disponibles au sein de la SGAP qui répond le mieux, mais non pas complètement, aux exigences du client. La définition de la partie configurée est donc réalisée en deux temps :

- lors de la **configuration de la vente**, ce second segment est d'abord décrit du point de vue du client par la sélection et l'évaluation des paramètres du produit générique en fonction des exigences spécifiées;
- lors de la **configuration de la structure technique**, la description détaillée des variantes primaires associées aux paramètres sélectionnés est ensuite copiée et organisée au sein de la structure technique de la variante.

La charge de travail en ingénierie associée à la partie configurable se résume principalement au suivi du respect des règles de configuration et à la production de la documentation technique relative à de nouvelles combinaisons de paramètres. Mesihovic et Malmqvist (2000a) suggèrent notamment d'utiliser des logiciels de configuration (*configurators*) afin d'automatiser le processus de configuration et ainsi accélérer la définition de ce second segment lors d'un projet. La structure ouverte résultante incorpore à la fois le tronc commun et la partie configurée et établit l'étendue du travail à réaliser en vue du développement du troisième segment de la description de la variante, la partie adaptée, exclusive au projet.

La partie adaptée de la description d'une variante regroupe tous les organes, ensembles et articles devant être conçus spécifiquement pour répondre aux dernières exigences du client que le produit générique et le processus de configuration ne peuvent satisfaire. Le

développement de ce dernier segment nécessite toutes les phases d'un projet d'ingénierie, c'est-à-dire l'analyse d'un problème, la définition d'objets et de leur structure, et la conception détaillée de ces objets. Il s'agit en quelque sorte d'un second processus de développement, comme celui ayant mené à la description générique du produit, sauf qu'il est déclenché par la spécification d'un client, d'où son nom d'ingénierie personnalisée. Il fait exclusivement partie du processus de vente-livraison. L'ingénierie personnalisée ne vise pas la reprise de la conception de la variante en entier, mais seulement la conception de certains modules ou composants spécifiques dans le contexte imposé par la spécification du client. Ce contexte est représenté à ce stade par la structure ouverte obtenue à la suite du processus de configuration, au sein de laquelle on retrouve des objets toujours à l'état conceptuel répertoriant de l'information telle les exigences particulières qui restent à satisfaire, ainsi que des objets complètement définis et structurés dont les données techniques sont disponibles pour la suite des activités.

La figure 3.6 résume l'évolution de la description d'une variante d'un produit adapté sur commande en fonction des trois segments présentés ici, des trois phases d'un projet d'ingénierie et des processus de développement et de vente-livraison du produit. On y associe ainsi le tronc commun à la description générique du produit et la partie adaptée à la spécification du client. La partie configurée dépend quant à elle à la fois de la description générique de produit et de la spécification du client. On fait la distinction entre les descriptions générique et spécifique de la partie configurée en fonction des phases du projet d'ingénierie. Par exemple, lors du processus de développement du produit, la définition de la partie configurée se limite à la définition des modules génériques et de leurs variantes primaires, c'est-à-dire la définition d'un ensemble de possibilités. Lorsqu'intervient la spécification du client, la définition de la partie configurée demeure la même, à la seule différence qu'elle est alors réduite à l'une de ces possibilités à la suite de la configuration de la vente.

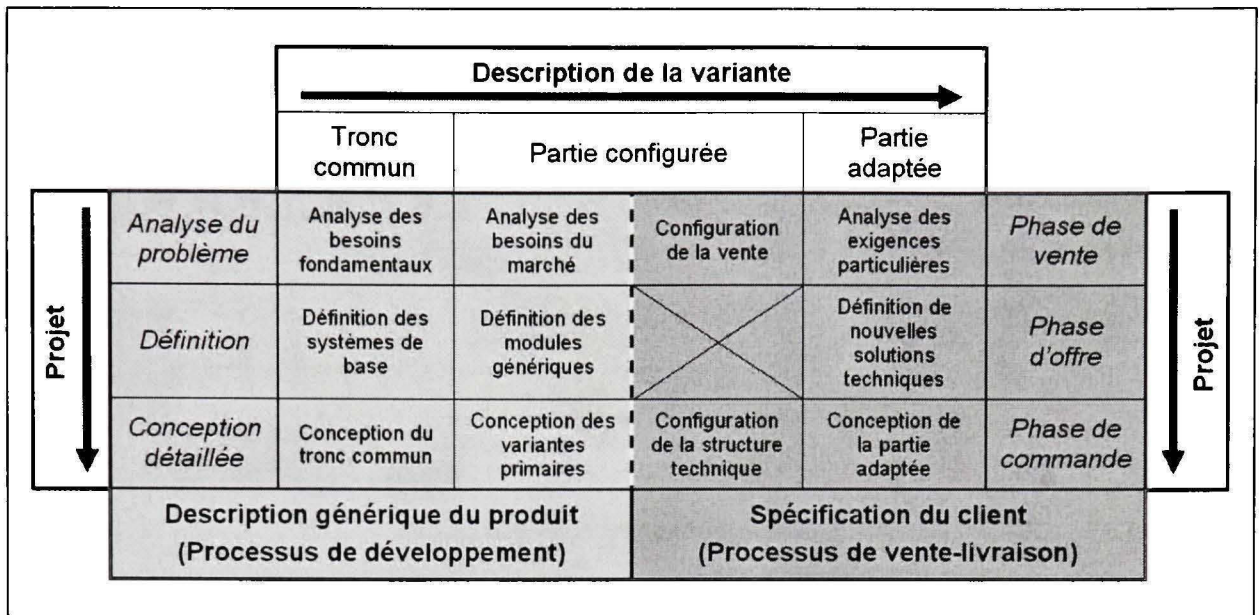


Figure 3.6 *Évolution de la description d'une variante d'un produit adapté sur commande.*

La figure 3.7 illustre un scénario où la SGAP évolue vers la structure spécifique d'une variante d'un produit adapté sur commande en fonction de ces trois segments. Au début du projet, la structure est d'abord générée sous sa forme générique (figure 3.7(a)) où sont regroupés par modules génériques les différents composants standards ou prédéfinis à l'aide de relations génériques en vue du processus de configuration. Elle inclut le tronc commun dont tous les détails de conception sont disponibles. La spécification du client n'a toujours pas été prise en considération à ce stade.

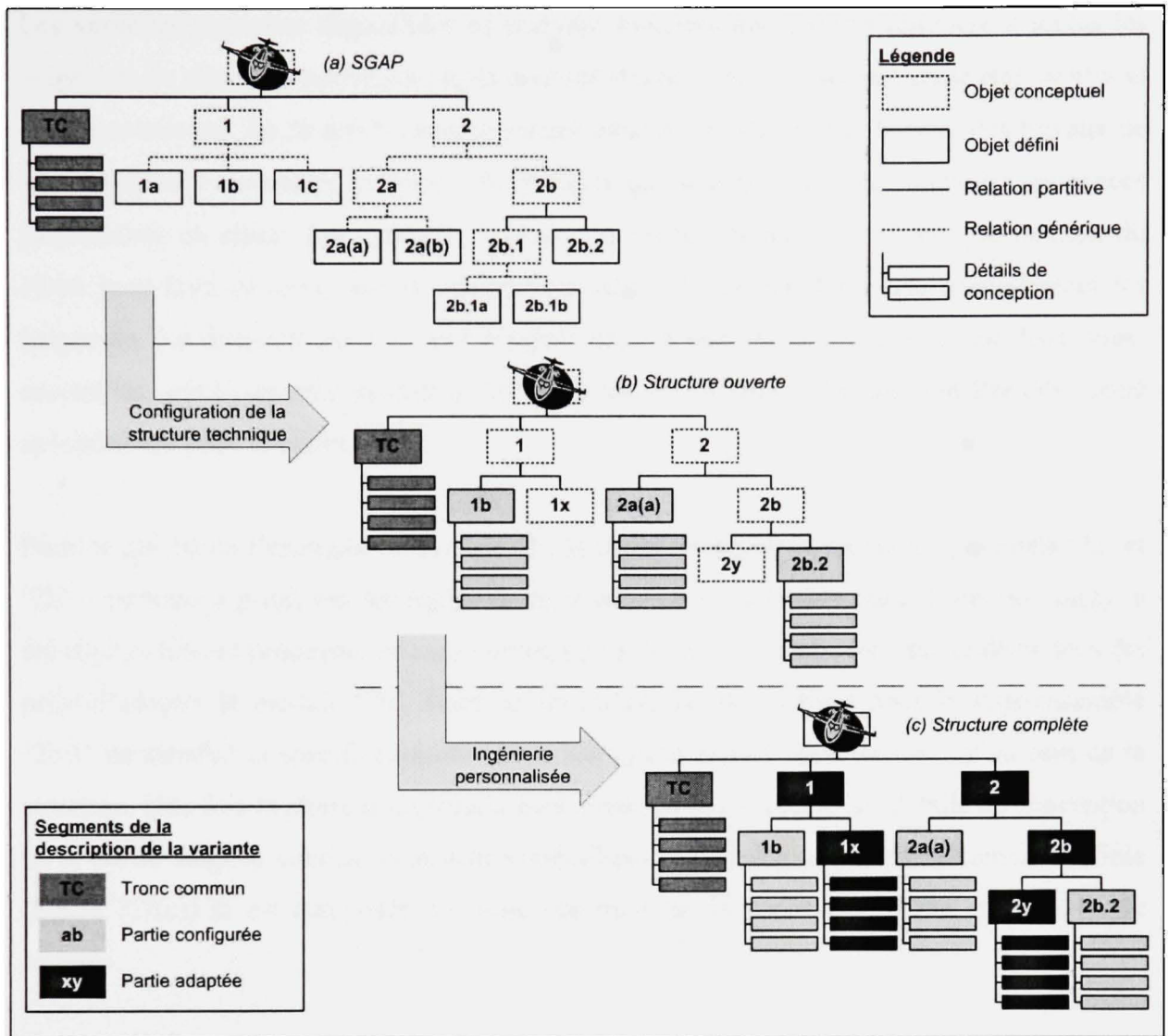


Figure 3.7 *Évolution de la structure spécifique d'une variante d'un produit adapté sur commande.*

À la suite du processus de configuration de la structure technique, la structure intermédiaire (figure 3.7(b)), maintenant dite « ouverte », présente les détails techniques relatifs à la partie configurée en fonction de la spécification du client. Par exemple, au niveau du module '1', la variante primaire '1b' a été choisie parmi les trois options disponibles. On n'y retrouve plus de relations génériques, mais plutôt des relations partitives vers les détails de conception des variantes primaires sélectionnées.

Les variantes primaires disponibles ne pouvant toutefois pas a priori répondre à toutes les exigences du client, de nouveaux objets conceptuels peuvent à ce second stade être ajoutés et demeurer ouverts. La structure ouverte permet ainsi d'introduire pour la suite des travaux de conception ces nouveaux concepts de solution qui répondront à de nouvelles exigences particulières au client. Par exemple, toujours au niveau du module '1', la spécification du client peut faire en sorte que la variante primaire '1b' ne satisfasse que partiellement les exigences. La décision qui s'en suit consiste alors à adapter le module '1' en deux sous-ensembles, soit l'ensemble prédéfini '1b' et un nouvel ensemble '1x' qui doit être développé spécialement pour le projet.

Pour ce qui est de l'exemple du module '2', la sélection des deux modules optionnels '2a' et '2b' – permise a priori par les règles de configuration – était nécessaire. L'option '2a(a)' a été choisie lors du processus de configuration pour le module '2a', alors que la décision a été prise d'adapter le module '2b', étant donné qu'aucune des options pour le sous-ensemble '2b.1' ne satisfait la spécification du client. On ajoute ainsi l'objet ouvert '2y' au sein de la structure. Une fois la phase d'ingénierie personnalisée complétée et les détails de conception de la partie adaptée connus, la structure spécifique de la variante est complètement définie (figure 3.7(c)) et est composée du tronc commun, de la partie configurée et de la partie adaptée.

3.2 Modèle d'évolution des structures du produit

À la lumière des différents concepts relatifs aux structures du produit et au processus de configuration explorés au sein de la revue de la littérature et des observations réalisés en milieu industriel au BiCCM, on propose au sein de cette deuxième section un modèle représentant l'évolution d'un produit adapté sur commande à travers les différentes vues et structures du produit durant son cycle de vie. On y introduit également le concept original de la SGAP. Ce modèle se divise en deux parties : la première présente l'évolution de la description du produit générique lors du processus de développement, alors que la seconde

présente l'évolution de la description d'une variante du produit lors du processus de vente-livraison.

3.2.1 Structures décrivant le produit générique

Comme il a été discuté au sein de la section précédente, le processus de développement d'un produit fait sur commande mène à la description générique du produit. La structure générique du produit en constitue le principal livrable en vue de la configuration des structures spécifiques des variantes lors du processus de vente-livraison. La revue de la littérature montre toutefois que d'autres structures du produit sont généralement associées du processus de développement du produit, telle la classe des structures orientées vers la synthèse du produit décrite par Hansen et Riitahuhta (2001). Dans la section suivante, on propose par conséquent de caractériser, d'ordonner et de relier les différentes structures décrivant le produit adapté sur commande d'un point de vue générique, structures que l'on associe aux différentes phases du processus de développement.

Il faut d'abord considérer qu'une structure du produit décrivant le produit adapté sur commande de manière générique ne constitue pas nécessairement une structure générique. Le concept de structure générique est propre au processus de configuration et il a été déduit précédemment, à partir de la littérature scientifique, qu'il fait notamment référence à la vue conceptuelle du produit étant donné l'organisation du produit par modules, concepts de solutions ou organes technologiques. Il n'en reste pas moins qu'une structure représentant une vue particulière du produit générique sera forcément moins détaillée qu'une structure représentant une vue particulière d'une variante, la première comportant des objets techniques de nature plus abstraites et moins de niveaux de décomposition.

Pour ordonner les différentes structures formant la description générique du produit adapté sur commande, on les associe aux différentes phases du processus de développement. On s'inspire notamment du modèle de la figure 3.5, tirée de Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997), pour déterminer la nature et l'ordre de ces phases en comparant le

processus de développement à un processus générique d'ingénierie. Les caractéristiques relatives au produit adapté sur commande sont ensuite ajoutées au processus lorsqu'elles s'appliquent.

3.2.1.1 Définition du produit générique

La figure 3.8 montre les premières structures impliquées dans le développement du produit générique, plus particulièrement durant les deux premières phases, soit l'analyse du problème et la définition du produit.

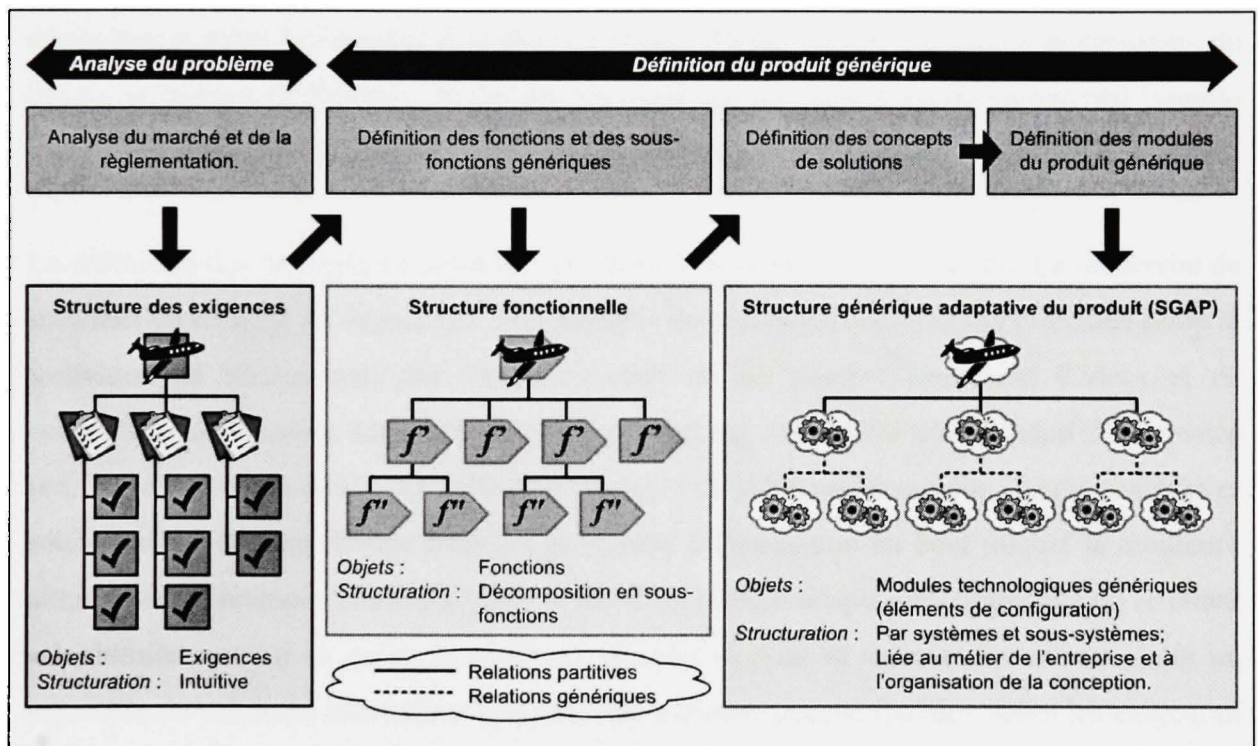


Figure 3.8 Structures du produit relatives à la définition du produit générique.

Au début du développement d'un produit adapté sur commande, une entreprise doit d'abord faire l'analyse du marché (potentiel, attentes, compétition, etc.) et de la réglementation en vigueur. Le résultat de cette analyse, la structure des exigences, constitue alors la première structure décrivant le produit générique. Il s'agit d'une classification des multiples exigences ayant pu être identifiées lors de l'analyse et que le futur produit devra minimalement

satisfaire; l'imposition d'exigences plus sévères demeure à la discrétion des clients. Cette classification par groupes et sous-groupes d'exigences est purement intuitive et son objectif unique est de structurer les résultats de cette première phase pour faciliter la définition des fonctions du produit.

À partir des exigences du produit générique spécifiées et structurées, la prochaine étape consiste à définir et à décrire les fonctions du produit. Il en résulte la structure fonctionnelle du produit générique au sein de laquelle sont organisées sur plusieurs niveaux de décomposition les différentes fonctions et sous-fonctions du produit de manière à faciliter la recherche de concepts de solutions. Cette structuration permet ainsi d'identifier les dépendances entre fonctions et d'en évaluer l'ordre d'importance. Il s'agit de l'expression du besoin en termes de finalités, de ce que les variantes du produit accompliront peu importe leurs différences puisqu'aucune référence aux solutions technologiques n'est faite à ce stade.

La définition des concepts de solutions constitue l'objet de l'étape suivante. La recherche de solutions en réponse à l'expression fonctionnelle du besoin est couramment effectuée selon la technique de remue-méninges (*brainstorming*) où un nombre important d'idées et de concepts, bons et moins bons, sont émis. Normalement, dans le cas d'un produit d'inventaire (ex. : biens de commodité), les différents concepts de solutions émis pour chaque fonction et sous-fonction doivent ensuite subir un processus d'élimination au bout duquel la meilleure alternative est retenue. Toutefois, dans le cas d'un produit adapté sur commande où le client a le dernier mot sur ce qu'est la meilleure alternative pour sa variante, on retient plutôt un ensemble de solutions alternatives qui pourront assumer chaque fonction selon les exigences du client. On retient généralement des solutions techniques qui se distinguent entre elles afin d'offrir une gamme variée de propriétés reliées à l'exécution de la fonction. Les fonctions pour lesquelles une seule solution technique est retenue sont pour leur part à la base de la définition du tronc commun.

Ces différents concepts de solutions reliés à chacune des fonctions du produit générique forment ainsi les modules génériques, ou éléments de configuration, qui expriment les choix

technologiques disponibles en vue de la configuration des différentes variantes. Ceux-ci sont ensuite organisés par systèmes et sous-systèmes au sein de la structure générique adaptative du produit, telle que décrite à la section précédente. Puisqu'elle présente le produit du point de vue de ces principaux organes technologiques, l'organisation de la structure générique adaptative est intimement liée au métier de l'entreprise et a pour rôle de faciliter l'organisation et le déroulement des activités de conception, de configuration et d'adaptation.

Les relations entre ces trois premières structures du produit générique, plus spécifiquement au niveau des objets qui sont de natures différentes, comme le présente la figure 3.9, sont toutes de nature causale. Elles permettent en quelque sorte la formalisation de la synthèse du produit et du savoir-faire relatif au produit qui en résulte. Ainsi, les exigences définissent les fonctions et les fonctions sont assumées par les organes technologiques. La cardinalité des relations causales entre les fonctions et les organes définit d'ailleurs la modularité du produit.

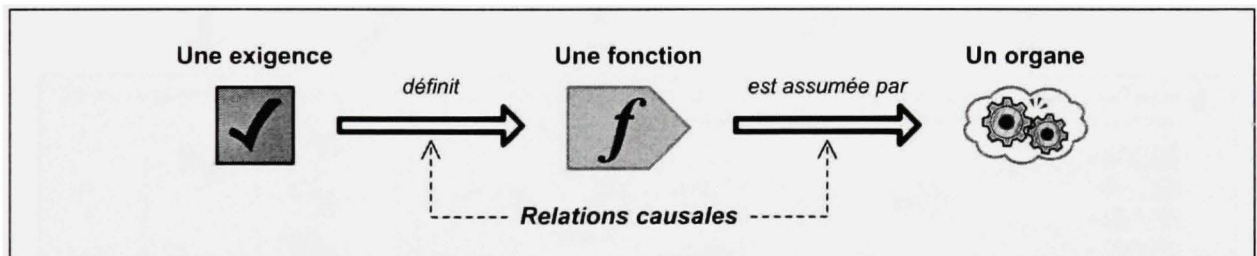


Figure 3.9 *Relations causales entre les objets des structures des exigences, fonctionnelle et générique (technologique).*

Comme l'expliquent Ulrich et Eppinger (2004), lorsque chaque organe assume exclusivement d'une à quelques fonctions (cardinalité '1:1' ou '1:n' tel que 'n' = 2 ou 3), on dit de ce produit qu'il est modulaire et qu'il se prête facilement au processus de configuration, puisque les interfaces entre les différents modules peuvent être clairement définies. C'est ce qui est souhaitable pour un produit configurable : on recherche des modules suffisamment indépendants entre eux pour faciliter et varier leurs combinaisons. À l'opposé, lorsque les fonctions du produit sont assumées par plusieurs organes à la fois et/ou que chaque organe assume plusieurs fonctions (cardinalités '1:N', 'N:1' ou 'N:M'), on dit de

ce produit qu'il est intégré. Les interactions entre les organes d'un tel produit deviennent alors très complexes.

3.2.1.2 Conception détaillée des variantes primaires et du tronc commun

La figure 3.10 illustre la suite du processus de développement, ainsi que les autres structures de produit qui y sont impliquées. Les phases étudiées ici sont maintenant la conception technique détaillée des variantes primaires et du tronc commun et la planification de leur fabrication.

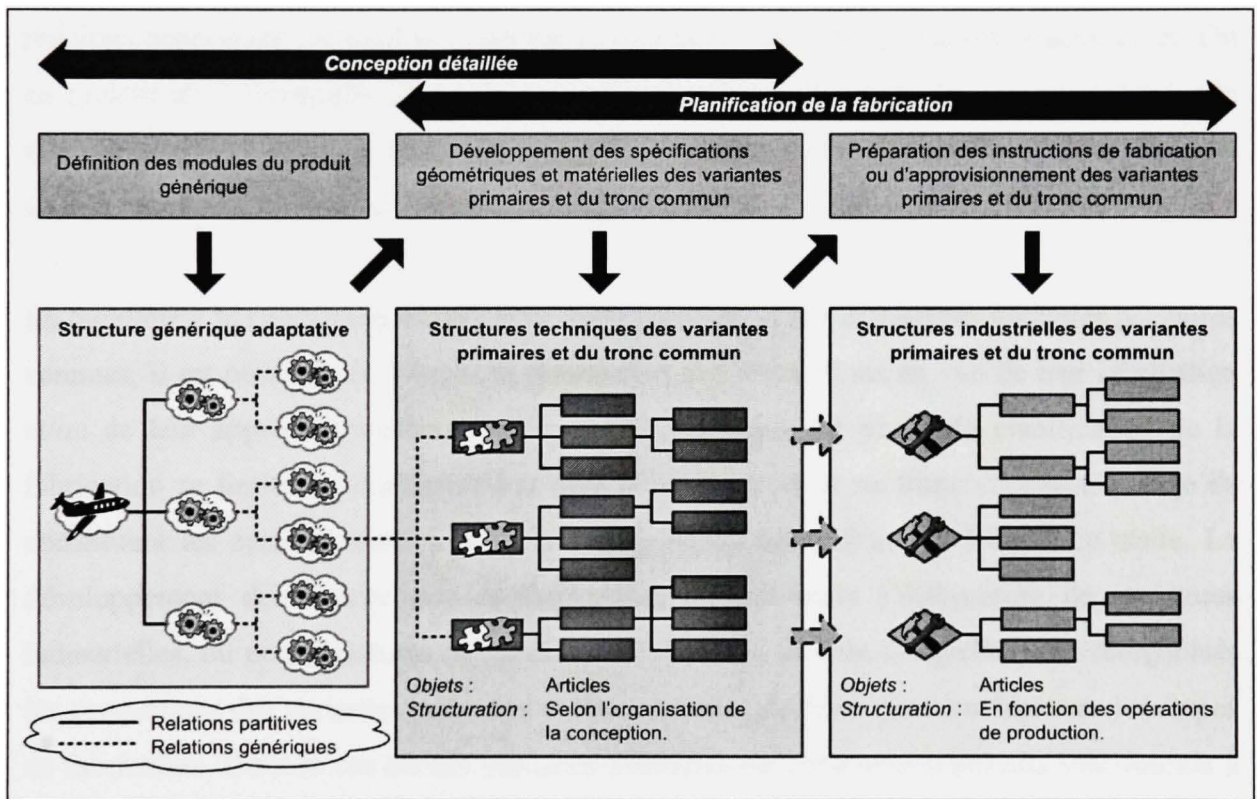


Figure 3.10 Structures du produit relatives à la conception des variantes primaires.

Les solutions techniques retenues lors de la définition du produit générique et regroupées par modules génériques au sein de la SGAP sont destinées à devenir des variantes primaires, soient les composants standards, prédéfinis ou paramétriques qui formeront, une fois sélectionnés, les variantes physiques du produit. Ainsi, la conception détaillée de chaque

organe technologique du produit générique n'est pas unique, mais varie en fonction du nombre de ses variantes primaires. Le processus de configuration sert éventuellement, lors du processus de vente-livraison, à identifier chacune des variantes primaires qui doivent matérialiser les organes.

Lors du développement des spécifications géométriques et matérielles des variantes primaires et du tronc commun, les articles et leurs données techniques sont organisés selon le déroulement de la conception et les champs de compétences impliqués au sein de structures techniques propres à chaque objet. Ces différentes structures, ou nomenclatures d'études (EBOM), sont ensuite reliées à leur module générique respectif au sein de la SGAP par des relations génériques : le module constitue le type et les variantes primaires, les instances. On en revient ici à l'exemple de la table au sein du système médical de la section 3.1.1 : le module générique « table » définit un type et regroupe les variantes primaires « table fixe » et « table mobile » qui sont des instances du type « table ».

En parallèle à la conception détaillée du tronc commun et des différentes variantes primaires connues, il est possible de débiter la préparation des instructions en vue de leur fabrication et/ou de leur approvisionnement auprès des fournisseurs. La phase de planification de la fabrication se limite généralement aux variantes primaires et au tronc commun, puisqu'ils constituent les seuls ensembles dont la configuration est définie en détail à ce stade. Le développement des instructions de fabrication mènent alors l'élaboration de structures industrielles, ou nomenclatures de production (MBOM), au sein desquelles sont réorganisés les composants des variantes primaires et leurs données de fabrication en fonction des étapes de fabrication. Dans le cas où des variantes primaires ou certains composants sont fournis à l'entreprise par des sous-traitants, leurs structures industrielles se limitent alors aux articles tels qu'ils sont reçus au niveau de la production, sans tous les détails de leur fabrication. Les matières premières nécessaires à la fabrication des articles sont également spécifiées au sein des derniers niveaux. Les structures industrielles sont reliées à plusieurs niveaux d'abstraction aux structures techniques par la codification des articles, ou à l'aide de relation telle le lien de projection décrit par Maurino (1993).

Le développement de la description générique du produit peut se poursuivre au-delà des spécifications de production pour le tronc commun et les variantes primaires. Elle peut en effet s'étendre à la planification des phases ultérieures du cycle de vie du produit comme, par exemple, le soutien logistique, menant ainsi à d'autres structures toutefois partielles du produit. Également, la vue industrielle du produit générique peut inclure les premiers niveaux de la structure industrielle décrivant les principales phases de la production. Cette « organigramme industriel » (par extension du concept d'organigramme technique de Maurino (1993)) présenterait ainsi l'organisation stratégique de la production et formerait alors les premiers niveaux de la structure industrielle de chaque variante personnalisée du produit auxquels seraient par la suite rattachées, seulement en vue de la réalisation des exemplaires lors du processus de vente-livraison, les différentes nomenclatures de production des variantes primaires. Il a d'ailleurs été possible d'observer une telle structure lors de l'étude de cas en milieu industriel. En effet, au BiCCM, la production de chaque exemplaire est organisée selon un nombre prédéterminé de cahiers de montage dont la structure ne varie pas de projet en projet et reflète les principaux composants du système de production de l'entreprise.

Évidemment, une fois la version initiale de la description du produit générique complétée dans l'attente des premières commandes, les phases du processus de développement décrites dans cette section sont terminées. Néanmoins, les structures du produit auxquelles elles ont menés persistent, ainsi que les relations entre elles.

En réalité, au fil de la création des variantes personnalisées lors du processus subséquent de vente-livraison, la SGAP, davantage axée sur la synthèse du produit à ce stade, sera dorénavant sous la responsabilité de la gestion de configuration et devra agir à titre de référence pour la résolution de nouveaux problèmes amenés par les clients. Elle doit évoluer en incorporant, entre autres, les nouvelles variantes primaires développées lors des projets et les modifications majeures, signes de la maturation du produit. On vise ainsi à favoriser la réutilisation des données techniques et à mieux supporter le développement de nouvelles

solutions. Une fois le processus de développement terminé, le rôle de la SGAP est alors de décrire, toujours le plus fidèlement et selon une vue conceptuelle, la configuration de référence du produit et l'ensemble des variantes du produit adaptées jusque là.

3.2.2 Structures décrivant les variantes du produit

La caractérisation et l'ordonnancement des structures du produit décrivant spécifiquement ses variantes s'appuient cette fois-ci sur les différentes phases du processus de vente-livraison des produits adaptés sur commande. Dans ce cas-ci, on s'inspire du modèle présenté par Mesihovic et Malmqvist (2000a), tel qu'illustré à la figure 3.11(a). Ce modèle inclut également les différents livrables marquant la fin de chaque phase, depuis les discussions avec le client potentiel jusqu'aux étapes entourant la réalisation et la livraison du ou des exemplaires.

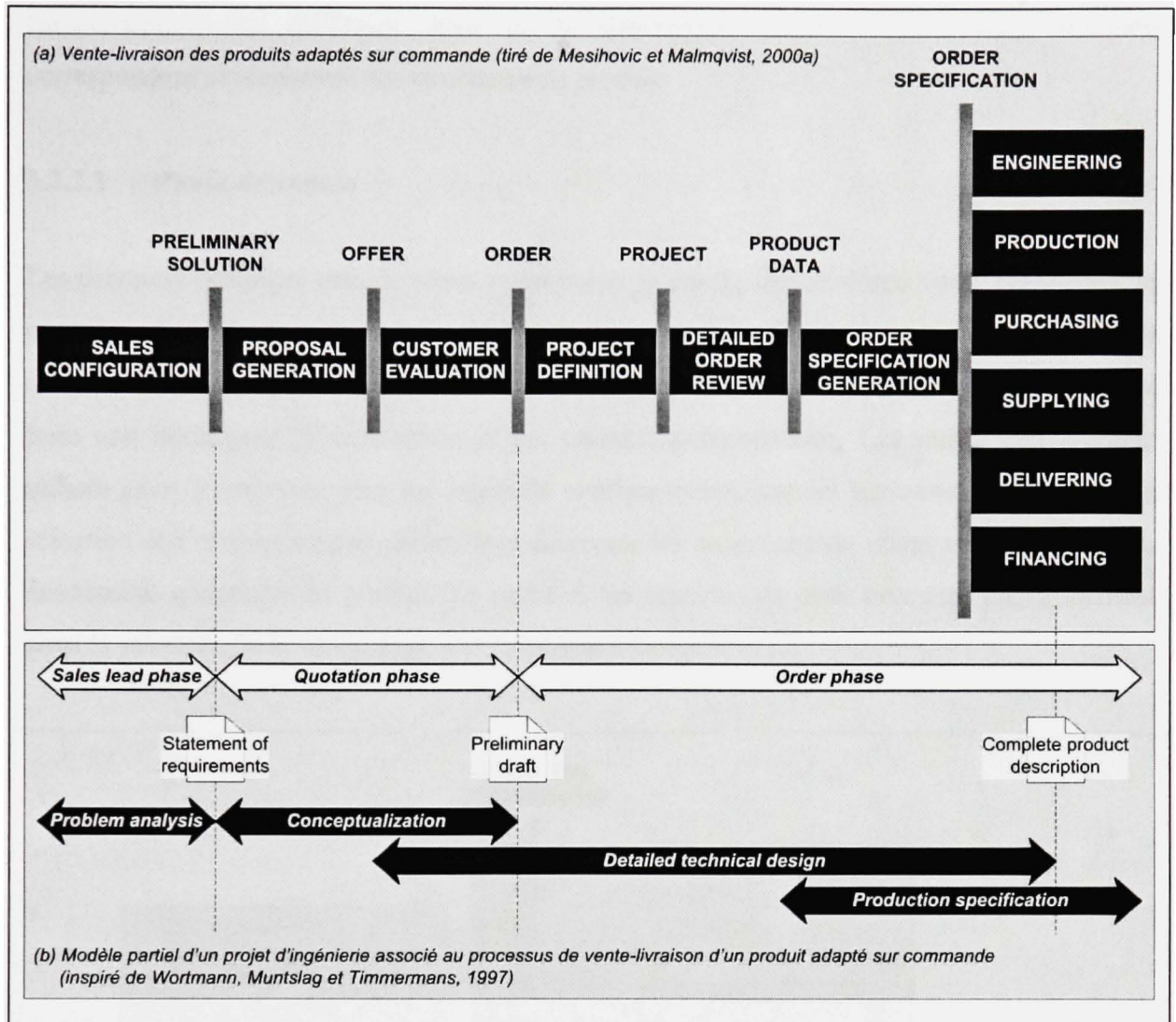


Figure 3.11 Synchronisation du processus de vente-livraison, du projet d'ingénierie associé et de leurs livrables.

Le modèle de la figure 3.11(a) n'offre toutefois que très peu de détails sur le déroulement du processus d'ingénierie personnalisée, propre au processus de vente-livraison du produit adapté sur commande et plus représentatif de l'évolution des structures spécifiques à une variante. La figure 3.11 inclut alors sommairement le modèle d'un projet d'ingénierie de Wortmann, Muntslag et Timmermans (1997) (figure 3.11(b)). Les deux modèles y sont comparés et synchronisés au niveau des principales phases communes de vente, d'offre et de commande. Pour les besoins de l'analyse, ils supportent ensemble une meilleure

caractérisation des différents états de la description d'une variante, états auxquels correspondent évidemment des structures du produit.

3.2.2.1 Phase de ventes

Les premiers échanges avec le client potentiel et la configuration d'une vente constituent la première phase du processus de vente-livraison du produit adapté sur commande. L'objectif ici est d'abord de recueillir les exigences spécifiques du client dans le but subséquent de lui faire une offre pour la conception d'une variante personnalisée. Les outils fréquemment utilisés pour y parvenir sont les logiciels configureurs, car ils permettent d'encadrer la sélection et l'évaluation des paramètres décrivant les exigences du client en fonction de la description générique du produit. Le cadre et les résultats de cette première phase forment ainsi la structure de la vente, telle que présentée à la figure 3.12.

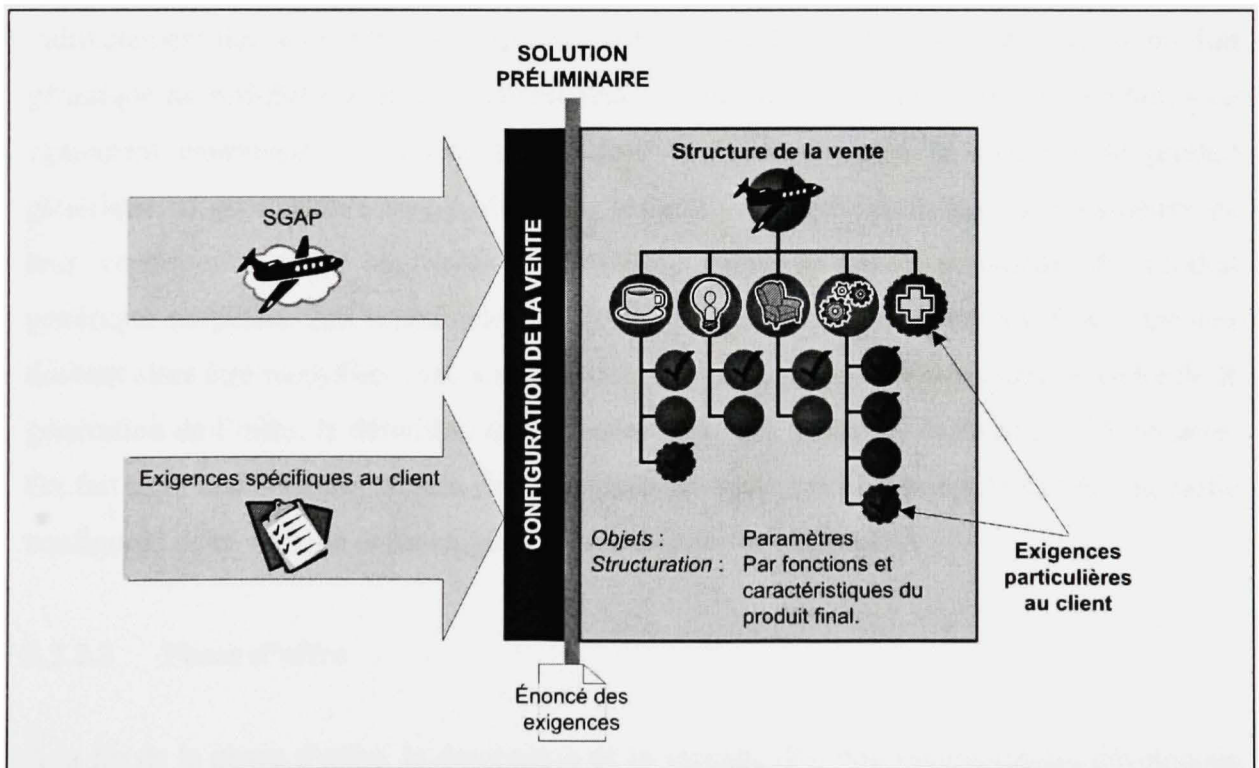


Figure 3.12 Structure du produit relative à la phase de vente.

La structure de la vente représente en quelque sorte la structure générique du produit exprimée d'un point de vue strictement commercial. Elle organise les multiples paramètres rattachés aux modules génériques du produit et les présente au client dans un langage qu'il peut facilement assimiler, c'est-à-dire grâce aux fonctions et caractéristiques du produit final. Par exemple, les paramètres décrivant un divan dans l'aménagement intérieur d'un avion pourraient être 'double', 'revêtement en cuir', 'noir' et 'inclinable', donc sans référence direct aux solutions techniques du produit générique. Grâce à des liens maintenus entre ces paramètres et les modules génériques de la SGAP, la spécification du client est enregistrée en relation avec la configuration de référence du produit.

La structure de la vente diffère de la structure des exigences décrites à la section 3.2.1 par le fait qu'elle exprime les exigences du client selon un cadre prédéfini : les exigences sont exprimées en termes de paramètres prédéfinis, leur sélection et/ou leur évaluation sont sujettes aux règles de configuration et leur organisation n'est pas intuitive, mais indirectement liée la SGAP. Les exigences particulières du client, soient celles que le produit générique ne satisfait pas et qui commandent une adaptation personnalisée du produit, sont également exprimées au sein de la structure de la vente selon le contexte du produit générique. Il est toutefois fort probable qu'aucune valeur prédéterminée de paramètres ne leur corresponde (ex. : nouvelles dimensions), voire qu'aucun paramètre du produit générique ne puisse être utilisé pour les exprimer (ex. : nouveau système). Ces exigences doivent alors être recueillies avec suffisamment de détails pour permettre, dans le cadre de la génération de l'offre, la définition de nouvelles variantes primaires et de nouveaux organes. On fait ainsi la distinction au sein de la structure de vente entre les paramètres liés à la partie configurée de la variante et les exigences liées à la partie adaptée.

3.2.2.2 Phase d'offre

À la fin de la phase d'offre, la description de la variante doit être minimalement développée jusqu'à l'état de conception préliminaire, afin de permettre une estimation des besoins en ressources et des différents coûts reliés au lancement d'un éventuel projet selon un niveau de

risque acceptable pour le fabricant (Wortmann, Muntslag et Timmermans, 1997). Les principaux organes de la variante doivent ainsi être définis et les premières décisions concernant la géométrie du produit et le choix des matériaux doivent avoir été prises. Du point de vue des structures du produit, un premier transfert de paramètres de la structure de la vente vers la SGAP permet d'obtenir rapidement une description technique préliminaire de la partie configurée de la variante personnalisée. Néanmoins, malgré le fait que le processus de configuration de la structure technique suit normalement le processus de configuration de la vente tel que décrit à la section 1.2.2, il n'a pas lieu durant la phase d'offre, car il n'est pas nécessaire d'identifier l'ensemble détaillé des données techniques de la partie configurée à ce stade du processus de vente-livraison.

La phase d'offre du processus de vente-livraison du produit adapté sur commande constitue plutôt la phase au cours de laquelle débutent l'ingénierie personnalisée et le développement de la partie adaptée de la variante. Les exigences particulières du client, répertoriées au sein de la structure de la vente, mènent ainsi, selon le cas, à la définition de nouvelles fonctions, de nouveaux concepts de solutions et de nouveaux composants, comme l'illustre la figure 3.13. La SGAP y joue ici un rôle important dans la résolution de ces nouveaux problèmes de conception en présentant aux concepteurs de manière ordonnée des idées et des avenues de solution à différents niveaux d'abstraction. Même si la SGAP ne décrit pas exactement le composant recherché par le client en fonction de ses exigences, la variété du produit développée par le passé qu'elle décrit doit permettre au concepteur d'en obtenir à une description suffisamment proche afin de n'avoir qu'à définir un delta plutôt que le composant au complet. Ceci a pour effet de réduire l'effort de conception à déployer lors de la phase d'offre et ainsi diminuer les pertes éventuelles dans le cas d'une offre rejetée.

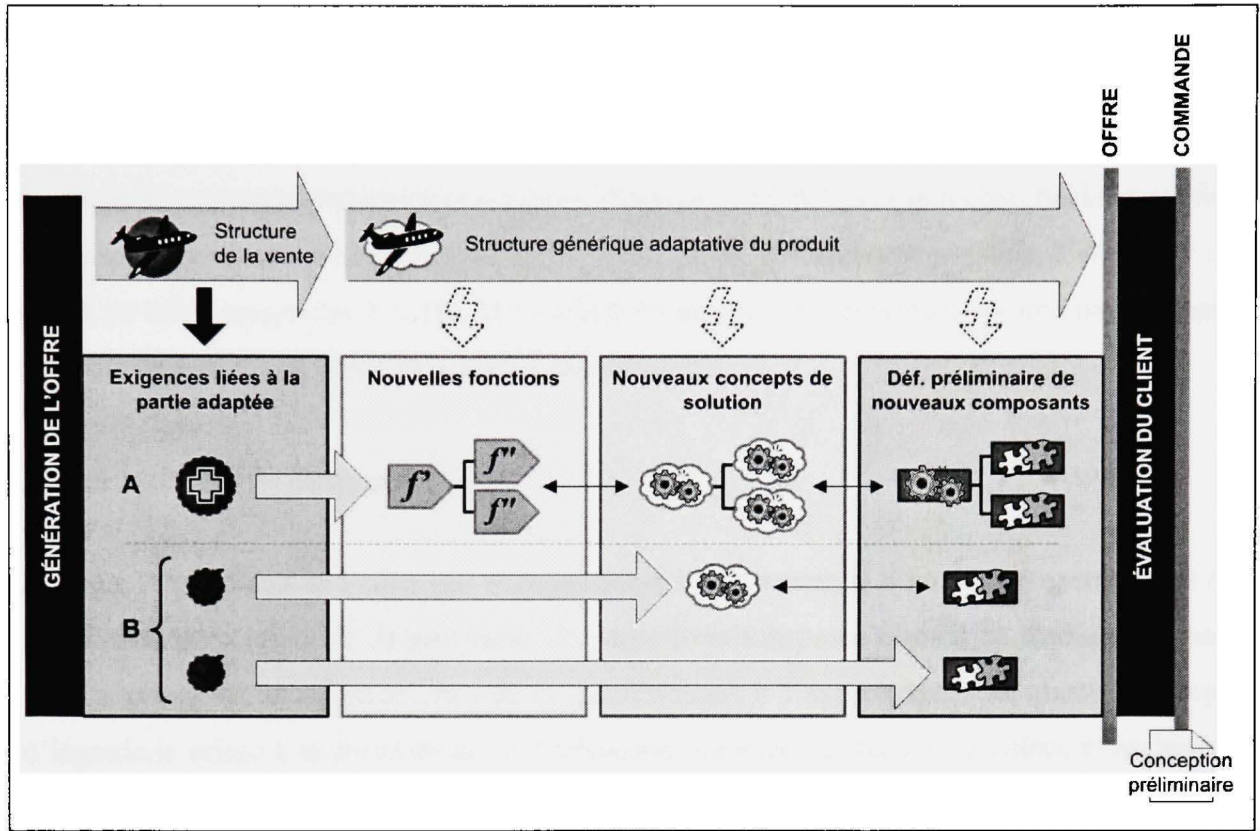


Figure 3.13 Phase d'offre.

Cette dernière figure présente d'ailleurs deux exemples de cheminement pour la définition de la partie adaptée en fonction des exigences particulières du client. L'exemple A montre d'abord une nouvelle exigence spécifiée par le client représentant un écart majeur par rapport à la configuration de référence, comme l'ajout complet d'un nouveau système. La satisfaction d'une telle exigence requière alors la définition préalable de nouvelles fonctions et sous-fonctions spécifiques à la variante qui devront ensuite être assumés par la définition du nouveau système et de ses composants au stade préliminaire. Au niveau de la structure de la vente, on observe une telle exigence lorsque les paramètres disponibles en relation avec la structure générique du produit ne peuvent pas être utilisés pour la décrire : l'écart par rapport au produit générique prédéfini est trop grand.

L'exemple B montre quant à lui des exigences particulières au client comportant leurs équivalents génériques au sein de la description générique du produit. Il peut s'agir, par exemple, du raffinement d'une exigence générique définie au début du processus de

développement, de la spécification d'une solution technique particulière à l'expression d'une fonction générique, de la spécification d'un composant provenant d'un fournisseur particulier, etc. La définition des nouveaux modules et des nouveaux composants en réponse à ce type d'exigences particulières s'appuie alors sur la SGAP pour la recherche de nouvelles solutions. Au niveau de la structure de la vente, il est évidemment possible d'exprimer en partie de telles exigences à l'aide des paramètres du produit générique, comme par exemple par l'attribution d'une nouvelle valeur à un paramètre.

3.2.2.3 Phase de commande

Lorsque l'évaluation de l'offre par le client mène à la commande d'un ou des exemplaires de la variante personnalisée, le processus de vente-livraison passe alors à sa troisième phase, soit la phase de commande. Jusque là conditionnel à l'approbation du client, le projet d'ingénierie reliée à la commande est dorénavant organisé par tâches détaillées et assignées selon un échéancier qui assurera la conception, la réalisation et la livraison du produit personnalisé à l'intérieur des délais convenus. La description de la nouvelle variante, toujours à l'état préliminaire, doit maintenant évoluer vers une description technique complète des différents articles qui matérialiseront les modules et organes définis lors de la phase d'offre.

La figure 3.14 illustre les différentes étapes la phase de commande du produit adapté sur commande, telles que basées sur le modèle de Mesihovic et Malmqvist (2000a) de la figure 3.11(a), ainsi que les structures du produit qui y sont rattachées. À la suite de la définition du projet (absente de la figure), l'information reliée à la commande fait l'objet d'une revue détaillée afin de s'assurer que toutes les exigences du client soient clairement spécifiées et que les nouvelles solutions techniques applicables à la variante personnalisée soient celles qui y répondent le mieux. On associe ici le processus de configuration de la structure technique de la variante à la revue détaillée de la commande, car Mesihovic et Malmqvist (2000a) la décrivent comme l'étape lors de laquelle les ingénieurs étudient les solutions développées par le passé, en occurrence la description du produit générique si celle-ci est maintenue à jour, afin d'en favoriser la réutilisation. Il s'agit également de l'étape de la phase

de commande où les premières données techniques décrivant la variante sont identifiées et détaillées. Le processus de configuration de la structure technique permet ainsi la traduction de la structure de la vente décrivant la configuration applicable du point de vue du client et de simples paramètres vers la structure technique ouverte, illustrée à la figure 3.7(b), décrivant pour une première fois la configuration applicable du point de vue de l'ingénierie de conception et des données techniques.

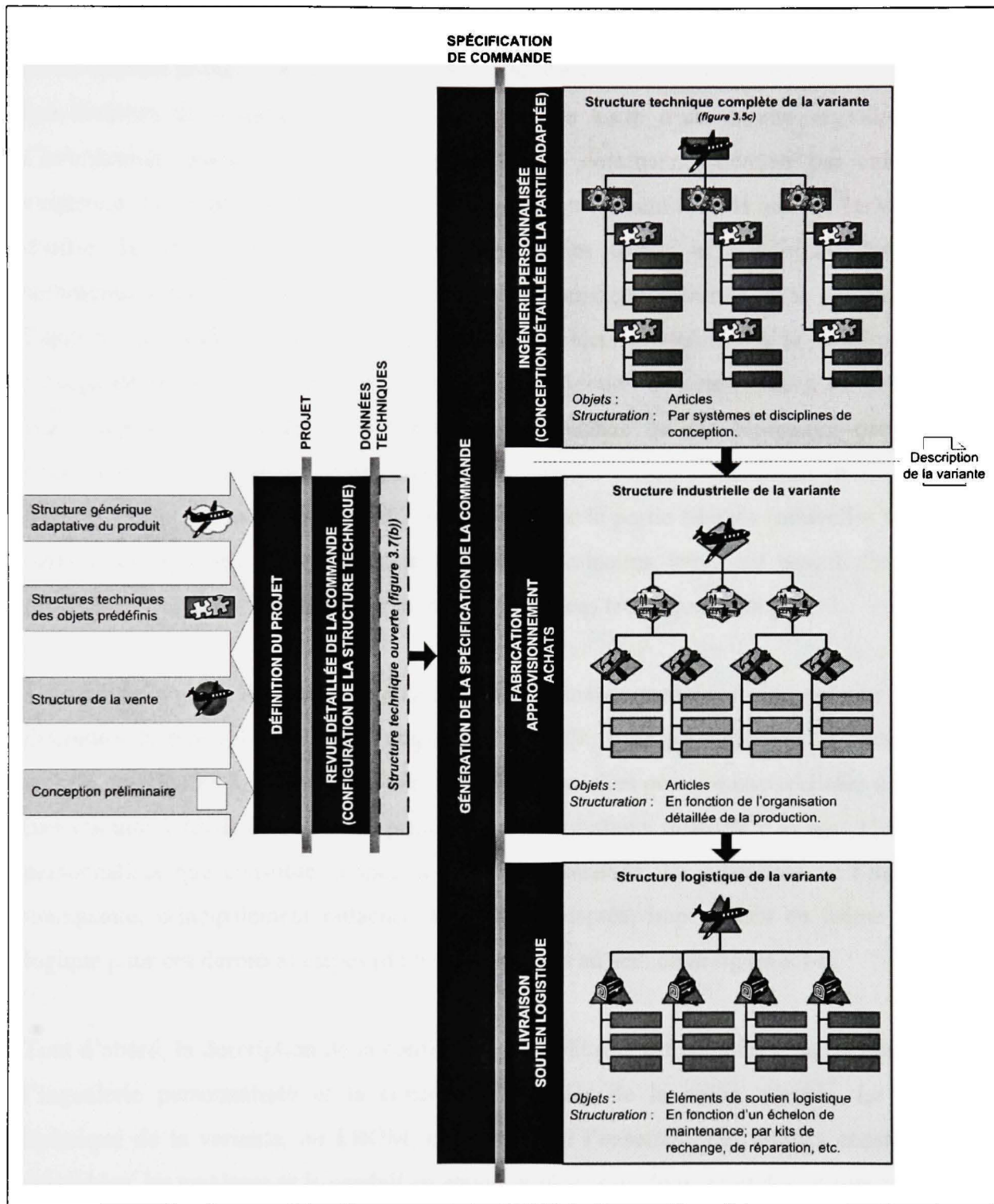


Figure 3.14 Structures du produit relatives à la phase de commande.

L'identification et l'organisation des données techniques prédéfinies relatives à la description de la variante permet ensuite de générer ce que Mesihovic et Malmqvist (2000a) appelle la spécification de commande. Il s'agit en quelque sorte d'un dossier regroupant toute l'information connue jusqu'ici relativement à la commande, comme par exemple les exigences du client, les résultats de la configuration (structure de la vente), les documents d'offre, la commande elle-même, l'échéancier, les termes et conditions, les données techniques relatives à la conception (structure technique ouverte), à la production et à l'approvisionnement (structures industrielles des objets prédéfinis), à la livraison, etc. À l'image de la structure technique ouverte, la spécification de commande n'est évidemment pas complète à ce stade, mais l'information existante qu'elle répertorie, par exemple l'information sur la partie configurée de la variante (valeurs des paramètres, structures techniques des objets prédéfinis) et l'information sur la partie adaptée (nouvelles valeurs de paramètres, synthèse, modèles géométriques préliminaires, etc.), est essentielle pour les prochaines étapes durant lesquelles le reste des données techniques sera généré.

La suite de la phase d'offre se déroule selon l'ordonnancement des tâches définies lors de la définition du projet. Les dernières étapes sont ainsi illustrées parallèlement les unes et autres au sein des figures 3.11(a) et 3.14 afin de montrer qu'elles peuvent être réalisées de manière concourante à partir de la source principale d'informations relatives à la nouvelle variante personnalisée que constitue la spécification de commande. La génération de l'information manquante, principalement rattachée à la partie adaptée, impose tout de même un ordre logique pour ces dernières étapes (du haut vers le bas au sein de la figure 3.14).

Tout d'abord, la description de la configuration applicable est complétée par la poursuite de l'ingénierie personnalisée et la conception détaillée de la partie adaptée. La structure technique de la variante, ou EBOM, organise ainsi l'ensemble des articles constituant les ensembles, les systèmes et le produit en entier, et répertorie données et documents techniques qui décrivent ces articles. Cette structure qui correspond à celle illustrée par la figure 3.7(c) représente la variante du point de vue des concepteurs.

La planification de la fabrication de la variante personnalisée mène, à partir de la description technique, au développement de sa structure industrielle. Cette structure constitue une vision hiérarchique de la variante à réaliser qui s'appuie sur ses articles (composés et composants), mais qui prend cette fois en compte l'organisation détaillée de la production, tant au niveau des opérations de fabrication, de l'approvisionnement en matière, de la sous-traitance, de la manutention, etc. Développée et exploitée par les départements des méthodes, de la production, des achats et de l'approvisionnement, on y gère l'ensemble des données techniques relatives à la réalisation de la variante afin d'en assurer la distribution adéquate lors de la fabrication.

Finalement, les dernières étapes de la phase de commande incluent la planification du soutien logistique pour les exemplaires qui seront éventuellement livrés. En considérant cette fois-ci l'état réalisé de la configuration, on organise du point de vue de l'usage et de la maintenance des exemplaires leurs différents éléments de soutien logistique (pièces de rechange, kits de réparation, instructions de maintenance, documentation technique, etc.).

3.3 Analyse des observations réalisées en milieu industriel

L'analyse présentée au sein de cette troisième section consiste en une comparaison de trois aspects du processus de définition de la configuration étudié au BiCCM avec l'ensemble des connaissances recueillies au sein de la revue de la littérature et dont on a fait la synthèse au sein des sections précédentes du présent chapitre. Cette analyse débute en situant le processus étudié au sein du modèle proposé d'évolution des structures du produit, soit plus particulièrement parmi les différentes étapes du processus de vente-livraison. Cette première comparaison entre les concepts théoriques et les observations réalisées en milieu industriel permet ensuite d'analyser les caractéristiques particulières de la structure technique de la variante définie au sein des IDL, ainsi que les caractéristiques du processus de configuration de la structure technique auquel correspond la création des IDL rev.NC.

3.3.1 Analyse du processus de vente-livraison

Tout d'abord, d'un point de vue général, il est évident que le processus de définition de la configuration exécuté par l'ingénierie de conception au BiCCM fait partie du processus de vente-livraison de l'aménagement intérieur d'un avion d'affaires. En effet, le processus est exécuté à chaque projet auquel correspond la commande par un client d'une nouvelle variante personnalisée selon ses exigences. De plus, outre les exigences spécifiques du client, le processus nécessite également une vue d'ensemble sur l'ingénierie développée lors des projets précédents, soit une description générique du produit, afin d'y baser la définition de la configuration d'une nouvelle variante, comme le résume la figure 3.15. En comparant cette dernière figure au modèle de la figure 1.14 tirée de Peltonen, Pitkanen et Sulonen (1996), il ne fait alors aucun doute que le processus de définition de la configuration constitue un sous-processus du processus de vente-livraison.

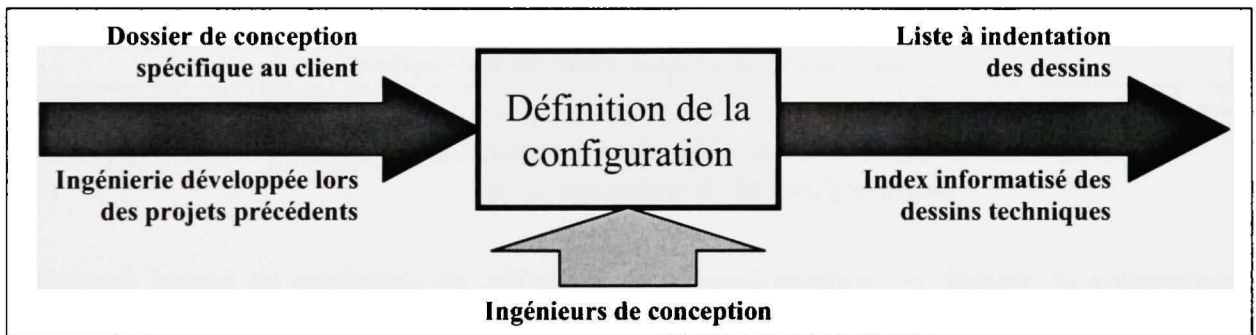


Figure 3.15 *Aperçu du processus de définition de la configuration au BiCCM.*

Le processus étudié se divise en trois étapes principales : la revue de la conception préliminaire, la création d'une IDL et la libération de la définition de la nouvelle configuration. La figure 3.16 présente une comparaison entre ces trois étapes et les premières étapes de la phase de commande du processus de vente-livraison décrit par le modèle de Mesihovic et Malmqvist (2000a). On y observe ainsi quatre similarités qui nous permettent d'appliquer le modèle d'évolution des structures du produit au processus exécuté au BiCCM et d'y situer celui-ci.

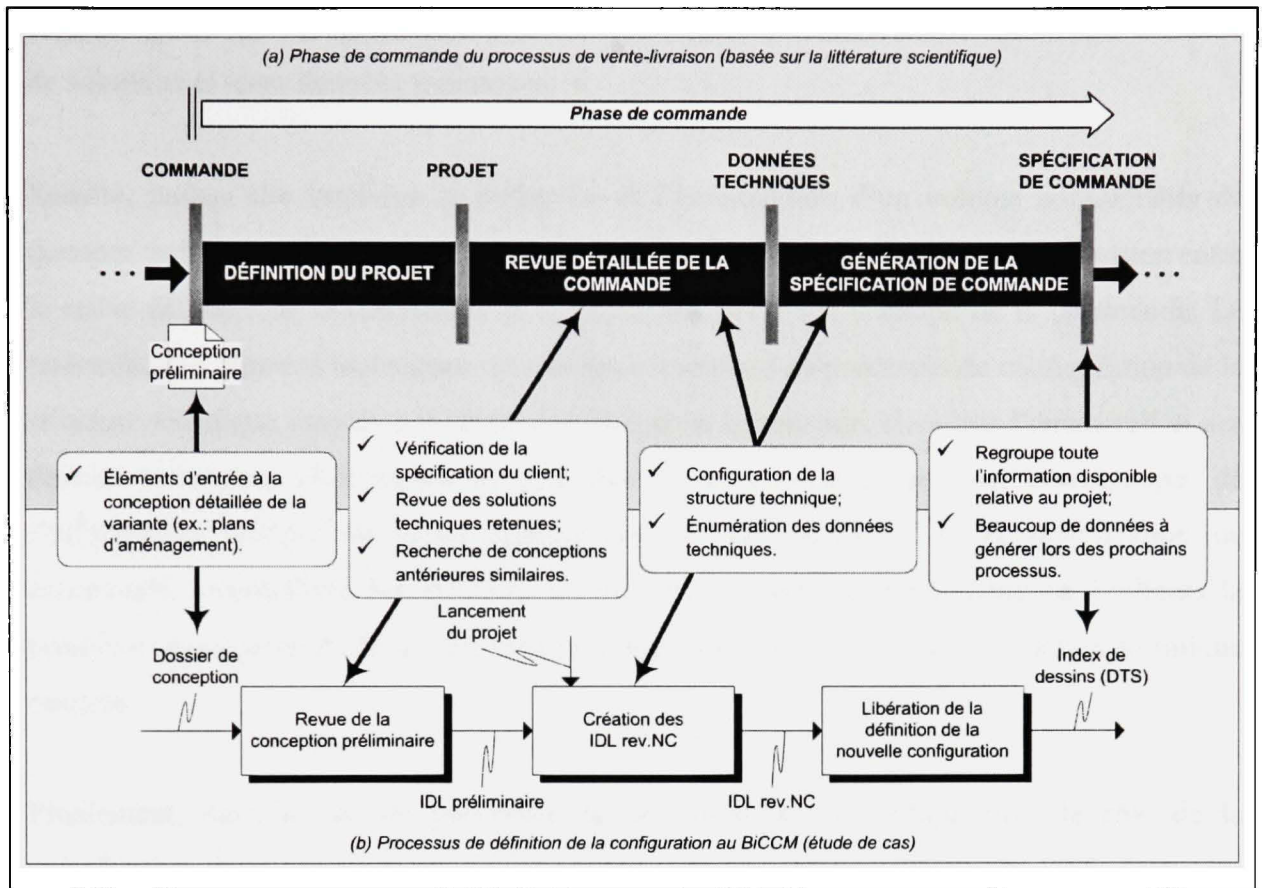


Figure 3.16 *Comparaison des étapes et livrables des processus de vente-livraison et de définition de la configuration.*

Principal intrant au processus de définition de la configuration, le dossier de conception spécifique au client correspond d'abord à la description de la variante à l'état préliminaire, car il regroupe les éléments d'entrée à l'étape à venir de la conception détaillée. Ces éléments, comme les plans d'aménagement, présentent de l'information relative à la nouvelle variante dans la mesure de ce qui est nécessaire pour l'évaluation du client, étape précédant la commande, et pour transmettre la solution de conception en vue de la préparation des dessins de détails.

L'étape de la revue de la conception préliminaire du processus étudié peut également être associée à l'étape théorique de la revue détaillée de la commande. En effet, ces étapes impliquent toutes les deux des activités telles la vérification de la spécification du client, la revue des solutions techniques retenues lors de la définition de la variante à la phase d'offre,

et la recherche de conceptions antérieures similaires afin d'en réutiliser les divers éléments de solutions et leurs données techniques.

Ensuite, puisqu'elle implique la recherche et l'énumération d'un volume considérable de données techniques, l'étape de la création des IDL marque en quelque sorte la transition entre la revue détaillée de la commande et la génération de la spécification de la commande. La recherche des données techniques récurrentes correspond au processus de configuration de la structure technique associé à la revue détaillée de la commande, alors que l'énumération des dessins techniques réutilisables au sein des listes équivaut à identifier et regrouper de l'information relative au projet comme lors de la génération de la spécification de commande. Ensembles, les six IDL rev.NC créées à cette étape constituent d'ailleurs la première représentation de la structure spécifique de la variante, soit la structure technique ouverte.

Finalement, dans le cas du processus de définition de la configuration, le rôle de la spécification de commande est rempli par les index de dessins au sein de DTS. Outre les dessins techniques énumérés au sein des IDL, ces index informatisés regroupent également toute l'information relative au projet comme le décrivent Mesihovic et Malmqvist (2000a) (ex. : spécifications techniques, documents administratifs, documents d'offre, etc.). Incomplets à ce stade, les index de dessins comme la spécification de commande constituent également la source principale d'information relative au projet pour les processus subséquents et le répertoire au sein duquel seront libérés leurs livrables.

Comme le montre la figure 3.17, il est également possible de situer les processus clients du processus de définition de la configuration au sein du modèle du processus de vente-livraison. La gestion de la configuration débute lorsqu'il est question de gérer et contrôler l'information relative au projet au sein des index de dessins, ce qui correspond à la génération de la spécification de commande. La conception détaillée de la variante et la production des dessins de détails, ainsi que la gestion du calendrier de conception, sont associées à l'étape d'ingénierie personnalisée du projet. La planification de la fabrication

constitue pour sa part la première étape menant à la fabrication du produit et qui déclenche l'achat et l'approvisionnement de pièces et matières premières.

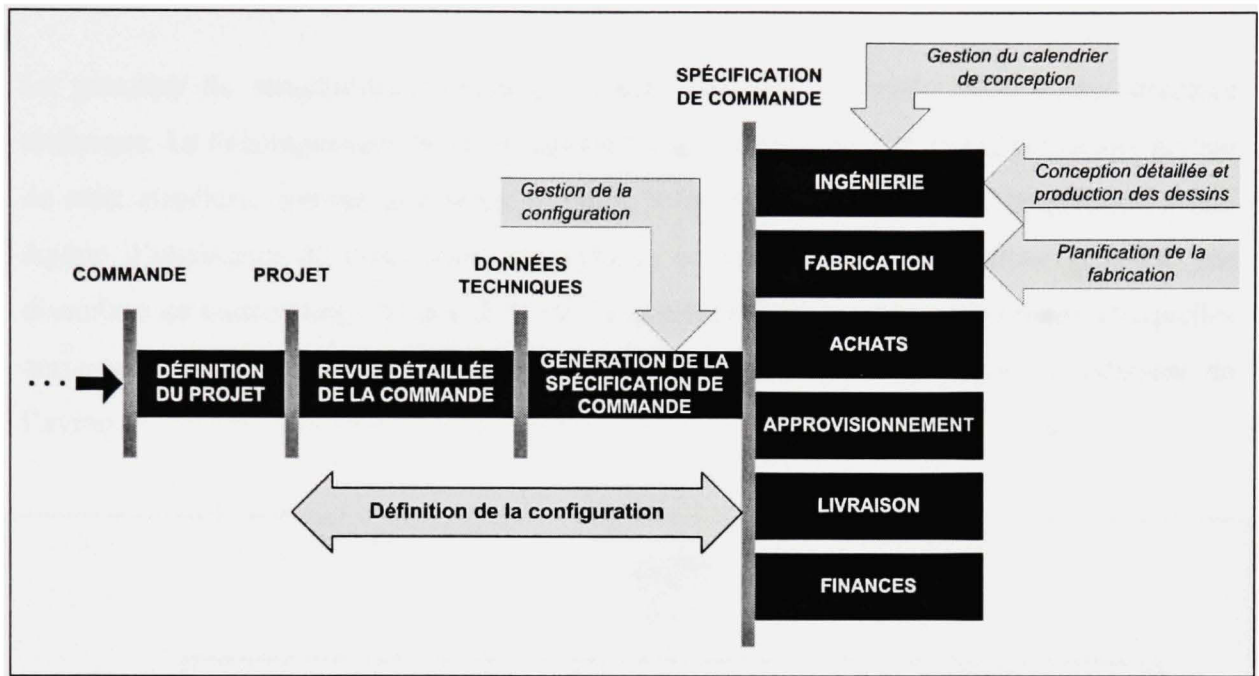


Figure 3.17 Application du modèle de Mesihovic et Malmqvist (2000a) aux processus clients du processus de définition de la configuration.

3.3.2 Analyse de la structure technique de la variante

En comparant le processus de définition de la configuration aux étapes de revue détaillée de la commande et de génération de la spécification au sein du modèle d'évolution des structures du produit, on identifie également le dossier formé des six IDL rev.NC comme la première représentation de la structure technique ouverte de la nouvelle variante personnalisée. En effet, les IDL rev.NC sont bel et bien le résultat d'un processus de configuration de la structure technique. Lors de leur création, l'objectif est d'associer des articles prédéfinis et leurs données techniques aux diverses options et caractéristiques décrites au sein du dossier de conception spécifique au client et de les organiser au sein d'une structure. De plus, une fois validée, cette structure n'est pas complète : elle incorpore l'ensemble des données techniques récurrentes relatives au tronc commun et à la partie configurée, mais ne fait qu'identifier par de nouveaux numéros de dessins les éléments de la

partie adaptée qui seront développés plus tard. On n’y distingue cependant pas les données récurrentes relatives à la description du tronc commun de celles relatives à la description de la partie configurée.

Le principe de structuration retrouvé au sein des IDL respecte celui d’une structure technique. La décomposition de la configuration en six IDL forme d’abord le premier niveau de cette structure, comme le montre la figure 3.18. Puisque chaque IDL correspond à une équipe d’ingénierie de conception particulière, ce premier niveau est donc organisé par discipline de conception. Chaque IDL est également décomposable par sections auxquelles correspondent les différents sous-systèmes et installations de l’aménagement intérieur de l’avion.

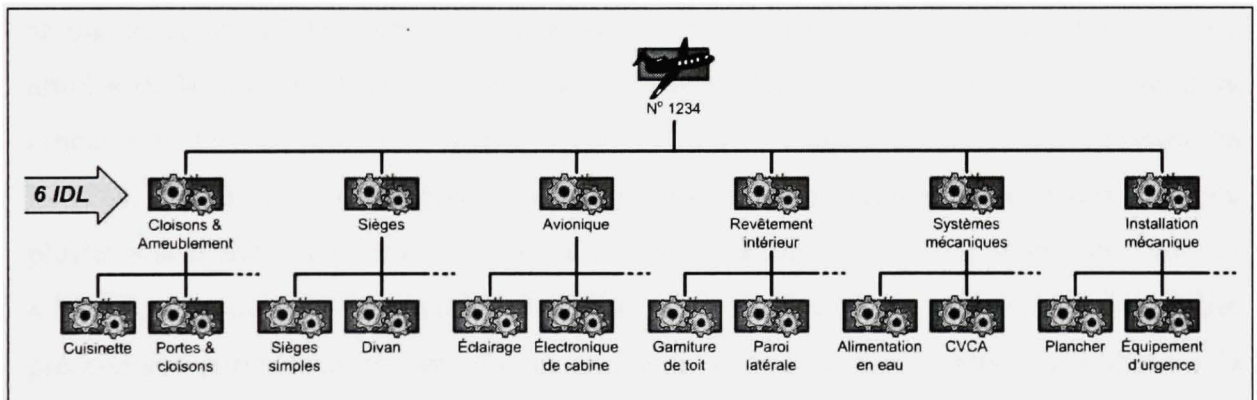


Figure 3.18 *Structure technique correspondant à l'ensemble des IDL.*

Cependant, les IDL, comme le dit leur nom (*Indented Drawing List*), présentent une structure du produit composée essentiellement de dessins techniques, alors que les objets au sein d’une structure de nature technique sont généralement des articles, comme le décrit la littérature scientifique ainsi que notre modèle. L’objectif principal du processus de définition de la configuration est de fournir une description structurée des données techniques récurrentes pouvant être réappliquées à la description d’une nouvelle variante. Si ces données techniques récurrentes sont depuis longtemps structurées et gérées au sein de dessins techniques, notamment à cause de l’utilisation prolongée des logiciels de DAO – *AutoCAD* dans le cas

du BiCCM – c'est alors une question de familiarité et de pragmatisme si les objets constituant la structure technique sont ces mêmes dessins.

Le dessin technique est un objet concret, un document ; « un ensemble cohérent d'informations structurées » (Maurino, 1993). Il décrit un article (ou plusieurs) et il lui est donc fortement associé. Lorsqu'il est question de décrire des structures du produit, il y a alors lieu de s'interroger sur la pertinence d'une approche basée sur les documents, puisque la relation partitive élémentaire se situe davantage entre les composants et autres objets abstraits que les dessins techniques ont pour rôle de décrire après coup plutôt qu'entre les dessins eux-mêmes, comme le mentionne Peltonen (2000).

De plus, dans le contexte de la définition d'une configuration, il ne doit exister aucune ambiguïté au niveau de la structure du produit et de ses objets afin de clairement identifier les articles de la configuration. Or, une pratique d'ingénierie qui permet de décrire plus d'un article à la fois au sein d'un même dessin technique, comme ce fut le cas autrefois au BiCCM, complexifie l'utilisation d'une structure composée exclusivement de dessins, dont plusieurs sont anciens, pour la définition d'une configuration. D'où l'importance de l'attribut « INSTL » au sein de la structure de l'IDL (*Voir* Tableau 2.1), qui permet d'identifier précisément parmi tous les articles qu'un dessin technique décrit celui à appliquer à la configuration. Si la structure technique au sein de l'IDL organisait directement les articles composant la configuration plutôt que les dessins techniques, la pratique de la description de plusieurs articles au sein d'un même dessin n'exigerait plus le recours à l'attribut « INSTL » au sein des IDL.

La figure 3.19(a) présente la relation qui existe entre les dessins techniques et les articles au sein d'une IDL. En comparant cette figure à la figure 3.19(b) qui présente les concepts de structure du produit et de lien de représentation décrit par Maurino (1993), on voit alors qu'elles sont en opposition. Selon Peltonen (2000), les relations partitives entre documents ne doivent être utilisées que lorsqu'il est vraiment question d'une structure de documents, par

exemple les chapitres d'un livre. Autrement, les relations partitives doivent relier des composants auxquels sont par la suite associés des documents.

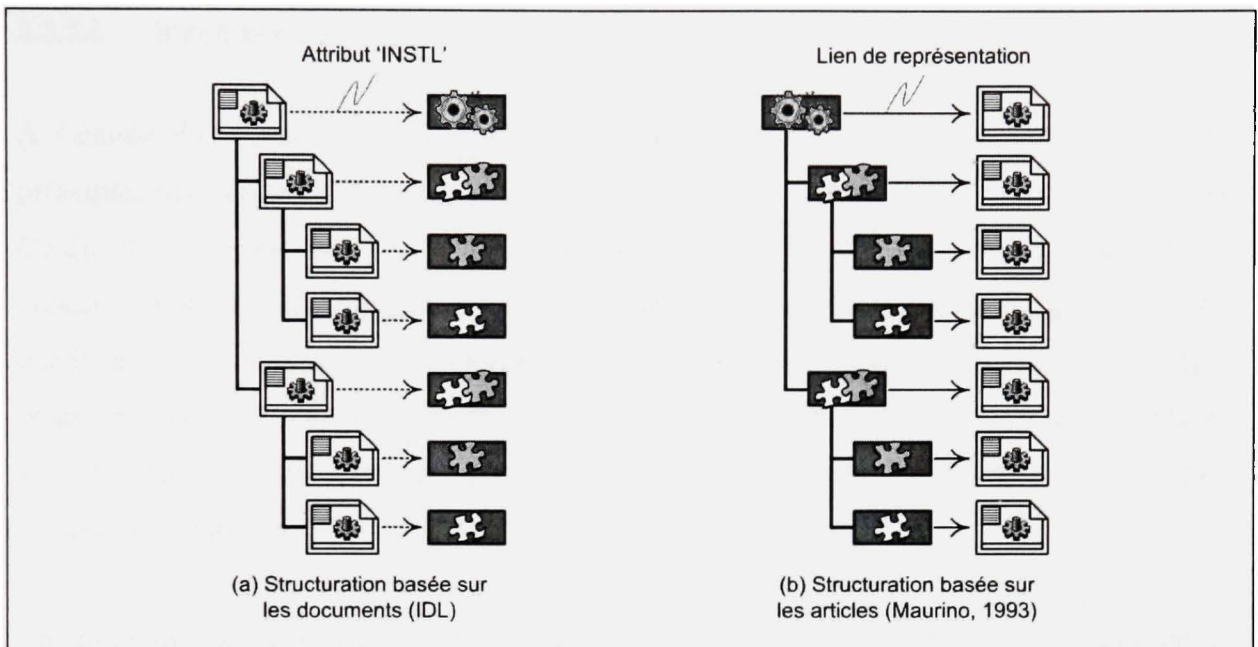


Figure 3.19 *Comparaison de la structure des IDL à la structure du produit selon Maurino (1993).*

3.3.3 Analyse du processus de configuration de la structure technique

Tant au niveau de l'enchaînement des différentes étapes du processus de vente-livraison qu'au niveau de l'état résultant de la structure de la nouvelle variante personnalisée, il est donc possible d'associer le processus de définition de la configuration étudié au BiCCM au processus théorique de configuration de la structure technique du produit. Comme le décrivent Sääksvuori et Immonen (2004), l'objectif de la configuration de la structure d'une variante consiste à transformer les paramètres spécifiés lors de la configuration de la vente au sein de la structure de la vente afin de produire une structure technique s'harmonisant avec les paramètres de la configuration de la vente. Pour y arriver, on se réfère alors à la structure générique du produit, c'est-à-dire un modèle combinant les différentes valeurs de paramètres du produit générique aux structures techniques des différentes variantes primaires. On doit donc forcément retrouver les équivalents d'une structure de la vente et d'une structure

générique du produit parmi les concepts impliqués dans l'exécution du processus de définition de la configuration.

3.3.3.1 Structure de la vente

À l'entrée du processus de définition de la configuration, la spécification du client est principalement décrite au sein du document portant le même nom (spécification du produit). Ce document forme, avec les plans d'aménagements et l'énoncé des travaux, le dossier de conception spécifique au client qui décrit la variante personnalisée selon les exigences du client à l'état de conception préliminaire. Possédant sa propre structure interne (par chapitres), la spécification du produit présente en quelque sorte la structure de la vente au sein de laquelle sont organisées par sections de l'appareil les différentes caractéristiques finales de la variante.

La structure de la vente du produit adapté sur commande représentée au sein de la spécification du produit présente à la fois les exigences génériques normalement liées au tronc commun et à la partie configurée, et les exigences spécifiques liées à la partie adaptée. L'énoncé des travaux permet d'ailleurs de faire la distinction entre ces deux familles d'exigences en identifiant et détaillant les différents points dans le texte de la spécification du produit correspondant à des exigences particulières et qui commanderont un effort supplémentaire de conception et d'adaptation.

Comme le montre l'exemple de la figure 3.20, la structure de la spécification du produit est différente de la structure technique de la variante (*Voir* Figure 3.18). Grâce à leur titre, la majorité des plans d'aménagement du dossier de conception peuvent également être associée sans ambiguïté aux objets de la structure de la spécification du produit. Elle serait d'ailleurs sensiblement la même de projet en projet. Aucune observation en entreprise n'a toutefois pu confirmer si cette structure ainsi que celles des spécifications des clients antérieurs respectent un quelconque modèle. Logiquement, la structure d'une vente doit respecter un modèle de

structure imposé par la nature des paramètres recensés au sein de la structure générique du produit.

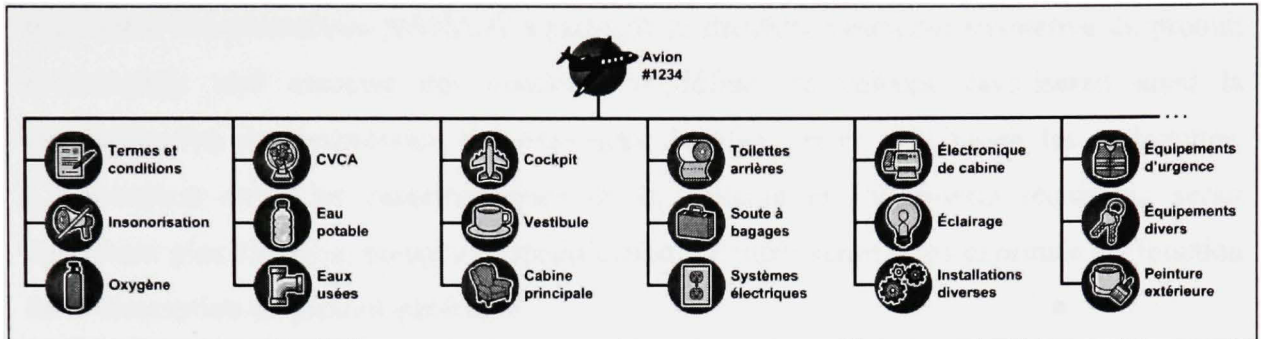


Figure 3.20 *Exemple du premier niveau de la structure retrouvée au sein de la spécification du produit.*

Les paramètres organisés au sein de la structure de la vente doivent également faire référence à la structure générique du produit et aux variantes primaires qu'elle classe par modules génériques. L'étude d'un exemplaire d'une spécification du produit a révélé que, bien que le document décrive textuellement la variante personnalisée, les nombreuses énumérations de caractéristiques sous la forme de listes et de sous-listes avec quantités permettent de supposer l'existence de paramètres prédéfinis de ventes auxquels sont attribués des valeurs en fonction des exigences du client. Toutefois, il est encore une fois impossible d'affirmer, à partir des observations réalisées, si ces paramètres proviennent d'un modèle comme une structure générique du produit ou même s'ils sont les mêmes d'une spécification du produit à l'autre. Pour y parvenir, il aurait été nécessaire d'interroger les gens du BiCCM impliqués dans les phases de vente et d'offre du processus de vente-livraison.

Ainsi, à l'entrée du processus de définition de la configuration, il est possible pour l'ingénieur de conception qui doit effectuer la tâche de configuration de la structure technique de profiter de la structuration de la spécification du produit pour retrouver aux endroits habituels les caractéristiques du tronc commun et de la partie configurée auxquelles il doit associer des dessins techniques récurrents. L'interprétation de ces caractéristiques peut toutefois varier d'un ingénieur à l'autre, puisqu'elles sont décrites textuellement, et rien ne confirme l'usage méthodique de champs lexicaux prédéfinis. L'ingénieur de conception doit

alors souvent se référer aux données picturales des plans d'aménagement – sujettes quant à elles aux normes de dessins techniques – pour vérifier son interprétation. L'usage d'une structure de la vente telle que décrite au sein du modèle proposée, c'est-à-dire une structure organisant des paramètres prédéfinis à partir de la structure générique adaptative du produit et auxquels sont associés des domaines prédéfinis de valeurs, favoriserait ainsi la standardisation de l'expression des exigences du client et en éliminerait les ambiguïtés. L'association entre les caractéristiques de la variante et l'ingénierie récurrente serait également plus évidente, puisque la spécification du client serait alors exprimée en fonction de la description du produit générique.

3.3.3.2 Structure générique adaptative du produit

Dans le cadre d'une revue des systèmes de configuration de produit, Sabin et Weigel (1998) notent que la complexité du problème de configuration réside principalement dans la représentation des connaissances relatives au produit générique. La modélisation de cette connaissance constitue donc un aspect critique du problème. Selon leurs observations, la pratique la plus couramment observée serait d'ailleurs d'organiser les objets d'application, ou variantes primaires, au sein d'une hiérarchie d'abstraction ou de généralisation contenant à la fois des objets abstraits et concrets : ce qu'on décrit dans ce mémoire comme la structure générique adaptative du produit, modèle qui organise les différents objets abstraits, ou modules génériques, selon une hiérarchie d'agrégation (composants-composé) et qui doit évoluer au fil des nouvelles descriptions de variantes.

Pour ce qui est du processus de définition de la configuration, lorsqu'il est question des connaissances relatives au produit générique en évolution en vue de la configuration de la structure technique, on fait évidemment allusion au concept de répertoire de configurations. Il s'agit effectivement de la principale ressource disponible à l'ingénieur de conception pour rechercher des dessins techniques récurrents à associer aux caractéristiques de la nouvelle variante personnalisée. D'abord, la base de données DTS du SGDT constitue la principale référence pour les configurations. Les autres répertoires de configurations sont

majoritairement des recueils de notes personnelles qui décrivent, en fonction de la discipline de conception des ingénieurs qui les utilisent et les maintiennent à jour, des divisions bien précises du produit générique. De plus, comme l'exige la SGAP, les répertoires de configurations sont continuellement mis à jour en incorporant à chaque projet la description des nouvelles variantes, de leurs nouvelles installations et de leurs nouveaux systèmes.

Toutefois, les répertoires de configurations ne présentent pas de classification détaillée des différents objets prédéfinis relatifs aux systèmes et modules qu'ils décrivent, mais plutôt un simple inventaire ordonné des différentes configurations pour ces systèmes et modules. Par exemple, les matrices de configurations offrent une classification des systèmes et modules du produit, soit par discipline de conception, puis par famille de dessins, en fonction des combinaisons complexes de caractéristiques tirées des dossiers de conception. Cette classification ne comprend toutefois aucune description détaillée de ces caractéristiques, pas plus que des objets concrets composant les systèmes et modules classés auxquels les caractéristiques élémentaires font référence.

De plus, grâce à son engin de recherche, la base de données DTS possède le potentiel pour offrir une classification détaillée et personnalisée des nombreux dessins récurrents d'ingénierie représentant les connaissances relatives au produit générique. Le peu d'attributs concrets caractérisant ces dessins, plus particulièrement les articles qu'ils décrivent et leurs caractéristiques, limite cependant grandement la capacité de classification des données techniques étant donné l'absence de critères de recherche fiables.

La caractérisation des nombreux composants standards ou prédéfinis constitue donc ce qui différencie le plus les répertoires de configurations utilisés au BiCCM d'une SGAP. Pour qu'une classification détaillée des données techniques récurrentes puisse exister, chaque variante primaire doit être spécifiquement identifiée au sein de son domaine d'application par son ensemble de propriétés ou d'attributs qui caractérise sa fonction et sa performance, comme par exemple des caractéristiques fonctionnelles et techniques, des propriétés visuelles, des dimensions physiques, etc. (Sabin et Weigel, 1998). Ce sont grâce à ces

propriétés qu'il devient alors possible d'exprimer les contraintes complexes entre objets constituant les règles de configuration, et également d'associer directement une exigence du client exprimée au sein de la structure de la vente à un composant physique prédéfini lors de la configuration de la structure technique.

Implicitement, parmi l'ensemble des connaissances relatives au produit générique au BiCCM, ces propriétés décrivant et différenciant les nombreuses variantes primaires de l'aménagement intérieur d'un avion d'affaires existent. Toutefois, elles peuvent difficilement être exploitées par les ingénieurs de conception, et donc, entre autres, incluses aux répertoires de configurations, car elles ne sont pas explicites aux objets manipulés lors de la définition de la configuration, c'est-à-dire les dessins techniques. Ce sont des conteneurs d'informations : les données techniques relatives aux articles qui y sont représentés sont détaillées et structurées, mais sans décomposition et interprétation préalable du contenu, elles y demeurent confinées et, par conséquent, difficilement exploitables dans un contexte de configuration de produit. Les dessins techniques peuvent également posséder des attributs, comme au sein des IDL. Mais comme le montre le tableau 2.1 de la section 2.2, bien qu'ils soient nombreux, ces attributs donnent très peu de détails sur le ou les articles que les dessins décrivent (ex. : titre du dessin).

On se limite alors au BiCCM à inventorier les différentes configurations des systèmes et des modules définis à ce jour, c'est-à-dire des objets de haut niveau au sein de la structure du produit (ex. : installations) et donc fortement sujets à changement d'une configuration applicable à l'autre. La probabilité qu'une de ces configurations dont le niveau de complexité demeure élevé soit alors réutilisée dans sa totalité est alors très petite, ce qui veut dire que les répertoires de configurations, avec le peu de détails qu'ils offrent, ne peuvent supporter le processus de configuration de la structure technique au même titre qu'une SGAP comme il est décrit dans ce mémoire.

Le raisonnement derrière l'utilisation des répertoires de configuration, et donc derrière la recherche de dessins récurrents d'ingénierie, correspond davantage à ce que Sabin et Weigel

(1998) décrivent comme du *case-based reasoning* (CBR), ou raisonnement par cas. Contrairement au *model-based reasoning*, ou raisonnement basé sur un modèle, par exemple, la structure générique du produit telle que décrite par la littérature scientifique, l'ingénieur raisonnant par cas résout plutôt le nouveau problème de configuration en recherchant un problème similaire déjà résolu et en l'adaptant aux nouvelles exigences du client. L'information nécessaire au raisonnement est donc répertoriée principalement par cas qui correspondent à des ensembles de configurations vendues aux clients précédents.

Le CBR repose ainsi fortement sur une hypothèse implicite selon laquelle les problèmes similaires ont des solutions similaires. Il n'y a priori aucun besoin pour un modèle complet du produit : on exploite plutôt l'expérience accumulée au fil des projets, comme c'est le cas au BiCCM. Sabin et Weigel (1998) divisent d'ailleurs le processus relatif au CBR en quatre étapes auxquelles on peut facilement trouver des correspondances au sein des activités étudiées au BiCCM, comme le présente le tableau 3.2.

Tableau 3.2

**Correspondances entre les étapes du processus relatif
au CBR et les activités étudiées au BiCCM**

Processus relatif au CBR <i>(Sabin et Weigel, 1998)</i>	Activités étudiées au BiCCM
1. Extraire des caractéristiques pour les utiliser pour la recherche d'un ou de cas similaires.	✓ Identifier des caractéristiques du produit à partir des éléments du dossier de conception spécifique au client.
2. Rechercher une configuration correspondant aux caractéristiques désirées.	✓ Utiliser des anciens plans d'aménagement et des matrices de configurations pour rechercher des conceptions antérieures similaires.
3. Adapter le cas retrouvé à la nouvelle situation.	✓ Copier l'IDL d'une conception antérieure similaire et la mettre à jour en fonction des nouvelles caractéristiques.
4. Enregistrer la nouvelle configuration.	✓ Libérer la définition de la nouvelle configuration au sein de DTS, et mettre à jour les répertoires de configuration.

La SGAP proposée dans ce mémoire correspond principalement à un raisonnement basé sur un modèle. Toutefois, elle repose également sur l'hypothèse implicite au CBR selon laquelle les problèmes similaires ont des solutions similaires, puisqu'elle doit agir à titre de référence pour la résolution de problèmes de conception. Il s'agit en quelque sorte d'un concept hybride cherchant à faire profiter le concepteur des avantages des deux raisonnements. L'exemple du BiCCM démontre d'ailleurs qu'une telle hypothèse est très valable en adaptation de produit sur commande, où chaque projet est à la fois similaire et différent par rapport aux autres.

3.4 Synthèse

Ce troisième chapitre examine les particularités de la gestion des structures du produit dans le contexte du développement et de la vente-livraison d'un produit adapté sur commande.

L'analyse comparative des observations réalisées en milieu industriel par rapport au corpus de connaissances documentées dans la littérature scientifique permet d'identifier le processus de définition de la configuration au BiCCM comme étant la seconde étape du processus de configuration d'un produit, soit la configuration de la structure technique. Le livrable, soit l'ensemble des six IDL rev.NC, définit une structure du produit qui correspond à la structure technique ouverte, notamment parce qu'elle permet d'identifier et de faire la distinction entre les composants décrits à l'aide de données techniques récurrentes et les nouveaux composants qu'il reste à concevoir en détails. La différence principale entre les IDL et une structure technique ouverte demeure toutefois que les objets structurés au sein des IDL sont des documents, alors qu'une structure technique est composée d'objets représentant les articles du produit. Cette organisation de l'information basée sur les dessins techniques limite alors la capacité de classification des données techniques récurrentes, puisqu'elle masque en grande partie les caractéristiques des articles prédéfinis que les ingénieurs tentent de retrouver et de réutiliser lors du processus de définition de la configuration.

Comme avenue de solution, on présente le concept original de la SGAP, une structure générique du produit incorporant de projet en projet les nouveaux modules et les nouvelles variantes primaires développés en réponse aux exigences particulières des clients et ainsi décrivant *a posteriori*, et non *a priori*, l'ensemble des variantes du produit. Un processus de configuration basé sur un modèle comme la SGAP produira une structure technique ouverte qui inclut la définition définitive du tronc commun et de la partie adaptée, et fournit le contexte et les éléments d'entrée à la phase d'ingénierie personnalisée pour la conception détaillée de la partie adaptée. On y présente également l'évolution de la structuration du produit en rapport avec un modèle intégré des processus de développement de produit et de vente-livraison, identifiant les différents modes de représentation du produit, dont la SGAP, et les relations qui existent entre objets hétérogènes.

CHAPITRE 4

PROPOSITION D'AVENUES D'AMÉLIORATION AU PARTENAIRE INDUSTRIEL

De manière à faire profiter le partenaire industriel de l'étude réalisée en ses murs, il fut entendu de proposer deux séries d'avenues d'amélioration sur lesquelles baser des projets à entreprendre à court et/ou à long termes par rapport au processus de définition de la configuration. Ces avenues d'amélioration devaient ainsi résumer les résultats des deux analyses effectuées dans le cadre du projet, la première servant de conclusion aux trois séries d'entrevues réalisées auprès de membres de l'entreprise, et la seconde, présentée au troisième chapitre, faisant la comparaison entre les résultats de l'étude de cas et une revue de la littérature scientifique réalisée en marge de la collaboration, dans le cadre plus large du projet de recherche à la maîtrise. Ainsi, ce quatrième chapitre présente d'abord la première série d'avenues d'amélioration simples à court terme, alors que la deuxième série d'avenues d'amélioration, soit celles impliquant des changements plus significatifs à long terme, est présentée en deuxième lieu.

4.1 Actions à court terme

Cette première série d'avenues d'amélioration fut proposée au partenaire industriel en conclusion des observations réalisées en industrie. Destinées à être entreprises dans l'immédiat ou à court terme en réaction à la situation actuelle, ces actions simples s'appuient principalement sur l'analyse préliminaire des observations réalisées au terme de la troisième série d'entrevues réalisées auprès des ingénieurs de l'entreprise. Cette première analyse, dont les résultats sont présentés à la section 2.2.4, avait permis d'établir rapidement la situation du processus de définition de la configuration au BiCCM au niveau de l'exécution et de la documentation.

Ainsi, les trois actions décrites dans la présente section constituent des avenues d'amélioration à court terme à la situation observée. Elles ont fait l'objet de deux

présentations auprès des gens du BiCCM, la première s'adressant d'abord à quelques ingénieurs cadres (Brière-Côté, 2006c) et la seconde, à un comité chargé des principaux dossiers d'amélioration continue et réunissant certains membres de la direction du département d'ingénierie (Brière-Côté, 2006b). Aux deux occasions, les réactions des allocutaires par rapport aux résultats de l'étude en milieu industriel et aux avenues d'amélioration proposées furent positives, de sorte qu'un projet complémentaire, décrit sommairement à la fin de la présente section, fut mis en place à l'interne afin de soumettre le processus de définition de la configuration à des actions correctives concrètes basées sur ces propositions.

4.1.1 Uniformiser la création des IDL rev.NC

Peu après le lancement d'un nouveau projet de finition durant lequel sera développée et réalisée une nouvelle variante d'aménagement intérieur d'un avion *Global Express XRS*, les six IDL rev.NC dorénavant disponibles pour consultation constituent la source la plus détaillée d'information technique disponible pour la planification des principales étapes du projet. On y identifie et y structure de l'information utile notamment à la gestion des échéanciers, à la production des nouveaux dessins d'ingénierie et à l'ébauche des premiers cahiers de montage.

Comme l'ensemble du processus de définition de la configuration, la cohésion de l'étape intermédiaire de la création des six IDL rev.NC par chacune des équipes d'ingénierie de conception représente l'un des aspects présentant le plus important défi. À défaut d'une meilleure intégration du processus où l'on favoriserait notamment la communication entre l'ensemble des six équipes, la création des IDL rev.NC demeure spécifique à chaque équipe, donc difficile à coordonner. Au niveau des livrables, la principale répercussion observée fut sans contredit l'hétérogénéité de la forme, du contenu et de la structure des six documents résultants. Ceci complique notamment l'interprétation de la structure technique du point de vue global du projet, soit de l'ensemble complet des IDL, comme par exemple par les processus clients. Les erreurs d'interprétation des données des IDL dues par exemple à la

disposition dissemblable des colonnes, à la diversité des termes employés ou tout simplement à l'omission de certains attributs, peuvent alors se propager au sein des données des autres processus, ce qui conduirait à des corrections tardives qui n'ont pour effet que de ralentir la poursuite du projet.

La première action corrective proposée consiste donc à uniformiser la création des IDL rev.NC par la définition, la rédaction, la validation et la mise en circulation d'une procédure formelle. L'objectif serait de fournir aux équipes d'ingénierie de conception des directives et des outils afin de les guider dans la création collective d'un dossier homogène d'IDL rev.NC lors du lancement d'un projet. Étant donné l'état actuel du processus où chacun personnalise l'IDL selon ses besoins, la création d'une telle procédure devrait évidemment impliquer chacun des intervenants afin de considérer les spécificités techniques relatives à chaque discipline de conception et d'assurer un consensus sur la direction à donner à cette étape du processus.

Pour favoriser une forme et un contenu homogène parmi les six IDL rev.NC, une première étape dans la création de la procédure serait d'abord d'actualiser le gabarit de l'IDL disponible autrefois et de le réinstaurer comme étant le standard à respecter pour la création d'une IDL. On y spécifierait alors clairement la nature et la disposition des attributs de dessins à fournir avec la structure de dessins afin que chaque IDL présente la même information. Dans les cas spécifiques d'attributs dont le domaine de définition est a priori limité, comme par exemple le code de classification et le type d'un dessin, le nouveau gabarit servirait également à identifier et décrire les valeurs possibles pour ces attributs. Enfin, il serait préférable que ce nouveau gabarit soit libéré, donc approuvé, protégé et sujet à une gestion des modifications, afin de lui éviter le même sort que son prédécesseur, c'est-à-dire la multiplication des versions informelles.

De plus, afin d'assurer une meilleure cohésion entre les six parties de la description de la nouvelle variante présentées au sein des IDL, la nouvelle procédure organisant leur création devrait comprendre la définition de la structure maîtresse de dessins. À la manière d'un organigramme technique comme celui présenté à la figure 4.1, celle-ci devra agir en quelque

sorte comme un pivot à partir duquel seraient développées les nombreuses structures de dessins présentées par chaque IDL. À moins de changements majeurs, les premiers niveaux de cette structure demeuraient invariants de projet en projet. La responsabilité de chaque équipe d'ingénierie de conception au niveau de la création des IDL seraient définie en fonction de cette structure maîtresse, ce qui permettrait d'identifier et de maintenir les relations externes aux IDL entre les principaux objets de la configuration. Par exemple, on assurerait une mise en référence (code 4 : Voir Tableau 2.1) plus complète et plus cohérente des dessins externes à une IDL.

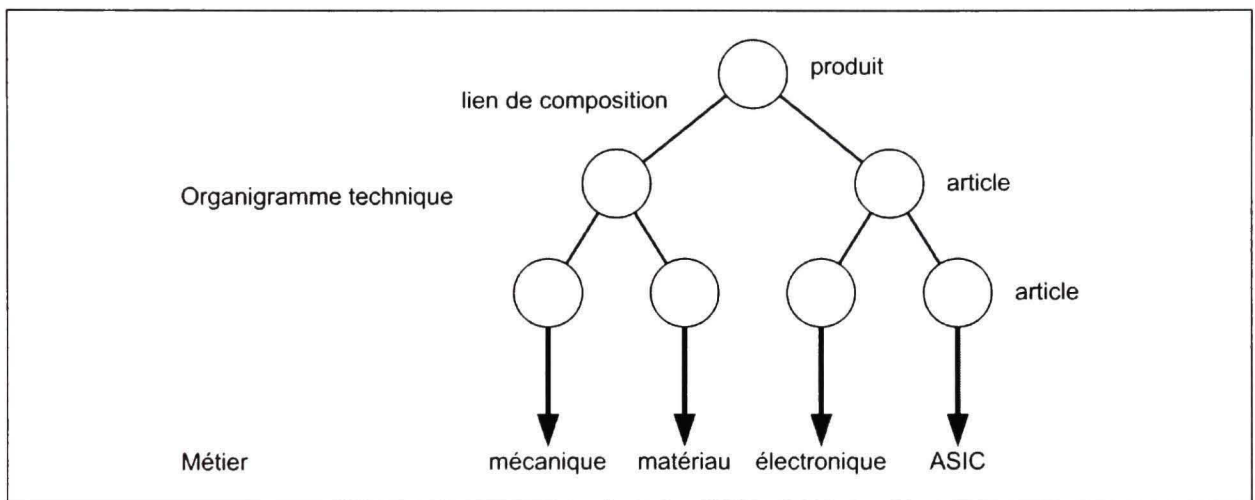


Figure 4.1 *Organigramme technique.*
(Maurino, 1993)

4.1.2 Améliorer la caractérisation et la gestion des dessins récurrents d'ingénierie

Le dossier formé des six IDL rev.NC doit fournir, entre autres, une description claire et structurée du savoir-faire en ingénierie relatif au produit développé par le passé pouvant être utilisé pour définir de la nouvelle configuration applicable d'un aménagement intérieur. Le processus de configuration de la structure technique ayant lieu lors de la création des IDL rev.NC doit alors être supporté par des sources d'information contrôlées et des outils efficaces pour rechercher et manipuler les dessins récurrents d'ingénierie qui forment généralement, pour l'aménagement intérieur d'un avion *Global Express XRS*, environ 70%

de l'ensemble des dessins applicables à une configuration, selon les estimations d'ingénieurs de conception.

Malheureusement, les répertoires de configurations utilisés par les ingénieurs de conception pour situer une nouvelle conception par rapport aux anciennes et/ou pour rechercher des dessins d'ingénierie récurrents à inclure à leur IDL rev.NC sont soit peu efficaces, soit non contrôlés. En effet, la base de données de DTS constitue la source la plus sûre et la plus complète pour la recherche de données récurrentes valides. L'absence au sein de DTS d'une description signifiante de ces données pour un ingénieur dont le mandat est d'associer des caractéristiques fonctionnelles et techniques à des dessins techniques rend toutefois la recherche laborieuse. Les recueils de notes personnelles tels les matrices de configurations ou les listes de référence ont alors été créés afin de résoudre ce problème et accélérer la recherche de dessins récurrents d'ingénierie en répertoriant davantage de données descriptives sur les dessins ayant été développés par le passé. Ces recueils ont toutefois l'inconvénient d'être hors de portée du contrôle exercé par la gestion des configurations. Ni la validité des dessins dont les numéros sont répertoriés ni l'exactitude des données descriptives qu'ils contiennent ne peuvent donc être assurées à la suite, par exemple, d'une modification d'ingénierie. L'ingénieur qui retrouve un dessin récurrent grâce à un de ces recueils est alors contraint de vérifier après coup la pertinence du résultat de sa recherche.

À titre de deuxième avenue d'amélioration, il est alors proposé de reconcevoir les mécanismes mis en place pour la recherche de dessins récurrents d'ingénierie lors de la définition de la configuration. Il nous apparaît nécessaire d'améliorer la caractérisation et la gestion du savoir-faire relatif au produit, autrement dit la description du produit générique, afin d'apporter un support plus spécifique et plus efficace au processus de configuration de la structure technique des nouvelles variantes réalisé par les ingénieurs de conception. De plus, toute source de données techniques devrait minimalement être contrôlée par la gestion des configurations afin d'y assurer la propagation des modifications d'ingénierie et l'ajout des nouvelles conceptions.

À la base, chaque installation, système, ensemble ou article décrit sur un dessin est conçu afin de satisfaire une ou des exigences spécifiées au sein d'un dossier de conception, qu'il soit générique (processus de développement) ou spécifique à un client (adaptation sur commande). Lors de la configuration de la structure technique, l'objectif principal consiste d'ailleurs à retrouver et à exploiter cette association caractéristique-objet-dessin. Les répertoires de configurations doivent donc permettre une meilleure gestion de ces relations qui existent entre les caractéristiques fonctionnelles et techniques provenant des anciens dossiers de conception et les dessins d'ingénierie libérés.

Au sein de la base de données DTS, les attributs accompagnant chaque dessin entreposé décrivent principalement le document : numéro, titre, révision, date de libération, etc. Parmi ces métadonnées, seul le titre du dessin peut révéler en partie la nature, la fonction, voire les caractéristiques de l'article que le dessin présente. C'est pourquoi les titres de dessins sont les attributs à partir desquels le plus de recherches sont effectuées lors de la création des IDL rev.NC. Il a toutefois été observé qu'aucune règle formelle n'encadre la composition de ces titres à la création des dessins par l'ingénierie de conception, mise à part en ce qui a trait à l'usage des abréviations. Il y a alors le risque de voir apparaître une hétérogénéité dans le choix des termes et de la syntaxe pour des titres de dessins, réduisant l'efficacité d'une simple recherche par mots-clés au sein de la base de données dont le but est de trouver des dessins décrivant des articles similaires. Dans l'objectif d'améliorer la caractérisation des dessins d'ingénierie libérés en vue de la définition des futures configurations, il serait donc envisageable d'encadrer la composition des titres de dessins en imposant, par exemple, des champs lexicaux ou des règles de syntaxe, afin que ceux-ci puissent, en plus de décrire plus précisément le contenu du dessin, offrir une meilleure classification des dessins récurrents d'ingénierie.

Parmi les autres types de répertoires de configurations étudiés, les matrices de configurations constituent celui exploitant le mieux les associations entre les différentes caractéristiques des variantes tirées des dossiers de conception spécifiques aux clients et les dessins d'ingénierie libérés par la passé. Comme le montre l'exemple fictif du tableau 4.1, les relations entre

caractéristiques et dessins d'ingénierie y sont représentées par des « X » aux intersections des lignes et des colonnes. En généralisant et en formalisant l'utilisation de ces matrices, il serait également possible d'améliorer la caractérisation et la gestion des dessins récurrents d'ingénierie en exploitant un mécanisme simple et à la portée de tous.

Tableau 4.1

Exemple fictif d'une matrice de configurations pour la soute à bagages

A/C	AC167	AC171	AC173	AC175	AC177	AC179
BAGGAGE LAYOUT	LD980-2004	LD980-2004	LD980-2004	LD138-0016	LD134-0016	LD980-2004
BAGGAGE FINISH SPEC	SPC80-0025	SPC80-0025	SPC80-0025	SPC80-0025	SPC80-0025	SPC80-0025
BAGGAGE FLAME MATRIX	BFM600141	BFM600143	BFM600143	BFM600143	BFM600143	BFM600143
AFT BAGGAGE MOD G.A.	GM2550XX1	GM2550XX2	GM2550XX3	GM2550XX4	GM2550XX5	GM2550XX6
REMOVABLE BULKHEAD STORAGE	X	X	X			
MID NET WL 121.50						
115V OUTLET DUAL	X	X	X	X	X	
FLASHLIGHT RHS UP SIDEWALL		X		X	X	
FLASHLIGHT LHS BOTTOM	X		X			X
HUMIDIFIER MOD		X			X	
SAT TV KU BAND MOD				X		X
SAT TV MOD					X	
SAT TV 3 MOD		X				
220 V OUTLET		X				
115V OUTLET SINGLE						X
ACPC EXTRA ACCESS PANEL				X		
ACPC ACCESS PANEL WINDOWS				X	X	
FLAP LONG		X		X	X	
FLOOR NET	X			X		
3 STEP MID NET				X		
CARD TABLE STORAGE INSTL			X			
MOLDING INSTL		X				
2 DOME LIGHT EXTRA					X	
D-RING				X		
DOUBLE SHELVES RHS				X		
EXTRA SWITCH AND OUTLETS				X		
GOLF BAG NET			X			
UPPER SHELF RHS WITH NET						X
STANLESS COVER						X

4.1.3 Présenter l'information de l'IDL selon différents points de vue

Comparativement à son équivalent du programme *Global 5000*, une IDL produite par un ingénieur du programme *Global Express XRS* peut présenter jusqu'à trois fois plus d'information sous la forme d'attributs rattachés aux dessins identifiés au sein la structure (voir tableau 2.1). En effet, des attributs tels la quantité, l'équipe responsable ou le numéro 'MOD', pour ne nommer que ceux-ci, ne sont pas présentés au sein d'une IDL d'un avion *Global 5000*. Ils le sont toutefois au sein d'une IDL d'un avion *Global Express XRS* pour répondre au besoin des processus clients pour une description plus détaillée de l'ensemble des données techniques relatives à la nouvelle configuration.

Le tableau 4.2 présente d'ailleurs les attributs de dessins au niveau de l'IDL rev.NC que les participants à la troisième série d'entrevues ont identifiés comme étant nécessaires au bon déroulement des principaux processus clients. On remarque que certains attributs ne sont utiles qu'à un seul processus client, ce qui veut dire que l'abondance d'informations sur la structure de dessins n'est pas nécessairement un avantage du point de vue individuel de chaque processus client.

Tableau 4.2

Attributs de dessins demandés par certains processus clients

Processus clients	Données de l'IDL											
	Numéro du dessin	Relation parent/enfants	Titre du dessin	Code	INSTL	EO / NIEO	Rév. Doc.	Quantité	MOD	E-ITEM	Équipe responsable	Heures
Planification de la fabrication	X	X	X	X	X	X	X	X				
Gestion de la configuration	X	X	X	X	X	X			X			
Gestion du calendrier de conception	X		X	X						X	X	X

Le fait d'inclure une quantité beaucoup plus importante d'information à l'IDL rev.NC requiert évidemment de la part des équipes d'ingénierie de conception plus de temps, plus de recherche et une meilleure maîtrise pour manipuler et gérer toutes ces données. On ne fait d'ailleurs aucune distinction au sein du document résultant entre les différentes données communes et celles propres aux besoins de chaque processus client. Lorsque vient le temps de le consulter, les gens des processus clients peuvent alors être confrontés à des tableaux surchargés et parfois désordonnés, ce qui fait qu'ils prennent plus de temps pour retrouver les quelques éléments d'information qui leur sont vraiment utiles et qu'ils risquent davantage de commettre des erreurs d'interprétation.

La troisième avenue d'amélioration proposée viserait donc à permettre la présentation de l'information au sein d'une IDL selon les différents points de vue correspondant aux processus clients. Les gens participant aux processus clients bénéficieraient alors d'une structuration supplémentaire des IDL rev.NC par vue, réduisant la quantité de données à traiter et à interpréter au strict minimum selon leurs besoins pour ainsi plus de clarté et d'efficacité dans leur travail.

Les mécanismes disponibles pour « produire » les différentes vues pouvant être portées sur l'information d'une IDL sont multiples. Le plus simple serait probablement de regrouper, à la manière du tableau 4.2, les colonnes d'attributs de dessins selon leur utilisation par les processus clients. On peut également envisager produire des rapports secondaires à partir de l'IDL en fonction de besoins spécifiques, ou encore appliquer des filtres sur les IDL de manière à masquer temporairement l'information inutile lors des consultations.

4.1.4 Projet complémentaire au BiCCM

À la lumière des principales observations et des recommandations qui leur ont présentées en conclusion de notre étude en milieu industriel, les gens du BiCCM ont jugé nécessaire de poursuivre à l'interne le travail réalisé jusqu'ici au niveau du processus de définition de la configuration pour les avions *Global Express XRS*. Mis en place dès la présentation du

second rapport, le projet complémentaire du BiCCM fut placé sous la responsabilité d'un agent en amélioration continue dont la première tâche fut de prendre connaissance de tous les résultats de l'étude jusqu'ici.

L'aspect auquel les gens du BiCCM ont d'abord voulu s'attaquer était celui de l'intégration du processus de définition de la configuration exécuté par les différentes équipes d'ingénierie de conception. Leurs préoccupations touchaient principalement l'intégrité des données libérées grâce à l'IDL rev.NC et gérées conséquemment au sein de la base de données de la DPS. L'objectif du projet complémentaire consistait donc à formaliser le processus de définition de la configuration, plus spécifiquement la libération et la diffusion des IDL rev.NC, afin d'assurer une meilleure intégrité des données techniques en début de projet de finition.

Pour y parvenir, ils comptaient notamment prendre exemple sur le processus de définition de la configuration du programme de finition *Global 5000* et utiliser la base de données de la DPS, au lieu de *Microsoft Excel*, pour la création des IDL rev.NC, en plus d'adopter certaines avenues d'amélioration à court terme leur ayant été proposées. L'une des actions prévues au projet consistait notamment à diviser la définition de la configuration en deux temps, d'abord pour le tronc commun, puis pour la partie spécifique au client, comme pour le programme *Global 5000*. En identifiant clairement au préalable les dessins récurrents d'ingénierie relatifs au tronc commun, la définition de cette partie généralement invariante de la configuration d'un aménagement intérieur, la recherche de dessins récurrents lors de la création des IDL rev.NC serait alors limitée à la partie configurée, réduisant ainsi le temps nécessaire à la recherche, mais également et surtout les risques d'erreurs dans la manipulation des données.

La définition d'un nouveau gabarit pour l'IDL constituait également l'une des principales actions à prendre dans le cadre du projet complémentaire. Ce nouveau gabarit devait entre autres permettre l'extraction de rapports à partir de l'IDL et destinés aux différents processus clients. Parmi les autres actions considérées, on retrouvait également la modification de la

base de données DPS afin de pouvoir y consulter la structure des IDL des projets en cours, l'identification d'une chronologie pour les révisions majeures des IDL durant un projet de finition, et la définition d'un indicateur clé de performance spécifique au processus de définition de la configuration du programme *Global Express XRS* afin d'en évaluer la performance dans le futur.

4.2 Actions à long terme

Alors que la première série d'avenues d'amélioration présentée à la section précédente s'appuie davantage sur les résultats bruts de l'étude et sur une analyse préliminaire, cette deuxième série s'appuie sur l'analyse détaillée des observations présentée au troisième chapitre. Les actions proposées au sein de cette section mènent évidemment à des changements importants au niveau de l'organisation et de l'exécution du processus de définition de la configuration, ainsi qu'au niveau des processus en amont et en aval. Les résultats de tels changements ne seront donc appréciables qu'à longue échéance, après un effort considérable de la part de plusieurs intervenants internes et externes au processus ciblé.

La proposition de ces avenues d'amélioration à long terme a pour principal objectif d'exprimer dans un contexte pratique certaines des exigences relatives à la gestion des structures du produit documentées au chapitre précédent et de les appliquer au problème concret de définition de la configuration au BiCCM. Autrement dit, on vise à mettre en place divers éléments nécessaires à la création, à la gestion et à l'exploitation du concept original proposé dans ce mémoire, la SGAP. Contrairement aux avenues d'amélioration à court terme qui ont été communiquées au partenaire industriel en cours de projet afin de favoriser le développement d'un projet complémentaire d'envergure limitée et au déploiement rapide, les avenues d'amélioration à long terme résultent de l'ensemble de l'effort de recherche présenté dans ce mémoire. Le partenaire industriel pourra éventuellement y puiser des appuis pour sa stratégie de mise en œuvre d'outils informatiques de développement de produits, s'il le juge à propos.

4.2.1 Structurer les données techniques à partir des articles

Du point de vue opérationnel, le processus de définition de la configuration permet d'identifier ou de planifier, dès le lancement d'un projet de finition, la majorité des dessins d'ingénierie décrivant en détails la configuration applicable d'une nouvelle variante personnalisée. On identifie les dessins relatifs à la configuration plutôt que les articles, car le dessin technique est un objet concret, possédant sa propre structure, et donc plus facilement exploitable par, notamment, le groupe de gestion de la configuration, les gestionnaires du projet et les agents des méthodes. Lorsqu'il est simplement question de communiquer les résultats de la configuration de la structure technique en fin de processus, l'utilisation du dessin technique à la base de la structuration des données techniques est donc tout à fait justifiable.

Toutefois, l'analyse de la section 3.3 nous montre qu'il y a des inconvénients à utiliser les dessins techniques comme objets de structuration des données techniques dans un contexte de configuration de produit. En effet, sans décomposition et interprétation préalable de leur contenu, les dessins techniques n'offrent que très peu d'informations pertinentes sur lesquelles s'appuyer lorsqu'il est question de les associer aux caractéristiques ou aux paramètres de finition d'une nouvelle variante. C'est ce qui explique notamment l'impopularité de la base de données de DTS lors des recherches de dessins récurrents d'ingénierie. De plus, si les dessins récurrents ne représentent pas tous exclusivement un seul article, le fait d'identifier seulement les dessins techniques applicables à une configuration ne mène pas nécessairement à la définition unique de cette configuration. On doit alors nécessairement identifier les articles décrits par les dessins et auxquels on désire faire référence (attribut 'INSTL' au sein des IDL).

Instinctivement, les concepteurs associent plutôt les caractéristiques de finition que peut exiger un client aux composants, ensembles et modules de la variante résultante. Ces articles sont par la suite représentés sur des dessins techniques, ce qui les associe fortement. Donc, comme l'illustre la figure 4.2, la définition d'un article s'interpose entre la définition de

caractéristiques et la réalisation d'un dessin technique. Une association directe entre une caractéristique et un dessin, comme on en retrouve par exemple au sein des matrices de configuration, est par conséquent plus difficile à maîtriser puisqu'elle n'est pas explicite; il s'agit en fait d'une « agrégation d'associations séquentielles » (Tremblay, 2006, p. 69) qui suppose inévitablement une certaine perte d'information.

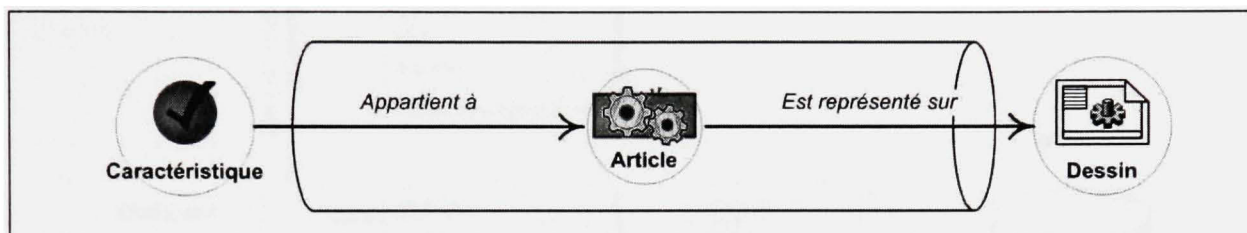


Figure 4.2 *Agrégation d'associations séquentielles entre la caractéristique et le dessin.*

D'ailleurs, selon plusieurs modèles tirés de la littérature scientifique, une telle agrégation n'a plus sa place. À l'origine, les SGDT servaient essentiellement à gérer les nombreux dessins et fichiers numériques provenant de l'utilisation des nouvelles applications de CAO au sein des départements d'ingénierie (Amann, 2004). Toutefois, comme le raconte Burden (2003), les concepteurs de SGDT en sont venus à la conclusion vers le milieu des années 1990 qu'en gérant les composants représentés sur ces dessins plutôt que les dessins eux-mêmes, les dessins seraient alors contrôlés automatiquement. Conséquemment, le concept de « produit » a pris la place de celui du dessin au cœur de la GDT, incorporant entre autres le concept de la structure du produit au sein des modèles des données.

Ainsi, on base plutôt la structuration des données techniques sur une représentation conceptuelle du produit et de ses composants. Par exemple, selon le modèle de Maurino (1993) résumé à la figure 4.3, les caractéristiques sont associées aux articles par l'entremise des attributs de l'objet technique, alors que les dessins et tout autre document sont reliés aux articles qu'ils décrivent grâce aux liens de représentation. Les caractéristiques attachées aux objets techniques participent notamment à la définition de familles d'objets et, par conséquent, à la classification des articles prédéfinis selon des critères de recherche prévisibles.

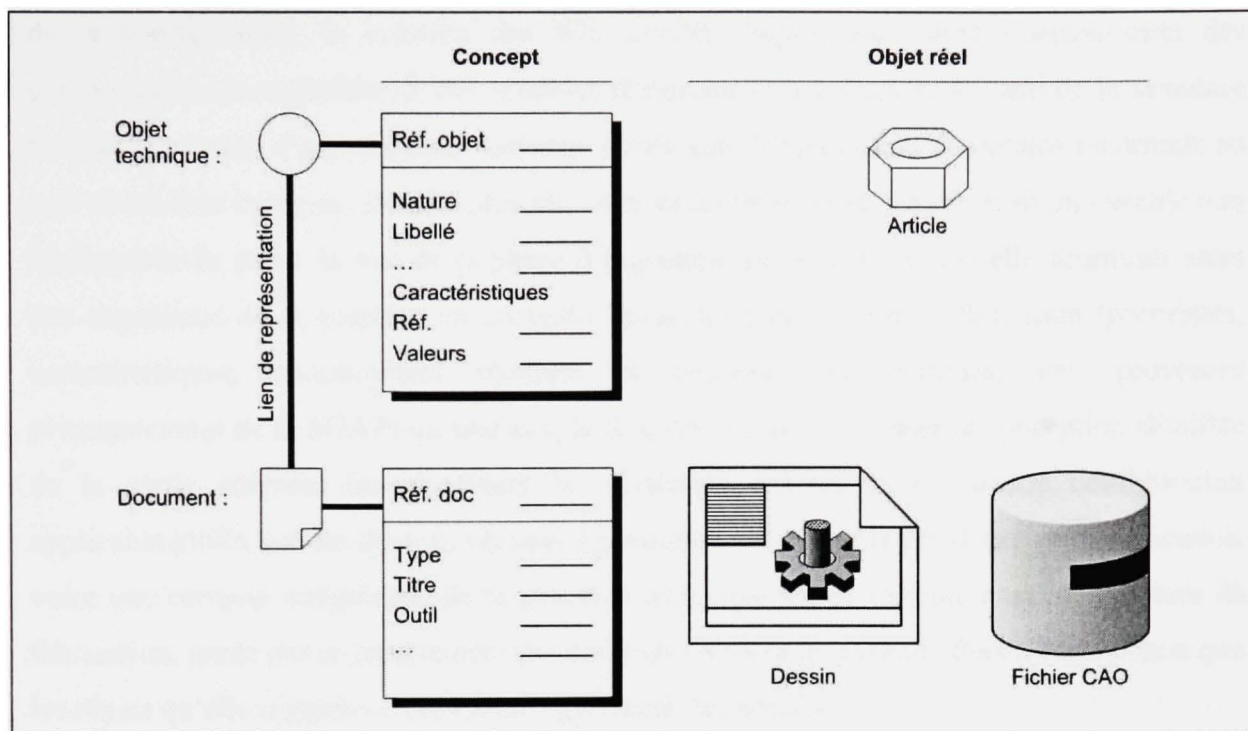


Figure 4.3 *Structuration des données techniques selon le concept d'objet technique.*
(Maurino, 1993)

Afin de mieux supporter le processus de configuration de la structure technique, c'est-à-dire la définition de la partie configurée d'une nouvelle variante, on propose alors de structurer l'ensemble des données récurrentes relatives à l'aménagement intérieur d'avions *Global Express XRS* en s'appuyant sur une représentation conceptuelle des articles plutôt que sur les documents. Il serait effectivement avantageux de formaliser (désagréger), par la modélisation et la caractérisation des articles prédéfinis, les associations qui existent entre les caractéristiques de finition des différentes variantes déjà développées et les dessins d'ingénierie libérés. On favoriserait alors la mise en place de mécanismes de classification, de recherche et de réutilisation des données techniques plus complets et plus efficaces que les répertoires de configurations utilisés jusqu'ici. L'éventuelle modélisation d'une SGAP au BiCCM, combinant la structure hiérarchique des modules et variantes primaires à une éventuelle structure de classification des articles prédéfinis, nécessite la mise en place de tels mécanismes.

En favorisant la manipulation d'articles plutôt que de dessins lors du processus de définition de la configuration, la création des IDL rev.NC impliquerait alors l'organisation des composants, des ensembles et des modules récurrents et à concevoir au sein de la structure technique ouverte d'une nouvelle variante, plutôt que l'organisation de dessins récurrents au sein d'une liste indentée. Définie plus tôt, cette structure ouverte constituerait un livrable non négligeable du point de vue de la phase d'ingénierie personnalisée, car elle fournirait alors aux ingénieurs de conception un contexte beaucoup plus riche en information (propriétés, caractéristiques, possiblement modèles et ébauches géométriques, etc. provenant principalement de la SGAP) qu'une simple IDL rev.NC pour finaliser la conception détaillée de la partie adaptée. En identifiant les différents articles à la nouvelle configuration applicable plutôt que les dessins, on peut également envisager une meilleure correspondance, voire une certaine intégration, de la structure technique d'une variante avec sa structure de fabrication, gérée par le département des méthodes au sein du système *BaaN*, étant donné que les objets qu'elle organise représentent également des articles.

Si elles demeurent nécessaires au terme du processus de définition de la configuration, les IDL rev.NC seraient toujours disponibles, mais seraient dorénavant créées à partir de la structure technique ouverte définie préalablement, comme l'illustre la figure 3.19(b). Puisqu'à l'heure actuelle, au BiCCM, la codification d'un article se base directement sur la codification du dessin au sein duquel il est représenté, l'identification d'un article récurrent au sein de la structure technique ouverte mènerait automatiquement à l'identification du dessin récurrent correspondant, ce qui n'est pas le cas pour l'inverse lorsque plusieurs articles récurrents peuvent être représentés sur un même dessin d'ingénierie. Ainsi, en exploitant les liens de représentation gérés automatiquement grâce à la codification, les listes de dessins et leurs structures seraient directement déduites de la structure technique ouverte.

4.2.2 Encourager la caractérisation des nouveaux articles lors de la phase d'ingénierie personnalisée

Au-delà de la mise en place et de l'organisation des bases de données techniques, des structures de classification et des mécanismes de recherche nécessaires à l'implémentation

d'une SGAP visant à supporter le processus de configuration de la structure technique, il y a également leur gestion et leur mise à jour. Ainsi, lorsqu'il est question de représenter la description du produit générique, il est important de prendre en compte que cette description évolue au fur et à mesure des nouvelles variantes, des nouveaux modules, des nouvelles variantes primaires qui sont développés en réponse au flux continu des nouvelles exigences apportées par les clients.

Au BiCCM, chaque nouveau projet implique la conception de nouvelles installations et/ou de nouveaux systèmes lors de la phase d'ingénierie personnalisée. Une éventuelle utilisation du concept d'objet technique représentant les articles à la base de la structuration des données techniques, telle que décrite à la section précédente, permettrait une meilleure organisation et une plus large exposition de leurs caractéristiques, paramètres et propriétés jusqu'ici en grande partie exprimées de manière implicite au sein de documents. Le flux de données techniques à incorporer aux nouveaux répertoires de configurations d'un projet à l'autre pourrait évidemment devenir imposant. Il serait alors primordial d'y identifier la portion ayant potentiellement de la valeur pour les projets futurs et de mettre en place des mécanismes permettant aux ingénieurs générant ce flux – non seulement les ingénieurs de conception, mais également ceux impliqués dans les phases de vente et d'offre – de la capturer et de la maîtriser de manière efficace en vue d'en favoriser la réutilisation.

Donc, en complément à l'avenue d'amélioration présentée à la section 4.1.2 qui vise une meilleure classification des dessins récurrents d'ingénierie grâce aux répertoires de configurations, il est proposé cette fois d'encourager, par la mise en place de procédures et d'outils, la description et la caractérisation de tout nouvel article créé lors de la phase d'ingénierie personnalisée afin de maximiser la probabilité que la définition d'un tel article soit réutilisée en partie ou en entier dans la définition des futures configurations applicables. On viserait ainsi une meilleure capitalisation des connaissances. D'ailleurs, dans le contexte spécifique de l'adaptation de produit sur commande, la réutilisation des données techniques ne se limitent pas à la définition de la partie configurée, c'est-à-dire la partie de la configuration applicable incorporant uniquement des composants standards ou entièrement

prédéfinis. Tout concept de solution documenté au sein de la description du produit générique peut être adapté aux nouvelles exigences d'un client et possède donc le potentiel de soutenir le développement de nouvelles solutions lors de la phase d'ingénierie personnalisée.

Naturellement, une réflexion s'impose quant à la nature des informations à capturer en vue de la caractérisation des nouveaux articles lors de la phase d'ingénierie personnalisée. En effet, comme l'explique Maurino (1993) :

« [...] la détermination de critères de recherche pour des objets plus élaborés, tels que des sous-ensembles, [...] requiert un travail préalable fondamental sur les méthodes de développement, et en particulier (1) sur les critères de recherche à retenir : l'encombrement est-il une caractéristique d'un équipement électronique ? (2) sur les niveaux de modularité à prévoir : faut-il caractériser l'équipement, les cartes qu'il renferme, l'ensemble ? » (Maurino, 1993, p. 87)

Dans le cas du BiCCM, en admettant que l'approche observée pour la configuration d'un aménagement intérieur s'apparente grandement au *case-based reasoning* (Sabin et Weigel, 1998), la détermination des critères de recherche pourrait notamment s'appuyer sur l'hypothèse selon laquelle les problèmes similaires ont des solutions similaires. Ainsi, la description des étapes menant de la résolution d'un problème et à l'identification de sa solution auraient autant d'importance que la description de la solution elle-même lorsqu'il serait question de caractériser un article dont on espère éventuellement adapter la définition pour répondre à de nouvelles exigences et amorcer la conception d'un nouvel article.

Comme le présente la figure 3.13 du modèle d'évolution des structures du produit, les différents états qui caractérisent la définition d'un article – autrement dit, la résolution d'un problème de conception – peuvent être exprimés respectivement en termes d'exigences, de fonctions et de concepts de solution, et sous la forme de structures lorsque la complexité de l'article le justifie. Cela constitue par conséquent autant de critères de recherche prévisibles auxquels tout ingénieur impliqué dans la phase d'ingénierie personnalisée pourrait comparer un nouveau problème de conception posé par des exigences spécifiques à un client. Peu importe le stade de définition de la variante, de la configuration de la vente jusqu'à la

conception détaillée, il lui serait dorénavant possible de consulter la banque d'articles standards et prédéfinis à la recherche soit d'articles récurrents destinés au processus de définition de la configuration, soit simplement d'idées et de concepts réutilisables destinés à alimenter la phase d'ingénierie personnalisée.

La gestion et la caractérisation des installations, sous-ensembles ou composants standards et prédéfinis pourraient également bénéficier de l'utilisation des relations de dérivation (*derivation relationships*) tels que les décrivent, entre autres, Peltonen, Pitkanen et Sulonen (1996). Un objet peut être créé en le dérivant à partir d'un autre objet sans nécessairement rendre ce dernier obsolète, comme dans le cas de l'adaptation d'articles récurrents à de nouvelles exigences spécifiques à un client. La relation de dérivation relie ainsi le nouvel article développé grâce à des modifications à sa version d'origine. Du point de vue de la caractérisation des articles, les relations de dérivation permettraient notamment aux nouveaux articles d'hériter automatiquement des caractéristiques invariantes de leurs versions originales, en plus d'enregistrer une description du delta entre les deux versions qu'ils relient. Lorsque plusieurs nouveaux articles sont dérivés d'un même article de départ, ces articles, parfois appelés « versions parallèles » (Peltonen, 2000), peuvent d'ailleurs être considérés comme des variantes. L'utilisation des relations de dérivation favoriserait la formation et la classification de nouvelles familles d'articles en vue du processus de configuration.

D'un point de vue général, il est évident que la caractérisation et la classification de tout nouvel article par son concepteur peuvent constituer une charge de travail incommode pour certains ou injustifiée pour d'autres. C'est d'ailleurs ce qui fut observé lors des entrevues avec les ingénieurs de conception lorsqu'il était question du choix et de l'entretien des répertoires de configurations. Maurino (1993) résume d'ailleurs très bien cette situation :

« Cette forme de capitalisation des connaissances est [...] souvent sacrifiée sur l'autel des contraintes opérationnelles. Il est vrai que la rentabilité de l'investissement à concéder n'est pas évidente à estimer ou à mesurer. La perte de savoir-faire n'est souvent appréciée à sa valeur réelle que lorsqu'elle est réellement subie : coût de formation, de recherche de l'information, coût des erreurs dues à l'inexpérience, ... » (Maurino, 1993, p. 87)

Cette seconde avenue d'amélioration à long terme vise justement à faciliter la recherche de l'information lors du processus de définition de la configuration et lors de la phase d'ingénierie personnalisée, car il existe sans aucun doute un potentiel certain pour la réutilisation des données techniques dans un contexte de personnalisation de produit, plus particulièrement d'adaptation de produit sur commande.

4.2.3 Intégrer le processus de définition de la configuration à un SGDT

À la lumière de la dernière analyse des observations et des deux avenues d'amélioration précédentes, il est évident qu'en matière d'outils informatiques les logiciels *Microsoft Excel* et DTS n'offrent aucun avantage significatif dans l'atteinte des objectifs du processus de définition de la configuration. En effet, *Microsoft Excel* n'est qu'un logiciel d'application bureautique. Aucunement spécialisé pour le travail d'ingénierie, le seul maigre avantage qu'il apporte au processus se situe au niveau purement opérationnel (ex. : création de listes et de tableaux). Puis, pour ce qui est de DTS, comme il a déjà été dit, les fonctionnalités qu'il offre se limitent à la gestion de documents. L'implémentation actuelle du logiciel, plus spécifiquement le choix des métadonnées pouvant être manipulées, ne présente malheureusement pas de décomposition détaillée de l'information contenue au sein des documents qu'on y gère, ce qui nuit aux possibilités de recherche spécifique sur cette information.

Plusieurs solutions informatiques sont par ailleurs présentées et décrites au sein de la littérature scientifique lorsqu'on recherche des outils pour la création et de la gestion de configurations d'un produit. Plusieurs auteurs (Burden, 2003; Mesihovic et Malmqvist, 2000a; 2000b; Sääksvuori et Immonen, 2004) discutent notamment des modules de configuration de produit, familièrement appelés « configureurs », qui ont pour fonction de définir automatiquement une configuration en fonction d'un modèle de configuration et de valeurs de paramètres correspondant aux exigences d'un client. Dans le contexte plus particulier de l'adaptation de produit sur commande, Mesihovic et Malmqvist (2000a) énumèrent également les avantages de l'utilisation des SGDT durant les premières étapes du

processus de vente-livraison, soit de la configuration de la vente jusqu'aux premières opérations de fabrication.

Justement, sur le sujet des SGDT, Philpotts (1996) et Amann (2004) classe les fonctionnalités couramment offertes par ses systèmes en cinq catégories : la gestion de la bibliothèque électronique et des documents (*data vault and document management*), la gestion électronique des processus (*workflow and process management*), la gestion des structures du produit (PSM), la classification des pièces (*classification*), et la gestion de projets (*project management*). En considérant les objectifs du processus de définition de la configuration, le résultat des analyses présentées aux chapitres 2 et 3, ainsi que les avenues d'amélioration proposées jusqu'ici, il est d'ailleurs possible d'identifier quatre catégories de fonctions sur cinq parmi ce groupe qui peuvent offrir un support considérable aux ingénieurs dans l'exécution du processus de définition de la configuration. Il s'agit respectivement des fonctions relatives à la classification des pièces, à la gestion de projets, à la gestion des structures du produit, et à la gestion électronique des processus. C'est pourquoi il est proposé comme troisième et dernière avenue d'amélioration à long terme d'intégrer le processus de définition de la configuration au sein d'un SGDT afin de profiter de ces fonctionnalités et de supporter les acteurs du processus dans l'atteinte des objectifs.

Le premier objectif du processus de définition de la configuration consiste à fournir une vue claire et structurée du savoir-faire en ingénierie relatif au produit pouvant être réutilisé au sein de la nouvelle configuration de l'aménagement intérieur d'un avion. Or, selon Philpotts (1996), les fonctions de classification d'un SGDT fournissent des mécanismes beaucoup plus efficaces pour la recherche d'articles standards et prédéfinis, qu'ils soient récurrents ou similaires, qu'un système manuel, comme par exemple les recueils de notes personnelles utilisés comme répertoires de configurations. En augmentant l'efficacité des recherches au même titre que les avenues d'amélioration présentées aux sections 4.1.2 et 4.2.2, l'utilisation des fonctions de classification des articles d'un SGDT viserait ainsi à améliorer le pourcentage de réutilisation des données techniques à chaque définition d'une nouvelle configuration et d'adaptation d'articles récurrents lors de la phase d'ingénierie personnalisée.

De plus, la classification d'articles similaires facilite la création de familles de pièces ou, s'il est question de la modélisation du produit générique en vue du processus de configuration, l'identification de variantes primaires et de leur module générique correspondant au sein d'une SGAP. L'utilisation de nouveaux outils de recherche de pièces similaires basée sur la géométrie tels que *Geolus Search* (Siemens PLM Software, 2007) ou *P³DM PartFinder* (Msaaf, Maranzana et Rivest, 2007) développé par le Laboratoire d'ingénierie des produits, des procédés et des systèmes (LIPPS) de l'École de Technologie Supérieure permettrait notamment de démarrer le processus de classification en regroupant d'abord les articles selon la similarité de leurs modèles géométriques.

Le second objectif du processus de définition de la configuration est de mettre en évidence les nouvelles tâches de développement nécessaires pour compléter la configuration applicable, tâches qui seront par la suite planifiées au sein du projet. Il sert ni plus ni moins à déterminer les détails de la charge de travail des ingénieurs de conception dans la cadre de la phase d'ingénierie personnalisée. Grâce à des fonctions spécialisées dans la gestion de projets d'ingénierie comme celle promises par un SGDT, on faciliterait alors l'organisation de la conception détaillée et la production des nouveaux dessins en fonction de l'ensemble des données techniques récurrentes identifiées et organisées au sein de la structure technique ouverte ou énumérées au sein du dossier des IDL rev.NC.

L'intégration du processus de définition de la configuration au sein d'un SGDT viserait également à faire profiter les ingénieurs de conception du travail de structuration du produit que ceux-ci réalisent lors de la création des IDL rev.NC. En effet, au moment des observations, la structure représentée au sein d'un dossier d'IDL rev.NC n'était nullement reproduite au sein du SGDT *Enovia LCA* utilisé pour la gestion des données de conception provenant du logiciel de conception assistée par ordinateur *Catia V5*. On préférerait plutôt utiliser et mettre à jour deux structures techniques différentes et dissociées, l'une structurant la charge de travail à accomplir (IDL rev.NC) et l'autre servant à la création et la gestion des ensembles (*Enovia LCA*), avec évidemment les risques de redondances, d'incohérences et de dédoublement du travail. En effectuant le processus de la configuration de la structure

technique directement au sein du SGDT, la structure technique ouverte résultante, ne pouvant être directement exploitée au sein des IDL rev.NC en vue de la conception, constitueraient alors un contexte de développement beaucoup plus riche pour la conception de la partie adaptée, et surtout assureraient une meilleure continuité dans le travail des ingénieurs de conception.

D'un point de vue opérationnel, les fonctions d'un SGDT reliées à la gestion des structures du produit ont justement pour objectif de faciliter la création et la gestion de configurations de produit, de structures de produit et de nomenclatures (Philpotts, 1996). Un SGDT représente généralement les articles d'un produit grâce au concept d'objet technique (Maurino, 1993). Il permet ensuite de les organiser au sein de structures, de les relier entre eux et de leur associer données techniques, modèles géométriques, dessins d'ingénierie et tout autre document. Pour la création des IDL rev.NC ou la gestion d'une SGAP, le SGDT fournirait ainsi tous les outils spécifiques à la création d'une structure du produit. Ce principe de modélisation utilisé par les SGDT comporte d'ailleurs l'avantage de faciliter l'évaluation de l'impact de la propagation d'une modification d'ingénierie sur l'information relative à la définition du produit. De plus, les fonctionnalités reliées à la gestion des structures du produit permettent la création et l'extraction de vues particulières sur les données techniques d'un produit. L'information fournie par la structure technique ouverte d'une nouvelle variante ou par le dossier des IDL rev.NC, tous deux obtenus à la fin d'un processus de définition de la configuration exécuté au sein d'un SGDT, pourrait alors être filtrée selon les différents besoins des processus clients avant de leur être transmise.

Enfin, les fonctionnalités de gestion électronique des processus offertes par un SGDT contribueraient à la définition et à l'application généralisée d'une nouvelle procédure pour le processus de définition de la configuration afin d'en uniformiser l'exécution parmi les équipes de conception. En programmant le processus au sein du SGDT, celui-ci pourrait interagir avec les acteurs du processus, les guider en fonction d'un modèle unique prédéfini en termes de séquences d'activités – comme un modèle IDEF0 – et contrôler automatiquement la circulation des informations, de manière à ce que les bonnes données

soient fournies aux bonnes personnes au bon moment. Le SGDT fournirait ainsi une assistance non négligeable en ce qui a trait à la direction du processus qui était, au moment des observations, pratiquement inexistante.

Dans cette optique, parmi les systèmes déjà en place et en opération au BiCCM, *Enovia LCA* constitue probablement la meilleure avenue de solution disponible à court terme pour l'intégration du processus de définition de la configuration au sein d'un SGDT. En effet, outre les fonctionnalités déjà utilisées au BiCCM (*Voir Annexe I, Figure I.2*), ce système PLM (qui inclut la GDT) permet notamment la définition des configurations, la gestion de nombreuses solutions de conception et la définition générique de configurations de produits complexes, et supporte le développement de produits et les fonctions de gestion des produits.¹² Néanmoins, il est important de souligner que les fonctionnalités promises par la littérature scientifique au niveau des SGDT ne se matérialisent pas nécessairement au sein de toutes les offres logicielles : une étude des fonctionnalités réelles offertes par les SGDT disponibles sur le marché est donc requise avant de déterminer celui supporterait le mieux le processus de définition de la configuration.

4.3 Synthèse

La proposition d'avenues d'amélioration permet ainsi de clore l'analyse de la situation observée au BiCCM et de présenter certaines des exigences relatives à la gestion des structures du produit documentées dans ce mémoire dans un contexte pratique d'application. À court terme, les avenues d'amélioration comme l'uniformisation du processus et la meilleure gestion des répertoires de configurations ont pour objectif conjoint de réagir rapidement à la situation du processus de définition de la configuration. À long terme, la

¹² Processia Solutions inc. 2005. *ENOVIA LCA : Points saillants*. En ligne. <http://www.processia.com/fr/enovia_lca.html>. Consulté le 10 octobre 2007.

structuration de l'information basée sur les articles du produit et l'intégration du processus de définition de la configuration au sein d'un SGDT constituent des avenues d'amélioration visant un meilleur support informatique pour le processus et ouvrant la voie à la création et à la gestion d'un SGAP, ainsi qu'à l'intégration des structures techniques des variantes avec les autres structures du produit telle la structure de fabrication.

CONCLUSION

Afin de satisfaire leurs besoins en termes de gestion et de maîtrise de l'information relative au produit, les fonctions d'une entreprise utilisent chacune un mode de représentation du produit qui leur est propre et auquel correspond une manière différente de structurer le produit. Jumelée au fait qu'elles sont la plupart du temps gérées au sein de systèmes distincts et dispersés, l'hétérogénéité des structures du produit engendre une fragmentation de l'information relative au produit au cours de son cycle de vie qui nuit notamment à la propagation efficace de changements d'ingénierie.

Ce projet, dont l'objectif était de caractériser les exigences relatives à la définition, à la gestion et à la maîtrise des différentes structures d'un produit complexe et personnalisé au cours de son cycle de vie, adopte ainsi une approche conceptuelle plutôt que logicielle en réunifiant l'ensemble des structures hétérogènes du produit utilisées pour la gestion et l'analyse de l'information au sein d'un modèle d'évolution des structures du produit. Il contribue à l'avancement des connaissances sur l'approche de personnalisation par adaptation sur commande en proposant une organisation générale de l'information relative au produit adapté sur commande en fonction des différents modes de représentation et des différents états de configuration du produit au cours de son cycle de vie. Éventuellement, l'élaboration de l'architecture d'un environnement de développement numérique de produits s'appuierait sur les exigences documentées afin de déterminer, par exemple, la nature des systèmes informatiques à implémenter et les niveaux d'intégration requis. Les objectifs spécifiques et la réalisation de ce projet ont évidemment été conditionnés par les exigences du Centre de finition de Bombardier à Montréal (BiCCM), unité d'affaires de Bombardier Aéronautique qui a été associée au projet.

Tout d'abord, la revue de la littérature a exploré les thèmes des structures du produit, de la configuration de produit et de la propagation des changements d'ingénierie. On y montre notamment qu'une structure du produit associée à un point de vue particulier sur le produit se distingue principalement des autres par la nature des objets qui la composent et/ou par le

principe de structuration, soit la façon de regrouper et de relier ces objets entre eux. On montre également qu'il existe des relations, dont des exemples sont cités dans la littérature, qui permettent de relier les structures hétérogènes d'un produit entre elles. On y décrit aussi trois approches de personnalisation de produit se distinguant entre elles par le moment où elles font intervenir la commande d'un client dans le flux d'idées et/ou de matières, allouant au client selon le cas une liberté plus ou moins significative dans la spécification de ses exigences. Enfin, on expose le fait que la propagation du changement d'ingénierie entre les structures hétérogènes du produit dépend avant tout de la saisie et de la maîtrise des relations qui existent entre elles au niveau des objets qui les composent.

Une étude de cas réalisée au BiCCM, dont le compte-rendu est présenté dans ce mémoire, a permis de connaître les besoins et les difficultés pratiques d'un industriel dans la définition de la structure technique pour une variante d'un produit personnalisé selon l'approche d'adaptation sur commande. Les observations réalisées en entreprise sur le processus de définition de la configuration sont notamment structurées de manière originale au sein d'un modèle IDEF0 et de vues auxiliaires. Le vocabulaire choisi pour exprimer les activités et les concepts qui s'y rattachent s'appuie sur la littérature scientifique tout en respectant l'esprit de la pratique industrielle. Cet ensemble d'observations de la pratique industrielle vient par la suite alimenter l'analyse de la gestion des structures du produit dans un contexte d'adaptation de produit.

Une synthèse des connaissances acquises lors des deux premières étapes du projet au niveau de l'adaptation de produit sur commande a d'abord permis de caractériser les structures du produit, plus spécialement la structure technique, en fonction de l'état de la configuration d'un produit, à savoir s'il est question de décrire un produit générique ou une variante particulière. Cette synthèse nous a ensuite amené à proposer le concept original de la structure générique adaptative du produit qui doit décrire a posteriori l'ensemble des variantes définies du produit dans le but de supporter à la fois le processus de configuration et la recherche de nouvelles solutions devant satisfaire les exigences particulières d'un client. On propose également un modèle d'évolution des structures du produit au sein duquel on

positionne et relie les différentes structures d'un produit, dont la SGAP, entre elles en les associant aux étapes de modèles théoriques des processus de développement et de vente-livraison d'un produit adapté sur commande. L'analyse se termine par une comparaison sur trois aspects du processus de définition de la configuration étudié au BiCCM avec l'ensemble des exigences relatives à la définition et à la gestion des structures du produit résumé au sein du modèle d'évolution des structures. On parvient notamment à identifier l'IDL rev.NC utilisée au BiCCM comme étant une structure technique ouverte et que le processus de définition de la configuration correspond en fait à la deuxième phase du processus de configuration décrit dans la littérature scientifique, soit la configuration de la structure technique.

Finalement, en se basant respectivement sur les observations réalisées au BiCCM et l'analyse comparative du processus de définition de la configuration, deux séries d'avenues d'amélioration sont proposées, la première à entreprendre à court terme et la seconde, à long terme. Ces avenues d'amélioration ont pour but d'exprimer, dans un contexte d'application, certaines des exigences relatives à la définition et à la gestion des structures du produit caractérisées grâce à ce projet. Par exemple, on suggère, à court terme, de reconcevoir les mécanismes en place pour la recherche de dessins récurrents d'ingénierie en formalisant l'attribution de titres aux nouveaux dessins et en favorisant l'utilisation de répertoires de configurations organisant les dessins par leur contenu. À plus long terme, on cherche à réunir les éléments nécessaires à la création et à la gestion d'une SGAP au BiCCM en proposant d'adopter le concept d'article comme objet de structuration des données techniques, plutôt que le dessin, et d'accentuer la caractérisation et la classification des articles nouvellement développés grâce à l'utilisation d'un SGDT. Ces avenues d'amélioration montrent dans l'ensemble qu'il y a avantage, puisque la réutilisation efficace des données constitue un élément clé en adaptation de produit sur commande, à tirer profit d'une meilleure maîtrise de toute l'information gérée au sein des structures du produit dans la recherche de nouvelles solutions.

RECOMMANDATIONS

Ce projet de maîtrise vise en quelque sorte à préparer les fondations sur lesquelles se baserait l'architecture d'un environnement de développement numérique de produits adaptés sur commande. Il ne s'agit là évidemment qu'une partie du travail requis pour solutionner la problématique de l'hétérogénéité des structures du produit. Au terme de ce projet, voici donc quelques recommandations que nous formulons afin d'apporter un regard critique sur les travaux réalisés et d'ouvrir la voie à d'autres avenues de recherche, avenues que notre partenaire industriel (BA) a peut-être déjà explorées dans le cadre de son propre programme de recherche et développement.

- L'étude de la pratique industrielle s'est limitée au processus intitulé « définition de la configuration » et le processus de configuration de la structure technique a été identifié comme son équivalent théorique. Or, dans le processus global de la configuration de produit, il a été vu que ce processus succède au processus de configuration de la vente et que les deux sont complémentaires : la configuration de la vente fournit les éléments d'entrée à la configuration de la structure technique. Il aurait donc été intéressant d'étendre l'étude aux processus précédents la définition de la configuration au BiCCM afin de mieux connaître tous les mécanismes impliqués dans la configuration d'un nouvel aménagement intérieur dès la phase de vente.
- L'étude de cas a été limitée à l'étude de la pratique industrielle au niveau de la définition, de la gestion et de la maîtrise des structures du produit au sein d'un seul environnement, soit celui du BiCCM. Il serait intéressant d'étendre les observations en milieu industriel à d'autres entreprises afin d'étudier d'autres enjeux pratiques liés à l'hétérogénéité des structures du produit.
- Le modèle d'évolution des structures du produit présente les différents modes de représentations du produit en fonction des étapes des processus formant généralement le cycle de vie d'un produit adapté sur commande. Étant donné que l'hétérogénéité

des structures du produit découle également de l'hétérogénéité des systèmes informatiques utilisés pour les créer et les gérer, il serait intéressant d'enrichir le modèle présenté ici en lui associant les différents types de système informatique offerts aux industriels promettant des fonctionnalités reliées à la gestion des structures du produit.

- Les exigences quant à la définition et à la gestion des structures du produit décrites dans ce mémoire dépendent directement de l'approche de personnalisation du produit ayant été privilégiée, soit l'adaptation de produit sur commande. Il y a alors raison de s'interroger à savoir à quel point ces exigences changent si l'on considère plutôt un produit assemblé ou fabriqué sur commande. De plus, pour en arriver à caractériser les structures d'un produit adapté sur commande, il serait intéressant de considérer une démarche certes plus longue, mais plus méthodique, où l'on s'attarderait d'abord aux produits comportant un plus faible degré de personnalisation (ex. : assemblage sur commande), et donc plus simples, pour ensuite étudier des produits comportant un degré de personnalisation de plus en plus important, donc plus complexes.
- L'utilisation d'une structure générique du produit pour la description de la configuration de référence d'un produit adapté sur commande est justifiée à la condition qu'elle incorpore à chaque définition d'une nouvelle variante les nouveaux modules génériques et/ou les nouvelles variantes primaires formant sa partie adaptée. On s'assure ainsi que la description du produit générique fournisse aux ingénieurs de conception une représentation fidèle et actualisée du savoir-faire technique développé par l'entreprise. La modélisation d'une structure générique d'un produit adapté sur commande doit donc considérer l'aspect évolutif non négligeable, ce qui n'est pas fait dans ce mémoire. Des auteurs comme Männistö et Sulonen (1999) ont déjà abordé le sujet.

ANNEXE I

SYSTÈME INFORMATIQUE AU DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE DU BICCM

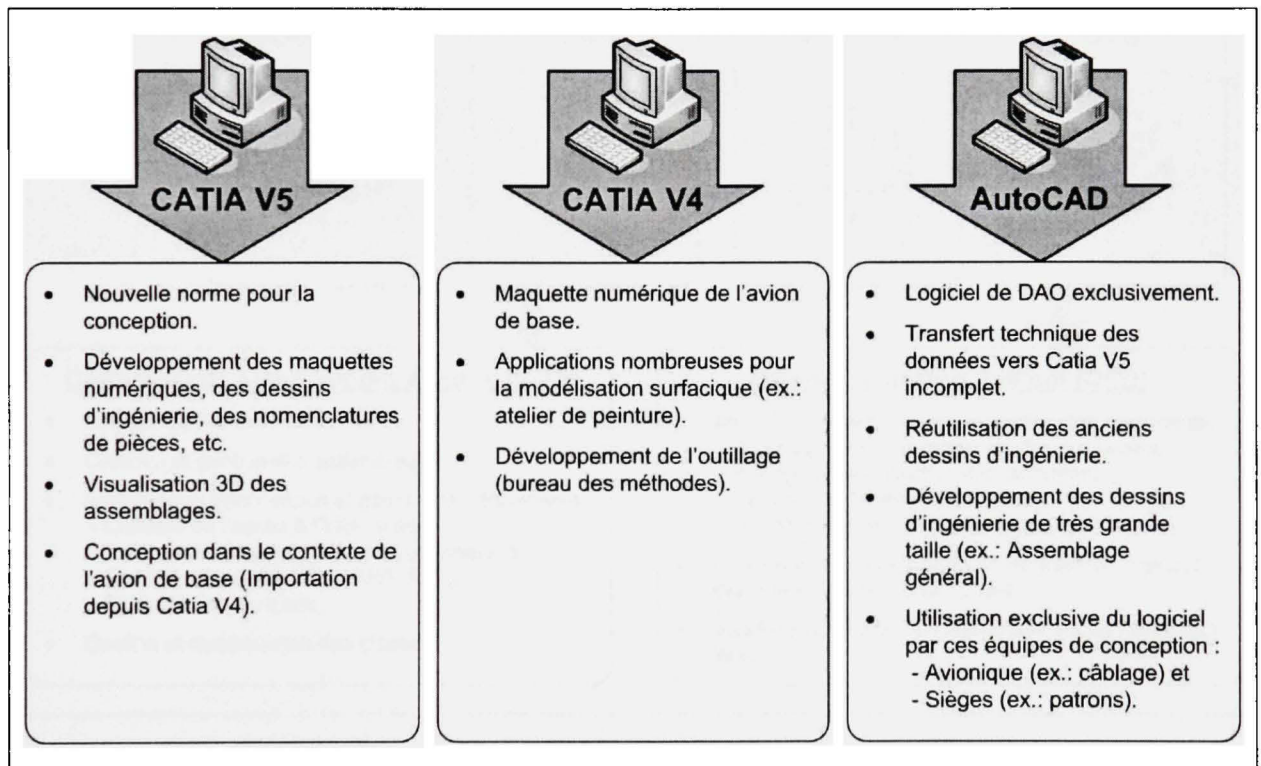


Figure I.1 *Description des outils de CAO/DAO*

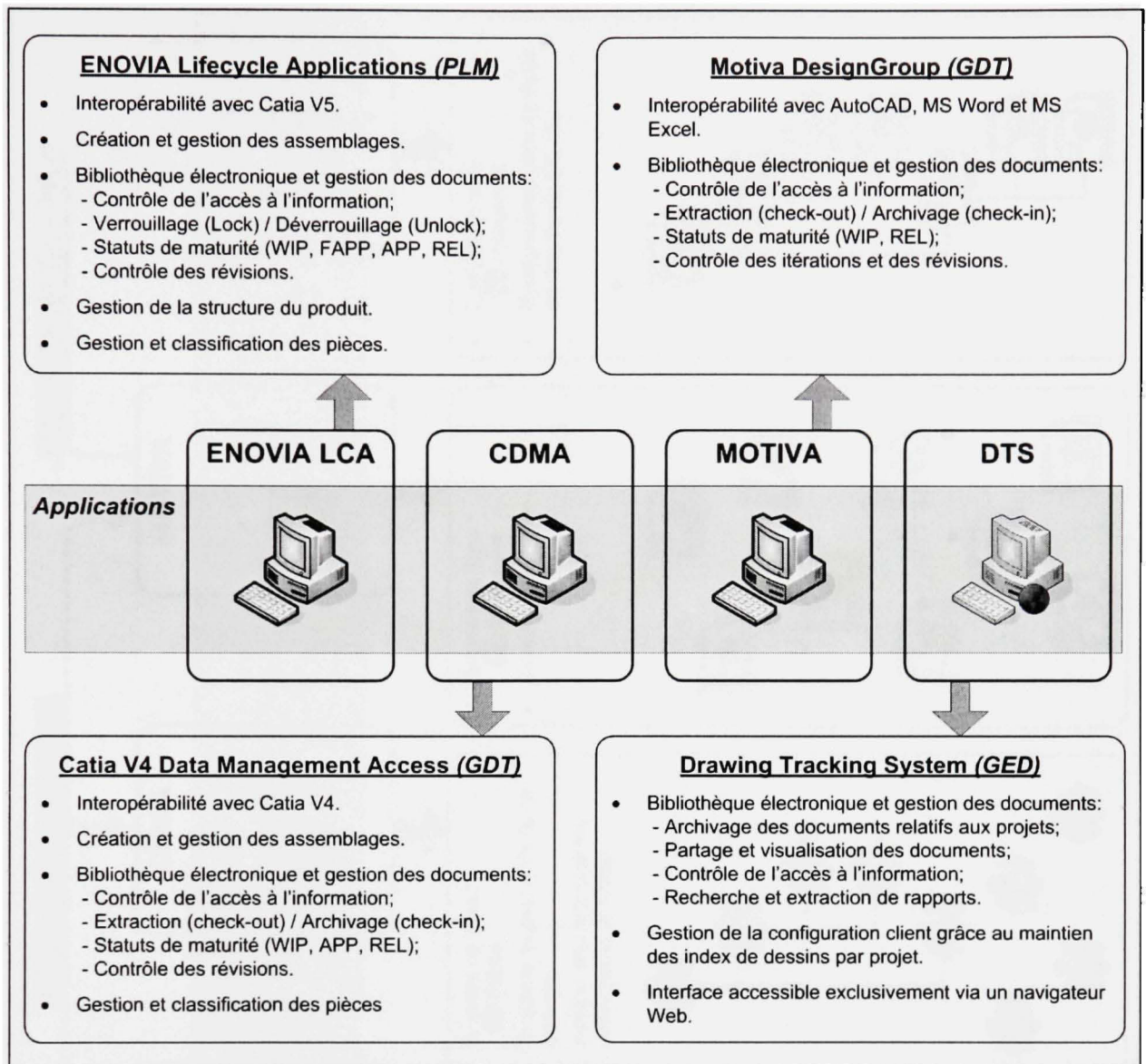


Figure I.2 Description des applications au sein du SGDT

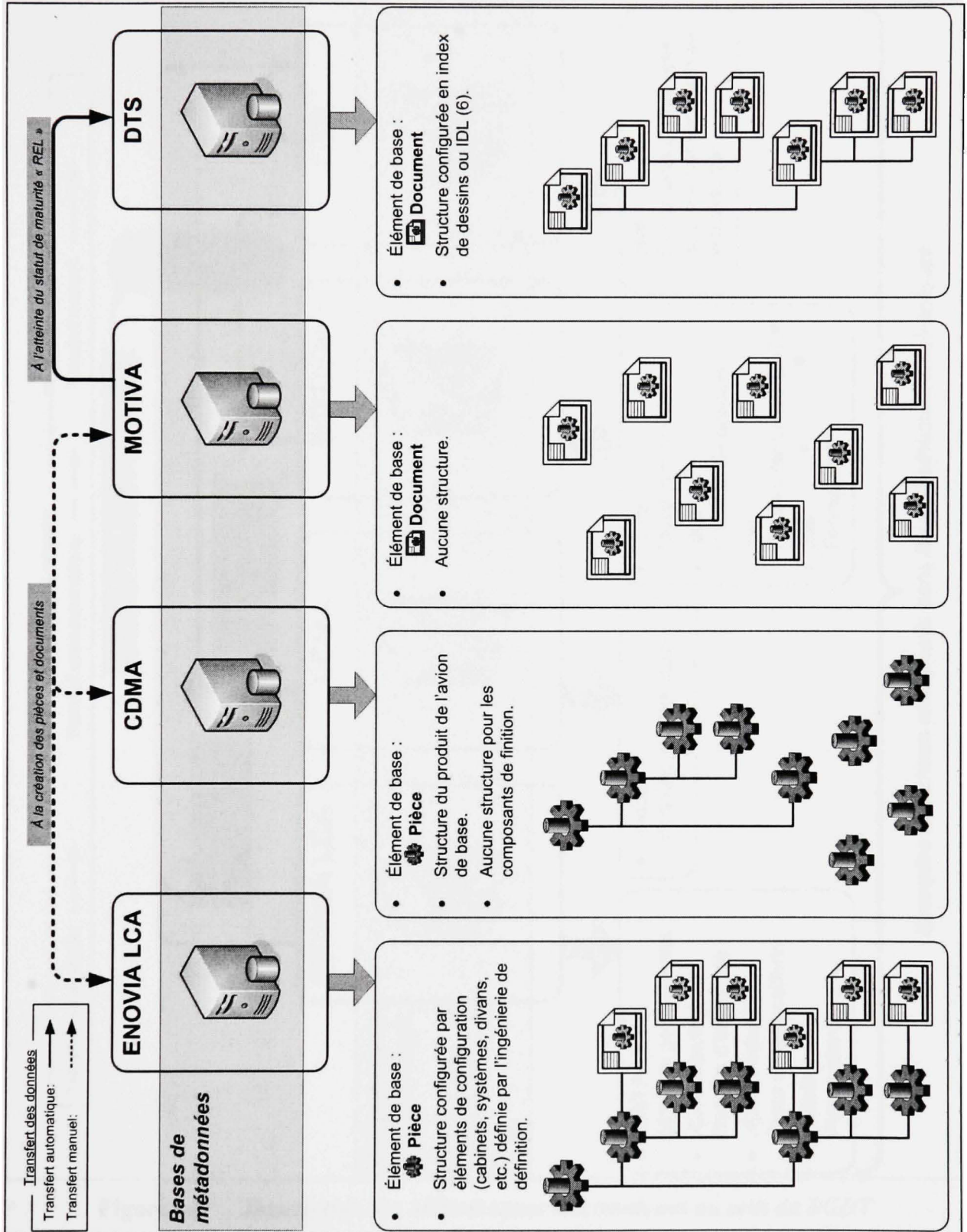


Figure I.3 Description des bases de métadonnées au sein du SGDT

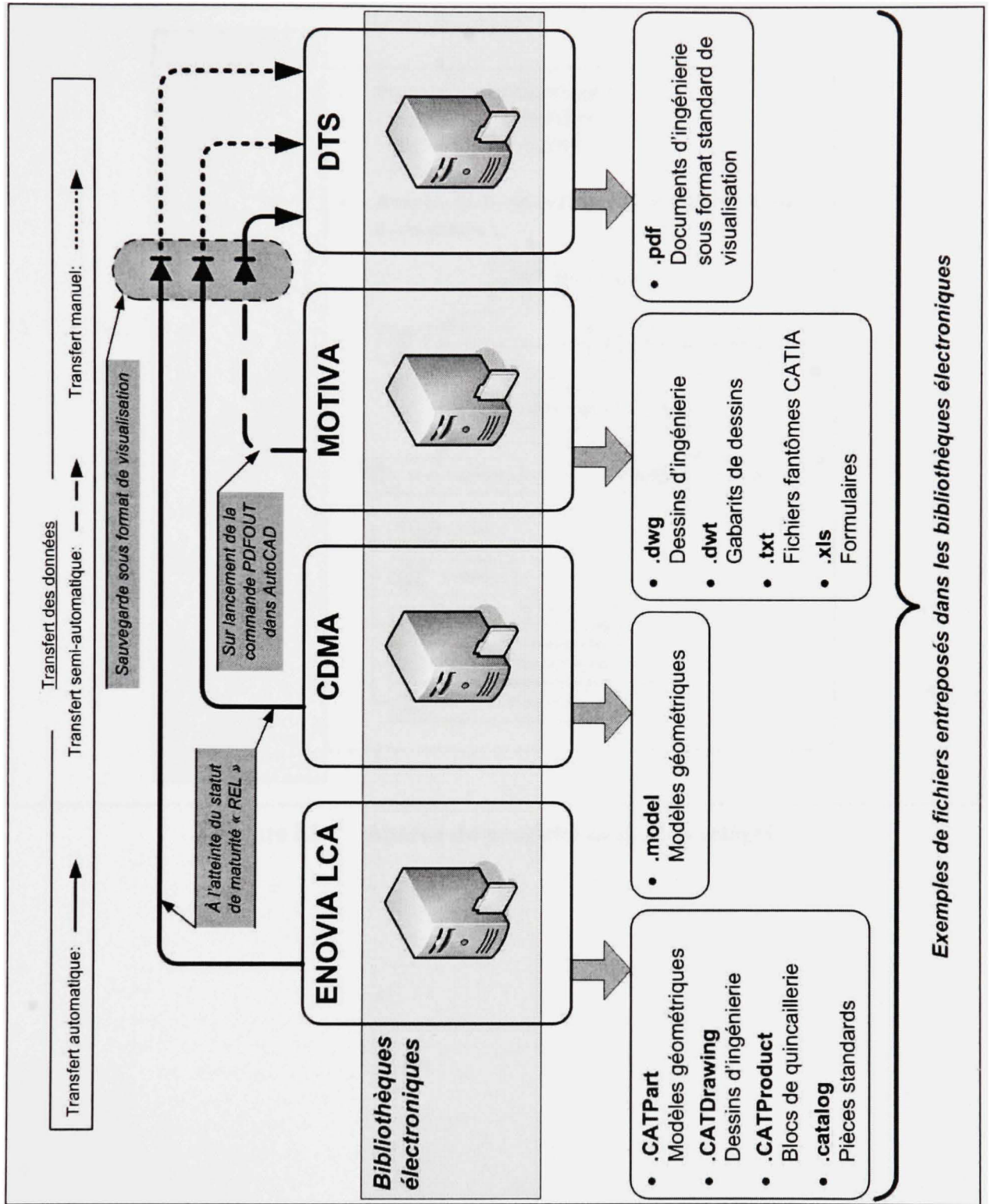


Figure I.4 Description des bibliothèques électroniques au sein du SGDT

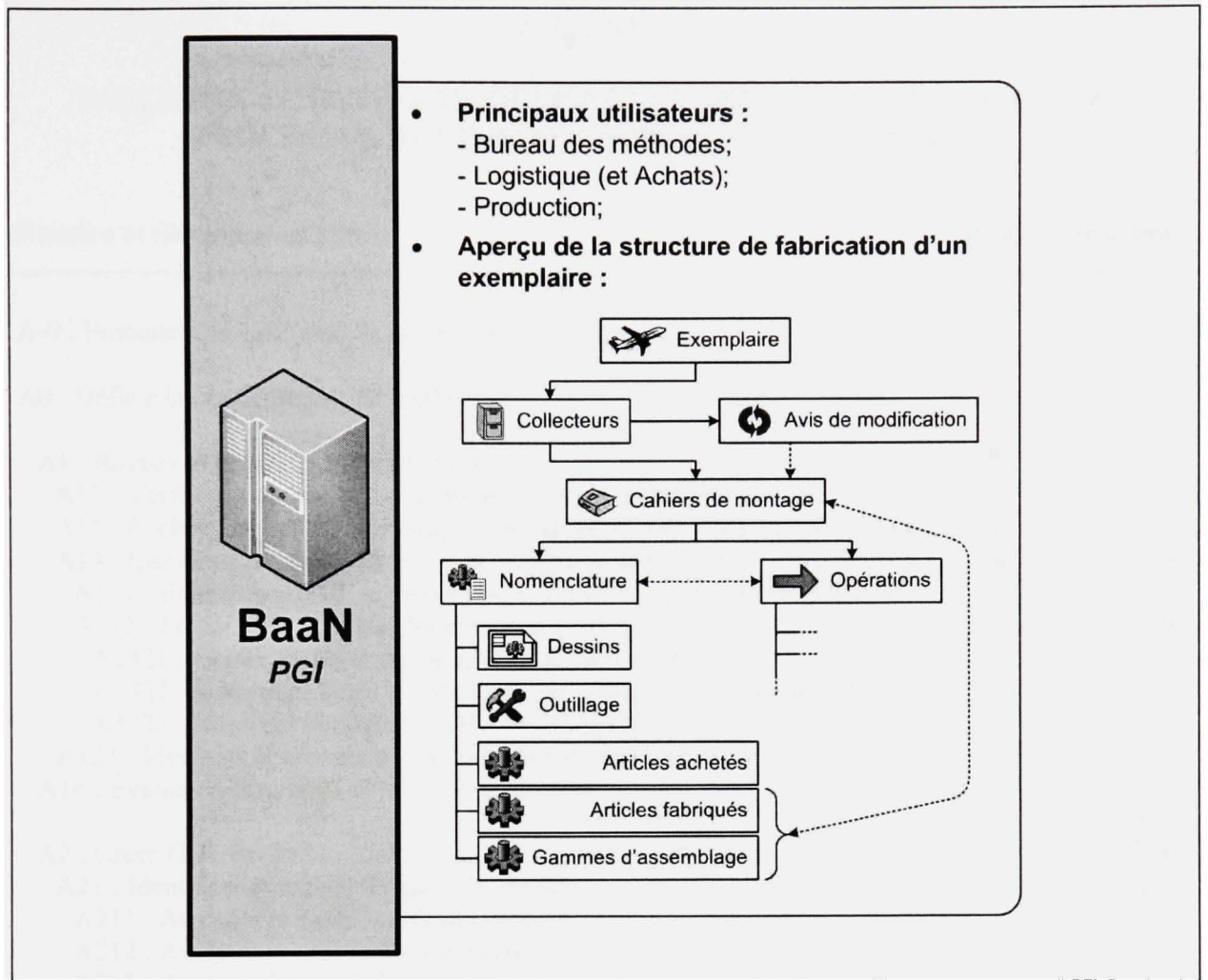


Figure I.5 Aperçu du progiciel de gestion intégré

ANNEXE II

TABLE DES ACTIVITÉS MODÉLISÉES AU SEIN DU MODÈLE IDEF0 DU PROCESSUS DE DÉFINITION DE LA CONFIGURATION

Numéro et titre du diagramme	Page du diagramme
A-0 : Processus de définition de la configuration	1
A0 : Définir la configuration du produit	2
A1 : Réviser la conception préliminaire	3
A11 : Vérifier le dossier de conception préliminaire pour des erreurs	
A12 : Rechercher des caractéristiques similaires au sein des conceptions précédentes	
A13 : Recueillir des notes sur les caractéristiques similaires	4
A131 : Rechercher l'IDL archivée d'une conception précédente similaire	
A132 : Préparer un nouveau document pour l'IDL	5
A1321 : Copier et renommer le fichier de l'IDL archivée	
A1322 : Supprimer notes et commentaires désuets au sein de la copie	
A1323 : Identifier la nouvelle IDL sur sa page couverture	
A133 : Identifier et annoter les caractéristiques similaires	
A14 : Évaluer la faisabilité et la charge de travail	
A2 : Créer l'IDL rev.NC	6
A21 : Identifier les caractéristiques du produit	7
A211 : Analyser la spécification du produit	
A212 : Analyser les plans d'aménagement	
A213 : Analyser l'énoncé des travaux	
A22 : Rechercher des dessins récurrents d'ingénierie	8
A221 : Rechercher des conceptions précédentes présentant des caractéristiques récurrentes	
A222 : Rechercher les principaux dessins d'ingénierie définissant les caractéristiques récurrentes	
A223 : Rechercher des portions récurrentes de structures de dessins	
A224 : Repérer des dessins d'ingénierie applicables à la nouvelle conception	
A225 : Rechercher des dessins récurrents parmi d'anciennes configurations dans le SGDT	
A23 : Définir de nouvelles tâches d'ingénierie et leurs nouveaux livrables	
A24 : Énumérer les dessins d'ingénierie dans l'IDL	9
A241 : Énumérer et trier les dessins d'ingénierie selon leurs relations parent-enfants	10
A2411 : Positionner le numéro du dessin en relation avec son dessin parent	
A2412 : Inscrire le titre du dessin	
A2413 : Inscrire les numéros de EO/NIEO associées	
A2414 : Inscrire le ou les numéros applicables d'article	
A2415 : Inscrire le code de classification	
A2416 : Inscrire le type de dessin	
A242 : Ajouter l'information utile à la planification de la fabrication	11
A2421 : Inscrire la quantité requise de l'article spécifiée par la nomenclature du dessin parent	
A243 : Ajouter l'information utile à la gestion du projet	12
A2431 : Estimer le délai de la nouvelle tâche d'ingénierie	

A2432 : Identifier l'équipe de conception responsable du nouveau livrable	
A2433 : Identifier le numéro de l'échéancier incorporant la nouvelle tâche	
A244 : Ajouter l'information utile à la gestion de la configuration.....	13
A2441 : Inscrire le numéro de section de la configuration	
A25 : Valider l'IDL	14
A251 : Vérifier l'IDL	
A252 : Corriger les erreurs dans l'IDL	
A253 : Approuver l'IDL sur sa page couverture	
A3 : Libérer la définition de la nouvelle configuration.....	15
A31 : Assembler le dossier de libération de la configuration.....	16
A311 : Remplir un formulaire de notification de changement pour l'IDL	
A312 : Imprimer une copie papier de l'IDL	
A313 : Joindre l'IDL au formulaire de notification de changement	
A32 : Approuver le dossier de libération de la configuration.....	17
A321 : Soumettre le dossier à l'ingénierie de conception pour revue et approbation	
A322 : Soumettre le dossier au bureau des méthodes pour revue et approbation	
A323 : Soumettre le dossier à la gestion de la configuration de design pour revue et approbation	
A33 : Enregistrer la nouvelle configuration dans le SGDT.....	18
A331 : Créer l'index de dessins pour la nouvelle configuration	19
A3311 : Créer un nouvel index de dessins	
A3312 : Accéder au projet dans DTS	
A3313 : Joindre l'index de dessins au projet	
A332 : Libérer les dessins énumérés par l'IDL dans le SGDT.....	20
A3321 : Générer les nouveaux dessins dans le SGDT	21
A33211 : Ouvrir le gabarit de dessin approprié dans <i>AutoCAD</i>	
A33212 : Assigner un numéro au nouveau dessin	
A33213 : Remplir la fiche signalétique du nouveau dessin et le sauvegarder	
A3322 : Libérer des dessins	22
A33221 : Accéder à l'index de dessins	
A33222 : Joindre un dessin parent à l'index	
A33223 : Rechercher le dessin parent dans l'index de dessins	
A33224 : Sélectionner le dessin parent	
A33225 : Joindre un dessin enfant à l'index	
A333 : Libérer l'IDL rev.NC dans le SGDT.....	23
A3331 : Créer une copie de visualisation de l'IDL	24
A33311 : Numériser le document de l'IDL	
A33312 : Sauvegarder l'image sur un espace de travail	
A33313 : Ajouter un filigrane au document numérique	
A33314 : Sauvegarder le document numérique sur le serveur de fichiers de DTS	
A3332 : Générer l'IDL dans le SGDT	25
A33321 : Ouvrir un gabarit de dessin dans <i>AutoCAD</i>	
A33322 : Remplir la fiche signalétique de l'IDL et sauvegarder son fichier fantôme	
A33323 : Libérer le fichier fantôme dans Motiva	
A3333 : Joindre l'IDL à son index de dessins associé	
A3334 : Archiver le dossier de libération de l'IDL	

ANNEXE III

GLOSSAIRE DES CONCEPTS DU MODÈLE IDEF0 DU PROCESSUS DE DÉFINITION DE LA CONFIGURATION

Anciens plans d'aménagement

Plans d'aménagement provenant d'anciens dossiers de conception spécifique au client et présentant graphiquement ce qui était initialement prévu de développer lors d'anciens projets; imprimés, annotés et regroupés par titre dans des cartables.

Aperçu des caractéristiques du produit

Notes préliminaires sur les caractéristiques du nouveau produit telles que décrites au sein du dossier de conception préliminaire spécifique au client.

Apport à la revue de conception préliminaire

Résultats de la revue et de la vérification du dossier de conception préliminaire spécifique au client par l'ingénierie de conception devant être communiqués aux autres intervenants du projet lors de la prochaine revue de conception préliminaire.

Approbation de l'ingénierie de conception

Accord de l'ingénierie de conception sur la complétude et la pertinence du document, symbolisé par une signature appliquée manuellement et datée.

(Froman et Gourdon, 2003; Government Electronics and Information Association, 1998)

Approbation du bureau des méthodes

Accord du bureau des méthodes sur la complétude et la pertinence du document pour son usage prévu, symbolisé par une signature appliquée manuellement et datée.

(Froman et Gourdon, 2003; Government Electronics and Information Association, 1998)

AutoCAD

Logiciel de dessin assisté par ordinateur possédant l'interopérabilité avec le logiciel de gestion de données techniques *Motiva DesignGroup*.

Avis de lancement du projet

Avis publié par l'ingénierie de gestion de projets annonçant la libération du dossier de conception spécifique au client et autorisant le démarrage des activités de conception et de planification correspondant au nouveau projet.

Bureau des méthodes

Département d'ingénierie de l'entreprise responsable de la création et l'ordonnancement des phases de lancement du programme de fabrication, dont les tâches incluent entre autres l'élaboration des séquences d'opérations et la conception de l'outillage.

(L'Office québécois de la langue française, 2007)

Caractéristiques du produit

Caractéristiques intrinsèques du produit relatives à des exigences formulées dans la spécification du produit, les plans d'aménagement et l'énoncé des travaux.

(Organisation internationale de normalisation, 2000)

Caractéristiques similaires

Caractéristiques de la nouvelle conception du produit pour lesquelles il existe des caractéristiques provenant de conceptions précédentes qui sont équivalentes ou à peu près de même nature.

Caractéristiques spécifiques au client

Caractéristiques de la nouvelle conception du produit résultant de la personnalisation du produit de référence par les exigences particulières du client.

Chargé de projet

Ingénieur membre d'une équipe d'ingénierie de conception et responsable d'organiser et de superviser le travail de conception de son équipe relatif à un projet spécifique.

Chef d'équipe

Ingénieur qui a la responsabilité professionnelle et administrative d'une ou des équipes d'ingénierie de conception.

(L'Office québécois de la langue française, 2007)

Code de dessin

Attribut identifiant la classification d'un dessin d'ingénierie énuméré dans une IDL selon la nature de la tâche de conception qui lui est associée.

Copie actualisée

Copie d'une IDL au sein de laquelle les notes relatives à l'ancien projet ont été supprimées pour faire place aux notes sur le nouveau projet.

Copie d'IDL

Copie d'un fichier d'une IDL archivée.

Copie papier de l'IDL

Copie imprimée de l'IDL rev.NC validé.

Critères de recherche

Éléments d'information pouvant être utilisés comme critère de recherche au sein de la base de métadonnées de DTS.

Description des caractéristiques

Description textuelle des caractéristiques du produit relatives à des exigences spécifiées.

Dessin enfant

Dessin d'ingénierie définissant un article inclus au sein de la nomenclature d'un dessin de niveau supérieur (ensemble).

Dessin enfant libéré

Dessin enfant enregistré au sein d'un index de dessins dans le SGDT, lui permettant d'être utilisé par les processus subséquents.

Dessin immédiatement supérieur

Dessin définissant l'ensemble dont fait partie l'article défini par le dessin enfant.

Dessin parent

Dessin d'ingénierie de niveau supérieur définissant un ensemble et possédant une nomenclature énumérant des articles définis par des dessins de niveau inférieur.

Dessin parent libéré

Dessin parent enregistré au sein d'un index de dessins dans le SGDT, lui permettant d'être utilisé par les processus subséquents.

Dessins d'ingénierie

Documents d'ingénierie ou fichiers de données numériques proprement identifiés présentant, directement ou par référence, graphiquement et/ou textuellement, les exigences physiques et fonctionnelles d'articles (composants ou ensembles) développés lors de la conception détaillée du produit.

(American Society of Mechanical Engineers, 1989)

Dessins représentés dans le SGDT

Dessins d'ingénierie représentés conceptuellement par une fiche signalétique au sein du SGDT, également entreposés physiquement dans le cas des dessins récurrents.

Dessins récurrents d'ingénierie

Dessins d'ingénierie valides et libérés définissant des articles inclus au sein d'une ancienne configuration et dont les caractéristiques répondent parfaitement aux nouvelles exigences spécifiées au sein du dossier de conception spécifique au client.

Disposition des caractéristiques

Forme, localisation par rapport aux axes de référence et positionnement relatif des diverses caractéristiques au sein du produit physique.

Document d'archives

Document inactif, conservé pour des raisons de gestion de la qualité.

(Ader, 1996)

Documentation de référence

Ensemble des documents encadrant et supportant l'exécution des activités de l'entreprise.

Données de gestion de configuration

Information concernant les dessins d'ingénierie énumérés dans l'IDL spécifiquement utilisée pour la gestion de la configuration.

Données de gestion de projets

Information concernant les dessins d'ingénierie énumérés dans l'IDL spécifiquement utilisée pour la gestion du projet.

Données de planification de fabrication

Information concernant les dessins d'ingénierie énumérés dans l'IDL spécifiquement utilisée pour la planification de la fabrication.

Dossier de conception libéré

Dossier de conception spécifique au client validé conjointement par le client et l'entreprise et autorisant l'ingénierie de conception à débiter la conception détaillée du produit.

Dossier de conception spécifique au client

Ensemble de documents constitué des éléments d'entrée de la conception d'une nouvelle variante personnalisée du produit.

(Froman et Gourdon, 2003)

Dossier de libération

Ensemble de documents sujet au cycle d'approbation d'une notification de changement et énonçant la définition de la nouvelle configuration du produit à libérer au sein du SGDT.

Dossier de libération approuvé

Dossier de libération de la configuration dûment approuvé, confirmant que la définition de la nouvelle configuration du produit est acceptée, sera prise en compte et peut être libérée au sein du SGDT.

Dossier préliminaire de conception

Version préliminaire du dossier de conception spécifique au client émise par l'ingénierie de définition dans le but de la soumettre à la revue de conception préliminaire.

DTS (ou *Drawing Tracking System*)

Logiciel personnalisé de gestion électronique des documents servant à la gestion des configurations grâce à la création et la gestion des index de dessins au sein desquels est enregistrée la documentation relative aux projets.

(BiCCM, 2003f)

Éditeur PDF

Logiciel utilisé pour la génération des documents d'ingénierie sous format standard de visualisation Adobe PDF.

Énoncé des travaux

Document listant toutes les options sélectionnées du produit, ainsi que toutes déviations exigées par le client par rapport à la spécification de référence et/ou aux options prédéfinies du produit.

Énoncés de configuration

Documents transmis à l'ingénierie de conception par les principaux fournisseurs énumérant les articles et livrables d'ingénierie associés à leur part de responsabilité dans la conception de la nouvelle variante personnalisée du produit.

EO/NIEO associée(s)

Documents définissant un ou des changements permanents (EO) ou temporaires (NIEO) affectant le dessin auquel ils sont associés.

Équipe responsable

Équipe d'ingénierie de conception responsable de la conception du nouvel article et de la livraison du nouveau dessin d'ingénierie.

Erreurs

Incohérence, contradiction, omission, insuffisance des informations.

Estimation du délai

Estimation grossière du délai nécessaire à l'ingénierie de conception pour la conception du nouvel article et la livraison du nouveau dessin d'ingénierie.

Étude de faisabilité

Évaluation de l'aptitude technique de l'entreprise à réaliser la nouvelle variante personnalisée du produit.

(Froman et Gourdon, 2003)

Fichier fantôme de l'IDL

Fichier de DAO vierge nécessaire à l'enregistrement du document de l'IDL au sein de Motiva.

Format du dessin

Taille requise de la page et du cartouche pour le nouveau dessin.

Formulaire de notification de changement

Formulaire utilisé par l'ingénierie de conception pour communiquer et autoriser une modification à la configuration du produit, énumérant notamment l'identification, la description et l'entrée en vigueur des documents à libérer, remplacer ou supprimer au sein des index de dessins.

Formulaire de notification de changement approuvé

Formulaire de notification de changement présentant l'approbation de tous les intervenants exigés par la procédure et autorisant la libération de la configuration définie par l'IDL.

Formulaire de notification de changement complété

Formulaire de notification de changement comportant toute l'information nécessaire à la libération de la configuration définie par l'IDL dans l'objectif d'être approuvé selon la procédure.

Formulaires

Documents préétablis et référencés, destinés à supporter des données et/ou à autoriser un travail.

(Froman et Gourdon, 2003; Guess, 2002)

Gabarit de dessin

Fichier-modèle de DAO définissant la structure de base d'un nouveau dessin selon les normes de l'entreprise et contenant les paramètres du document tels la mise en page, les cartouches, les mises en forme, etc.

Gabarit d'IDL

Fichier *Microsoft Excel* définissant les éléments de la structure de base d'une IDL, comme la page couverture, la nature et la disposition des colonnes d'attributs, etc.

Gestion de configuration

Département d'ingénierie de l'entreprise responsable de la gestion des configurations.

Identification de l'IDL

Éléments d'information permettant de distinguer l'IDL et son état (ex. : numéro, titre, révision, etc.).

IDL à approuver

IDL prête à recevoir l'approbation technique, ayant été préalablement vérifiée et ne comportant pas ou plus d'erreurs.

IDL à corriger

IDL au sein de laquelle des erreurs ont été signalées à la suite d'une vérification et devront être corrigées avant que le document ne soit approuvé.

IDL à valider

Première itération complète de l'IDL devant faire l'objet d'une vérification avant d'être approuvée.

IDL à vérifier

IDL devant faire l'objet d'une vérification dans le but d'être ensuite approuvée.

IDL archivées

IDL conservées sur le réseau local ayant évolué selon les modifications apportées au sein des configurations et représentant maintenant chacune, plus ou moins fidèlement, la configuration de référence finale d'une variante personnalisée du produit.

IDL corrigée

Nouvelle itération de l'IDL obtenue après la correction des erreurs signalées dans l'itération précédente et devant à nouveau faire l'objet d'une vérification.

IDL de référence

Liste de dessins mise à jour régulièrement et énumérant les dernières révisions valides de tous les dessins d'ingénierie pour une section particulière de la configuration du produit.

IDL de visualisation

IDL rev.NC sous sa forme standard de visualisation (*AdobePDF*).

IDL d'une conception précédente similaire

IDL archivée définissant la configuration d'une conception précédente dont les caractéristiques s'apparentent à celles de la nouvelle variante personnalisée à concevoir.

IDL préliminaire

Recueil de notes sur les caractéristiques décrites au sein du dossier préliminaire de conception spécifique au client, enregistré au sein d'un nouveau document pour une IDL.

IDL rev.NC libérée

IDL rev.NC répertoriée au sein de son index de dessins correspondant, disponible pour visualisation au sein de DTS et maintenant sujette aux procédures de gestion de changement à la configuration.

IDL rev.NC validée

Version initiale approuvée de l'IDL, définissant la décomposition systématique de l'ensemble des dessins d'ingénierie requis pour réaliser la configuration d'une variante personnalisée donnée du produit.

IDL vérifiée

IDL à la suite de sa vérification, préalablement à son approbation.

Image étiquetée de l'IDL

Image numérique de l'IDL à laquelle l'équipe de gestion de configuration a ajouté le filigrane mentionnant l'entrée en vigueur du document dans le but de le libérer au sein du SGDT.

Image vierge de l'IDL

Image numérique de l'IDL en attente d'un filigrane mentionnant l'entrée en vigueur du document.

Index de dessins

Nomenclatures de dessins au sein de DTS représentant conjointement la configuration de référence d'une variante personnalisée du produit et donnant accès à la documentation technique relative au projet sous format standard de visualisation.

Index de dessins orphelin

Index de dessins rattaché à aucun projet.

Ingénierie

Regroupement des différents départements d'ingénierie au sein de l'entreprise.

Ingénierie de conception

Département technique de l'entreprise, responsable de concevoir les variantes personnalisées du produit et d'établir les nomenclatures d'articles nécessaires à leur réalisation.

(L'Office québécois de la langue française, 2007)

Ingénieur de conception

Ingénieur membre d'une équipe d'ingénierie de conception.

Instruction de création d'index de dessins

Document de référence précisant le détail des actions à accomplir pour générer les index de dessins d'un projet.

Instruction de génération d'un document sous format standard de visualisation

Document de référence précisant le détail des actions à accomplir pour générer une copie d'un document sous le format standard de visualisation *AdobePDF*.

Instruction de recherche de DTS

Document de référence précisant le détail des actions à accomplir pour effectuer une recherche de documents à partir de la base de métadonnées de DTS.

Instruction d'enregistrement dans DTS

Document de référence précisant le détail des actions à accomplir pour enregistrer un document au sein d'un index de dessins dans DTS.

Matrices de configurations

Tableaux créés et entretenus individuellement par des ingénieurs de conception dans le but de résumer l'historique des conceptions réalisées au fil des projets en y associant des numéros de projets, des caractéristiques du produit et des numéros de dessins.

Motiva (ou Motiva DesignGroup)

Logiciel de gestion des données techniques possédant l'interopérabilité avec le logiciel de DAO *AutoCAD*, le groupe de logiciels de bureautique *Microsoft® Office*, ainsi que le logiciel de GÉD *Drawing Tracking System*.

Microsoft® Excel

Logiciel de bureautique du groupe *Microsoft® Office*, utilisé pour créer des tableaux, manipuler des feuilles de calcul, gérer des bases de données simples, produire des graphiques, ou effectuer des analyses statistiques.

Nomenclature de dessins

Liste hiérarchisée et classifiée des dessins d'ingénierie applicables à la définition de la nouvelle configuration de référence du produit.

Nouveaux dessins représentés dans le SGDT

Nouveaux dessins d'ingénierie représentés conceptuellement au sein du SGDT à l'aide de nouvelles fiches signalétiques.

Nouveaux dessins d'ingénierie

Dessins d'ingénierie à l'état conceptuel auxquels sont associés de nouvelles tâches de conception pour de nouveaux articles de la configuration dont les caractéristiques ne correspondent à aucun dessin récurrent d'ingénierie.

Nouvel index de dessins

Index de dessins nouvellement créé et rattaché à un projet.

Nouvelle IDL

Nouveau document proprement identifié et formaté pour l'IDL.

Numéro de dessin

Référence unique identifiant un dessin d'ingénierie.

Numéro de projet

Référence unique par numéro de série identifiant un projet de réalisation d'une variante personnalisée du produit.

Numéro de section de configuration

Référence unique identifiant une section de la structure de l'avion définie pour des besoins de production et de certification.

Numéro d'échéancier

Référence unique identifiant l'échéancier technique au sein duquel sera gérée la tâche de conception associée au dessin d'ingénierie.

Numéro d'IDL

Référence unique identifiant le document de l'IDL.

Numéro(s) d'article(s)

Suffixe identifiant un article en particulier défini au sein du dessin d'ingénierie.

Numéros d'anciens projets

Numéros de série de projets clos ou toujours en cours dont la configuration du produit leur étant associée peut servir de référence à d'autres projets.

Numéros de dessins de niveaux supérieurs

Numéros de dessins d'ingénierie se situant aux premiers niveaux de nomenclatures de dessins et définissant généralement de larges ensembles (ex. : installations).

Plans d'aménagement

Dessins d'ingénierie représentant les exigences pour la conception; présentant des données picturales, de notation ou dimensionnelles dans la mesure de ce qui est nécessaire pour transmettre la solution de conception en vue de la préparation des autres dessins d'ingénierie.

(American Society of Mechanical Engineers, 1989)

Prévisions sur la charge de travail

Estimation grossière du nombre total d'heures de travail qui seront nécessaire à l'ingénierie de conception pour réaliser la nouvelle conception et livrer les nouveaux dessins d'ingénierie.

Procédure de gestion de configuration

Document de référence décrivant l'ensemble des étapes à franchir, des moyens à prendre et des méthodes à suivre dans l'exécution du processus de gestion de configuration.

Procédure de notification de changement

Document de référence décrivant la séquence chronologique des étapes, les modalités d'exécution et les rôles impliqués dans le processus de notification de changement servant à communiquer et autoriser une modification à la configuration du produit.

Procédures

Documents de référence décrivant la manière spécifiée d'effectuer une activité ou un processus.

(Organisation internationale de normalisation, 2000)

Quantité de pièces

Quantité requise de l'article défini par le dessin d'ingénierie et référé par le numéro d'article, telle que spécifiée dans la nomenclature du dessin immédiatement supérieur.

Répertoires des configurations

Recueils méthodiques d'anciens documents et/ou de notes personnelles, créés et utilisés par les ingénieurs eux-mêmes dans le but de faciliter la recherche de dessins récurrents d'ingénierie parmi les configurations précédentes du produit.

Représentation de l'IDL dans le SGDT

Représentation conceptuelle (fiche signalétique) du document de l'IDL au sein du SGDT.

Résultats de recherche de dessin(s)

Liste de dessins répondant aux critères de recherche spécifiés renvoyée par l'engin de recherche de DTS.

SGDT

Système de gestion de données technique de l'entreprise.

Spécification du produit

Document rédigé par l'entreprise décrivant textuellement les exigences techniques et administratives en vue de la conception, la fabrication, de l'installation, de l'intégration, de l'essai et de la certification du produit fini.

Table de classification des dessins d'ingénierie

Table définissant les codes de dessins servant à classer les dessins d'ingénierie énumérés au sein des IDL selon la nature de la tâche de conception qui leur est associée (dessins récurrents, modification de dessins, nouveaux dessins, dessins de référence, etc.).

Table des échéanciers

Table énumérant les numéros des différents échéanciers techniques gérés par l'ingénierie de gestion de projets.

Table des sections de configuration

Table énumérant les numéros des différentes sections de la structure de l'avion définies pour des besoins de production et de certification.

Tables

Listes présentant méthodiquement un ensemble de données, d'informations.

Tâche de numérisation

Données en cours provenant de la numérisation d'un document.

TI

Ensemble des technologies de l'information employées par l'entreprise.

Titre de dessin

Description sommaire de l'information représentée au sein du dessin.

Titre de l'IDL

Titre standard du document de l'IDL.

Type de dessin

Référence au type de dessin d'ingénierie (ex. : de détail, d'assemblage, d'installation, etc.).

Vue de l'index de dessins

Fenêtre de navigation de l'index de dessins au sein de DTS.

Vue du projet

Accès à la documentation du projet au sein de DTS.

ANNEXE IV

VUE AUXILIAIRE DE L'INFORMATION DU MODÈLE IDEF0

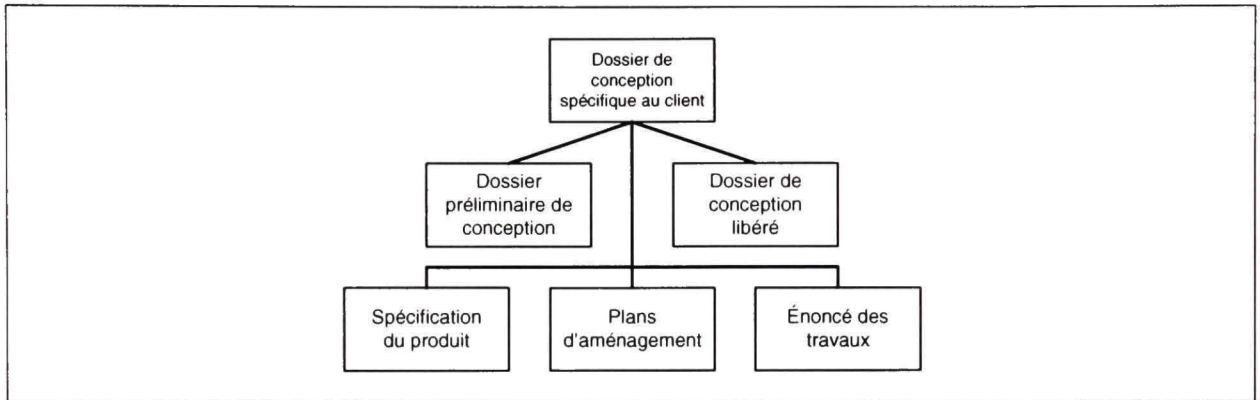


Figure IV.1 *Diagramme des concepts relatifs au dossier de conception spécifique au client*

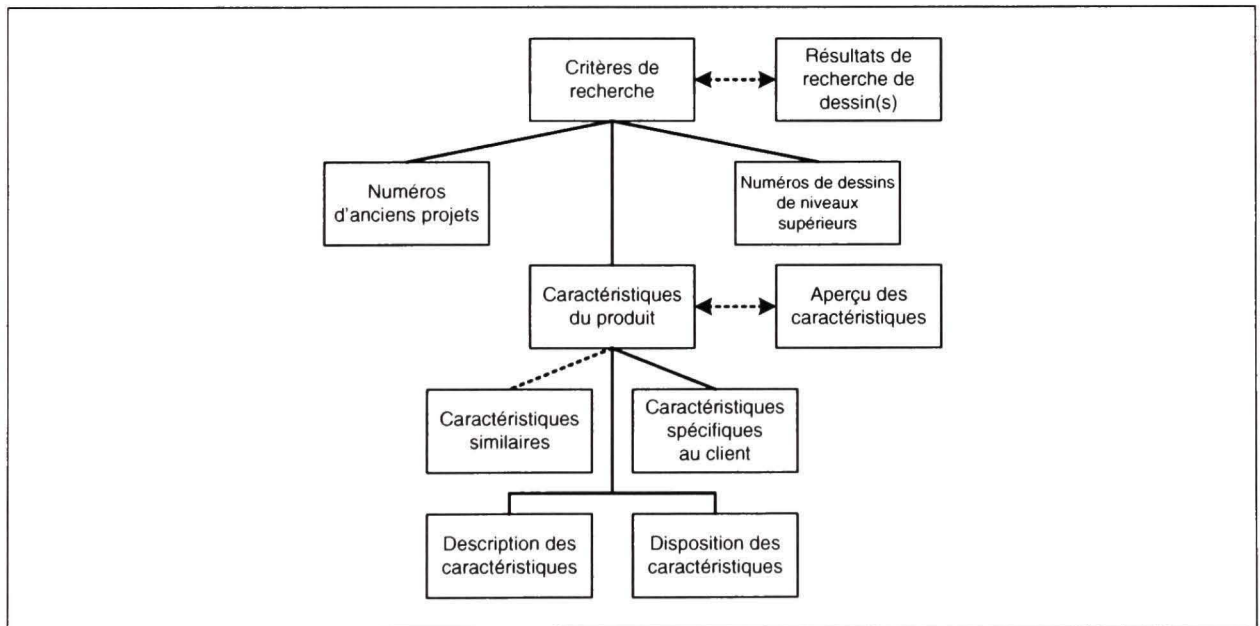


Figure IV.2 *Diagramme des concepts relatifs aux caractéristiques du produit*

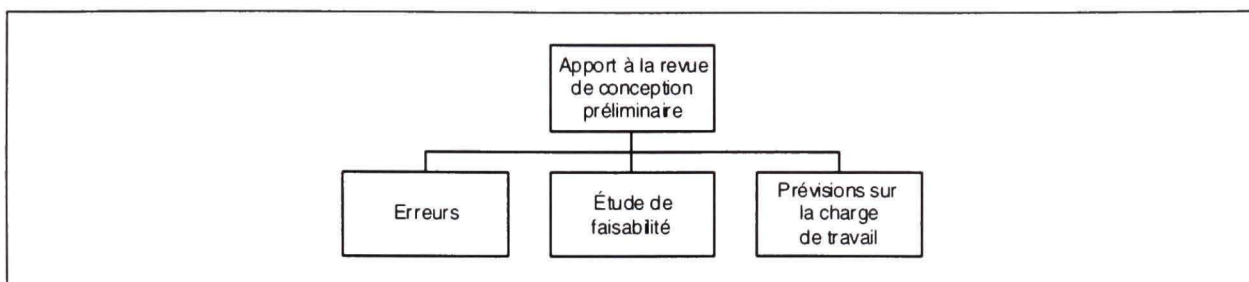


Figure IV.3 *Diagramme des concepts relatifs à la revue de conception préliminaire*

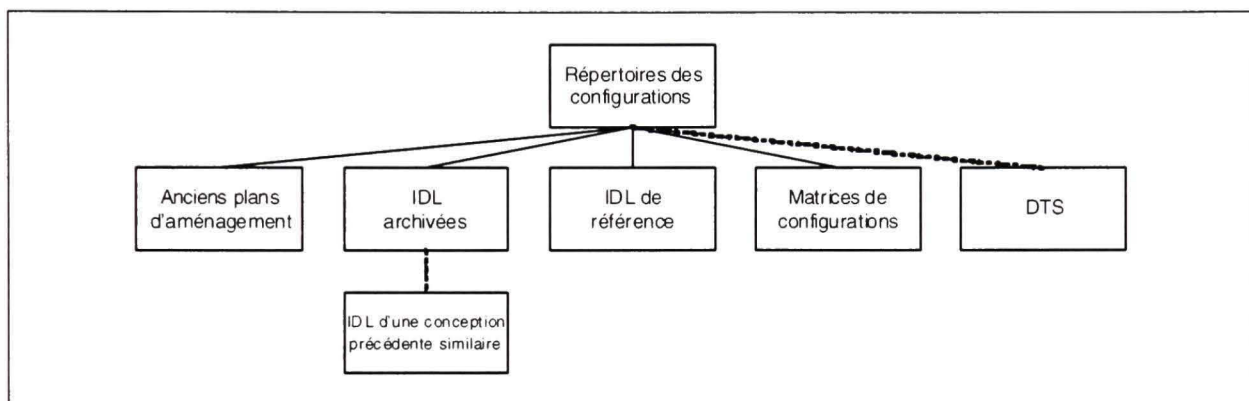


Figure IV.4 *Diagramme des concepts relatifs aux répertoires de configurations*

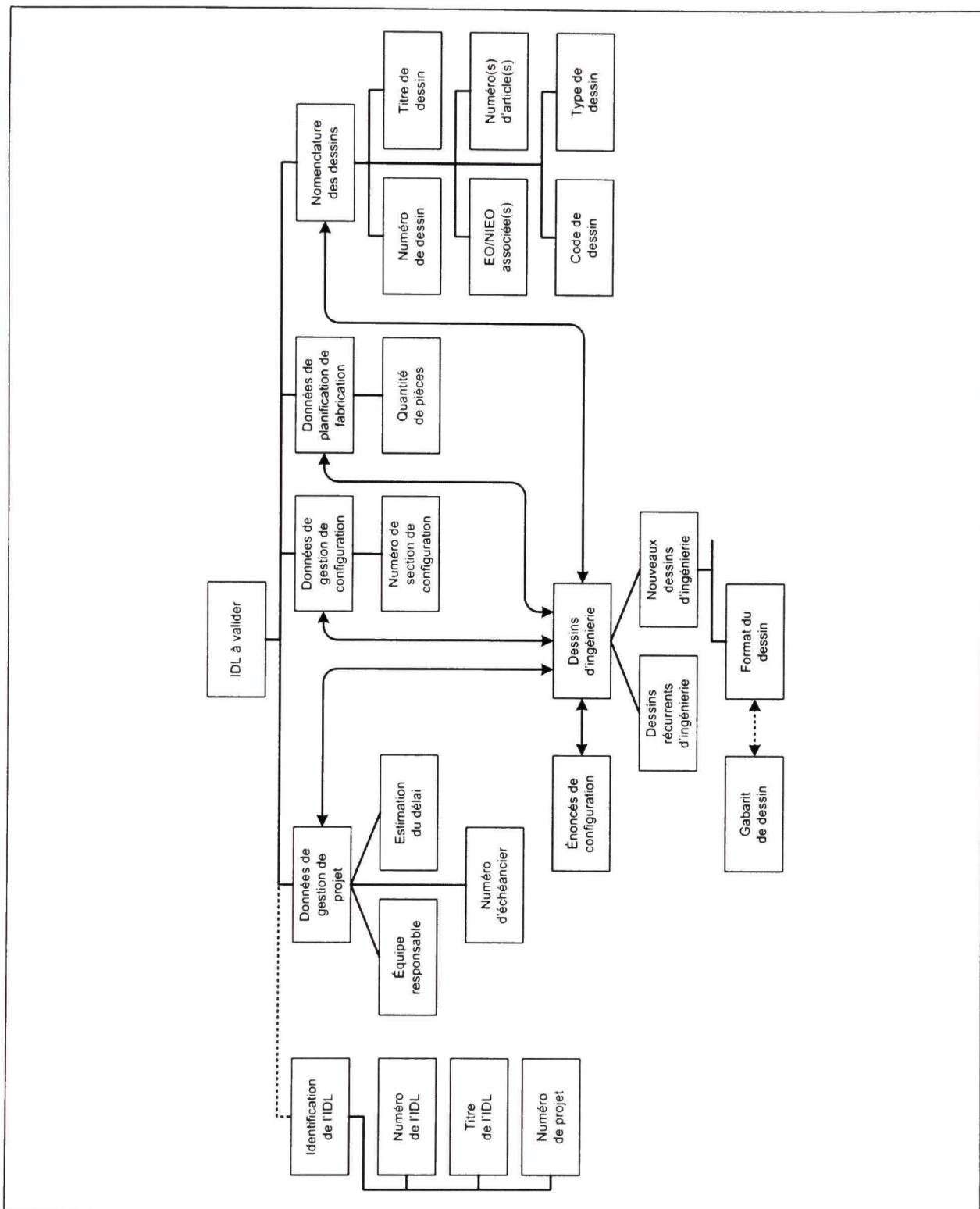


Figure IV.5 Diagramme des concepts relatifs à l'information au sein de l'IDL

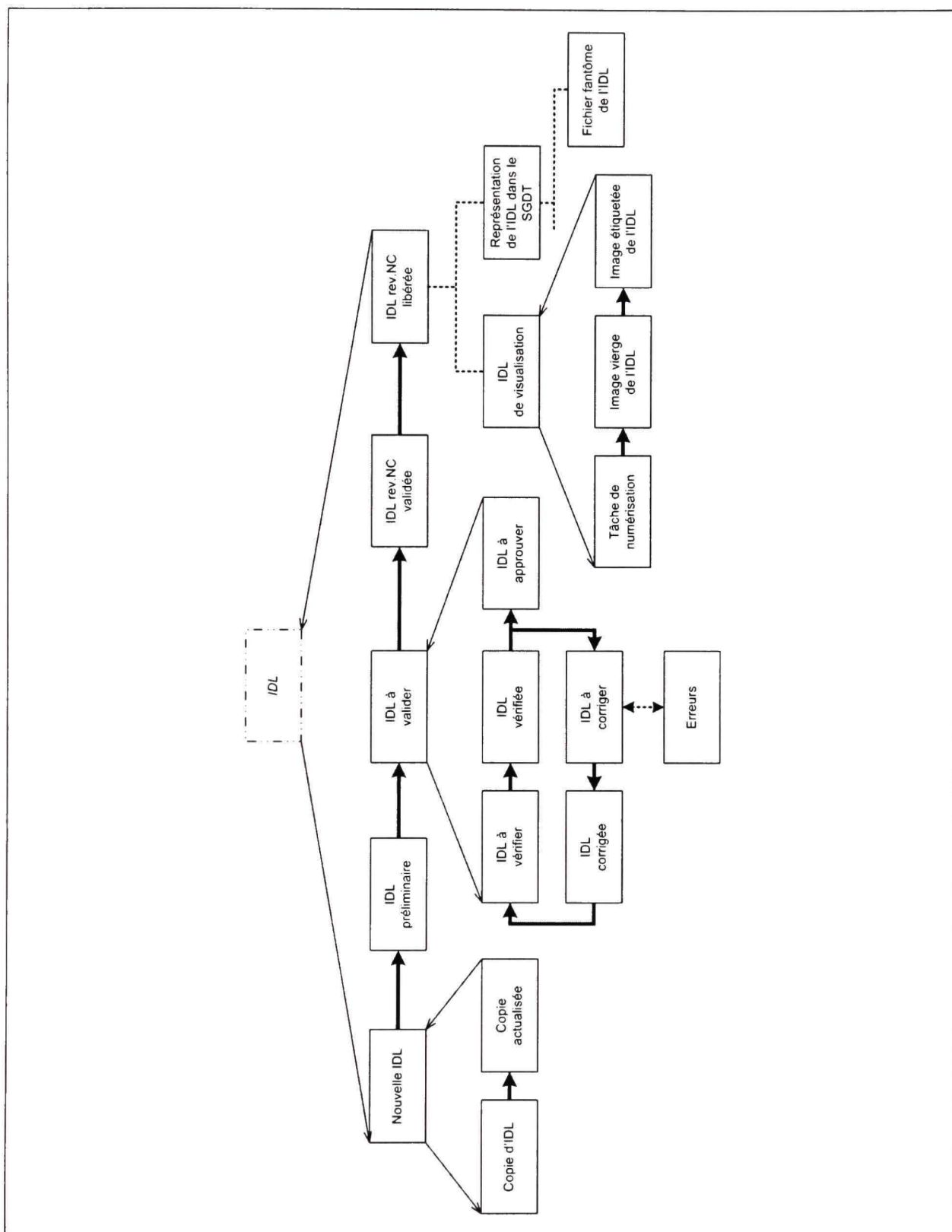


Figure IV.6 Diagramme des concepts relatifs au cycle de vie de l'IDL

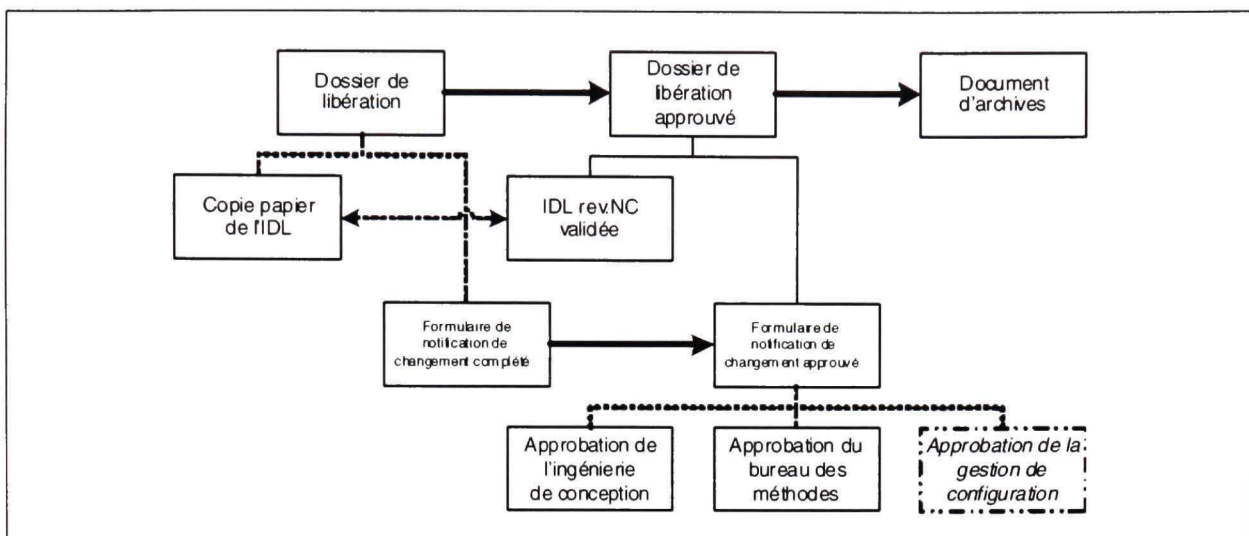


Figure IV.7 Diagramme des concepts relatifs au dossier de libération de la définition de la configuration

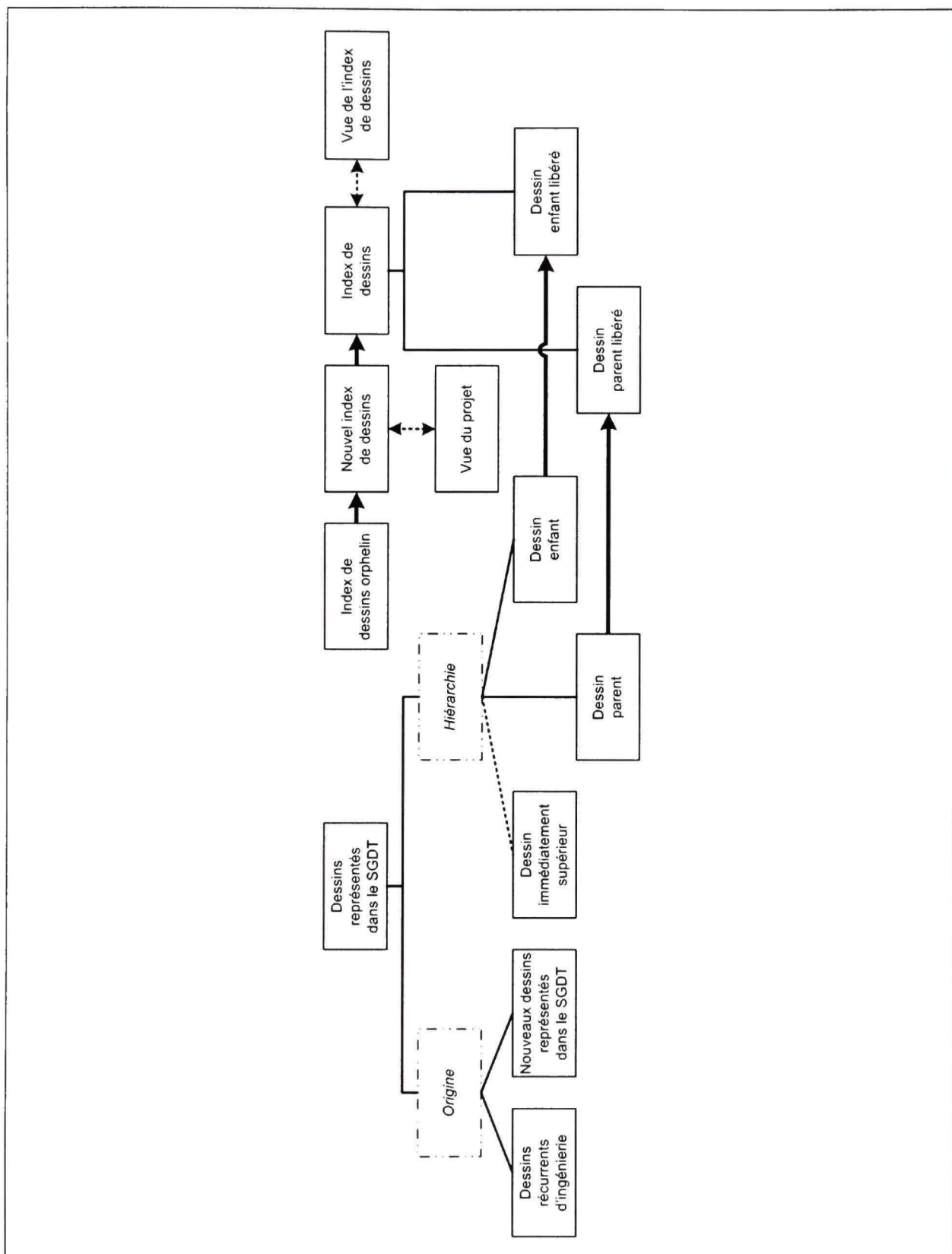


Figure IV.8 Diagramme des concepts relatifs aux données gérées par le SGDT

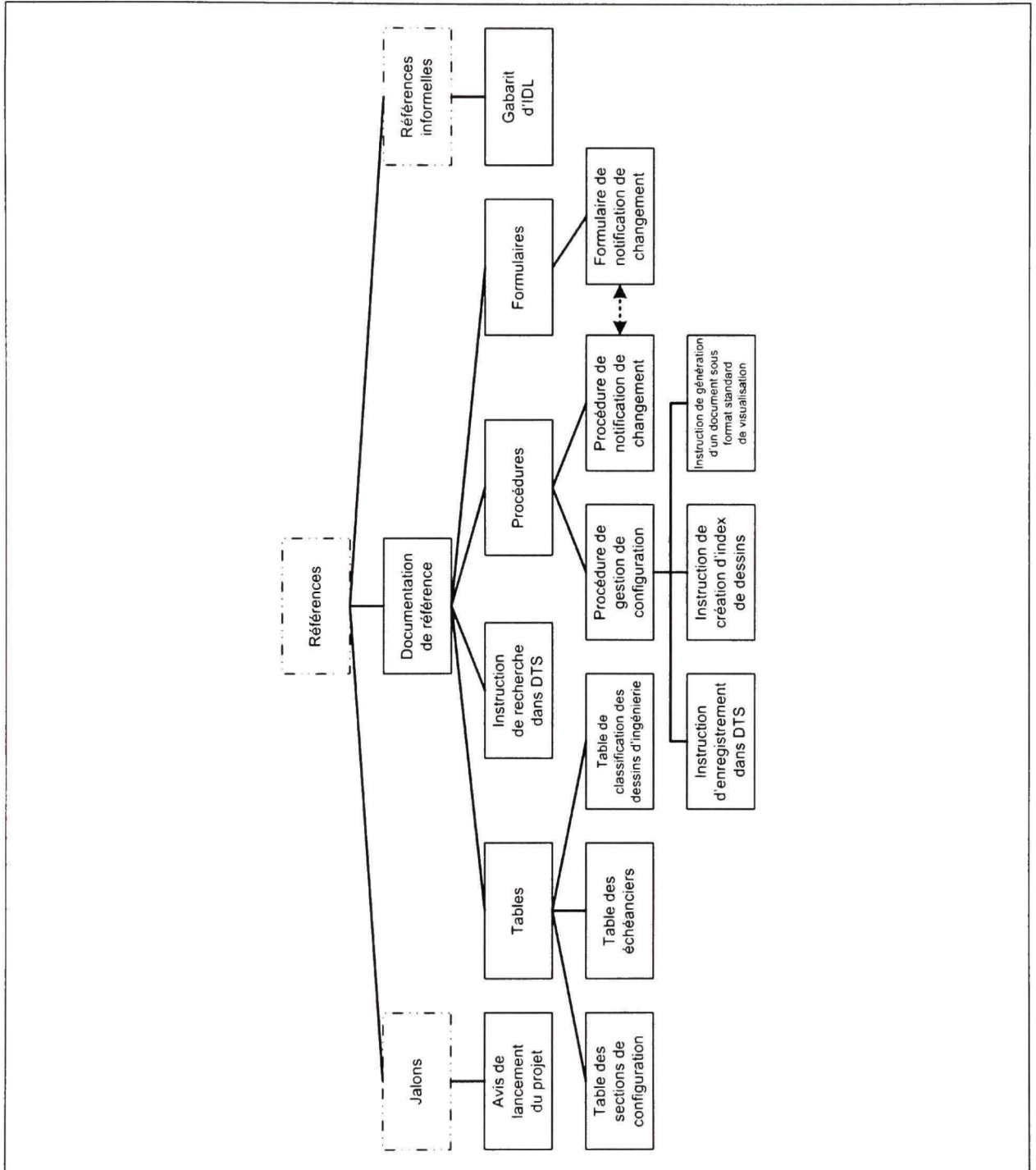


Figure IV.9 Diagramme des concepts relatifs à la gestion et à la maîtrise du processus

ANNEXE V

MATRICES DE RELATIONS ENTRE LES VUES AUXILIAIRES DU MODÈLE IDEF0

Tableau V.1

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des rôles du modèle IDEF0**

Information		Rôles				
		Chef d'équipe	Chargé de projet	Ingénieur de conception	Bureau des méthodes	Gestion de configuration
<i>Relatifs au dossier de conception spécifique au client</i>	Dossier de conception spécifique au client		X	X		
	Dossier préliminaire de conception		X			
	Dossier de conception libéré			X		
	Spécification du produit			X		
	Plans d'aménagement		X	X		
	Énoncé des travaux			X		
<i>Relatifs aux caractéristiques du produit</i>	Critères de recherche			X		
	Numéros d'anciens projets		X	X		
	Numéros de dessins de niveaux supérieurs		X			
	Caractéristiques du produit			X		
	Description des caractéristiques			X		
	Disposition des caractéristiques			X		
	Caractéristiques spécifiques au client			X		
	Caractéristiques similaires		X			
	Aperçu des caractéristiques du produit		X			
	Résultats de recherche de dessin(s)					X
<i>Relatifs à la revue de conception préliminaire</i>	Apport à la revue de conception préliminaire		X			
	Erreurs		X			
	Prévisions sur la charge de travail		X			
	Étude de faisabilité		X			
<i>Relatifs aux répertoires des configurations</i>	Répertoires des configurations		X	X		
	Anciens plans d'aménagement		X	X		
	IDL archivées		X	X		
	IDL d'une conception précédente similaire		X			
	IDL de référence			X		
	Matrices de configurations			X		

Tableau V.1

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des rôles du modèle IDEF0 (suite)**

Information		Rôles				
		Chef d'équipe	Chargé de projet	Ingénieur de conception	Bureau des méthodes	Gestion de configuration
<i>Relatifs à l'information au sein de l'IDL</i>	IDL à valider			X		
	Nomenclature de dessins			X		
	Numéro de dessin			X		X
	Titre de dessin			X		
	EO/NIEO associée(s)			X		
	Numéro(s) d'article(s)			X		
	Code de dessin			X		
	Type de dessin			X		
	Données de gestion de configuration			X		
	Numéro de section de configuration			X		
	Données de gestion de projet			X		
	Estimations du délai			X		
	Numéro d'échéancier			X		
	Équipe responsable			X		
	Données de planification de fabrication			X		
	Quantité de pièces			X		
	Identification de l'IDL		X			X
	Numéro d'IDL					X
	Titre de l'IDL					X
	Numéro de projet					X
	Dessins d'ingénierie			X		X
	Dessins récurrents d'ingénierie			X		X
	Nouveaux dessins d'ingénierie			X		X
	Format du dessin					X
	Énoncés de configuration			X		
	Gabarit de dessin					X

Tableau V.1

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des rôles du modèle IDEF0 (suite)**

Information		Rôles				
		Chef d'équipe	Chargé de projet	Ingénieur de conception	Bureau des méthodes	Gestion de configuration
<i>Relatifs au cycle de vie du document de l'IDL</i>	Nouvelle IDL		X			
	Copie d'IDL		X			
	Copie actualisée		X			
	IDL préliminaire		X	X		
	IDL à vérifier		X			
	IDL corrigée			X		
	IDL vérifiée		X			
	IDL à corriger			X		
	IDL à approuver	X	X			
	IDL rev.NC validée	X	X			X
	IDL rev.NC libérée					X
	IDL de visualisation					X
	Tâche de numérisation					X
	Image vierge de l'IDL					X
	Image étiquetée de l'IDL					X
	Représentation de l'IDL dans le SGGT					X
	Fichier fantôme de l'IDL					X
<i>Relatifs au dossier de libération de la définition de la configuration</i>	Dossier de libération	X	X		X	X
	Copie papier de l'IDL		X			
	Formulaire de notification de changement complété		X			
	Dossier de libération approuvé					X
	Formulaire de notification de changement approuvé					X
	Approbation de l'ingénierie de conception	X	X			
	Approbation du bureau des méthodes				X	
	Document d'archives					X

Tableau V.1

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des rôles du modèle IDEF0 (suite)**

Information		Rôles				
		Chef d'équipe	Chargé de projet	Ingénieur de conception	Bureau des méthodes	Gestion de configuration
<i>Relatifs aux données gérées par le SGDT</i>	Dessins représentés dans le SGDT					X
	Nouveaux dessins représentés dans le SGDT					X
	Dessin immédiatement supérieur					X
	Dessin parent					X
	Dessin enfant					X
	Index de dessins orphelin					X
	Nouvel index de dessins					X
	Index de dessins					X
	Dessin parent libéré					X
	Dessin enfant libéré					X
	Vue de l'index de dessins					X
	Vue du projet					X
	<i>Relatifs à la gestion et à la maîtrise du processus</i>	Avis de lancement du projet		X	X	
Gabarit d'IDL			X	X		
Documentation de référence		X	X	X	X	X
Instruction de recherche dans DTS				X		
Formulaires			X			
Formulaire de notification de changement			X			
Tables				X		
Table de classification des dessins d'ingénierie				X		
Table des échéanciers				X		
Table des sections de la configuration				X		
Procédures		X	X		X	X
Procédure de notification de changement		X	X		X	X
Procédure de gestion de configuration						X
Instruction d'enregistrement dans DTS						X
Instruction de création d'index de dessins					X	
Instruction de génération d'un document sous format standard de visualisation					X	

Tableau V.2

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des outils informatiques du modèle IDEF0**

Information	Technologies de l'information					
	MS Excel	SGDT	DTS	Motiva	AutoCAD	Éditeur PDF
Anciens plans d'aménagement						
Aperçu des caractéristiques du produit						
Apport à la revue de conception préliminaire						
Approbation de l'ingénierie de conception						
Approbation du bureau des méthodes						
Avis de lancement du projet						
Caractéristiques du produit	X	X				
Caractéristiques similaires	X	X				
Caractéristiques spécifiques au client						
Code de dessin	X	X				
Copie actualisée	X	X				
Copie d'IDL	X	X				
Copie papier de l'IDL	X	X				
Critères de recherche	X			X		
Description des caractéristiques						
Dessin enfant	X			X		
Dessin enfant libéré	X			X		
Dessin immédiatement supérieur	X			X		
Dessin parent	X			X		
Dessin parent libéré	X			X		
Dessins d'ingénierie	X	X				
Dessins récurrents d'ingénierie	X	X	X	X		
Dessins représentés dans le SGDT	X			X		
Disposition des caractéristiques						
Document d'archives						
Documentation de référence						
Données de gestion de configuration	X	X				

Tableau V.2

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des outils informatiques du modèle IDEF0 (suite)**

Information	Technologies de l'information						
	MS Excel	SGDT	DTS	Motiva	AutoCAD	Éditeur PDF	
Données de gestion de projet	X	X					
Données de planification de fabrication	X	X					
Dossier de conception libéré							
Dossier de conception spécifique au client							
Dossier de libération							
Dossier de libération approuvé							
Dossier préliminaire de conception							
Énoncé des travaux							
Énoncés de configuration							
EO/NIEO associée(s)	X	X					
Équipe responsable	X	X					
Erreurs	X	X					
Estimations du délai	X	X					
Étude de faisabilité							
Fichier fantôme de l'IDL	X			X	X		
Format du dessin	X				X		
Formulaire de notification de changement	X*						
Formulaire de notification de changement approuvé							
Formulaire de notification de changement complété	X*						
Formulaires							
Gabarit de dessin	X			X	X		
Gabarit d'IDL	X	X					
Identification de l'IDL	X	X	X	X	X	X	
IDL à approuver	X	X					
IDL à corriger	X	X					
IDL à valider	X	X					
IDL à vérifier	X	X					

* Peut être créé à l'aide d'un formulaire informatique.

Tableau V.2

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des outils informatiques du modèle IDEF0 (suite)**

Information	Technologies de l'information					
	MS Excel	SGDT	DTS	Motiva	AutoCAD	Éditeur PDF
IDL archivées	X	X				
IDL corrigée	X	X				
IDL de référence	X	X				
IDL de visualisation	X			X		X
IDL d'une conception précédente similaire	X	X				
IDL préliminaire	X	X				
IDL rev.NC libérée	X		X	X		
IDL rev.NC validée	X	X	X		X	X
IDL vérifiée	X	X				
Image estampillée de l'IDL	X					X
Image vierge de l'IDL	X					X
Index de dessins	X		X	X		
Index de dessins orphelin	X			X		
Instruction de création d'index de dessins						
Instruction de génération d'un document sous format standard de visualisation						
Instruction de recherche dans DTS						
Instruction d'enregistrement dans DTS						
Matrices de configurations	X	X				
Nomenclature de dessins	X	X				
Nouveaux dessins d'ingénierie	X	X	X		X	
Nouveaux dessins représentés dans le SGDT	X				X	X
Nouvel index de dessins	X		X	X		
Nouvelle IDL	X	X				
Numéro de dessin	X	X			X	X
Numéro de projet	X			X		
Numéro de section de configuration	X	X				
Numéro d'échéancier	X	X				

Tableau V.2

**Matrice de relations entre les vues auxiliaires
de l'information et des outils informatiques du modèle IDEF0 (suite)**

Information	Technologies de l'information					
	MS Excel	SGDT	DTS	Motiva	AutoCAD	Éditeur PDF
Numéro d'IDL	X		X			
Numéro(s) d'article(s)	X	X				
Numéros d'anciens projets	X	X				
Numéros de dessins de niveaux supérieurs	X	X				
Plans d'aménagement						
Prévisions sur la charge de travail						
Procédure de gestion de configuration						
Procédure de notification de changement						
Procédures						
Quantité de pièces	X	X				
Répertoires des configurations						
Représentation de l'IDL dans le SGDT	X			X		
Résultats de recherche de dessin(s)	X		X			
Spécification du produit						
Table de classification des dessins d'ingénierie						
Table des échéanciers						
Table des sections de la configuration						
Tables						
Tâche de numérisation	X					X
Titre de dessin	X	X				
Titre de l'IDL	X		X			
Type de dessin	X	X				
Vue de l'index de dessins	X		X			
Vue du projet	X		X			

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Ader, Martin. 1996. *Management collectif de l'information gestion électronique de documents (GED) : collective (groupware) : flux de travail (workflow)*. Coll. « Nouvelles technologies de l'information ». Paris: Institut supérieur d'éducation permanente, 181 p.
- Amann, Ken. 2004. « PDM to PLM: Evolving to the Future ». In *COE Newsnet*. Page web. <www.coe.org/newsnet/feb04/industry.cfm>. Consulté le 6 octobre 2004.
- American Society of Mechanical Engineers. 1989. *Types and Applications of Engineering Drawings*. Norme américaine, ASME Y14.24M-1989. New York (NY): American Society of Mechanical Engineers, 79 p.
- Andreasen, M., C. Hansen et N. Mortensen. 1996. « The structuring of products and product programs ». In *Proceedings of the 2nd WDK Workshop on Product Structuring*. p. 15-43. Delft University of Technology.
- Andreasen, M. M. 1992. « Designing on a “Designer’s Workbench”(DWB) ». In *Proceedings of the 9th WDK Workshop*. p. 233-249. Rigi, Switzerland.
- Bombardier inc. 2004a. *Configuration Management Manual : Concepts and Terminology*. Coll. « Bombardier Engineering System Manuals », BM6010.03.01.03, rev.F. Montréal (Qué.), 27 p. Consulté le 23 mars 2006.
- Bombardier inc. 2004b. *Drafting Manual : Installation Drawings*. Coll. « Bombardier Engineering System Manuals », BM4010.03.06.02, rev.E. Montréal (Qué.), 7 p. Consulté le 23 mars 2006.
- Bombardier inc. 2005. *Configuration Management Manual : Indented Drawing List*. Coll. « Bombardier Engineering System Manuals », BM6010.03.03.03, rev.B. Montréal (Qué.), 6 p. Consulté le 23 mars 2006.
- Bombardier inc. 2007. *Bombardier Aéronautique : Famille Bombardier Global*. En ligne. <www.bombardier.com>. Consulté le 24 janvier 2007.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2001. *PDF File Work Instruction*. Coll. « CMM Engineering Work Instruction », CM-WI-006, rev.NC. Montréal (Qué.), 3 p. Consulté le 31 août 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2003a. *BiCCM Drawing Index Work Instruction*. Coll. « CMM Engineering Work Instruction », CM-WI-010, rev.A. Montréal (Qué.), 5 p. Consulté le 31 août 2006.

- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2003b. *CM AutoCAD Editing Work Instruction*. Coll. « CMM Engineering Work Instruction », CM-WI-004, rev.A. Montréal (Qué.), 3 p. Consulté le 31 août 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2003c. *CM DTS Entering Work Instruction*. Coll. « CMM Engineering Work Instruction », CM-WI-005, rev.B. Montréal (Qué.), 4 p. Consulté le 31 août 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2003d. *Electronic Release of Drawings/Documents Work Instruction*. Coll. « CMM Engineering Work Instruction », CM-WI-003, rev.A. Montréal (Qué.), 5 p. Consulté le 31 août 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2003e. *Procedure for the Creation of a PDF File from an AutoCAD Drawing*. Coll. « CMM Engineering Work Instruction », CM-WI-015, rev.NC. Montréal (Qué.), 3 p. Consulté le 31 août 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2003f. *Release and Control of Engineering Drawing & Data*. Coll. « CMM Engineering Procedure », CM-PRC-002, rev.A. Montréal (Qué.), 24 p. Consulté le 31 août 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2004. *Change Notification Form (QA325) : Preparation & Circulation*. Montréal (Qué.), 27 p. Consulté le 31 mai 2006.
- Bombardier inc. Completion Center in Montreal (BiCCM). 2005. *Indented Drawing List Process for the Global 5000*. Coll. « Global 5000 Project Directive », PJD-I700-058, rev.NC. Montréal (Qué.), 14 p. Consulté le 17 avril 2006.
- Brière-Côté, Antoine. 2006a. *BiCCM Configuration Management Front End Process Mapping : First Preliminary Report*. Présenté le 12 juillet 2006. Montréal (Qué.), 28 p.
- Brière-Côté, Antoine. 2006b. *BiCCM Configuration Management Front End Process Mapping : Report on Recommendations*. Présenté le 27 septembre 2006. Montréal (Qué.), 12 p.
- Brière-Côté, Antoine. 2006c. *BiCCM Configuration Management Front End Process Mapping : Second Preliminary Report*. Présenté le 15 septembre 2006. Montréal (Qué.), 27 p.
- Buckley, Fletcher J. 1996. *Implementing configuration management : hardware, software, and firmware*, 2nd. Piscataway (NJ): IEEE Computer Society Press, xxv, 380 p.
- Burden, Rodger. 2003. *PDM : product data management*. Eau Claire, WI: Resource Publishing, 645 p.

- Burgess, T. F., D. McKee et C. Kidd. 2005. « Configuration management in the aerospace industry: a review of industry practice ». *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 25, n° 3, p. 290-301.
- Callahan, Sean. 2006. « Extended generic product structure: An information model for representing product families ». *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 6, n° 3, p. 263-275.
- Cleetus, K. J. 1995. « Modeling evolving product data for concurrent engineering ». *Engineering with Computers*, vol. 11, n° 3, p. 167-172.
- Davenport, Thomas E. 1993. *Process innovation reengineering work through information technology*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, x, 337 p.
- de Kraker, K. J., M. Dohmen et W. F. Bronsvort. 1997. « Maintaining multiple views in feature modeling ». In *Proceedings of 4th ACM SIGGRAPH Symposium on Solid Modeling and Applications, 14-16 May 1997*. p. 123-30. ACM.
- Do, N., I. J. Choi et M. K. Jang. 2002. « A structure-oriented product data representation of engineering changes for supporting integrity constraints ». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, n° 8, p. 564-70.
- Erens, F., A. McKay et S. Bloor. 1994. « Product modelling using multiple levels of abstraction: instances as types ». *Computers in Industry*, vol. 24, n° 1, p. 17-28.
- Erens, F., et K. Verhulst. 1997. « Architectures for product families ». *Computers in Industry*, vol. 33, n° 2-3, p. 165-78.
- Eynard, B., T. Gallet, L. Roucoules et G. Ducellier. 2006. « PDM system implementation based on UML ». *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 70, n° 5-6 (Feb), p. 330-342.
- Eynard, Benoit, Thomas Gallet, Pierre Nowak et Lionel Roucoules. 2004. « UML based specifications of PDM product structure and workflow ». *Computers in Industry*, vol. 55, n° 3, p. 301-316.
- Froman, Bernard, et Christophe Gourdon. 2003. *Dictionnaire de la qualité : plus de 800 définitions, équivalents anglais, informations normatives commentées*, Nouv. éd. . Saint-Denis-La-Plaine: AFNOR, xi, 224 p.
- Garwood, Dave. 1988. *Bills of material structured for excellence*. Atlanta, Ga.: R. D. Garwood, 211 p.

- Giannini, Franca, Marina Monti, Domenico Biondi, Flavio Bonfatti et Paola Daniela Monari. 2002. « A modelling tool for the management of product data in a co-design environment ». *CAD Computer Aided Design*, vol. 34, n° 14, p. 1063-1073.
- Government Electronics and Information Association. 1998. *National Consensus Standard for Configuration Management*. Norme nationale américaine, ANSI/EIA-649-1998. New York (NY): American National Standards Institute, 74 p.
- Guess, Vincent C. 2002. *CMII for Business Process Infrastructure*. Scottsdale, AZ: Holly Publishing, 164 p.
- Hansen, Claus Thorp, et Asko Riitahuhta. 2001. « Issues on the development and application of computer tools to support product structuring and configuring ». *International Journal of Technology Management*, vol. 21, n° 3-4, p. 240-256.
- He, W., X. G. Ming, Q. F. Ni, W. F. Lu et B. H. Lee. 2006. « A unified product structure management for enterprise business process integration throughout the product lifecycle ». *International Journal of Production Research*, vol. 44, n° 9, p. 1757-1776.
- Knowledge Based Systems Inc. 2003. *AIOWIN 7 : Automated activity and ABC modeling and analysis*. Manuel de l'utilisateur. Knowledge Based Systems Inc. <<http://www.kbsi.com/Software/KBSI/AIOWIN.htm>>. Consulté le 8 juin 2006.
- Knowledge Based Systems Inc. 2004. *AIOWIN*, version. 7.2. Logiciel. East College Station (TX): Knowledge Based Systems Inc.
- L'Office québécois de la langue française. 2007. *Le grand dictionnaire terminologique*. En ligne. Outremont, Québec: CEDROM-SNI. <<http://w3.granddictionnaire.com/>>. Consulté le 20 juin 2007.
- Malmqvist, J., et D. Svensson. 1999. « A Design Theory Based Approach Towards Including QFD Data in Product Models ». In *Proceedings of ASME DETC'99*. Las Vegas, Nevada, USA.
- Malmqvist, Johan. 2001. « Implementing requirements management: A task for specialized software tools or PDM systems? ». *Systems Engineering*, vol. 4, n° 1, p. 49-57.
- Malmstrom, Johan, Peter Pikosz et Johan Malmqvist. 1999. « Complementary roles of IDEFO and DSM for the modeling of information management processes ». *Concurrent Engineering Research and Applications*, vol. 7, n° 2, p. 95-103.
- Männistö, T., H. Peltonen et R. Sulonen. 1996. « View to Product Configuration Knowledge Modelling and Evolution ». In *Configuration - Papers from the 1996 AAAI Fall Symposium in Cambridge, MA, USA*, sous la dir. de Faltings, B., et E.C. Freuder. Vol. AAAI Tech. Rep. FS-96-03, p. 111-118. AAAI Press.

- Männistö, T., et R. Sulonen. 1999. « Evolution of schema and individuals of configurable products ». In *Advances in Conceptual Modeling. ER'99 Workshops on Evolution and Change in Data Management, Reverse Engineering in Information Systems and the World Wide Web and Conceptual Modeling, 15-18 Nov. 1999*. p. 12-23. Springer-Verlag.
- Männistö, Tomi, Hannu Peltonen, Timo Soininen et Reijo Sulonen. 2001. « Multiple abstraction levels in modelling product structures ». *Data and Knowledge Engineering*, vol. 36, n° 1, p. 55-78.
- Maurino, Michel. 1993. *La gestion des données techniques technologie du concurrent engineering*. Coll. « Organisation industrielle ». Paris: Masson, xi, 188 p.
- McKay, A., F. Erens et M. S. Bloor. 1996. « Relating product definition and product variety ». *Research in Engineering Design - Theory, Applications, and Concurrent Engineering*, vol. 8, n° 2, p. 63-80.
- Mesihovic, S., et J. Malmqvist. 2000a. « PDM System Based Support for the Sales-Delivery Process of Engineer-to-Order Products ». In *Proceedings of Product Models 2000*. p. 157-172. Linköping, Sweden.
- Mesihovic, S., et J. Malmqvist. 2000b. « Product Data Management (PDM) System Support for the Engineering Configuration Process ». In *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence ECAI 2000 Configuration Workshop, August 20-25 (August 20-25)*. Berlin, Germany.
- Mesihovic, Samir, et Johan Malmqvist. 2004. « A process-oriented approach for management of product configuration MODELS ». In *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*. Vol. 1, p. 691-701. Coll. « Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference ». Salt Lake City, UT, United States: American Society of Mechanical Engineers, New York, NY 10016-5990, United States.
- Msaaf, Omar, Roland Maranzana et Louis Rivest. 2007. « Part data mining for information re-use in a PLM context ». In *Proceedings of GT2007 (Montréal, Canada, 14-17 mai 2007)*. American Society of Mechanical Engineers, New York, NY 10016-5990, United States.
- National Institute of Standards and Technology. 1993. *Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)*. Federal Information Processing Standard, FIPS 183. Springfield, VA: Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS), 114 p. <<http://www.itl.nist.gov/fipspubs/>>. Consulté le 9 juin 2006.

- Organisation internationale de normalisation. 2000. *Systèmes de management de la qualité : principes essentiels et vocabulaire*. 2^e éd. Norme ISO, ISO 9000:2000 (F). Genève (Suisse): Organisation internationale de normalisation, 30 p.
- Organisation internationale de normalisation. 2003. *Quality management : Guidelines for configuration management*. 2^e éd. Norme internationale, ISO 10007:2003(E). Genève (Suisse): Organisation internationale de normalisation, 15 p.
- Ou-Yang, C., et T. A. Jiang. 2002. « Developing an integration framework to support the information flow between PDM and MRP ». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 19, n° 2, p. 131-141.
- Ouertani, M. Z., L. Gzara-Yesilbas et L. Lossent. 2004. « Engineering change process: state of the art, a case study and proposition of an impact analysis method ». In *5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME 2004), 5-7 April 2004*. p. 114. Univ. of Bath.
- Peltonen, H. 2000. « Concepts and an implementation for product data management ». Thesis, Finnish Academy of Technology, 1-188 p.
- Peltonen, Hannu, Olli Pitkanen et Reijo Sulonen. 1996. « Process-based view of product data management ». *Computers in Industry*, vol. 31, n° 3, p. 195-203.
- Peng, Ting-Kuo, et Amy J. C. Trappey. 1998. « Step toward STEP-compatible engineering data management: the data models of product structure and engineering changes ». *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 14, n° 2, p. 89-109.
- Philpotts, Mike. 1996. « Introduction to the concepts, benefits and terminology of product data management ». *Industrial Management and Data Systems*, vol. 96, n° 4, p. 11-17.
- Processia Solutions inc. 2005. *ENOVIA LCA : Points saillants*. En ligne. <http://www.processia.com/fr/enovia_lca.html>. Consulté le 10 octobre 2007.
- Randoing, Jean-Martial. 1995. *Les SGDT*. Coll. « Techniques de l'information ». Paris: Hermès, xii, 258 p.
- Rouibah, K., et K. R. Caskey. 2003. « Change management in concurrent engineering from a parameter perspective ». *Computers in Industry*, vol. 50, n° 1, p. 15-34.
- Sääksvuori, Antti, et Anselmi Immonen. 2004. *Product lifecycle management*. New York: Springer, xi, 222 p.
- Sabin, D., et R. Weigel. 1998. « Product configuration frameworks: A survey ». *Intelligent Systems and Their Applications, IEEE [see also IEEE Intelligent Systems]*, vol. 13, n° 4, p. 42-49.

- Siemens PLM Software. 2007. *Geolus Search : PLM Components*. En ligne. <http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/open/geolus/index.shtml>. Consulté le 29 novembre 2007.
- Svensson, D., J. Malmström, P. Pikosz et J. Malmqvist. 1999. « A Framework for Modelling and Analysis of Engineering Information Management Systems ». In *Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences*. p. 12-15.
- Svensson, Daniel, et Johan Malmqvist. 2001. « Integration of Requirement Management and Product Data Management Systems ». In *Proceedings of the 2001 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, Sep 9-12 2001*. Vol. 1, p. 199-208. Pittsburgh, PA: American Society of Mechanical Engineers.
- Svensson, Daniel, et Johan Malmqvist. 2002. « Strategies for product structure management at manufacturing firms ». *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 2, n° 1, p. 50-58.
- Tremblay, Thomas-Guillaume. 2006. « La propagation du changement dans un contexte PLM : vers la maîtrise du rôle des associations dans le développement de produits et des processus associés ». Mémoire de maîtrise, Montréal, École de Technologie Supérieure, 218 p.
- Ulrich, Karl T., et Steven D. Eppinger. 2004. *Product design and development*, 3rd. Boston: McGraw-Hill/Irwin, xviii, 366 p.
- van den Hamer, P., et K. Lepoeter. 1996. « Managing design data: the five dimensions of CAD frameworks, configuration management, and product data management ». *Proceedings of the IEEE*, vol. 84, n° 1, p. 42-56.
- Watts, Frank B. 2000. *Engineering documentation control handbook configuration management*, 2nd. Park Ridge, N.J.: Noyes, xviii, 376 p.
- Wortmann, J. C., Dennis R. Muntslag et Patrick J. M. Timmermans. 1997. *Customer-driven manufacturing*, 1st. London: Chapman & Hall, xiv, 464 p. p.
- Zhang, Jinsong, Qifu Wang, Li Wan et Yifang Zhong. 2005. « Configuration-oriented product modelling and knowledge management for made-to-order manufacturing enterprises ». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 25, n° 1-2, p. 41-52.