

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

THESE

pour obtenir le grade de :

DOCTEUR de l'INPG

Spécialité : Génie industriel

Préparée au laboratoire GILCO (Gestion Industrielle, Logistique et COncption)
dans le cadre de l'Ecole Doctorale « **Organisation industrielle et Systèmes de production** »

présentée et soutenue publiquement
par

Sébastien MENAND

le 10 janvier 2002

Titre :

**MODELISATION POUR LA REUTILISATION DU PROCESSUS
DE CONCEPTION MULTI ACTEURS DE PRODUITS INDUSTRIELS**

**APPLICATION A LA CONCEPTION FONCTIONNELLE
DES SYSTEMES DE DIRECTION AUTOMOBILE**

Directeur de thèse : Michel Tollenaere

JURY

M. Chris Mc MAHON

M. Jean Claude SARDAS

M. Bernard YANNOU

M. Michel TOLLENAERE

M. Christian CANELLA

M. Hervé MAHE

Président du Jury, Université de Bristol (GB)

Rapporteur, Ecole des Mines de Paris

Rapporteur, Ecole Centrale de Paris

Examineur, INPG

Examineur, PSA Peugeot Citroën

Examineur, PSA Peugeot Citroën

**MODELISATION POUR LA REUTILISATION
DU PROCESSUS DE CONCEPTION MULTI ACTEURS
DE PRODUITS INDUSTRIELS**

**APPLICATION A LA CONCEPTION FONCTIONNELLE
DES SYSTEMES DE DIRECTION AUTOMOBILE**

Ce mémoire de thèse est dédié à Caroline et à notre futur enfant.

AVANT PROPOS

Le travail présenté dans cette thèse s'inscrit dans les activités de recherche du groupe, notamment celles du service OMIC* (Outils et Méthodologies pour l'Ingénierie des Connaissances), dans le domaine de la gestion des connaissances en conception de produits.

Le travail présenté s'inscrit dans les activités de recherche du laboratoire GILCO (Gestion Industrielle, Logistique et COnception) de l'I.N.P.G (Institut National Polytechnique de Grenoble) au sein duquel les travaux ont été réalisés en partenariat avec PSA Peugeot Citroën.

Le travail présenté contribue à la volonté du Groupe PSA Peugeot Citroën de définir une structure de référentiel métier pour la conception des véhicules. Ce travail contribue également à la définition du système d'information pour la conception du produit et du process de PSA.

Cette présente étude propose, en effet, une structure générique de référentiel métier (base structurée d'informations et de connaissances) pour la conception d'un système. La définition d'une méthodologie d'élaboration, d'utilisation et de mise à jour de ce dernier y est proposée. Cette présente étude propose également un système d'information (outil informatique appelé MULTI) qui permet, aux acteurs de la conception, de consulter le référentiel métier de leur domaine puis de l'enrichir et le mettre à jour. MULTI peut également assister les acteurs de la conception, dans leurs tâches systématiques de conception d'un nouveau modèle de véhicule. Les résultats proposés sont illustrés sur un cas d'application qui est la conception des systèmes de direction assistée des automobiles du groupe PSA Peugeot Citroën.

* Dans l'organisation de PSA, le service OMIC fait parti de la **DINQ / DSIN / SIPP / IVIC** (Direction de l'INnovation et de la Qualité / Direction des Systèmes d'INformation / Systèmes d'Information Produit Process / Innovation, Visualisation et Ingénierie des Connaissances).

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements aux dirigeants de PSA Peugeot Citroën qui m'ont permis de réaliser ces travaux au sein du groupe. Je remercie également l'A.N.R.T. pour avoir accepté la convention CIFRE sous laquelle ces travaux se sont déroulés.

J'ai l'honneur de remercier Chris Mc Mahon pour avoir accepté d'être le président du Jury de ma thèse. J'ai l'honneur de remercier Jean Claude Sardas et Bernard Yannou pour avoir accepté d'être les rapporteurs de mon travail de thèse. J'ai l'honneur de remercier Christian Canella, Hervé Mahé et Michel Tollenaere pour avoir accepté d'être les examinateurs de mon travail de thèse. Ces personnes ont ma reconnaissance pour avoir montré un intérêt à ce travail et avoir accepté de l'évaluer en faisant partie du jury.

Je remercie Catalina Vargas et Hervé Mahé pour avoir amorcé cette étude chez PSA Peugeot Citroën.

Je tiens à remercier Michel Tollenaere d'avoir dirigé ce travail de thèse puis de m'avoir accordé toute sa confiance pour mener à bien cette thèse. Il a su me transmettre ses compétences, son enthousiasme, son dynamisme et son optimisme tout au long de cette thèse. Les résultats de ce travail de thèse sont d'ailleurs les fruits d'une très étroite coopération avec lui.

Je remercie Catalina Vargas et Christian Canella, qui lui a succédé après son départ du groupe PSA, d'avoir encadré ces travaux de thèse chez PSA. Je remercie Christian Canella pour son aide précieuse, sa rigueur exceptionnelle, ses remarques lucides et l'apport de son expérience scientifique et industrielle dans le domaine de la gestion des connaissances. Sans lui les résultats de cette thèse ne seraient pas autant aboutis.

Je remercie Yannick Frein, directeur du laboratoire GILCO, de m'avoir accueilli au sein du laboratoire GILCO et m'avoir permis de réaliser ce travail dans de très bonnes conditions.

Je remercie Eugen Dumitrescu, Emmanuel Duchastener et Stan Michalski qui ont développé le prototype informatique durant leur stage de DESS ainsi que Christophe Billot qui a fait les développements supplémentaires. Je remercie les stagiaires pour leur implication et pour leurs longues soirées consacrées à ma thèse.

Je remercie Christian Schut, étudiant à l'I.N.P.G. / E.N.S.G.I. (Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel) puis à l'université de Darmstadt en Allemagne, qui a aidé à valider les résultats de la thèse dans le cadre de son stage de fin d'étude.

Nous remercions également tous les membres du service DPTA / DOGN / CLS / CSDI (Direction des Plateformes, Techniques et Achats / Direction des OrGaNes / Conception Liaison au Sol / Conception des Systèmes de Direction), notamment Jean Michel Pascal et Jean Philippe Pellerin, pour m'avoir accueilli pendant trois mois au sein de leur service et m'avoir expliqué leurs besoins. Je remercie tous les concepteurs de CSDI pour m'avoir permis de les interviewer.

Je remercie toute l'équipe O.M.I.C. et ses responsables Olivier Marchand et David Routier de m'avoir accueilli et apporté leurs expériences et commentaires tout au long de l'étude.

Je remercie toute l'équipe du laboratoire GILCO pour leur hospitalité et leur bonne humeur. Que Chantal Puech et Lyes Benyoucef reçoivent, tout particulièrement, mes sentiments les meilleurs quant à leur gentillesse, leurs grandes qualités humaines et leur générosité.

Ma reconnaissance va aux membres du public et à tous ceux qui ont cru en ce travail, s'y sont investis et m'ont apporté un soutien scientifique, technique et moral durant ces trois années de thèse.

Table des Matières

Introduction

Contexte et problématique générale.....	1
Les enjeux pour PSA Peugeot Citroën	3
La contribution de l'étude.....	4
Le plan de lecture.....	5

CHAPITRE 1 : Contexte et problématique

1. Les différents points de vue sur le produit à concevoir.....	7
1.1. Le besoin	8
1.2. Les exigences techniques	8
1.3. Les fonctions du produit.....	8
1.3.1. Les fonctions de service	9
1.3.2. Les fonctions techniques	10
1.3.3. Les fonctions contraintes.....	11
1.4. Les solutions techniques et les constituants	11
1.4.1. Les voies technologiques, les solutions techniques et leurs constituants	11
1.4.2. La diversité.....	11
1.5. L'allocation fonctionnelle aux organes	12
1.6. La définition géométrique du produit.....	12
1.7. Les contraintes et les interfaces.....	12
1.7.1. Interfaces et contraintes physiques et l'encombrement.....	13
1.7.2. Les contraintes de réutilisation et les plates-formes	13
1.7.3. Les autres contraintes de conception.....	13
1.8. Les transformations et les configurations du produit	13
2. Le processus de conception.....	13
2.1. Les différentes étapes cognitives de la conception.....	14
2.2. Identification des besoins, formalisation et spécification.....	14
2.3. Conception préliminaire.....	15
2.3.1. Etudes des choix technologiques envisageables et étude de leur faisabilité	15
2.3.2. Dimensionnement et intégration des principes technologiques retenus	15
2.4. Conception détaillée	15
2.5. Intégration des composants	16
2.6. Vérification et validation des résultats	16
3. Typologie des activités de conception	16
3.1. La conception créative.....	17
3.2. La conception innovatrice	17
3.3. La re-conception.....	17
3.4. La conception routinière.....	17
4. Le périmètre de l'étude.....	18
4.1. Choix du périmètre.....	18
4.2. Constat et problématique.....	18
5. Le caractère multi acteurs de la conception routinière.....	19
5.1. La conception multi acteurs	19
5.1.1. L'ingénierie concourante et les impacts sur la conception.....	19
5.1.2. La conception distribuée	19
5.1.3. La concourance avec les acteurs du cycle de vie du produit	20
5.1.4. La conception produit - process	20
5.1.5. La co-conception	20
5.1.6. La conception intégrée	21

5.1.7.	Exemple pour l'industrie automobile : les plateaux projets	21
5.2.	Gestion des flux d'information et de connaissances en conception	22
5.2.1.	Les informations concernant le produit et le processus de conception.....	22
5.2.2.	La gestion des données techniques et de la diversité.....	23
5.3.	Vers une ingénierie numérique et partagée : la maquette numérique.....	24
5.4.	Constat et problématique relatifs aux échanges d'informations entre acteurs.....	24
6.	La gestion des connaissances dans notre contexte.....	26
6.1.	Quelles connaissances étudions-nous dans l'étude ?.....	26
6.2.	La gestion des connaissances en conception (enjeux et principes)	27
6.3.	Mémoire métier	29
6.3.1.	Qu'entend-t-on par mémoire métier ?	29
6.3.2.	La gestion actuelle de cette mémoire métier : problématique	29
6.4.	Mémoire projet (revue de projet et traçabilité).....	29
6.4.1.	Qu'entend-t-on par mémoire projet ?	29
6.4.2.	La gestion actuelle de cette mémoire projet : problématique	29
7.	Les propositions de l'étude.....	30

CHAPITRE 2 : Conception de produits et modélisation

1.	L'ingénierie système	35
1.1.	Historique	36
1.2.	Définition et objectifs de l'ingénierie système	36
1.2.1.	Définition.....	36
1.2.2.	Buts de l'ingénierie système.....	37
1.2.3.	La rétro ingénierie	37
1.3.	Approche systémique de la conception	37
1.3.1.	Définition d'un système.....	37
1.3.2.	Système englobant et sous systèmes.....	38
1.3.3.	Système interface.....	38
1.3.4.	Systèmes associés.....	38
1.3.5.	La description des connaissances sur un système.....	39
1.4.	Synthèse.....	39
2.	Les modélisations existantes du produit et de son processus de conception	40
2.1.	Les modélisations du produit.....	40
2.1.1.	Les méthodes d'analyse fonctionnelle du produit	40
2.1.2.	Les graphes d'arborescence fonctionnelle.....	43
2.1.3.	Les modélisations multi points de vue du produit	49
2.1.4.	Les modélisations géométriques du produit	52
2.1.5.	Les graphes de produits, blocs diagramme, flux fonctionnels.....	52
2.1.6.	Les modèles pour gérer des données techniques du produit.....	54
2.1.7.	Bilan	55
2.2.	Les modèles processus de conception	57
2.2.1.	Le modèle du processus de conception	57
2.2.2.	Un modèle pour la capitalisation des connaissances	58
2.2.3.	Le graphe d'état du processus de conception et son historique.....	60
2.2.4.	l'approche GRAI	61
2.2.5.	La modélisation MOKA	62
2.2.6.	Bilan	63
3.	Les modélisations des connaissances pour décrire l'ingénierie.....	64
3.1.	La méthode KADS	64
3.2.	CYGMA	65
3.3.	La méthode MKSM.....	65
3.4.	Synthèse.....	67
4.	Conclusions.....	68

CHAPITRE 3 : MULTI une proposition de référentiel métier pour la conception fonctionnelle

1. Choix d'un formalisme	71
2. Un référentiel de conception pour les phases amont à la C.A.O.	71
3. Vers un référentiel métier du "produit" partagé.....	74
3.1. Le méta modèle produit « partie domaine ».....	74
3.1.1. Le « squelette » du meta modèle produit « partie domaine ».....	75
3.1.2. Les autres connaissances « verticales » génériques sur le produit	89
3.2. Le meta modèle produit « partie projet »	90
3.2.1. Les valeurs des paramètres en cours de conception	92
3.2.2. Les choix de solutions techniques en cours de conception	94
3.2.3. Les instances de fonctions propres à un projet.....	94
3.2.4. Les connaissances verticales relatives aux projets	94
4. Vers un référentiel métier du "processus de conception" partagé.....	95
4.1. Le meta modèle processus de conception « partie domaine ».....	95
4.1.1. Le squelette du meta modèle processus de conception « partie domaine ».....	95
4.1.2. Les autres classes du meta modèle	101
4.1.3. Les connaissances « verticales » sur le processus de conception.....	101
4.2. Le meta modèle processus de conception « partie projet »	101
4.2.1. Capture des instances de tâches.....	102
4.2.2. Capture des retours d'expérience sur les projets	104
4.2.3. Les connaissances verticales sur le référentiel projet processus	105
5. Liens entre les deux meta modèles	105
5.1. Liens entre les deux meta modèles « partie domaine »	106
5.1.1. Flux d'information - paramètres.....	106
5.1.2. Les solutions techniques.....	106
5.1.3. La diversité / variante du produit (dans les conditions d'exécution).....	107
5.1.4. Les contraintes.....	107
5.1.5. Les règles.....	107
5.2. Lien entre les deux meta modèles « partie projet »	108
5.2.1. Liaison entre les instances de tâche et de paramètre	108
5.2.2. Gestion de la diversité	108
6. Extension des concepts à la conception détaillée (quelques pistes) et perspectives.....	108
6.1. Quelques pistes pour la conception détaillée.....	108
6.1.1. Ajout aux modèles produits précédents.....	109
6.1.1.1. Formalisation de la structure géométrique	109
6.1.2. Ajout aux modèles processus de conception précédents	110
6.1.3. La propagation des contraintes	110
6.1.4. Exploitation par la C.A.O.	110
6.2. La fabrication, l'intégration et la validation des systèmes	111
6.2.1. Le cycle de vie, les tâches et les flux d'information associés	111
6.3. La conception produit process.....	112

CHAPITRE 4 : MULTI une proposition de méthodologie pour la gestion des connaissances du référentiel métier

1. Méthodologie de capture des connaissances du référentiel	116
1.1. Etapes à suivre pour constituer le référentiel métier / projet.....	116
1.2. Liste des méthodes préconisées pour le recueil des connaissances.....	120
1.3. Niveau de détail dans la description des connaissances sur le processus.....	120
1.4. Aspects sociologiques	121
1.4.1. Les conflits entre experts.....	121
1.4.2. La culture du donnant-donnant.....	121
1.4.3. Une « culture documentaire » brisée	122

2. Méthodologie de réutilisation des connaissances du référentiel métier.....	122
2.1. Réutilisation des connaissances en conception routinière	122
2.2. Consultation du référentiel métier du domaine	122
2.3. Pilotage de la conception et dynamique des connaissances encapsulée.....	124
2.3.1. Conception assistée et déroulement du processus de conception sur chaque projet.....	124
2.3.2. Plusieurs modes de déroulement	125
2.3.3. Instanciation progressive du produit.....	130
2.3.4. Gestion de la diversité du produit.....	130
2.3.5. Push d'informations et de connaissances	130
2.3.6. Restitution du contexte	130
2.3.7. Donner une valeur à un paramètre du produit	131
2.3.8. Poser les contraintes pour leur prise en compte.....	132
2.4. Gestion des modifications en conception, rebouclage et versionnement	132
2.5. La gestion de projet	134
2.5.1. Consultation des instances de paramètres.....	134
2.5.2. Suivi de l'avancement d'un projet déroulement (instances de tâches).....	134
2.5.3. Suivi de la prise en compte des modifications.....	134
2.5.4. Traçabilité des exigences.....	134
2.6. Traçabilité et mémoire projet	134
2.6.1. Traçabilité des choix de conception	134
2.6.2. Historique du déroulement d'un projet.....	135
2.6.3. Capture des retours d'expérience	135
2.7. Liens avec les applicatifs : MULTI un outil non intrusif.....	136
2.8. Perspectives	136
2.8.1. Le plan d'ingénierie.....	136
2.8.2. La gestion des compétences	136
3. Maintenance des connaissances	136
3.1. Retour d'expériences	137
3.2. Nouvelle technologie et modification du référentiel métier	137
3.3. Veille et connaissances verticales liées au processus	138
4. Utilisation de la méthodologie pour les autres types de conception.....	138

CHAPITRE 5 : MULTI une proposition d'outil informatique pour l'implémentation du référentiel métier

1. Etude préliminaire	143
1.1. Les grands choix techniques.....	143
1.2. Recueil des besoins fonctionnels.....	143
1.3. Acteurs du système MULTI	143
2. La conception du prototype informatique	143
2.1. Architecture	143
2.2. Justification du style d'architecture 3-tiers.....	144
2.3. Conception détaillée	145
3. Scénarios d'utilisation générique et maquette informatique.....	145
4. Perspectives : MULTI pour la conception détaillée de produits industriels.....	154

CHAPITRE 6 : Application à la conception fonctionnelle des systèmes de direction assistée automobile

1. L'organisation de PSA.....	155
1.1. L'organigramme	155
1.2. Le service CSDI.....	156
2. Les besoins exprimés par les concepteurs de systèmes de direction	157
3. Description du cas d'application.....	157
3.1. La technologie conçue	157
3.1.1. Composition	157

3.1.2.	fonction.....	158
3.2.	Le processus de conception cible	158
3.3.	Les acteurs.....	160
4.	Le référentiel métier (extrait) pour la conception des systèmes de direction.....	160
5.	Extension du cas d'étude à la conception détaillée du mécanisme de direction.....	176
6.	Autres extensions.....	178
Conclusions.....		179
Perspectives.....		181
Bibliographie.....		183

Table des Figures

Figure 1 :	Evolutions des facteurs économiques au cours d'un projet de développement (Bellut 90)	2
Figure 2 :	La réduction du temps de mise sur le marché du produit (Bourdichon 95)	2
Figure 3 :	Le schéma opérationnel de développement de produit (PSA 99)	3
Figure 4 :	Décomposition fonctionnelle et allocation aux organes des fonctions (PSA 99).....	8
Figure 5 :	Exemple de décomposition fonctionnelle (service) d'une automobile (Chambolle 99)	10
Figure 6 :	Cycle de vie d'un produit (Mony 92).....	11
Figure 7 :	Le cycle de développement de produit en V (PSA 99)	14
Figure 8 :	La conception créatrice	17
Figure 9 :	La conception routinière.....	18
Figure 10 :	L'iceberg de la connaissance (Vinck 97)	27
Figure 11 :	Le cycle de capitalisation des connaissances (Grunstein, 95).....	32
Figure 12 :	Les systèmes englobant et sous systèmes du système véhicule	38
Figure 13 :	La méthode réseau.....	41
Figure 14 :	Graphe APTE de l'environnement d'une tondeuse à gazon.....	42
Figure 15 :	Identification des fonctions à partir des séquences	42
Figure 16 :	Diagramme FAST d'une tondeuse à gazon.....	44
Figure 17 :	le chromosome (Andreasen 91).....	45
Figure 18 :	Le modèle physique de Vargas (Vargas, 95).....	47
Figure 19 :	Le modèle fonctionnel de Vargas (Vargas, 95).....	47
Figure 20 :	Le meta modèle produit (Moka 99).....	48
Figure 21 :	Méta modélisation du produit (Harani97)	49
Figure 22 :	Un modèle produit partagé (Chapa 97)	50
Figure 23 :	La représentation de la composition du produit (Chapa 97)	51
Figure 24 :	La représentation de la substitution (Chapa 97)	51
Figure 25 :	La représentation multi vue du produit (Chapa 97).....	51
Figure 26 :	Le modèle géométrique de Vargas (Vargas, 95).....	52
Figure 27 :	graphe fonctionnel d'un transformateur avec le formalisme SATT (Constant 96).....	53
Figure 28 :	Etat i d'un modèle de produit décrivant un système de perçage multibroche (Eynard 99)....	53
Figure 29 :	Schéma général de l'AP 203 (Féru 98)	54
Figure 30 :	Le processus de conception de la culasse.....	57
Figure 31 :	La propagation des contraintes de conception (Vargas 95).....	58
Figure 32 :	Méta modélisation du modèle de processus de conception (Harani 97)	59
Figure 33 :	Schématisation du processus de conception d'un moteur asynchrone (Harani 97).....	59
Figure 34 :	Méta modélisation globale et liens entre les deux modèles produit et processus (Harani 97)	60
Figure 35 :	La notion de session et d'état	61
Figure 36 :	Le formalisme GRAI pour la description des activités (Eynard 99)	61
Figure 37 :	Le processus de conception et les liens avec le produit (Eynard 99)	62
Figure 38 :	Le meta modèle processus de conception	63
Figure 39 :	Les fiches ICARE et leurs liaisons (Moka 99).....	63
Figure 40 :	Le microscope de MKSM.....	65
Figure 41 :	Le modèle d'activité de MKSM.....	66
Figure 42 :	Le modèle des concepts de MKSM.....	66
Figure 43 :	Le modèle des tâches de MKSM.....	67
Figure 44 :	Le modèle des phénomènes physiques.....	67
Figure 45 :	La conception fonctionnelle et le développement de produit.....	70
Figure 46 :	Un référentiel métier partagé à l'ensemble des acteurs de la conception.....	72
Figure 47 :	Les liens entre les paramètres et les articles ainsi que la nature des paramètres	75
Figure 48 :	Exemple pour une pompe hydraulique.....	75
Figure 49 :	Les liens entre les paramètres et les fonctions.....	76

Figure 50 : Exemple pour les systèmes de direction.....	76
Figure 51 : La décomposition des articles et les solutions techniques.....	77
Figure 52 : Exemple de solutions techniques (caractérisation et composition).....	78
Figure 53 : Les connecteurs de compatibilité d'assemblage des articles.....	78
Figure 54 : Les différents types de fonctions.....	79
Figure 55 : Le cycle de vie et les situations de vie d'un article.....	80
Figure 56 : Le triaxe des contraintes.....	81
Figure 57 : Origine des contraintes et cycle en V (système associé).....	82
Figure 58 : Exemple de fonction contrainte et de son origine / cycle de vie du produit.....	82
Figure 59 : Exemple de l'impact des situations de vie sur les fonctions d'usage de l'article.....	83
Figure 60 : Les solutions techniques et les situations de vie associée.....	83
Figure 61 : Les contraintes sur le produit à concevoir.....	84
Figure 62 : Les règles et les paramètres.....	84
Figure 63 : Les paramètres qui traduisent des exigences.....	85
Figure 64 : Les exigences sur le produit à concevoir en situation de vie.....	85
Figure 65 : La modularité systémique.....	86
Figure 66 : Les différents types de système.....	86
Figure 67 : Systèmes englobant et sous systèmes du système véhicule.....	87
Figure 68 : Les interfaces et les systèmes environnant et englobant.....	87
Figure 69 : La généralisation des contraintes d'environnement.....	88
Figure 70 : Des exemples de système associé (PSA 99).....	88
Figure 71 : Les interfaces et les systèmes associés.....	89
Figure 72 : Les connaissances associées aux classes du méta modèle.....	89
Figure 73 : L'instanciation différente d'un article sur plusieurs projet.....	91
Figure 74 : La classification en plates-formes des articles et des projets de conception.....	91
Figure 75 : Les instances de paramètre sur chaque projet.....	92
Figure 76 : Les instances projet différentes sur un même projet et sur des projets différents.....	93
Figure 77 : Les instances contraintes.....	93
Figure 78 : Les instances d'article.....	94
Figure 79 : Les instances de fonctions et leur pondération.....	94
Figure 80 : Le processus de conception et l'enchaînement de tâches.....	95
Figure 81 : L'enchaînement des tâches (exemple).....	96
Figure 82 : Les rôles et les tâches de conception.....	96
Figure 83 : Les différents types de tâches.....	97
Figure 84 : Les tâches de début et de fin du processus.....	97
Figure 85 : Les conditions d'exécution.....	98
Figure 86 : Exemple de conditions d'exécution et d'ordonnancement.....	99
Figure 87 : Les différentes routes possibles dans le processus (Levan 00).....	99
Figure 88 : Les types de contrainte sur la tâche.....	100
Figure 89 : Les règles sur une tâche.....	100
Figure 90 : Les ressources d'une tâche.....	101
Figure 91 : Le déroulement du processus de conception sur chaque projet.....	102
Figure 92 : Les instances de tâches.....	102
Figure 93 : Les instances de tâches.....	103
Figure 94 : Les types d'exigences sur la tâche.....	103
Figure 95 : Les acteurs sur un projet.....	104
Figure 96 : La coordination en conception et le workflow.....	104
Figure 97 : Les retours d'expériences.....	105
Figure 98 : Déroulement du processus de conception et instanciation progressive du produit.....	105
Figure 99 : Les liens entre le modèle produit et le modèle processus de conception.....	106
Figure 100 : Les paramètres d'entrée et de sortie des tâches (exemple).....	106
Figure 101 : Lien entre le produit et le processus par les solutions techniques.....	106

Figure 102 :	Lien entre le produit et le processus de conception par les contraintes produit	107
Figure 103 :	Lien entre le produit et le processus de conception par les règles produit	107
Figure 104 :	Le lien entre les instances tâche et les instances paramètre	108
Figure 105 :	La conception détaillée et le développement de produit (PSA 99)	109
Figure 106 :	La composition des entités géométriques.....	109
Figure 107 :	L'intégration et la validation des systèmes (PSA 99).....	111
Figure 108 :	Le cycle en V de développement du process (PSA 99).....	112
Figure 109 :	Les systèmes englobant et sous systèmes du système de fabrication (PSA 99).....	112
Figure 110 :	Le cycle de vie des connaissances.....	114
Figure 111 :	Les flux de connaissances autour du patrimoine.....	114
Figure 112 :	Le formalisme utilisé pour décrire les scénarios	115
Figure 113 :	La capture des connaissances assistée par ordinateur	120
Figure 114 :	Les niveaux de détail dans la description du processus de conception	121
Figure 115 :	Exemple de connaissances utiles pour le concepteur	122
Figure 116 :	La consultation des connaissances génériques du domaine et des connaissances projet ..	124
Figure 117 :	Le lancement d'un nouveau projet	125
Figure 118 :	Exemple de tâches et de leur enchaînement	126
Figure 119 :	Déroulement du processus de conception MODE 1.....	127
Figure 120 :	Tâche de définition envoyée dès le départ	128
Figure 121 :	Déroulement du processus de conception MODE 2.....	129
Figure 122 :	Définition non assistée d'un paramètre	131
Figure 123 :	Procédure de gestion des modifications	133
Figure 124 :	Capture, consultation et boucle de retour d'expérience	135
Figure 125 :	Les instances de processus	137
Figure 126 :	Les instances de processus	138
Figure 127 :	Les quatre niveaux de réutilisation des connaissances en conception (Thoben 99).....	139
Figure 128 :	La gestion des flux d'information actuellement.....	142
Figure 129 :	La gestion des flux d'information avec MULTI	142
Figure 130 :	L'architecture de MULTI.....	144
Figure 131 :	Page d'accueil de MULTI et son logo.....	145
Figure 132 :	Identification de l'utilisateur	146
Figure 133 :	Connexion à MULTI.....	146
Figure 134 :	Menu proposé à l'administrateur après connexion.....	147
Figure 135 :	Liste déroulante des processus de conception déjà implémentés	147
Figure 136 :	Menu proposé aux autres acteurs après connexion	148
Figure 137 :	Agenda de tâche d'un acteur	149
Figure 138 :	Ouverture d'une tâche de l'agenda.....	149
Figure 139 :	Ouverture des connaissances sur une tâche.....	150
Figure 140 :	Menu après le choix d'un processus, choix d'un projet	150
Figure 141 :	Menu après choix « visualiser les résultats d'un projet en cours »	151
Figure 142 :	Choix de visualisation des paramètres	151
Figure 143 :	Visualisation des informations sur un paramètre après avoir cliquer dessus	152
Figure 144 :	Liste des tâches et leur état.....	152
Figure 145 :	Connaissances horizontales sur une tâche.....	153
Figure 146 :	Rédaction automatique d'un compte rendu de projet.....	153
Figure 147 :	Le lien entre MULTI et le logiciel Knowledge Ware de Dassault Systèmes.....	154
Figure 148 :	L'organisation de PSA Peugeot Citroën.....	156
Figure 149 :	La situation de notre cas d'application par rapport au cycle en V	159
Figure 150 :	La conception fonctionnelle / dimensionnement des systèmes de direction	159
Figure 151 :	Le modèle géométrique du mécanisme de direction assistée automobile	177
Figure 152 :	La conception détaillée des mécanismes	177
Figure 153 :	La paramétrisation du modèle du mécanisme de direction et règles associées	178

Introduction

Contexte et problématique générale

Face à l'accroissement de la concurrence mondiale, les entreprises doivent proposer des produits de qualité irréprochable, à des prix toujours inférieurs, répondant parfaitement aux besoins des clients, innovants, attractifs, de plus en plus performants et dans des délais toujours plus courts. Outre ce contexte concurrentiel, les normes relatives à l'environnement, à la sécurité des personnes, au recyclage des produits deviennent de plus en plus contraignantes.

Pour rester compétitives, les entreprises concentrent leurs efforts sur la maîtrise de la qualité, des coûts et des délais de mise en vente sur le marché et de livraison du produit. Elles privilégient également l'innovation, tant du point de vue du produit que de son processus de réalisation. L'optimisation du processus de fabrication ayant atteint ses limites, les efforts d'optimisation se concentrent sur le processus de conception. Les entreprises évoluent, de plus en plus, vers les partenariats et l'entreprise étendue.

La conception est l'activité charnière des autres activités de l'entreprise. Les activités de l'entreprise ont pour objectif d'assurer toutes les phases du cycle de vie du produit. Ces dernières vont de l'expression des besoins clients jusqu'à la destruction du produit, en passant par la définition du produit, sa fabrication, son montage, sa vente et son usage. La phase d'usage du produit est bien sûr la plus importante car elle est réalisée par les clients qui ont acheté le produit. L'usage est, en partie, prévu en conception.

C'est également en conception de produit qu'une grande partie du coût total du produit est engagé (voir figure 1) et que le bon fonctionnement et la qualité du futur produit sont définis.

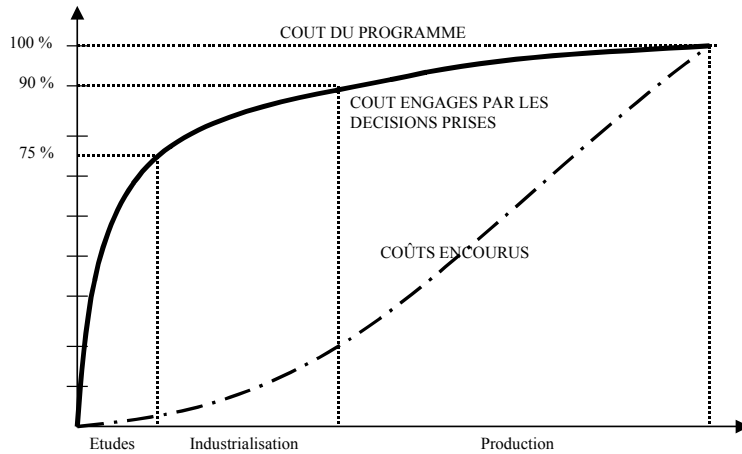
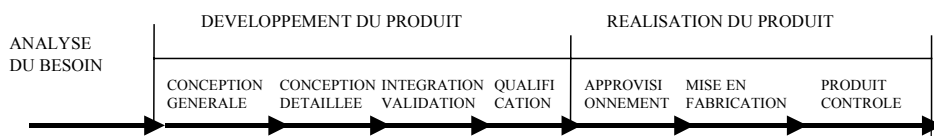


Figure 1 : Evolutions des facteurs économiques au cours d'un projet de développement (Bellut 90)

L'activité de conception est d'autant plus complexe que de nombreux acteurs et organisations y interviennent. Les acteurs concourent (échanges de contraintes physiques ou fonctionnelles, tâches réalisées par des acteurs différents, etc) au développement physique du produit, à son fonctionnement (réalisation des fonctions) ainsi qu'à l'optimisation de sa qualité et de ses performances à moindre coût. Pour répondre aux objectifs de réduction des délais de mise sur le marché, les entreprises mettent en œuvre des solutions de « conception produit process », « d'ingénierie simultanée » ou « d'ingénierie concourante ».

« L'ingénierie concourante » (Solhenius 92) ou « l'ingénierie simultanée » consiste au développement rapide du produit en exécutant en parallèle la conception du produit, la conception de son process de fabrication ainsi que les autres tâches industrielles relatives à la réalisation du produit ; toutes ces tâches étaient auparavant exécutées séquentiellement (voir figure 2).

DU SEQUENTIEL...



...VERS LE SIMULTANE

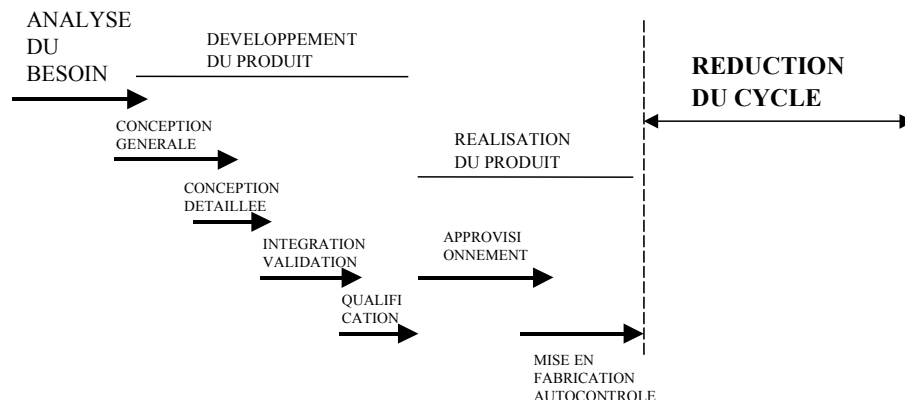


Figure 2 : La réduction du délai de mise en vente du produit sur le marché (Bourdichon 95)

Ces nouvelles méthodes de travail conduisent théoriquement à une mise sur le marché plus rapide du produit. Les entreprises automobiles appliquent les principes de l'ingénierie concurrente pour leurs projets automobiles. Cependant, actuellement, l'ingénierie concurrente n'a pas pris en compte l'évolution des technologies de l'information comme les technologies web qui permettraient de distribuer et de partager les informations (dont les données) techniques à tous les partenaires, distants ou pas, impliqués dans un projet. En effet, les informations sont, actuellement, essentiellement véhiculées par l'envoi de mail, de documents formalisés ou par intranet. Ceci ne facilite pas l'accès rapide à l'information pertinente et mise à jour. De plus, les organisations rencontrent des problèmes de prise en compte des modifications des paramètres de définition du produit puis de mise à jour de ces derniers qui sont impactés par la modification. A tous ces problèmes se rajoute le fait qu'un concepteur travaille sur plusieurs projets simultanément et se retrouve à gérer des versions multiples dans différents projets.

D'autres part, le système d'information actuel de l'entreprise se préoccupe encore peu des connaissances relatives au savoir-faire, à la traçabilité des choix de conception réalisés et aux expériences passées de l'entreprise. Or, ces connaissances, au même titre que les informations de type données techniques, nécessitent d'être stockées, partagées, distribuées, consultées, analysées, traitées, validées, mises à jour, versionnées puis « déclassées » quand elles sont devenues obsolètes. Ces connaissances concernent le produit et les tâches d'ingénierie. L'idéal serait que le concepteur, afin de réaliser ses tâches, dispose de la connaissance valide (opportune) au bon moment.

Les enjeux pour PSA Peugeot Citroën

Les enjeux de cette étude de thèse pour PSA sont de contribuer à l'objectif de développement (lancement de nouveaux véhicules sur le marché) en 104 semaines (voir figure 3, le schéma opérationnel de développement à réduire en 104 semaines).

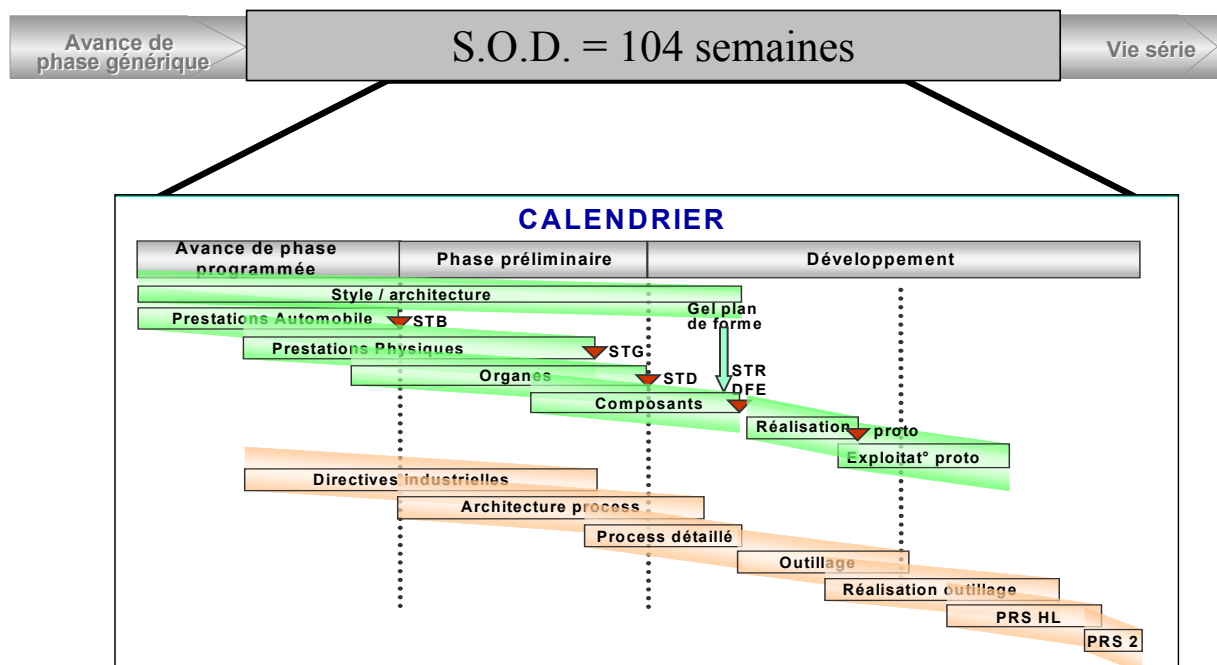


Figure 3 : Le schéma opérationnel de développement de produit (PSA 99)

Les délais de lancement d'un nouveau véhicule doivent être réduits tout en optimisant les coûts et en conservant la bonne qualité du produit dans un contexte d'ingénierie concurrente et d'entreprise

étendue. La nécessité de disposer de moyens de suivi de projet, d'affectation des ressources, de traçabilité, d'outils d'aide à la décision et d'échanges avec ses fournisseurs ou partenaires s'impose donc au groupe PSA.

Les contributions de l'étude

Les nouvelles technologies de l'information rendent aujourd'hui possible le réel partage d'un modèle produit ainsi que celui du modèle du processus de conception. Le type de conception plus particulièrement visé dans l'étude est la « conception routinière de produits ». Dans ce type de conception, les concepts technologiques existent déjà et sont bien connus des concepteurs qui n'ont plus qu'à les dimensionner et à les intégrer dans un nouvel environnement. L'objectif est que les technologies choisies réalisent les performances requises par les clients tout en respectant les contraintes de l'environnement.

L'étude propose un **meta modèle** qui permet de formaliser les connaissances, informations et données relatives à toute conception de produits (conception fonctionnelle et conception détaillée) afin de constituer le référentiel métier de l'entreprise. Il est composé de deux sous meta modèles. Le premier formalise les données, informations et connaissances génériques sur le produit comme sa structure, ses fonctions, ses contraintes et ses situations de vie. Le second formalise les données, informations et connaissances génériques sur le processus de conception du produit et ses tâches, l'enchaînement de celles-ci (workflow) ainsi que les flux d'information et de données entre acteurs. Ces deux sous meta modèles sont liés par les paramètres du produit.

Le meta modèle décrit plusieurs niveaux de données, informations et connaissances. Le meta modèle ou **modèle générique** permet de décrire le niveau générique de la conception en décrivant les données, informations et connaissances génériques de toute conception fonctionnelle de produits (on parle ici de tâches, paramètres, fonctions...). Il peut être instancié :

- En un **modèle du domaine** décrivant les données, informations et connaissances propres à un domaine particulier (on parle alors, pour la conception des systèmes de direction, de fonction « assistance », de paramètre « débit de pompe », etc)

Et après une instanciation de ce dernier :

- En un **modèle projet** permettant de décrire les données, informations et connaissances du niveau projet (on parle alors de pression de la pompe de direction assistée de « x » bars sur le projet Peugeot 307 HDI). Le modèle projet permet la capture des résultats (paramètres du produit) sur un projet donné ainsi que l'historique du déroulement du projet (date de début et de fin d'une tâche, nombre de fois qu'une tâche a été exécutée, modifications en cours de projet et raisons de celles-ci, expériences acquise au cours du projet, etc).

Le meta modèle permet, entre autre, de formaliser le produit avec ses fonctions ainsi que les différentes situations de vie que celui-ci rencontre. La meta modèle permet alors de capturer les connaissances concernant la vie du produit ainsi que de garder une traçabilité des contraintes rencontrées en conception et des choix effectués en conséquence. Ces concepts seront tout particulièrement développés dans l'étude de part leur importance dans la conception de produit.

L'étude a conduit au développement d'un outil informatique de type intranet appelé «MULTI». Le meta modèle y est implémenté afin de permettre son «remplissage» avec des connaissances, informations et données d'un domaine particulier (par exemple : la conception des systèmes de direction dans notre cas d'application). Une fois le meta modèle instancié, il est appelé le **modèle du domaine**. Le prototype informatique permet sa consultation, son enrichissement et sa mise à jour.

L'outil MULTI permet également l'instanciation, par les acteurs appropriés, d'un modèle du domaine sur chaque projet de conception routinière (par exemple Peugeot 306 S16). Par exemple, la valeur de « x » centimètres carrés pourra être attribuée à la section de vérin sur le projet Peugeot 306 S16. MULTI archive les instances du **modèle du projet** de chaque projet de conception en cours ou terminés tout en facilitant leur consultation. MULTI permet également, de « dérouler » un modèle du processus de conception sur un nouveau projet ; il distribue alors les tâches aux concepteurs avec toutes leurs informations et données instanciées et leurs connaissances métiers utiles à leur réalisation. Les concepteurs peuvent alors réaliser leurs tâches puis, à leur tour, mettre à contribution des autres acteurs leurs résultats. Le déroulement du processus de conception peut alors se poursuivre et les autres acteurs peuvent intervenir.

MULTI propose également une fonctionnalité de gestion de projet (suivi de projet...) très utile (dans un contexte multi projets) pour la construction d'une mémoire projet. Des préconisations pour gérer ce référentiel métier (recueil de tous les éléments du référentiel métier, les réutiliser puis les maintenir) sont données dans l'étude. Un cas d'application a été expérimenté chez PSA Peugeot Citroën et permet d'illustrer les concepts. Il s'agit du dimensionnement fonctionnel des systèmes de direction automobile.

Le plan de lecture

- Le premier chapitre de ce document détaille l'activité de conception (fonctionnelle et détaillée) de nos jours puis les problèmes qui y sont rencontrés. Ce chapitre pose la problématique de l'étude. Il décrit les méthodes de travail actuelles tout en mettant l'accent sur leur caractère multi acteurs. Ce chapitre présente, en quoi, la conception routinière, est le type de conception où les progrès et les gains associés escomptés sont les plus importants.
- Le chapitre 2 vise à donner l'état de l'art sur les méthodes et outils existants pouvant permettre de résoudre la problématique de l'étude. Il décrira les méthodes et modèles pour formaliser les données, informations et connaissances sur un produit et son processus de conception. Il décrit les méthodes d'analyse fonctionnelle et d'ingénierie système. Le chapitre se termine par une analyse des manques de l'état de l'art par rapport à la problématique.
- Le chapitre 3 expose et définit le meta modèle qui permet de construire un référentiel métier de l'entreprise. Ce référentiel métier rassemble et structure les données, informations et connaissances dont les acteurs de la conception ont besoin pour concevoir le produit. Ce référentiel permet aux concepteurs, dans un contexte de conception multi acteurs distante, de connaître la définition du produit ainsi que les contraintes à prendre en compte, au fur et à mesure de l'avancement d'un projet de conception. Le référentiel permet également aux concepteurs de pouvoir visualiser rapidement le processus de conception du produit ainsi que les différents flux d'information associée.
- Le chapitre 4 aborde le problème de la gestion du référentiel métier. Il y est expliqué comment les connaissances, informations et données encapsulées dans le meta modèle (présenté dans le chapitre trois), peuvent être capturées, utilisées et enrichies par les concepteurs. Une méthode de recueil des connaissances est proposée pour élaborer les modèles du domaine à partir du méta modèle.
- Le chapitre 5 permet de présenter l'outil informatique qui orchestre les modèles et dans lequel ils sont implémentés. Les spécifications fonctionnelles de l'outil sont présentées ainsi que des scénarios d'utilisation de celui-ci.
- La chapitre 6 permet d'illustrer une partie des concepts avec un cas d'application support qui est le dimensionnement fonctionnel des systèmes de direction.

Finalement le rapport se termine par des préconisations organisationnelles pour permettre l'utilisation de MULTI et des perspectives scientifiques pouvant être envisagées à la suite de l'étude.

Chapitre 1

Contexte et problématique

L'objectif de ce chapitre est de décrire la conception du produit telle qu'elle est perçue dans l'entreprise et dans la bibliographie. Un bilan est fait des améliorations à apporter aux pratiques de conception actuelles. Ce bilan permet d'en déduire les axes de recherches pour l'étude. Les informations et connaissances qui peuvent caractériser un produit et son processus de conception « véhiculant » celles-ci, sont détaillées. Le processus de conception est l'ensemble des tâches qui permettent de « transformer » des exigences clients en un produit réalisé et validé. L'accent est mis sur le caractère multi acteurs du processus de conception. Les différentes formes de coopération et de coordination entre acteurs sont analysées afin d'identifier les flux d'information associés. Ce chapitre donne les problématiques de l'étude ainsi que les axes de recherche associés sur lesquels a été bâti la contribution de l'étude.

1. Les différents points de vue sur le produit à concevoir

L'AFNOR (AFNOR 90) pose la définition suivante du produit : « ce qui est (ou sera) fourni à un utilisateur pour répondre à son besoin ». Comme le montre la figure 4 suivante, le produit peut être caractérisé par des besoins, des exigences techniques, des fonctions et des constituants.

Le produit peut être caractérisé par ses exigences techniques découlant des besoins clients, par ses fonctions de service à réaliser (et fonctions techniques associées) pour accomplir ses fonctions de services (déclinées des besoins clients) et par des contraintes à respecter (norme de pollution, etc). Le produit est défini par des grandeurs fonctionnelles (débit, pression, temps, vitesse, couple...) et géométriques (diamètre, longueur...) qui lui permettent de réaliser les fonctions de service selon les exigences requises par les clients potentiels (marketing). Lors de la définition du produit, le concepteur devra prendre en compte un certain nombre de contraintes qui limiteront et aiguilleront ses choix. La figure 4 suivante synthétise cette déclinaison, décrite précédemment, des besoins clients en exigences techniques, fonctions puis en une définition détaillée du produit..

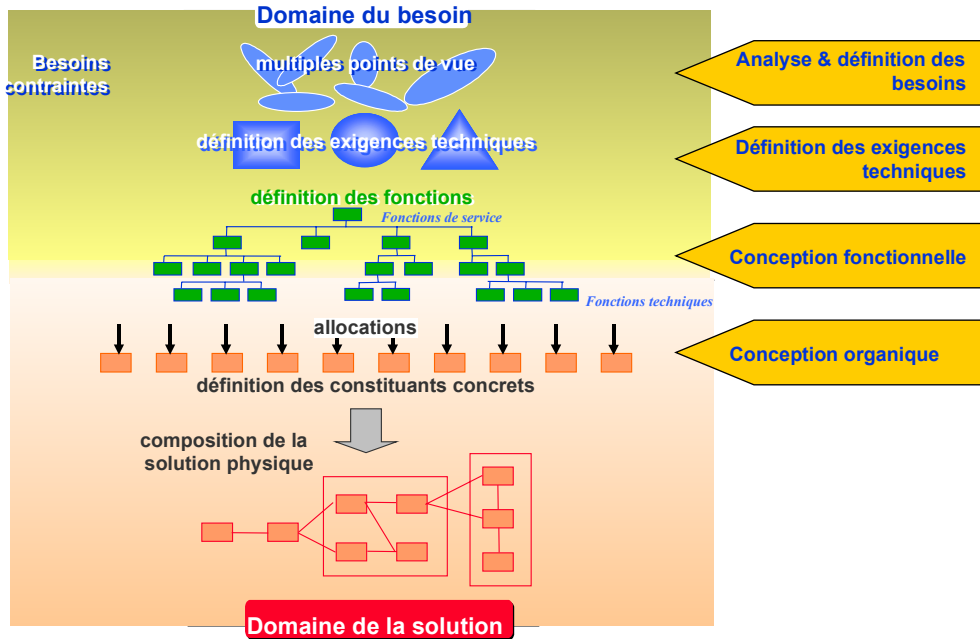


Figure 4 : Décomposition fonctionnelle et allocation aux organes des fonctions (PSA 99)

La figure précédente schématise également le fait que les fonctions du système peuvent se décomposer en sous-fonctions. En effet les fonctions de service se décomposent en sous-fonctions de service qui elles même se décomposent en fonctions techniques et sous-fonctions techniques. Les fonctions sont réalisées par des solutions techniques. Le concepteur fait en sorte que les paramètres associés à ces solutions techniques leur permettent bien d'atteindre les performances associées à leur(s) fonction(s) et découlant des besoins clients, d'où l'allocation des fonctions à la solution physique.

Dans la suite du chapitre, chaque partie de la figure 4 est détaillée.

1.1. Le besoin

Le besoin (AFNOR 91) est la nécessité ou le désir éprouvé par un utilisateur. Le besoin peut être exprimé ou implicite, avoué ou inavoué, latent ou potentiel.

1.2. Les exigences techniques

Les exigences techniques sont la traduction des besoins clients en exigences techniques que le produit devra satisfaire afin de répondre au besoin.

1.3. Les fonctions du produit

Pour que le produit satisfasse les exigences, il doit réaliser des fonctions. Ces fonctions se décomposent en fonction de service « visibles » par le client et en fonctions techniques (AFNOR 90). Les fonctions de service sont réalisées par des fonctions techniques. Les fonctions contraintes sont également identifiées. Ces dernières concernent les fonctions que le produit doit avoir pour suivre les phases de son cycle de vie telles que sa fabrication, son montage, etc. Les fonctions contraintes conditionnent la conception du produit en contraignant la réalisation des fonctions d'usage.

Les fonctions sont (AFNOR 91) des actions, d'un produit ou de l'un de ses constituants, exprimées exclusivement en terme de finalité.

⇒ Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments

1.3.1. Les fonctions de service

Les fonctions de service sont (AFNOR 91) les actions attendues d'un produit (ou réalisées par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné. La figure 5 donne un exemple des fonctions d'une automobile.

- Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin. Dans une étude donnée, leur énumération et leur formulation qualitative et quantitative résultent de l'analyse du besoin à satisfaire et le décrivent d'une manière nécessaire et suffisante.
- Les fonctions de service comprennent les fonctions d'usage et les fonctions d'estime. Les fonctions d'usage traduisent la partie rationnelle du besoin, les fonctions d'estime sa partie subjective (par exemple l'esthétique).
- On peut distinguer dans les fonctions de service :
 - Les fonctions qui correspondent aux services rendus par le produit pour répondre aux besoins de l'utilisateur
 - Les fonctions qui traduisent les réactions, des résistances ou des adaptations à des éléments du milieu extérieur.

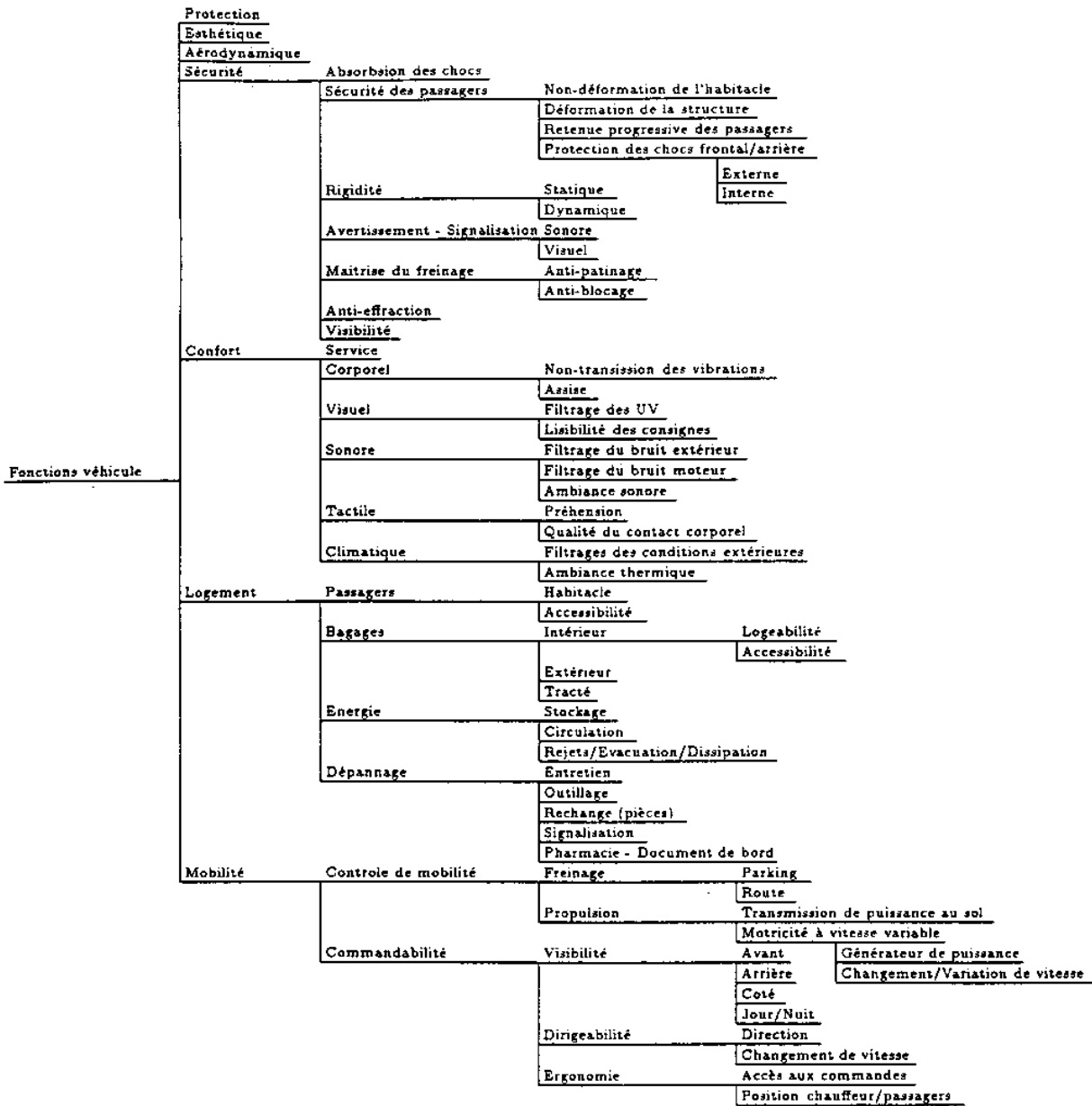


Figure 5 : Exemple de décomposition fonctionnelle (service) d'une automobile (Chambolle 99)

1.3.2. Les fonctions techniques

Les fonctions techniques sont (AFNOR 91) des actions internes au produit (entre ses constituants), choisies par le concepteur réalisateur, dans le cadre d'une solution, pour assurer des fonctions de service.

- Une fonction technique répond à un besoin technique du concepteur réalisateur et peut être ignorée de l'utilisateur final du produit ; c'est en définissant une solution d'ensemble que le concepteur-réalisateur définit les fonctions techniques.
- Les fonctions techniques d'un constituant entrant dans la composition d'un produit ou système complexe peuvent être les fonctions de service de ce constituant pour son propre concepteur réalisateur.

1.3.3. Les fonctions contraintes

Les fonctions contraintes sont les fonctions du produit intrinsèques à son cycle de vie à l'exception de la phase d'usage. Ces fonctions ne sont pas visibles par le client et ne découlent pas non plus des fonctions de service. Ces fonctions doivent être considérées en conception. La figure 6 illustre les principales grandes étapes du cycle de vie du produit selon Mony (Mony 92). On y trouve les fonctions fabrication, montage, recyclage, manipulation par les opérateurs pour des opérations contrôle par exemple, contrôle, test, etc. Ces fonctions engendrent des contraintes sur la conception (les contraintes qui en découlent sont décrit au paragraphe 1.7).

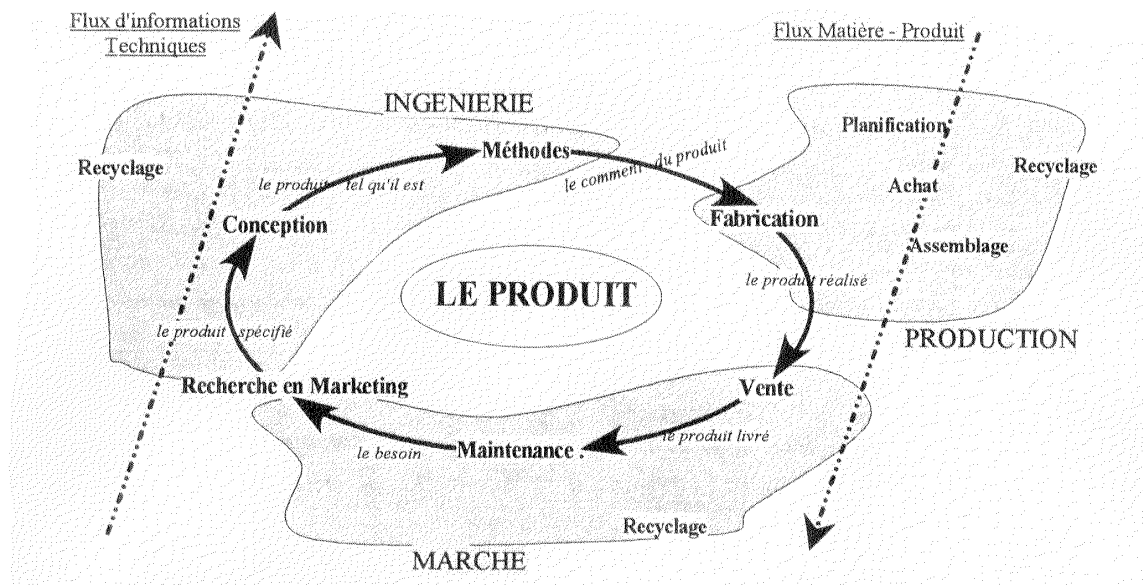


Figure 6 : Cycle de vie d'un produit (Mony 92)

1.4. Les solutions techniques et les constituants

1.4.1. Les voies technologiques, les solutions techniques et leurs constituants

Pour réaliser les fonctions du produit, avec les performances requises, le concepteur doit choisir les bonnes voies technologiques (solutions techniques) au regard de toutes les exigences et contraintes qui doivent. Il doit dimensionner les composants de ces solutions. Le produit est obtenu par assemblage de ces composants. Alors, il est possible de savoir quels organes participent à quelles fonctions et vice versa. La relation entre les décompositions fonctionnelle et organique a été vue précédemment sur la figure 4.

1.4.2. La diversité

La diversité d'un produit est relative au nombre de variantes de celui-ci qui seront mises sur le marché. Un produit est nécessairement décliné en plusieurs variantes visant à capter un marché aussi large que possible. La diversité est très difficile à gérer pour les véhicules car ils possèdent des centaines de variantes différentes dues aux types de motorisation, options, couleurs, garnissage et finitions différentes (Chambolle 99). Cette diversité est également très difficile à gérer pour atteindre les performances optimales du produit en considérant toutes les variantes possibles. Les concepteurs ne peuvent pas faire du cas par cas qui est très complexe et trop coûteux à réaliser. Pour cela les choix de conception et les dimensionnements qu'ils font, prennent en compte les options qui sont les plus contraignantes, ainsi ils s'assurent que, quelle que soit l'option mise sur le véhicule, leurs choix restent corrects et que les performances requises sont atteintes. Les entreprises conçoivent donc avec le souci d'augmentation du nombre de produits similaires et donc de réduction des coûts d'achat.

Pour réaliser une fonction, un même produit peut proposer des solutions techniques différentes plus ou moins efficaces avec un coût différent. Pour adapter le produit au budget des consommateurs, une entreprise peut donc décider de mettre en vente des produits en proposant un surcoût pour ses options. Ainsi les consommateurs pourront commander des options ou alors se contenter de l'équipement de série.

La diversité peut également concerner des fonctions supplémentaires qu'un produit peut avoir, par exemple la fonction aération de l'habitacle concernant le pavillon (toit) de la voiture avec le choix de l'option « toit ouvrant ».

1.5. L'allocation fonctionnelle aux organes

Les fonctions d'un système sont « distribuées » sur un ensemble d'organes. Chaque fonction a des performances ou exigences à atteindre. Ce qui veut dire que les organes sur lesquels la fonction est distribuée participent à sa réalisation. Un même organe peut réaliser plusieurs fonctions. On retrouve, ici, la notion de QFD (Quality Functional Deployment). Il est également intéressant de connaître les paramètres des organes qui réalisent les fonctions et vice versa

Une fonction de service est associée à une performance à atteindre qui est affectée au système (qui peuvent être appelés des « organes » chez PSA Peugeot Citroën) chargé de réaliser cette fonction. Selon la décomposition du système en sous-systèmes et composants, l'exigence sur le système se décline en exigences techniques induites sur chacun des sous systèmes et ses composants.

1.6. La définition géométrique du produit

Une fois le produit conçu fonctionnellement, il est défini géométriquement et ses matériaux sont choisis par le concepteur. Ces opérations sont réalisées lors de la conception détaillée. Elle vise prendre en compte les choix, faits en amont, découlant de la conception des fonctions de service et elle consiste à concevoir les fonctions techniques du produit. Un produit peut être décomposé en éléments géométriques élémentaires ayant ses propres dimensions. Ces dimensions devront alors être définies pour permettre la réalisation des fonctions du produit en respectant les contraintes (contraintes d'encombrement, interfaces physiques, etc). La modélisation géométrique du produit est maintenant supportée par les logiciels de modélisation géométrique et de C.A.O. (Conception assistée par Ordinateur). Auparavant cette modélisation géométrique était faite sur des planches à dessin.

1.7. Les contraintes et les interfaces

Une contrainte est (AFNOR 91) une limitation de la liberté de choix du concepteur réalisateur d'un produit.

Les contraintes suivantes peuvent être distinguées :

- ◆ Contraintes de fabrication, de réalisation, de montage...
- ◆ Exigences de logistique : emballage, transport, manutention, stockage, déstockage...
- ◆ Contraintes de maintenance : périodicité, durée, infrastructure nécessaire, outillage, rechanges,...
- ◆ Contraintes de vente : solutions techniques imposées au système et réclamées par le marché,...
- ◆ Contraintes de retrait : recyclage, réassignation, rebut...
- ◆ Exigences et contraintes physiques d'environnement : ambiance thermique, climatique, chimique, électromagnétique,...
- ◆ Exigences de respect de l'environnement,
- ◆ Exigences de respect des règlements, des lois et normes nationales et internationales,
- ◆ Contraintes de conception : coûts, délais, etc
- ◆ Propriété industrielle,

◆ Etc.

Elles dépendent du lieu et évoluent au cours du temps : il y a lieu d'identifier les contraintes qui n'ont pas ou plus cours, et de s'en libérer.

1.7.1. Interfaces, contraintes physiques et encombrement

Les interfaces physiques sont les parties physiques des organes qui sont en contact physique avec un organe environnant que le concepteur conçoit. Un organe peut avoir une ou plusieurs interfaces physiques. Si la surface de l'une des interfaces d'un organe est modifiée alors, cet organe doit lui aussi être modifié. Ainsi un organe est contraint en terme de déplacement, d'agrandissement, de position et d'orientation de ses surfaces par ses interfaces.

1.7.2. Les contraintes de réutilisation et les plates-formes

La politique des plates-formes véhicule de PSA Peugeot Citroën vise à réutiliser 70% des organes entre des véhicules d'une même plate-forme et ainsi réduire les coûts et délais de développement. La politique « transplate-forme » vise à réutiliser 30% des organes d'un véhicule d'une plate-forme à une autre. PSA dispose de trois plates-formes véhicule pour les véhicules bas, moyen et haut de gamme. Les équipes projets doivent donc veiller à ce que les objectifs en terme de réutilisation soient respectés. La plate-forme est à la fois un constituant physique et organisationnel. Les concepteurs doivent uniformiser leurs choix de conception d'un projet à un autre. Ainsi l'organisation en plate-forme impose des contraintes fortes au concepteur.

1.7.3. Les autres contraintes de conception

L'étape de conception est également fortement contrainte par les coûts (la « fonction achat » des entreprises est de plus en plus présente dès la conception du produit), par la faisabilité, par les délais, les différentes normes en vigueur (recyclage, pollution...), par les objectifs de réutilisation du process de fabrication et de montage d'un produit à un autre, etc. Pour que le produit soit rentable, il faut minimiser les coûts des choix de conception tout en assurant au produit, la qualité et des performances optimales. De plus en plus de précautions sont aussi prises, dans la conception appelée « green design », pour que le respect de l'environnement. Ce dernier est devenu un facteur de compétitivité primordiale dans les entreprises.

1.8. Les transformations et les configurations du produit

La configuration du produit correspond à sa structuration physique à un instant donné. Un produit peut avoir plusieurs configurations possibles au cours de son cycle de vie. Celles-ci sont soit des nouvelles configurations qui sont dues à des modifications sur le produit (afin que celui-ci soit de meilleure qualité ou plus performant), soit des variantes supplémentaires permettant de satisfaire des besoins particuliers de clients. Les configurations ont des états d'avancement différents : il y a des configurations en cours d'étude et d'autres dont il a été décidé leur lancement en production et donc le remplacement des anciennes. Les configurations des produits qui ont été vendus doivent de toute manière être gérées jusqu'à la destruction de ces produits à des fins de maintenance.

2. Le processus de conception

L'AFNOR pose la définition suivante de la conception : « conception : activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable ». Les besoins proviennent du client ou du marketing.

2.1. Les différentes étapes cognitives de la conception

Pahl et Betz (Pahl 96) proposent un ensemble exhaustif de tâches génériques de conception. Dans la présente étude, seules les étapes suivantes de la conception (AFNOR 91) sont considérées :

- Identification des besoins
- Formalisation et spécification du problème par rapport aux besoins (analyse fonctionnelle)
- Conception préliminaire
 - ⇒ Réalisation des choix de principes technologiques envisageables et étude de leur faisabilité
 - ⇒ Etude fonctionnelle pour répondre aux besoins (choix des composants et dimensionnement fonctionnel) et choix d'un principe technologique
- Conception détaillée (choix des solutions techniques - composants - et dimensionnement géométrique)
- Vérification des résultats et validation des résultats (fabrication d'un prototype, test grandeur nature pour vérifier les performances requises)

Ces étapes se retrouvent dans le cycle de développement en V issu de l'ingénierie système (PSA 99) comme le montre la figure 7.

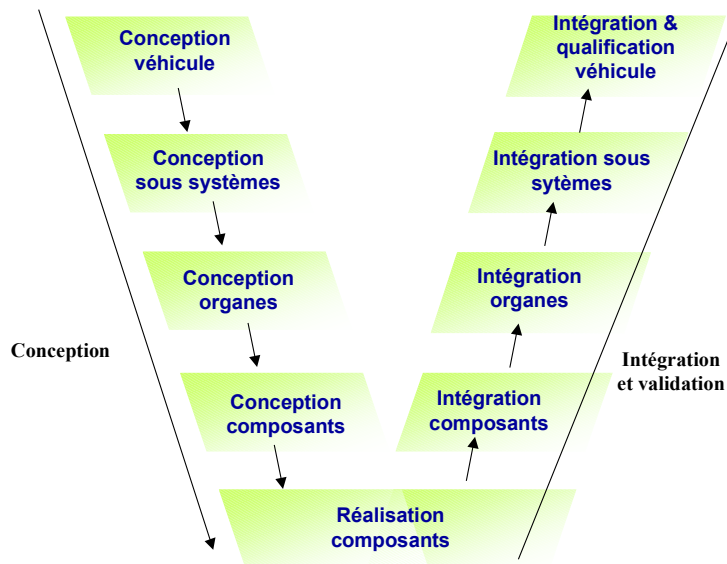


Figure 7 : Le cycle de développement de produit en V (PSA 99)

L'ingénierie système, est de plus en plus employée par les concepteurs de produit, notamment chez PSA Peugeot Citroën. Cette méthodologie propose une conception par strates, une intégration par strates et une validation associée. La validation des spécifications de niveaux système, sous-systèmes, voire constituants, nécessite de récupérer et d'intégrer les informations produites par des acteurs différents afin de vérifier de manière anticipée si l'ensemble est conforme au résultat attendu. Ce type de validation, très en amont, a pour but d'augmenter la qualité des études tout en diminuant les coûts par réduction du risque de découvertes d'erreurs à posteriori.

2.2. Identification des besoins, formalisation et spécification

Cette étape consiste à définir les besoins des futurs clients ciblés par l'étude marketing. Il s'agit de les clarifier et de les spécifier pour qu'ils soient compréhensibles par l'ensemble des concepteurs concernés. Ces besoins s'expriment en terme de performances objectives ou par des critères plus subjectifs tels que les critères de style. Ces besoins sont les résultats attendus du produit après conception et fabrication.

2.3. Conception préliminaire

2.3.1. Etudes des choix technologiques envisageables et étude de leur faisabilité

Dans cette étape, tous les principes physiques envisageables sont passés en revue. Le choix d'un ou plusieurs principes physiques envisageables dépendent du savoir-faire des concepteurs et des préconisations faites dans le cahier des charges. Le concepteur étudie les principes physiques pouvant garantir au produit le meilleur fonctionnement et la meilleure qualité pour un coût optimum.

Cette étape a pour résultat :

- La description du besoin utilisateur, en terme de fonctions, de finalités des actions du système sans tenir compte des solutions susceptibles de les réaliser ;
- La description des choix technologiques possibles ou imposés au concepteur ;
- L'expression de chaque fonction en terme d'objectifs et de pérennité ;
- La description du système en fonction de base (actions du produit pour répondre au besoin utilisateur) et fonctions techniques ou de conception (solution pour assurer une fonction de base) ;
- L'optimisation du produit en terme de coût et de fiabilité

Le concepteur peut être amené à créer et concevoir sa propre solution si elle n'existe pas sur le marché ou pour être plus innovant que les concurrents.

2.3.2. Dimensionnement et intégration des principes technologiques retenus

Cette étape consiste à dimensionner le produit afin qu'il réalise les performances du cahier des charges. Il s'agit également de prendre en compte les contraintes, fonctionnelles et physiques, d'intégration (interfaces fonctionnelles et physiques). Le principe physique (par exemple la direction d'un véhicule), le plus performant, le plus fiable, le moins coûteux et permettant des délais de production réduits, est retenu. Le concepteur, lorsqu'il doit réaliser une fonction avec des performances bien déterminées, envisage d'abord toutes les solutions existantes. Il va écarter des possibilités en fonctions du contexte du projet, des coûts qui lui sont imposés, etc. Une fois les choix effectués, il va prendre chaque solution et essayer de la détailler et de la dimensionner pour que celle-ci réponde à l'objectif en terme de performance. Ensuite, il peut choisir la solution la plus performante, la moins chère, etc, puis la détailler géométriquement.

On parle, à ce niveau là, de fonctionnement global et de fonction globale (fonction de service). Le fonctionnement global du produit est décomposé en fonctions principales (par exemple pour la conduite d'un véhicule, la fonction direction). Chaque fonction principale est associée à un objectif de performance. Le concepteur regarde quelle est la solution physique qui peut réaliser la fonction avec son objectif associé.

2.4. Conception détaillée

C'est lors de cette phase que le concepteur choisit les composants du produit (joints, roulement...) et définit géométriquement le produit pour que son fonctionnement local (fonction technique) soit satisfait (fonction locale d'étanchéité, guidage...) et que sa fabrication ultérieure soit réalisable. La conception détaillée est fortement dépendante de la conception fonctionnelle car les éléments dimensionnés en conception fonctionnelle doivent être impérativement conservés en conception détaillée.

Charman (Charman 95) propose la classification suivante des problématiques rencontrées pendant la phase de conception détaillée :

➤ **Modeler**

Il s'agit de concevoir un seul objet qui est modelable. Les contraintes vont le déformer au cours de la conception. Les variables sont la dimension et la forme de l'objet.

Exemple : le travail du potier

➤ **Assembler**

Les objets sont de forme et de dimension fixées. Le concepteur définit des contraintes entre les objets. Les variables sont les positions et les orientations des objets.

Exemple : le jeu du Mécano

➤ **Construire**

C'est une combinaison de deux types précédents

Exemple : la conception mécanique en CAO

⇒ La conception de cabines d'avions

⇒ La conception des usines chimiques

➤ **Partitionner**

L'espace est de forme et de dimension fixes. Il faut trouver les positions, les orientations, les formes et les dimensions des objets, pour qu'il recouvre complètement l'espace, en respectant les contraintes du concepteur

Exemple : l'élaboration des plans de locaux en architecture, montage de cuisine aménagée

➤ **Placer**

Il s'agit de trouver les positions et orientations de chaque objet dans un espace de forme et de dimensions fixées. Les formes et les dimensions des objets peuvent être variables.

Exemple : l'agencement des locaux

➤ **Découper**

Activité de placement des objets en minimisant les pertes dans un espace de forme et de dimension fixées.

Exemple : la découpe de matériaux (tissus...)

➤ **Placer et router**

Les objets sont connectés entre eux. Il faut trouver le meilleur placement de ces objets pour optimiser une fonction représentant la qualité de la solution.

Exemple : les cartes électroniques

2.5. Intégration des composants

Lorsque les composants sont fabriqués, il s'agit de les assembler et de composer les sous systèmes puis d'assembler ces sous-systèmes pour composer le système. Ensuite, il sera question d'intégrer ce système dans son environnement. Par exemple, il faudra intégrer le système de direction automobile dans le véhicule.

2.6. Vérification et validation des résultats

Cette étape est celle qui permet de vérifier si le produit conçu répond bien aux objectifs du cahier des charges. Les performances de ce produit sont mesurées et validées. Pour faire cette vérification. Le concepteur a recours, si besoin, à un prototype physique que l'on a pris soin de fabriquer et que l'on teste sur banc d'essais. Le prototypage physique est une pratique qui tend à disparaître car il est très coûteux et la fabrication du prototype est longue. Le concepteur a de plus en plus recours au maquettage numérique et à la simulation numérique. Si les tests ne s'avèrent pas bons, il est nécessaire de revoir la conception.

3. Typologie des activités de conception

L'activité des bureaux d'étude gravite autour de quatre activités principales (Chandrazekaran 90). Ces activités sont la conception créative, la conception innovatrice, la re-conception et la conception routinière.

3.1. La conception créative

Dans ce type de conception, il n'existe pas de solution à priori et la décomposition du problème n'est pas connue au départ (figure 8). Il s'agit de créer entièrement un nouveau concept de produit (sa structure et ses fonctions) à partir d'un objectif (par exemple concevoir entièrement un nouveau concept comme le véhicule hybride).

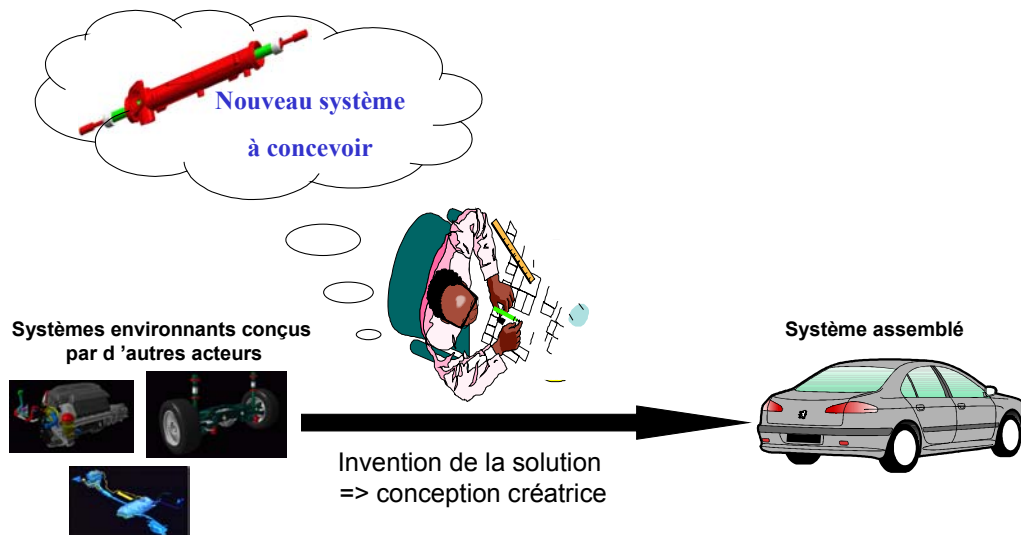


Figure 8 : La conception créatrice

3.2. La conception innovatrice

Dans cette conception, la décomposition du problème est connue au départ, il s'agit alors de définir de nouvelles solutions alternatives pour chacun des sous problèmes (par exemple intégrer le « steer by wire » dans les véhicules pour assurer la fonction dirigeabilité de celui-ci). Cette activité est souvent réalisée dans des services de recherche avancée dont la mission est d'étudier les nouvelles technologies du marché afin de les maîtriser pour pouvoir les déployer et les industrialiser dans leur entreprise.

3.3. La re-conception

La re-conception, quant à elle, réutilise les idées des concepts déjà établis mais en modifiant leur structure et géométrie (soit le modèle produit) pour satisfaire un nouveau cahier des charges ou de nouvelles contraintes. Il s'agit, ici, de modifier un produit existant en choisissant de nouvelles alternatives de conception. Il ne s'agit pas d'innovation en tant que telle, il s'agit davantage de modifications mineures sur le produit comme par exemple la modification d'un rayon de raccordement...

3.4. La conception routinière

La structure et les fonctions du produit sont connues au départ (figure 9). Il s'agit, ici, de choisir parmi plusieurs concepts établis « sur étagères » puis de paramétrer (dimensionnement) celui retenu afin qu'il « réponde » à de nouvelles prestations objectives de départ et à de nouvelles contraintes (par exemple, pour chaque véhicule, le concepteur doit dimensionner le système de direction - concepts établis - afin que celui-ci « réponde » aux prestations objectives du cahier des charges).

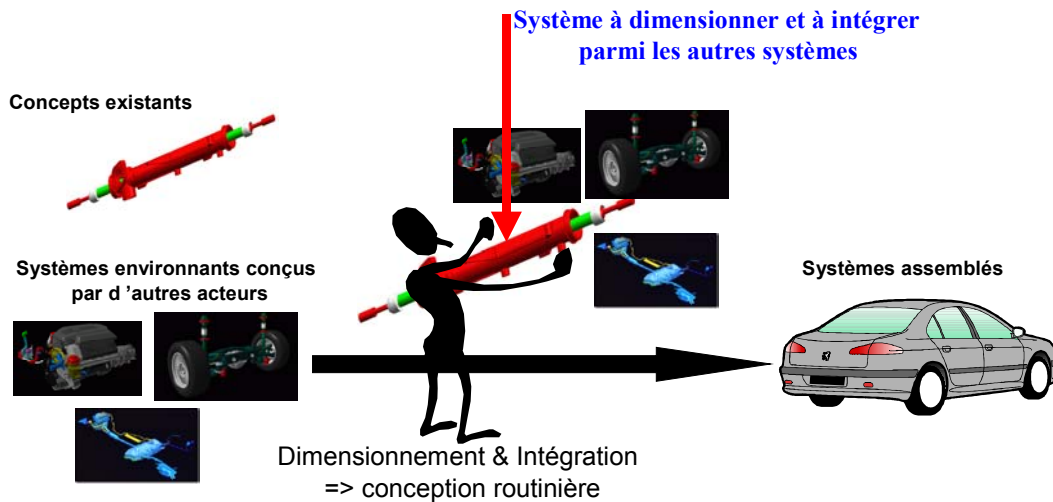


Figure 9 : La conception routinière

4. Le périmètre de l'étude

4.1. Choix du périmètre

La complexité des processus cognitifs que les acteurs déploient lors de leurs activités de conception innovatrice, de conception créative ou de re-conception rend leurs formalisations difficiles, et donc leurs réutilisations également (Blanco 99). Seuls les processus conception routinière, mettant en oeuvre des concepts technologiques déjà créés auparavant, peuvent assez facilement être modélisés et donc réutilisés ultérieurement. C'est donc en conception routinière que le retour sur investissement et que les gains de temps escomptés sont les plus importants. L'intérêt de modéliser un processus de conception routinière est de pouvoir assister le concepteur dans cette dernière en lui mettant en place des modèles, méthodes et des outils informatiques. **La présente étude s'intéresse donc particulièrement à la conception routinière.** Dans un contexte de réutilisation, de plate-forme et de réduction des temps de développement, la conception routinière a un bel avenir devant elle dans l'automobile, même si l'innovation reste le fer de lance des entreprises. Dans l'automobile, par exemple, les processus d'intégration et de dimensionnement des technologies innovantes, devraient alors être modélisés dès leur début. Ceci permettrait la réutilisation et le déploiement rapides de ces dernières dans d'autres véhicules. Le processus d'intégration et de dimensionnement deviendra alors routinier. L'étude propose cependant des concepts qui pourront être utiles pour tous les types de conception.

4.2. Constat et problématique

Problématique 1 : besoin d'un référentiel métier et d'un outil informatique de type K.B.E. (Knowledge Based Engineering) pour les tâches de conception routinière du concepteur dans un contexte de conception multi acteurs.

Un des inconvénients des systèmes informatiques existants est qu'ils n'assistent pas les concepteurs dans leurs **tâches de conception répétitives (conception routinière)**. Ces tâches sont celles qui ont pour objectif de **choisir la structure, de dimensionner puis d'intégrer fonctionnellement et géométriquement une technologie existante dans des contextes différents** (par exemple, la mise en place d'une assistance de direction électrique dans un nouveau projet véhicule). Les systèmes informatiques actuels ne donnent pas à l'utilisateur la démarche à suivre pour réaliser une fonction d'un produit selon les performances requises tout en respectant les fonctions contraintes. Le concepteur ne

dispose pas non plus du **niveau de connaissances** génériques qui lui permettraient de choisir parmi les alternatives (solutions techniques) possibles dans un contexte particulier. Le fait que le concepteur soit assisté dans ses tâches de conception répétitives accélérerait la conception et lui laisserait plus de temps pour travailler sur l'innovation. Les concepteurs souhaiteraient être guidés dans leurs tâches, **dans leur coordination** avec les autres acteurs qui peuvent être distants, dans leurs échanges d'informations ainsi que dans la gestion des modifications du produit intervenant en cours de projet et remettant en cause ce qui a déjà été fait. Le besoin d'un outil informatique de type K.B.E. (Knowledge Based Engineering) ainsi que d'un référentiel métier, dans lequel les concepteurs peuvent retrouver toutes les connaissances et informations, est donc ressenti comme une nécessité ou au moins une aide importante dans le bureau d'étude.

5. Le caractère multi acteurs de la conception routinière

5.1. La conception multi acteurs

5.1.1. L'ingénierie concourante et les impacts sur la conception

L'activité de conception est de plus en plus souvent menée en parallèle des autres phases de développement de produit et notamment la phase de conception du process (conception produit process). Cette organisation, appelée ingénierie concourante (Kusiak 91), permet de réduire les temps de mise sur le marché du produit et de valider, au plus tôt, sa faisabilité. Tous les acteurs responsables d'une étape du cycle de vie du produit interviennent alors dès la conception. L'objectif étant pour le concepteur de prendre en compte les contraintes au plus tôt dans la conception et d'éviter les retours en arrière coûteux. Les modifications à faire en conception sont d'autant plus coûteuses que l'on s'aperçoit des erreurs de conception loin en aval de la conception. Le pire étant quand le client final s'aperçoit du problème et que les concepteurs doivent retoucher les véhicules déjà vendus.

5.1.2. La conception distribuée

La conception d'un système complexe est distribuée à un ensemble d'acteurs qui doivent coopérer pour réaliser le système complet. Chaque acteur conçoit un sous système. L'ensemble des acteurs doivent à un moment donné collaborer et prendre en compte l'environnement au niveau aussi bien physique, géométrique que fonctionnel (notion d'interface). Un besoin client se traduira par une exigence sur le système complet et par des exigences induites sur les sous systèmes.

Chaque acteur peut être responsable d'un ou plusieurs sous-systèmes qu'il concevra en même temps que les autres conçoivent le(s) leur(s). Chaque acteur considèrera alors son ou ses sous-systèmes et devra s'assurer que ces derniers contribuent à la réalisation de la fonction de service du système complet. Chaque acteur vérifiera les contraintes, associées aux sous-systèmes et relatives aux fonctions sur tout le cycle de vie aval à la conception, sont prises en compte. Les différents acteurs doivent donc coopérer en se partageant leurs résultats afin que les contraintes de chacun soient prises en compte au plus tôt.

Il se peut également que les fonctions du système soient distribuées. C'est à dire que des acteurs différents s'occupent de fonctions différentes du système. Dans ce cas, ces acteurs sont amenés à coopérer pour trouver des solutions compatibles avec leurs fonctions respectives. L'exemple suivant permet d'illustrer cette coopération.

Exemple :

- Compromis entre la fonction « assistance » qui préconise une section de vérin et la fonction « engendrer une masse minimum » qui en préconise une autre

- Compromis entre la fonction « tenue de route » de l'essieu qui préconise une épure de train avant et la « fonction design » qui en préconise une autre

5.1.3. La concourance avec les acteurs du cycle de vie du produit

Au moment de la conception, l'ingénierie concourante vise à rassembler tous les acteurs responsables d'une fonction particulière du produit. Les étapes du cycle de vie avals à la conception imposent des « fonctions contraintes » au produit. Chaque concepteur devra alors vérifier la faisabilité de ces fonctions, ainsi que de ses exigences requises associées, en prenant en compte les fonctions contraintes. Par exemple l'acteur responsable du recyclage devra veiller à ce que les solutions conçues respectent les normes relatives à l'écologie. Cet acteur devra donner au concepteur ses contraintes afin que ce dernier les prenne en compte au plus tôt.

Exemple :

- Compromis à étudier entre la fonction « assistance » qui préconise une section de vérin et la fonction « fabrication » (une personne des méthodes peut imposer une section - un diamètre - en fonction de la disponibilité des broches dont il dispose) qui en préconise une autre
- Compromis entre la fonction « tenue de route » de l'essieu avant et la fonction « montage » de l'essieu sur le véhicule (conception simultanée de l'essieu et de la carrosserie de la voiture).

5.1.4. La conception produit - process

La concourance la plus forte est celle qui fait intervenir les acteurs de la conception du produit ainsi que ceux de la conception de son process de réalisation. En effet, l'activité de conception est de plus en plus recouverte par les autres phases de développement de produit, notamment la phase de conception du process. De plus en plus, dans les organisations, le process et le produit sont conçus simultanément. L'homme process fait tout pour que les délais de fabrication soient courts et que les moyens utilisés soient peu coûteux. L'homme produit conçoit le produit le plus fiable et le plus performant possible. L'intérêt de concevoir le produit et son process de fabrication et de montage en même temps est de pouvoir les optimiser en prenant en compte les contraintes de chaque côté au plus tôt. La conception produit process permet de réduire les temps de développement. Par exemple l'acteur responsable du montage doit veiller à ce que le produit reste montable au fur et à mesure que la conception avance. Il devra donner au concepteur ses contraintes afin que ce dernier les prenne en compte dans son propre référentiel qui est celui de la conception des fonctions de service du produit.

Pour faciliter la communication entre les concepteurs du produit et ceux du process, les ZTC (Zone de Travail en Commun) ont été mises en place chez PSA Peugeot Citroën. Ces ZTC sont des zones géographiques homogènes, dans lesquelles sont regroupés, par nature de sujets techniques, les opérationnels chargés d'assurer au quotidien le travail organique en commun et en simultané sur le produit et sur le process associés. Les opérationnels présents sur les ZTC représentent les fonctions Etudes, Méthodes, Achats et les fournisseurs partenaires.

5.1.5. La co-conception

5.1.5.1. La relation clients fournisseurs

Un donneur d'ordre fait souvent appel à des fournisseurs pour la conception et la fabrication de sous systèmes. Les entreprises font de plus en plus appel aux fournisseurs pour leurs besoins de compétences non stratégiques. Ces fournisseurs sont souvent plus spécialisés et plus réactifs. Leur production est également moins chère qu'une production réalisée en interne étant donné l'importance des séries qu'ils fabriquent.

Le fournisseur retenu conçoit sa solution qui doit répondre au cahier des charges fonctionnel du donneur d'ordre et transmet les fichiers CAO au donneur d'ordre (Chambolle 97). Le donneur d'ordre devra intégrer cette solution à sa maquette numérique. L'intérêt du donneur d'ordre est donc de donner au fournisseur, le plus tôt possible, l'environnement géométrique dans lequel ce dernier devra intégrer sa solution ainsi que les autres contraintes. Ainsi les adaptations conjointes pourront être réalisées rapidement. Le défi des entreprises est de pouvoir coopérer le plus étroitement possible avec leurs fournisseurs tout en prenant des précautions dans les échanges d'informations afin d'assurer une confidentialité à l'information stratégique de l'entreprise. Le fournisseur doit avoir le juste minimum d'information qui lui permette de répondre au besoin du donneur d'ordre. L'objectif, pour le donneur d'ordre, est donc de bien spécifier ce que doit faire le fournisseur et dans quel cadre.

5.1.5.2. La co-conception avec un concurrent

Il est également de plus en plus fréquent que les entreprises collaborent avec d'autres pour assurer une complémentarité des compétences puis un partage des investissements nécessaires et des risques. Ainsi PSA, par exemple, conçoit les nouveaux moteurs HDI 1.4 litre avec FORD et des boîtes de vitesse automatiques avec RENAULT. Dans ce genre d'échanges d'informations, le partenaire est considéré comme partie intégrante de l'entreprise dans un périmètre fixé à l'avance.

5.1.6. La conception intégrée

En conception intrégrée (Tichkiewitch 95), le concepteur, lui-même, simule les situations de vie futures du produit afin de considérer dès le départ les contraintes de faisabilité qui interviendront plus tard (contraintes de montage, contraintes d'encombrement, contraintes de recyclage...). Les échanges d'information sont ici plutôt asynchrone, contrairement à la conception concurrente. Le concepteur dispose des connaissances des autres acteurs desquels peuvent provenir les contraintes des phases du cycle de vie du produit.

5.1.7. Exemple pour l'industrie automobile : les plateaux projets

Pour favoriser le fonctionnement de l'ingénierie concurrente et de l'ingénierie simultanée ainsi que pour permettre à tous les acteurs de la conception d'échanger les informations, des plateaux projet ont été mis en place chez PSA Peugeot Citroën (PSA 98). Chaque plateau projet (sur base véhicule existant ou premier projet véhicule innovant) assure, sous l'autorité du directeur de projet, des fonctions (fonction de l'organisation et non du produit) et des responsabilités :

Exemple :

- Une fonction coût
- Une fonction délais
- Une fonction qualité
- Une fonction Produit – Marque
- Une fonction achat
- Une fonction industrielle
- Une fonction technique fonctionnelle et organique
- Responsabilité fonctionnelle véhicule (garantit les prestations véhicule)
- Responsabilité technique ou organique

Ces plateaux projet regroupent un noyau de compétences interne au plateau (physiquement rassemblés) et des satellites de compétences (externes au plateau) issues des métiers (bureaux de recherche et développement). L'exemple suivant, issu de (PSA 99), permet de lister un ensemble d'acteurs qui interviennent sur un plateau projet dans le cas de la conception d'une automobile :

Exemple :

- Un directeur de projet
- Adjoint qualité

- Adjoint coût / investissement
- Adjoint Délais / planning
- Chef de projet achat
- Chef de projet marque
- Un adjoint industriel (faisabilité industrielle, sites d'exploitation, politique groupe)
- Un responsable conception véhicule (développement fonctionnel)

Les permanents :

- ⇒ Responsable conception véhicule
- ⇒ Architecte assisté d'un architecte junior
- ⇒ Architecte électricité, électronique
- ⇒ Responsable prestations véhicule
- ⇒ Responsable sûreté de fonctionnement

Ressources complémentaires :

- ⇒ Equipe de l'architecte
- ⇒ Equipe de l'architecte électricité, électronique
- ⇒ Equipe sécurité
- ⇒ Equipe acoustique et vibration
- ⇒ Equipe aérodynamique et thermique
- ⇒ Equipe ergonomie
- ⇒ Equipe dynamique route y compris conception liaison au sol
- ⇒ Equipe dynamique longitudinale
- ⇒ Un responsable commande et adaptation G.M.P. (Groupe MotoPropulseur)
- ⇒ L'équipe sûreté de fonctionnement
- Un responsable technique (développement organique)

Permanents :

- ⇒ Le responsable technique
- ⇒ Adjoints montage (carrosserie)
- ⇒ Adjoints logistique
- ⇒ Pilotes produit-process
 - Structure et ouvrants (conception, emboutissage, ferrage)
 - Equipements intérieurs
 - Equipements extérieurs
 - Electricité électronique
 - Adaptation GMP
 - Liaison au sol

Ressources complémentaires :

- ⇒ Les équipes de développement montage et logistique
- ⇒ Les équipes de développement produit-process, animées par des chefs de sections
- ⇒ Les experts
- ⇒ Pilote retour d'expériences, Productivité, guide de conception
- Des correspondants assurant les liaisons entre les plates-formes
 - ⇒ un correspondant prototype
 - ⇒ un correspondant style

5.2. Gestion des flux d'information et de connaissances en conception

Ce paragraphe met l'accent sur les échanges d'informations entre les acteurs de la conception.

5.2.1. Les informations concernant le produit et le processus de conception

De nombreuses informations sont véhiculées lors du développement de produit. La plupart de ces informations sont stockées dans des documents. On retrouve des documents de type :

- Normes et standards

- Secrétariat (notes internes, courriers, télex, fax,...)
- Techniques et commerciales

La documentation du produit peut, par exemple, regrouper (Bourdichon 94) :

- Les dossiers contractuels
 - Les appels d'offres
 - Les demandes de devis internes
 - Les propositions financières
 - Les devis internes
 - Les comptes rendus de prospects
 - Les spécifications commerciales
 - Les conditions de vente
 - Les cahiers de charges
 - Les spécifications de besoin ou spécifications techniques de besoin
 - Les spécifications de management
 - Les spécifications d'environnement et de sécurité
 - Les notes d'organisation
- Les dossiers d'avancement
 - Les dossiers d'analyse fonctionnelle
- Les dossiers d'études
 - Les dossiers de conception
 - Les dossiers de test
 - Les dossiers justificatifs de la définition
 - Les dossiers logiciels
 - Les dossiers de qualification
- Les dossiers industriels
 - Les dossiers de définition
 - Les dossiers de fabrication
 - Les dossiers de contrôle
- Les dossiers d'utilisation
- Les dossiers de configuration

5.2.2. La gestion des données techniques et de la diversité

L'activité de gestion des données techniques est une pratique qui a pour objectif de stocker, gérer et mettre à disposition des utilisateurs au bon moment l'information pertinente produite au cours du développement du produit. Elle a également pour objectif de donner à l'ensemble des membres du projet une même visibilité du produit et du projet. La G.D.T. (Gestion des Données Techniques) est supportée par des outils informatiques appelés les S.G.D.T. (Systèmes de Gestion des Données Techniques) et maintenant PLM (Product Lifecycle Management).

La gestion des données techniques comprend :

- ⇒ Le contrôle de la documentation et la gestion des données
- ⇒ La gestion des processus de conception / approbation et de versions
- ⇒ La gestion des configurations (états successifs du produit)
 - Configuration initiale ou contractuelle (objectifs à respecter)
 - Configuration fonctionnelle (découpage fonctions / sous-fonctions)

- Configuration dimensionnelle ou géométrique (volumes et aménagement alloués aux composants externes)
- Configuration physique des constituants (définition du produit)
- ⇒ La gestion des évolutions et modifications
- ⇒ La gestion de la diversité

5.3. Vers une ingénierie numérique et partagée : la maquette numérique

Un des objectifs actuels des entreprises est de travailler sur la représentation numérique du produit en ayant recours à la simulation des situations de vie puis de limiter les recours aux prototypes physiques coûteux et long à réaliser. La maquette numérique a pour objectif de pouvoir partager la définition du produit à tous les acteurs du développement. A l'aide de la maquette numérique, on peut assembler des sous-ensembles d'un produit et étudier la compatibilité des interfaces en temps réel. La maquette numérique vise à offrir aux concepteurs une base commune et partagée contenant la définition géométrique des parties du produit. Ainsi un concepteur de train avant, par exemple, pourra mettre dans la maquette numérique, ses points d'épure ainsi que toutes les contraintes géométriques des autres pièces qui sont en interface au train. La maquette numérique permet donc de faciliter la coopération entre les acteurs de la conception.

5.4. Constat et problématique relatifs aux échanges d'informations entre acteurs

Problématique 2 : Manque de support partageable aux informations fonctionnelles

Les différents logiciels du marché permettent d'archiver et de partager de l'information sur le produit. Cependant, seules les informations relatives à la configuration, nomenclature puis à la géométrie du produit y sont souvent implémentées selon un point de vue structurel. **Le point de vue fonctionnel** (arborescence fonctionnelle) ainsi que toutes les informations intrinsèques aux fonctions sont très peu représentés dans les systèmes d'informations actuels des entreprises. Ces informations fonctionnelles apparaissent cependant, en partie, dans des documents de projet, mais sont peu structurées. Ces dernières sont :

- Les performances ou prestations : Celles-ci caractérisent les fonctions dans différentes **situations de vie**. Pour exemple la fonction assistance de direction a les performances suivantes qui sont chiffrées sur un projet :
 - « couple au volant » requis pour le conducteur lors de ses manoeuvres en parking
 - « vitesse volant à grande vitesse » requise pour les manoeuvres d'évitement d'un obstacle sur la route.
- Les paramètres fonctionnels (géométriques ou pas) : Ils sont relatifs aux solutions techniques, associés à une ou plusieurs fonctions et dépendent des performances sur les fonctions. Pour exemple les paramètres « pressions de vérin », « débit de pompe », « temps de réponse des canalisations », « régime moteur », « effort d'assistance », « puissance électrique du moteur électrique » sont intrinsèques aux sous-systèmes du système de direction automobile. Ils sont associés à la fonction assistance des systèmes de direction et doivent être chiffrés par rapport aux performances requises à cette fonction.
- Les contraintes à prendre en compte lors de la conception des fonctions

Trois catégories de fonctions sont distinguées. Ce sont les fonctions de service, les fonctions techniques et les fonctions contraintes. Ces dernières sont relatives aux phases du cycle de vie du produit et du process. Les fonctions de service sont celles qui sont ressenties (« visibles ») par le futur utilisateur du produit (assistance de direction, dirigeabilité du véhicule, consommation de carburant...). Les fonctions techniques (étanchéité, guidage en rotation, engrènement...) sont celles propres aux technologies utilisées et à leur mise en œuvre de manière à assurer les performances relatives aux fonctions de service. Les fonctions contraintes, quant à elles, sont les fonctions des autres systèmes extérieurs au système étudié. Ces dernières doivent être prises en compte dans la réalisation des fonctions du système. Il s'agit, par exemple, de la fonction montage du vérin du système de montage, de la fonction

fabrication de la chambre du vérin du système de fabrication puis de la fonction consommation de carburant du système de motorisation d'un véhicule.

L'absence de support aux informations fonctionnelles est un gros problème, notamment dans **les phases amont à la C.A.O.** car la définition géométrique n'existe pas encore. Les phases amont à la C.A.O. permettent de définir les paramètres fonctionnels du produit afin que celui-ci réalise les fonctions. Les phases amont à la C.A.O. pour la conception des systèmes de direction sont, par exemple, le dimensionnement de la source de puissance (débit et pressions de la pompe) et de la section de vérin du mécanisme de direction. L'objectif de ces dimensionnements est que le système de direction réalise la fonction assistance de direction selon les performances demandées et en respectant les contraintes. Ces dernières peuvent être, par exemple, la consommation de carburant du moteur thermique, le coût, la faisabilité en fabrication des chambres de vérin en fonction de l'outillage disponible, etc. Dans ces phases amont, il n'y a actuellement aucun système informatique permettant de recueillir puis de partager les informations sur les fonctions ainsi que leur allocation (déploiement) sur les organes. La gestion des informations pendant les phases amont à la CAO est d'autant plus utile que c'est pendant ces phases que sont prises les décisions les plus importantes. Les paramètres du produit y sont définis. Ces paramètres permettent de réaliser une fonction de service selon les performances attendues par les clients et requises dans le cahier des charges du système. Pendant les phases amont à la CAO, le concepteur a beaucoup de modifications à faire sur le dimensionnement d'une fonction. En effet, une modification d'un paramètre caractérisant une fonction peut engendrer une modification des autres paramètres caractérisant cette fonction, ceci afin de conserver les performances associées à cette dernière. Les échanges d'informations entre les acteurs sont nombreux dans les phases amont à la CAO, d'autant plus que les fonctions de service sont réparties sur plusieurs organes conçus par des concepteurs différents.

Actuellement la gestion des informations relatives aux phases amont à la CAO est très rudimentaire car chaque concepteur gère ses informations, personnelles ou venant d'autres acteurs, en local sur son poste informatique et assure manuellement leur mise à jour. Chaque concepteur gère également le versionnement de ses informations et s'assure de la prise en compte de leurs nouvelles valeurs par les autres acteurs. Les moyens de communication utilisés pour les échanges d'information sont le téléphone ou la messagerie électronique. Cela pose un problème de disponibilité de ces informations lorsque le « propriétaire » est absent. Des problèmes de redondance de ces informations et d'erreurs engendrées lors de la prise en compte d'une mauvaise version de celles-ci sont également probables.

Une fois les paramètres fonctionnels déterminés, la représentation géométrique peut être commencée. La conception détaillée suit donc les phases amont à la CAO. Les paramètres fonctionnels sont les exigences de la conception détaillées. Tous les paramètres géométriques du produit doivent normalement intervenir dans une fonction de service ou technique. Ces paramètres géométriques peuvent être contraints (fonction contrainte). Toutes ces informations devraient être agrégées sur les modèles géométriques des modeleurs CAO. L'outil informatique Kadviser de la société Cegos / Kadetech issu des travaux de (Vargas 95) propose des concepts intéressants dans cette voie. Cet outil présente au concepteur, à titre d'information, une arborescence physique et fonctionnelle du produit.

Problématique 3 : Problème dans la granularité des informations véhiculées en conception

Actuellement, les informations fonctionnelles apparaissent de manière non structurée et sont stockées dans des documents ou dans une base de données, locale au poste d'un concepteur qui en a besoin. Dans les documents, apparaît souvent l'objectif du projet en terme de performance, les fonctions attendues, les résultats obtenus dans leur dernière version ainsi que l'historique des configurations successives et des modifications en cours de projet. Dans le meilleur des cas, ces documents, s'ils ne sont pas stockés dans une base documentaire, sont associés à une partie du produit et gérés dans le P.D.M. (Product Data Management). Avec une telle **granularité de l'information** (sous forme de documents), il est difficile de disposer des **informations pertinentes au moment opportun** et d'assurer le **versionnement** des paramètres fonctionnels pour conserver l'**historique** du projet. La modification d'un des paramètres que le document encapsule nécessite la création d'une nouvelle version du document projet et sa soumission

aux acteurs concernés. Quand un paramètre change, ces acteurs ne souhaitent pas avoir tout le document, mais uniquement la nouvelle valeur du paramètre. Quand un concepteur réalise sa tâche, il souhaite avoir (push) uniquement les informations qui l'intéressent et souhaite être prévenu dès qu'une modification le concernant apparaît. Le fait de disposer d'informations granulaires permet également de **fluidifier et dynamiser** les flux d'information et de rendre plus **réactif** le déroulement des tâches à faire et la **prise en compte des modifications**. Il faut également, pour les raisons précédentes, une arborescence fonctionnelle partagée du produit autour de laquelle tous les acteurs puissent travailler (voir problématique 1).

Problématique 4 : Manque de support aux flux d'information entre acteurs distants (travaillant sur des sites différents) et travaillant sur plusieurs projets. Les informations sont dites « **multi acteurs** », « **multi sites** » et « **multi projets** ».

Actuellement les concepteurs disposent de peu d'outils leur permettant d'être assistés dans les échanges d'informations. Ceci pose principalement des problèmes d'erreurs dans la transmission des informations, de pertes de temps pour réussir à joindre un acteur et de risque d'oubli de destinataires pour la validation. A tous ces constats, se rajoute la dimension « éclatée » et « multi sites » des équipes de conception. Cette dernière est due aux fréquents regroupements et fusions d'entreprises de même activités et de localisations physiques différentes à l'échelle mondiale. Se rajoute également la dimension « multi projet » des informations de conception. Les acteurs travaillent sur des projets différents. Par exemple, le dimensionnement des systèmes de direction peut se faire sur une dizaine de projets véhicule simultanément. Ainsi un acteur doit savoir à quel projet est attribuée l'information qu'il reçoit.

6. La gestion des connaissances dans notre contexte

Le concepteur a besoin de connaissances. Ces connaissances lui servent à réaliser ses tâches. L'étude s'intéresse aux connaissances explicites.

6.1. Les connaissances prises en compte dans l'étude

Reposant sur les travaux de Polany (Polany 66), Nonaka (Nonaka 94) distingue deux sortes de connaissances :

- ◆ Les connaissances tacites qui comportent, d'une part, un volet cognitif, à savoir les modèles mentaux (Johnson 83) que les humains se forment sur le monde (schémas, paradigmes, croyances et points de vue fournissant des perspectives les aidant à percevoir et définir leur vision du monde) et, d'autre part, un volet technique, c'est à dire le savoir-faire concret, des habiletés s'appliquant dans des contextes spécifiques.
- ◆ Les connaissances explicites qui sont capturées dans des bibliothèques, des archives et des bases de données

L'iceberg (figure 10) schématise bien les deux types de connaissances énumérées précédemment. L'étude s'intéresse aux connaissances explicites (partie émergée de l'iceberg) car il a été jugé dans notre cas que les gains escomptés d'une démarche de recueil et structuration de ces connaissances sont immédiats. Ces gains sont plus certains que pour le recueil des connaissances implicites (partie immergée de l'iceberg) qui est plus complexe, long et coûteux.

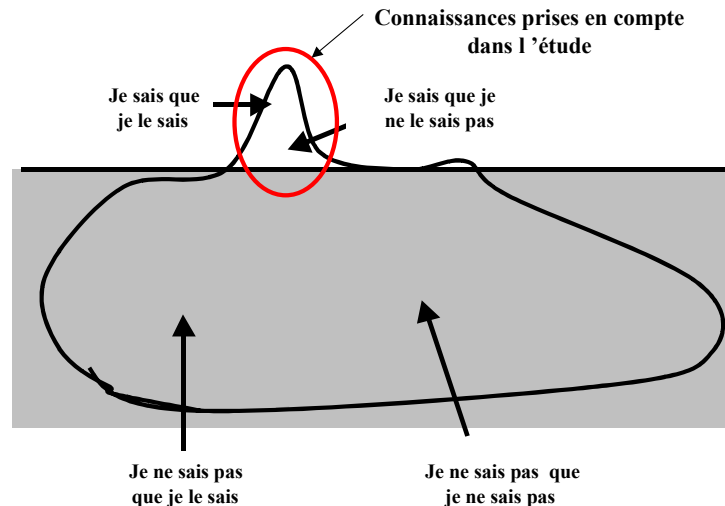


Figure 10 : L'iceberg de la connaissance (Vinck 97)

On retiendra la classification de Grundstein et Barthès (Grundstein 1996) qui considèrent :

- d'une part les connaissances techniques (utilisées quotidiennement à l'intérieur de l'entreprise, ses départements, ses services, ses filiales, par les employés pour réaliser leur travail quotidien...)
- d'autre part les connaissances stratégiques (utilisées par les managers et les chefs d'entreprises ...)

Les types de connaissances suivantes peuvent également être cités (Durstewitz, 1994) :

- Le savoir-faire
- Les faits techniques
- Les spécifications du produit
- La logique de conception
- L'expérience
- L'expertise

6.2. La gestion des connaissances en conception (enjeux et principes)

Pour progresser davantage, les entreprises doivent non seulement gérer leur capital de connaissances mais aussi innover et créer de nouvelles connaissances. Ce problème complexe peut être abordé de plusieurs points de vue : socio-organisationnel, économique, financier, technique, humain et légal (Barthès 96). Une entreprise est non seulement une unité de production de biens ou de services conformes aux espérances des clients, dans les meilleures conditions de coûts, de délai et de qualité, mais c'est également une unité de production de connaissances (Grundstein 95). Comme le souligne Ermine (Ermine 98), la gestion des connaissances dans une entreprise concerne plusieurs aspects de l'entreprise : La recherche et le développement, le management (service, qualité, etc.), la production (gestion des données, gestion documentaire, savoir-faire), la gestion des ressources humaines (gestion des compétences, formation).

« Le knowledge management correspond à la gestion consciente, coordonnée et opérationnelle de l'ensemble des informations, connaissances et savoir-faire des membres d'une organisation au service de cette organisation » (Tisseyre 99)

La gestion des connaissances (Dieng 00) (Nonaka 98) (Ermine 96) (Buck 99) est un concept qui est apparu au début de la mondialisation de l'économie afin, principalement, de pallier les problèmes de perte de connaissances relatives au « turn over » des entreprises, puis d'optimiser les processus des entreprises.

Les gains escomptés portent sur une production plus réactive avec une qualité accrue à moindre coût afin d'être réellement concurrentielle sur le marché.

La gestion des connaissances s'intéresse à trouver puis à définir :

- Des moyens pour extraire les informations pertinentes :
 - d'une grande masse d'informations (intranet des entreprises ou le « word wide web »). Il en résulte des méthodes de fouille et d'extraction informatique.
 - d'un individu. Il en résulte des méthodes pour réaliser des recueils de connaissances* (individuelles ou collectives) à des fins d'exploitation ultérieure en ayant recours à des entretiens individuels ou collectifs
- Des moyens pour formaliser (représenter) les informations extraites (d'un individu ou d'une base d'informations), plus ou moins tacites. Tout ceci, afin de les rendre pertinentes et de déclencher chez l'individu visé, lors de la consultation, les processus cognitifs qui, dans un contexte donné et pour un objectif déterminé, en fonction de son expérience et de ses compétences (« ses réseaux neuronaux »), vont lui permettre de mettre en œuvre son savoir-faire et donc de réaliser les actions.
- Des moyens pour réutiliser le plus facilement et confortablement possible, les connaissances encapsulées « formalisées ». Il en résulte des livres de connaissances (un peu obsolète) ou intranet avec des mécanismes informatiques tels que la messagerie, les « push » d'informations et le workflow.
- Des moyens pour mettre à jour (rajouter, détruire, modifier...) les connaissances encapsulées. Il en résulte une démarche simplifiée (assistée informatiquement) de mise à jour des connaissances avec définition des droits de modifications puis d'ajout de nouvelles connaissances.

Les motivations de la capitalisation des connaissances peuvent être de diverses natures. R. Dieng (Dieng 00) distinguent les cas suivants :

- √ Eviter la perte de savoir-faire et assurer leur pérennité (départs en retraite, turn over...)
- √ Exploiter l'expérience acquise sur les projets passés (ne pas réinventer la roue)
- √ Exploiter la cartographie des compétences : inventaire régulier du savoir-faire de l'entreprise
- √ Améliorer la circulation de l'information (échange de contraintes...) et de la communication dans l'entreprise
- √ Etre assisté dans la ré-exécution d'un processus ou d'une tâche
- √ Améliorer l'apprentissage des employés de l'entreprise (individuel, groupe ou organisationnel)
- √ Intégrer les différents savoir-faire d'une organisation
- √ Former rapidement les nouveaux

« Gérer » les connaissances permet donc de :

- ☞ Obtenir une meilleure qualité de l'organisation (Meilleure maîtrise des processus du fait de sa « mise à plat », maîtrise d'une meilleure structure d'ingénierie concurrente, etc)
- ☞ Obtenir une meilleure qualité sur le produit final (prise en compte des contraintes...)
- ☞ Réduire les délais de réalisation afin de dégager du temps pour laisser place à l'innovation

* Dans ces cas il s'agit, en effet, d'extraire les connaissances d'un acteur ou d'un groupe d'acteurs, de les transformer en informations puis de les formaliser, afin qu'elles soient exploitées par les mêmes ou d'autres acteurs dans le bon contexte... donc ces informations se retransforment, à nouveau, en connaissances et changent sensiblement (selon la différence entre les expériences et compétences de l'acteur source et de l'acteur cible) de repère puis perdent probablement du « potentiel » car toutes les connaissances de l'acteur source ne peuvent pas être formalisées (notamment les connaissances tacites)...

- ☞ Réduction des coûts....
- ☞ Identifier les compétences « clé » de l'entreprise....

6.3. Mémoire métier

6.3.1. Qu'entend-t-on par mémoire métier ?

Une mémoire métier inclut les connaissances sur les produits et les procédés de production. Une mémoire métier devra fournir « la bonne connaissance ou information à la bonne personne au bon moment et au bon niveau ».

Dieng et al. (Dieng 00) proposent la définition suivante : « une mémoire d'entreprise est la représentation persistante, explicite, désincarnée des connaissances et des informations dans une organisation, afin de faciliter leur accès, leur partage et leur réutilisation par les membres adéquats de l'organisation, dans le cadre de leurs tâches ».

6.3.2. La gestion actuelle de cette mémoire métier : problématique

Problématique 5 : Manque de support adéquat à la mémoire métier (référentiel métier)

Les connaissances métiers, quand elles sont formalisées, sont souvent stockées dans des documents qui eux même sont « stockés dans des armoires ». Les concepteurs n'ont pas souvent le réflexe de réutiliser ces connaissances métier capitalisées ainsi que le temps de les chercher.

6.4. Mémoire projet (revue de projet et traçabilité)

6.4.1. Qu'entend-t-on par mémoire projet ?

Une mémoire projet contient (Dieng 00) (Matta 99) les parties suivantes :

- Les référentiels (règles, méthodes, lois..) utilisés pour réaliser les étapes du projet
- Les caractéristiques d'un projet : son contexte, objectifs du projet, les préconisations stratégiques
- Les résultats obtenus
- Le déroulement du projet, les problèmes rencontrés, la résolution de ces problèmes, les décisions prises, la traçabilité des choix effectués, etc.

Cette mémoire projet est utilisée par les acteurs du projet tout au long de celui-ci et même pour d'autres projets ultérieurs.

6.4.2. La gestion actuelle de cette mémoire projet : problématique

Problématique 6 : Manque d'aide à la gestion (suivi) et à la construction de la mémoire projet (référentiel métier)

Le suivi de l'avancement du projet est une problématique importante car les concepteurs ne disposent pas d'indicateurs appropriés pour synthétiser et connaître rapidement l'avancement du projet avec les faits techniques associés. Ceci nécessite donc la programmation de réunion régulière afin de partager ces éléments. Le chef de projet préfère que lui et son équipe consacrent du temps à résoudre les problèmes identifiés.

En fin d'un projet de conception, les concepteurs doivent réaliser un compte rendu du projet. Cette « mémoire projet » se construit difficilement et laborieusement car le rédacteur doit se remémorer tous

les faits techniques du projet. Les concepteurs préfèrent consacrer du temps à des tâches plus productives. Tout ce qui concerne la capitalisation des connaissances est souvent jugé secondaire par les concepteurs car le retour sur investissement par rapport au temps passé est moins immédiat et mesurable qu'une tâche de conception.

7. Les propositions de l'étude

Axe de recherche 1 : La gestion des informations en conception, les flux d'information et l'assistance du concepteur dans ses tâches répétitives de conception (conception routinière) notamment pour les phases amont à la CAO (conception fonctionnelle) dans un contexte de conception multi sites et multi projets

A l'ère où les constructeurs automobiles deviennent des intégrateurs de « solutions fournisseurs » existantes et où la part de conception créatrice est faible dans l'activité d'un grand groupe (notamment dans le secteur automobile), le sujet s'intéresse particulièrement à la conception routinière de produit.

L'objectif est de proposer un **modèle du produit, un modèle multi acteurs du processus de conception** ainsi qu'un **outil informatique** dans lequel ces modèles sont implémentés, partagés aux acteurs du projet et exploités afin de supporter les phases de re-conception de produit en allant jusqu'à assister les concepteurs dans leurs tâches à faire **sur plusieurs projets simultanément**. La re-conception étant, ici, **l'étude de concepts technologiques existants afin de choisir leur structure physique, les dimensionner et les intégrer dans un environnement, d'un point de vue fonctionnel et géométrique** (par exemple intégration d'une direction assistée dans un véhicule) **dans le contexte d'un nouveau projet** (cahier des charges, performances requises, encombrement, etc).

Pour supporter les deux phases de la conception, les phases amont et les phases post CAO, puis assister les acteurs dans leur re-conception (dimensionnement et intégration fonctionnels, physiques et géométriques) et leur coordination, il est proposé dans l'étude un modèle pouvant supporter les informations sur le produit et sur le processus de conception. Ces informations sont **génériques ou propres au projet**. De nombreuses études ont déjà été faites sur les modèles produit et processus de conception (Bernard 99), l'étude est inspirée de certains de ces modèles afin de résoudre la problématique industrielle.

Le **modèle produit** permet de décrire les informations sur les fonctions et leur allocation aux différents organes, les informations sur la structure générique et les différentes alternatives possibles de configuration du produit ainsi que la représentation géométrique et générique du produit. Le modèle du produit assure le partage des informations entre les différents acteurs et supporte leurs interactions pendant les deux phases amont et post C.A.O.. Dans ce modèle produit, sont représentés le fait qu'une même fonction soit souvent réalisée par plusieurs paramètres du système et celui qu'un même paramètre peut intervenir dans plusieurs fonctions. Ces fonctions (fonctions de services, fonctions techniques et les fonctions contraintes) et leurs paramètres associés sont, pour les systèmes complexes comme l'automobile, **réparties** sur plusieurs acteurs et sur tout le cycle de vie du produit (dimensionnement fonctionnel, physique, fabrication, montage...). Donc, la valeur d'un paramètre fixée par un acteur chargé de réaliser une fonction peut être contrainte par un second acteur qui doit également fixer ce paramètre pour réaliser une autre fonction. La modification de ce paramètre par l'un des deux acteurs nécessite donc l'accord du second. C'est le principe du Q.F.D. (Quality functional deployment).

Le **processus de conception**, lors des phases amont à la CAO, est éminemment multi acteurs. Le modèle du processus de conception offre une sémantique qui permet de capturer les informations relatives au processus de conception et les flux d'information entre acteurs. Des éléments de ce modèle sont partagés avec les éléments du modèle produit car il y a une interdépendance entre les deux modèles. Les tâches du processus sont utiles à la réalisation d'une fonction selon les performances requises, les tâches peuvent alors être associées aux fonctions du produit. Les technologies informatiques actuelles permettent de piloter des échanges d'informations entre acteurs mais leur utilisation est opportuniste dans le domaine de la conception. Un outil informatique est proposé dans l'étude afin de permettre la **distribution des tâches, informations et connaissances** associées aux acteurs lors de la re-conception (dimensionnement et intégration d'une solution technique générique, tout d'abord d'un point de vue fonctionnel et

deuxièmement d'un point de vue géométrique). Cette distribution se fait selon le modèle du processus de conception proposé dans l'étude. Ainsi au fur et à mesure du déroulement du processus de conception, dans un contexte donné (nouveau projet véhicule par exemple) le modèle produit générique est **instancié**. Les modèles proposés sont **implémentés** dans un **prototype informatique** appelé MULTI qui a été développé dans le cadre de cette étude.

Les liens entre les phases amont à la CAO et les phases CAO (conception détaillée) sont étudiées afin de proposer des modèles et un environnement intégré permettant à MULTI de supporter et gérer toutes les données de la conception de produit dans sa globalité. Le fait que MULTI regroupe **toutes les informations dans un même outil** permet, dans les contextes de la maquette numérique et de la diminution des prototypes physiques, d'échanger les données de la conception fonctionnelle et les informations CAO avec les autres outils de simulation numériques tout en assurant une traçabilité de l'information et la gestion des configurations. De plus, afin d'éliminer, autant que possible, les « coupures » du « circuit électronique » de l'information et les ressaisies qui sont des sources d'erreurs, il a été réalisé un protocole de communication entre le prototype informatique MULTI et un modelleur géométrique permettant **d'automatiser ces échanges**. Un protocole de communication a été également réalisé, pour les mêmes raisons, entre MULTI et le logiciel EXCEL (beaucoup utilisé dans les phases amont à la CAO) pour permettre au prototype MULTI de transmettre puis de récupérer les informations résultantes des traitements d'EXCEL.

Axe de recherche 2 : L'automatisation des tâches de conception détaillée répétitives

Une fois le dimensionnement fonctionnel déterminé, les logiciels de modélisation géométrique et de CAO pourraient être utilisés pour propager ces nouvelles valeurs dans un modèle géométrique générique. Il s'agirait alors de programmer des règles entre les paramètres du modèle géométrique générique du produit et également des règles relatives aux variantes de configurations possibles du produit. Avec l'aide du moteur de propagation de contraintes et d'un cheminement automatisé d'actions supports à la re-conception détaillée, le modèle géométrique pourrait être instancié en respectant toutes les règles de conception, qui ont soigneusement été identifiées et analysées, et, satisfaisant toutes les fonctions du système (fonctions de service et fonctions techniques). Les spécifications informatiques fonctionnelles concernant cette partie ont été réalisées et une des perspectives de MULTI est de le coupler avec le moteur de propagation de contraintes de Knowledge Ware du modelleur géométrique CATIA V5.

Axe de recherche 3 : Enrichissement de la méthodologie d'ingénierie système

Les propositions faites sur cette présente étude enrichissent les concepts de l'ingénierie système qui est de plus en plus utilisé dans l'automobile et dans l'aéronautique. Les concepts de l'ingénierie système constituent la colonne vertébrale des modèles proposés dans cette étude. L'outil informatique MULTI propose un moyen de supporter la démarche d'ingénierie système en optimisant les flux d'information pour la simulation et en diminuant les temps de calcul à l'aide d'une bonne analyse systémique fonctionnelle.

Axe de recherche 4 : La gestion des connaissances pour la constitution d'une mémoire métier

Notre problématique entre dans une problématique plus globale qui est la gestion des connaissances. En effet, dans l'étude (Figure 11), il s'agit également de repérer les connaissances cruciales à capitaliser en conception, de les préserver (formaliser), les valoriser (les mettre à disposition) et de les actualiser (maintenir).

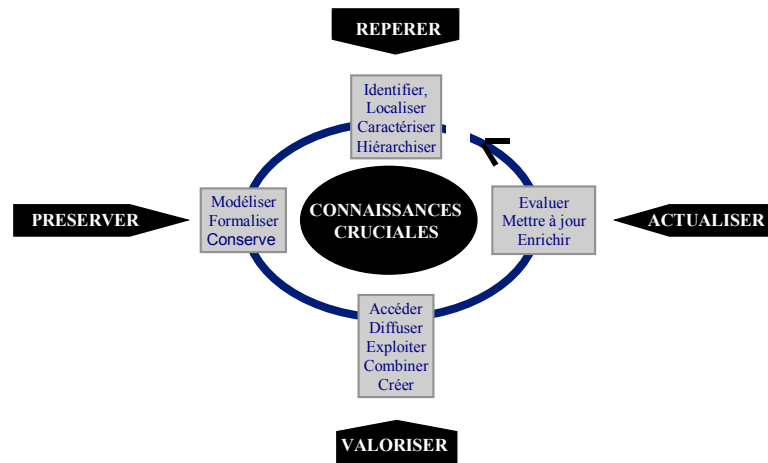


Figure 11 : Le cycle de capitalisation des connaissances (Grunstein, 95)

Le fait de modéliser les informations sur le produit, en ce qui concerne son fonctionnement et la manière dont il doit être dimensionné et intégré dans le véhicule, relève également de la capitalisation de connaissances (connaissances horizontales). Les connaissances utiles à la réalisation de chaque tâche sont agrégées dans le modèle du processus de conception (connaissances verticales). Ceci permet d'assurer une complétude des connaissances métiers encapsulées.

On se préoccupe également de la maintenance du référentiel métier suite à l'arrivée d'une nouvelle technologie. Ici l'approche systémique (capitalisation sur les fonctions) permet d'apporter des réponses et d'assurer la pérennité du référentiel métier. Actuellement les référentiels métier sont basés sur les activités de l'entreprise. Quand une nouvelle technologie intervient, le fait que ce référentiel métier ne soit pas organisé (modulaire) suivant une analyse systémique (fonction) implique une refonte et une nouvelle analyse globale du système complet (le véhicule dans le cas de l'automobile).

Axe de recherche 5 : La gestion des connaissances pour la constitution d'une mémoire projet et les revues de projets

Le fait de piloter le processus de conception permet également de contrôler le suivi du déroulement de celui-ci sur un projet donné. Les modèles proposés permettent également la capture au fil de l'eau de la mémoire projet. A tout moment de la conception, les concepteurs peuvent éditer un compte-rendu du projet. Ce compte-rendu contient la traçabilité des choix réalisés et des retours d'expériences relatifs au projet terminé. Il contient également toutes les instances du produit et du processus de conception sur un projet donné, c'est à dire tous les résultats du projet. Dans ce compte-rendu, figurent, les valeurs des paramètres instanciés du produit, leur versionnement, le nombre de fois qu'une tâche à été refaite avec les dates et délais associés, l'historique des modifications faites en cours du projet...

Ainsi à tout moment, lors de la réalisation de sa tâche, un acteur peut connaître le contexte projet dans lequel il doit réaliser sa tâche. L'acteur peut également, au moment de la réalisation de sa tâche, insérer une annotation qui sert de retour d'expériences aux projets futurs.

Axe de recherche 6 : Vers une meilleure gestion de l'innovation

Le fait de proposer un formalisme pour le dimensionnement et l'intégration de concepts existants et d'apporter la technologie informatique permettant de mener à bien ce dernier permet de maîtriser plus rapidement, au sein de l'entreprise, les technologies innovantes du marché. En effet, les équipes chargées de maîtriser les innovations disposent maintenant de modèles leur permettant de formaliser les connaissances (approche systémique, interfaces physiques et fonctionnelles...) et d'un outil informatique

dans lequel elles peuvent les implémenter. De ce fait, les équipes d'innovation peuvent transférer rapidement les connaissances aux équipes projet véhicule qui sont chargés de définir leur structure, dimensionner puis d'intégrer les nouvelles technologies dans des contextes différents (cahier des charges véhicule par exemple).

Les modèles proposés offrent également un support à l'activité de conception innovante en permettant une capture et une traçabilité au fil de l'eau des évolutions des idées. Les modèles permettent de formaliser l'avancement des concepts « non aboutis » et permettent aux concepteurs d'identifier les éléments à prendre en compte lors de la conception et donc de se poser les bonnes questions.

Axe de recherche 7 : Une évolution progressive vers un nouveau système d'information produit

Tandis que le système d'information actuel est basé sur les documents, l'outil informatique a été spécifié (et développé) de telle sorte que le concepteur accède aux informations et connaissances granulaires. L'idéal étant qu'il accède à l'information et aux connaissances pertinentes au bon moment. Également, avec MULTI, le concepteur accède aux applicatifs (dans l'étude EXCEL et la C.A.O. sont envisagés) dont il a besoin via un seul outil informatique (principe des « portails informatiques »). Les informations sont extraites « informatiquement » de MULTI, sont « traitées dans d'autres applicatifs (dans l'étude : démonstration uniquement avec EXCEL)», et les résultats sont « réinjectés informatiquement » dans MULTI. MULTI est alors le **poste du futur (bureau virtuel) de travail du concepteur**.

Chapitre 2

Conception de produits et modélisation

Ce chapitre a pour objectif de dresser un état de l'art, le plus exhaustif possible, des études identifiées pouvant aider à résoudre la problématique de l'étude présentée dans le chapitre 1. L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les éléments de la littérature qui sont utilisés pour construire notre réflexion, d'en cerner les limites et de proposer des éléments complémentaires relatifs à notre besoin.

Dans la présente étude, un modèle générique des activités de conception (développement de produit) et des flux d'information associés va être défini. L'ingénierie système, qui est standardisée et de plus en plus reconnue dans l'industrie, est prise comme référence. Le cycle de développement du produit en V constitue pour la suite de l'étude le modèle macroscopique générique du processus de toute conception (développement) de produit. Ce modèle comprend la détermination des exigences, conception, réalisation, intégration et la validation. Des concepts novateurs sont proposés pour résoudre la problématique.

Le paragraphe 1 présente les principaux concepts de la présente étude. Le paragraphe 2 traite des travaux dont l'objectif est de modéliser finement le processus de conception du produit et les flux d'information associés. Un inventaire des modèles proposés dans la littérature est réalisé. Ce paragraphe s'intéresse aux modèles du produit. En effet, les informations produit véhiculées dans le processus de conception doivent être structurées, hiérarchisées, déposées à des fins de partage puis archivées dans une « base de données produit ». On parle de modèle produit. Le paragraphe met l'accent sur les méthodes existantes d'analyse fonctionnelle du produit ainsi que sur les différentes situations de vie que celui-ci peut rencontrer sur tout son cycle de vie. Toutes les connaissances du référentiel métier, les données et les informations utiles à la conception puis identifiées dans la littérature sont décrites dans ce paragraphe.

1. L'ingénierie système

Le chapitre 1 (§ 2.1) introduit brièvement le cycle en V. C'est le schéma de développement reconnu par PSA sur lequel les résultats de l'étude vont s'appuyer. Ce cycle en V est issu des travaux sur l'ingénierie système. Dans ce paragraphe, vont être rappelés les autres grands concepts de l'ingénierie système issus de la littérature (PSA 99) et utiles à l'élaboration des résultats de l'étude de thèse.

1.1. Historique

Les travaux sur l'ingénierie système ont connu un essor important grâce, en partie, aux recherches des organismes de défense et des associations telles que l'INCOSE aux USA. Les premiers secteurs concernés par l'ingénierie système furent le spatial, l'aéronautique, le militaire, et les autres secteurs comme l'énergie, les transports et l'automobile, etc.

Le GE3 regroupe à l'AFNOR des spécialistes de l'ingénierie système. Ces experts échangent leurs points de vue sur leur spécialité et travaillent en particulier à la préparation des contributions françaises aux travaux internationaux sur l'ingénierie système réalisés au sein de l'ISO/IEC JTC1 SC7 « Software and System Engineering » :

- ⇒ Le projet de norme ISO/IEC 15288 "Processus du cycle de vie du système", qui décrit un ensemble cohérent de processus permettant de définir des cycles de vie adaptés à chaque système ;
- ⇒ Le projet de guide d'application pratique de la norme ISO/IEC 15288 ;
- ⇒ Une réflexion sur la création d'un "System Engineering Body Of Knowledge", dont l'objet serait notamment d'écrire un guide de l'ingénierie système qui précise les éléments importants de l'interfaçage entre les spécialistes de l'ingénierie système et les spécialistes des autres disciplines ("génie" mécanique, électronique, chimie, plasturgie, informatique, psychologie, etc).
- ⇒ D'autres travaux sont en cours pour définir un langage commun de description de l'ingénierie système. Il s'agit de l'AP 233 (projet de norme ISO 10303-233). Les résultats de ce projet ne sont pas encore aboutis.

Depuis une vingtaine d'années, les grands groupes industriels, comme PSA Peugeot Citroën se sont transformés en intégrateurs ou ensembliers d'équipements ou d'organes. Ces ensembliers sont devenus des maîtres d'œuvre se dotant de méthodes de conception de systèmes et d'intégration d'équipements, laissant de plus en plus à des fournisseurs externes la réalisation de ces derniers. Vis à vis des démarches de conception, les fournisseurs ne peuvent qu'emboîter le pas de leurs donneurs d'ordres à plusieurs titres :

- soit parce qu'ils sont parties prenantes dans une co-conception avec leurs donneurs d'ordres,
- soit parce qu'ils doivent répondre de façon concurrentielle à des cahiers des charges exprimés en terme de besoins et d'obligation de résultats

1.2. Définition et objectifs de l'ingénierie système

1.2.1. Définition

L'AFNOR donne les définitions suivantes :

- ⇒ **Ingénierie système (IS)** : Démarche d'intégration de toutes les disciplines impliquées dans le cycle de vie d'un système en tenant compte des différents besoins, pour pouvoir développer une solution à la fois économique, performante et satisfaisant tous les points de vue.

L'ingénierie système est une discipline qui permet de maîtriser la conception et la réalisation d'ensembles complexes, prenant en compte tout le cycle de vie, depuis la détection des besoins jusqu'à l'achèvement du retrait de service. Trop nombreux sont les systèmes qui n'ont pas bénéficié d'une démarche d'ingénierie cohérente. L'émergence dans ces assemblages de propriétés imprévues ou mal évaluées est à l'origine de très nombreuses défaillances. L'Ingénierie Système (IS) porte sur les éléments suivants :

- √ Le processus de développement (modèles de maturité et plan de progrès couvrant : management, ingénierie, organisation)
- √ Hommes, formation, métier
- √ Processus de conception (architecture)
- √ Environnement de développement

- √ Indicateurs (techniques et de progrès)
- √ Modélisation, simulation
- √ Sûreté de fonctionnement
- √ Normalisation

Dans le cadre automobile :

- ☞ L'ingénierie système est une démarche :
 - Pour créer le produit et le processus
 - Pour satisfaire les exigences du client et de toutes les parties prenantes
 - Appliquée à tout le cycle de vie
 - Pour coordonner des équipes multidisciplinaires
 - Faisant appel systématiquement à des processus génériques reconnus
- ☞ La démarche d'ingénierie système s'applique à tout le système :
 - Au système « produit » et à ses sous systèmes (ingénierie des constituants),
 - Au système « process » et à ses sous systèmes (ingénierie de fabrication),
 - Au système « projet » et ses processus (ingénierie des processus), etc.

1.2.2. Buts de l'ingénierie système

Dans le cadre du développement d'un produit et de son process de fabrication associé, les buts de l'ingénierie système sont :

- Assurer la compatibilité fonctionnelle et organique du système avec les besoins
- Equilibrer l'économie globale de la solution, sur tous les aspects du problème, dans toutes les phases de la vie du système (point de vue de l'utilisateur),
- Rechercher l'équilibre entre les exigences, les contraintes, les performances, les coûts, les délais et les risques du projet (point de vue du concepteur)
 - D'identifier, de structurer et d'organiser les activités techniques
 - De résoudre des problèmes complexes
 - D'ajuster les activités techniques aux besoins
 - D'éviter les retours arrière et progresser avec assurance
 - De maîtriser les informations nécessaires à la réalisation
 - De maîtriser les risques (pertes possibles) et d'exploiter les opportunités (gains possibles)
 - De capitaliser l'expérience
 - De réduire les délais de développement
 - De faciliter la ré-ingénierie du produit

1.2.3. La rétro ingénierie

Dans le cas où le développement du produit ne s'est pas fait dans le cadre de l'ingénierie système, il faudra pratiquer sa rétro ingénierie qui consiste, à partir du produit et de ses constituants, à remonter à ses spécifications (opération inverse à celle préconisée dans l'ingénierie système).

1.3. Approche systémique de la conception

1.3.1. Définition d'un système

L'AFNOR donne la définition suivante :

Un Système est un ensemble composite de personnels, matériels, logiciels (ou systèmes informatiques) et de processus, organisés de manière à ce que leur inter fonctionnement permette, dans un environnement donné, de satisfaire les besoins et de remplir les missions correspondant à leur finalité.

Le produit et le process sont vus comme un système pouvant se décomposer en d'autres sous systèmes en allant jusqu'à se décomposer en composants élémentaires. Un système est défini par une frontière avec un environnement (interfaces avec les systèmes environnants), des fonctions (organisation fonctionnelle – logique) et des constituants (organisation structurelle – organique). Appliquée à l'automobile, les deux principaux types de systèmes sont les systèmes produit et les systèmes de fabrication des produits automobiles.

Un système véhicule est constitué d'un véhicule et de ses fonctions (conduire, transporter, maintenir, ravitailler,...) organisés de manière à ce que les besoins du client soient satisfaits (se déplacer, transporter, se sentir bien, obtention rapide, coût de possession faible, assurer la sécurité des passagers,...), compte tenu des infrastructures et des conditions d'environnement (routes, garagistes, points de ravitaillement, météorologie, pays...).

1.3.2. Système englobant et sous systèmes

Un système est toujours inclus dans un autre système et est en interface avec d'autres systèmes. La figure suivante (figure 12) illustre cette notion de système englobant et de sous système.

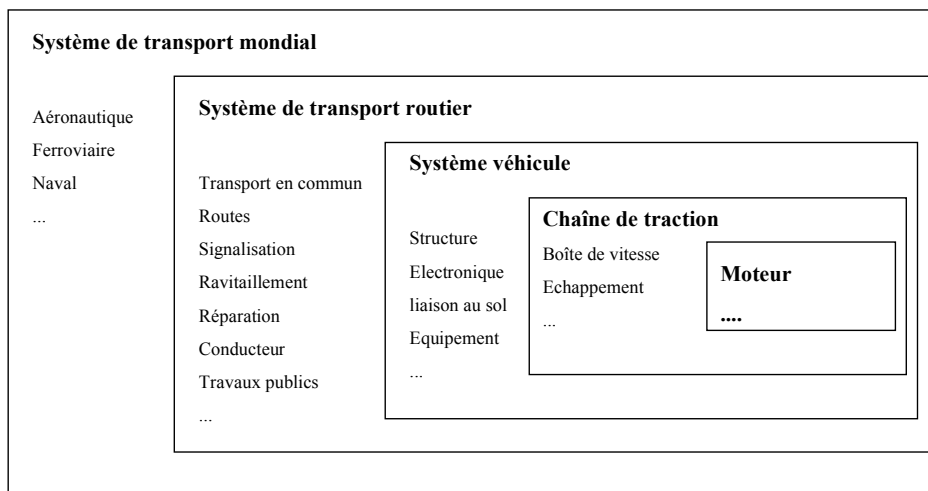


Figure 12 : Les systèmes englobant et sous systèmes du système véhicule

1.3.3. Système interface

Par exemple, le système véhicule s'interface avec les systèmes suivants :

- Pilote du système produit
- Passagers et objets transportés
- Système d'infrastructure routière (routes, signalisation, parking,...)
- Système de ravitaillement (stations, services, énergies,...)
- Système législatif (code de la route, gendarmerie, sécurité, pollution,...)
- Système d'environnement social,...

1.3.4. Systèmes associés

Pour vivre toutes les étapes du cycle de vie, le système étudié a besoin de systèmes associés. A leur tour, les systèmes associés peuvent être considérés comme des systèmes étudiés et donc avoir eux aussi des systèmes associés.

Par exemple, un système produit a besoin des systèmes associés suivants :

- D'un système d'étude amont (environnement pour simulations et études)

- D'un système de conception & développement (ressources et compétences métier, moyens d'études, savoir-faire,...)
- D'un système de service après vente (approvisionnement, information et formation des réparateurs,...)
- D'un système de service de fabrication (pour produire en grandes séries)
- D'un système de vente (marketing, finance, promotion, réseau commercial, commandes, livraisons,...)
- D'un système de retrait (moyens de recyclage, casse,...)

Les mêmes concepts d'ingénierie système peuvent s'appliquer pour chaque système qu'ils soient ceux d'intérêt ou ceux qui lui sont associés. Il ne faut pas confondre systèmes associés avec systèmes environnants.

1.3.5. La description des connaissances sur un système

L'approche de modélisation d'un système est décomposée en trois étapes : isoler le système en définissant la frontière le séparant de son environnement, déterminer les actions dans lesquelles le système intervient, décomposer le système en sous-systèmes pour définir son organisation interne. Les trois étapes sont répétées sur les sous-systèmes jusqu'à l'obtention de détails suffisants (définition géométrie du produit en conception).

Donc, pour être complètement analysé, modélisé, conçu et décrit, un système doit être décrit selon plusieurs points de vue :

- La modélisation fonctionnelle : représentation selon des architectures ou hiérarchies de fonctions (actions de transformation, déplacement,...) ;
- La modélisation dynamique : représentation de l'enchaînement des fonctions pour réaliser le processus (c'est à dire explicitation des scénarios) ;
- La modélisation temporelle : représentation selon une hiérarchie ou des niveaux temporels des fonctions et des processus (ou équilibrage des fonctions) ;
- La modélisation organique : représentation selon des architectures ou hiérarchie de constituants réalisables physiquement ;
- La modélisation sémantique : représentation des informations véhiculées par les fonctions et processus à travers l'architecture organique selon des structures de données.

1.4. Synthèse

Les concepts de l'ingénierie système donnent une modélisation générique du développement et du processus de conception de produits (cycle en V) intéressante pour notre problématique. Le cycle en V (§2.1 du chapitre 1) est pris comme référence dans l'étude. Celui-ci constitue le macro modèle générique du domaine. De plus, cette modélisation générique constitue un standard qu'il est important, pour des raisons scientifiques et industrielles, d'approfondir et d'appliquer.

L'approche systémique est très intéressante pour notre problématique car elle permet de structurer toutes les connaissances (modèles) par rapport à chaque système du produit et donc de packager en quelques sortes les connaissances. Elle permet également de décomposer les systèmes en sous systèmes puis de les concevoir (cycle en V). Le fait de considérer des systèmes permet d'apporter une rigueur à l'activité de conception. En effet, cela permet de décomposer judicieusement l'activité de conception. En isolant un système, il est possible de bien identifier ses fonctions à réaliser ainsi que ses contraintes extérieures provenant des autres systèmes (associés, englobant, interfaces...).

Un autre intérêt de l'approche systémique, pour notre étude, est qu'en cas de changement de technologie (solutions technologiques), la pérennité du référentiel métier est assurée. En effet, le fait qu'une nouvelle technologie soit intégrée dans le produit pour réaliser une fonction nécessite la mise à jour des connaissances. Or les connaissances, à mettre à jour, découlent de l'analyse systémique

(fonctions, systèmes associés et environnants), qui elle est conservée car indépendante des solutions technologiques employées. Ces connaissances modulaires (par rapport aux systèmes associés) sont alors facilement localisables (par rapport au système réalisant la fonction de la nouvelle technologie) et donc facilement maintenable. En cas de changement de technologie, le travail à faire sera juste d'intégrer la nouvelle technologie dans le référentiel métier en appliquant les principes de modélisation proposés dans l'étude (identification des liens - contraintes - entre la nouvelle technologie et les systèmes associés, tâches de dimensionnement fonctionnel et détaillé de la nouvelle technologie, flux d'information associés,...).

Les propositions faites dans l'étude vont contribuer à l'objectif de l'ingénierie système de faciliter la ré ingénierie des systèmes en proposant les modèles adéquats, plus détaillés, et un outil informatique support.

2. Les modélisations existantes du produit et de son processus de conception

Un modèle est par définition une représentation d'une abstraction d'une partie du monde réel, exprimée dans un langage de représentation. Ce langage peut être formel (c'est à dire ayant une syntaxe et une sémantique bien définies comme la logique du premier ordre ou un langage informatique), semi - formel (notation graphique normalisée) ou informel (description en langage naturel).

L'utilité des modèles produit et processus de conception sont de pouvoir supporter les données, informations et connaissances relatives au développement de produit. L'objectif de cette modélisation est avant tout, dans un contexte d'ingénierie concourante, de décloisonner les différents services et de permettre une communication plus efficace vers les acteurs intérieurs et extérieurs à l'entreprise contribuant à l'élaboration du produit (Bernard 99). Ces modèles permettent également de capitaliser les connaissances.

On distingue deux types d'éléments à prendre en compte

- ⇒ Les données, informations et connaissances techniques
- ⇒ Les données administratives et de gestion qui permettent d'assurer une parfaite synchronisation des activités de l'entreprise

De nombreuses études ont déjà été réalisées pour aboutir à une modélisation du produit et de son processus de conception. Ces études peuvent être classées en plusieurs catégories.

2.1. Les modélisations du produit

Les connaissances du produit concernent soit la physique et la géométrie de celui-ci, soit les fonctions de celui-ci. La conception de produit commence par la conception des fonctions de service du produit, pour ensuite réaliser les fonctions techniques, afin d'aboutir au détail du produit et à sa modélisation géométrique. Ce paragraphe commencera donc par les méthodes permettant de recueillir les données, informations et connaissances relatives aux fonctions d'un produit puis par les modèles permettant de les supporter. Ensuite, il sera étudié les informations du produit qui sont véhiculés en conception détaillée (géométrie, etc.) et leur modélisation.

2.1.1. Les méthodes d'analyse fonctionnelle du produit

L'analyse fonctionnelle présentée dans la norme française NF X50-150 et NF X50-151 (AFNOR 90) (AFNOR 91) consiste à déterminer les fonctions d'un produit. Pour cela, des modèles sont proposés. L'Association française pour l'Analyse de la Valeur (AFAV) répand la démarche d'analyse de la valeur dans le tissu industriel français. Pour plus de précision le lecteur pourra se reporter aux travaux de (Yannou 98).

La méthode appelée RESEAU (Tassinari 1995) est la méthode (figure 13) d'analyse fonctionnelle la plus utilisée. Les étapes de la méthode sont décrites dans le tableau suivant. Cette méthode permet de

déterminer toutes les situations dans lesquelles le produit pourra se trouver durant sa vie et, par conséquent, les fonctions qu'il devra satisfaire dans chaque situation de vie.

<p>R – Recherche intuitive E – Etude du cycle de vie et de l'environnement S – Sequential Analysis of Functional Elements (SAFE) E – Examen des mouvements et des efforts A – Analyse d'un produit de référence U – Utilisation des normes et des règlements</p>
--

Figure 13 : La méthode réseau

2.1.1.1. La recherche intuitive de fonction

Les techniques de brainstorming permettent de déceler 50% des fonctions. La méthode réseau permet de faire le reste :

2.1.1.2. Etude du cycle de vie

Les phases du cycle de vie d'un appareil électroménager sont les suivantes :

- Emballage
- Stockage
- Transport
- Magasinage chez le distributeur
- Transport
- Magasinage chez le détaillant
- Exposition et éventuellement démonstration, vente,
- Livraison, déballage
- Installation et essais
- Utilisation
- Maintenance, utilisation
- Fin de vie, élimination

Lorsque le produit est un composant, il convient de prendre en compte toutes les étapes de son intégration dans le système : jonction, réglage, fixation... Dans ce cas, les fonctions peuvent avoir un caractère technique ou de service vis-à-vis du système.

2.1.1.3. Etude de l'environnement

Un produit n'est jamais indépendant de son environnement. Dans la plupart des cas, le produit doit s'adapter à son environnement, c'est à dire satisfaire certaines fonctions par rapport à cet environnement. Les limites de l'étude déterminent la limite de l'environnement à prendre en compte (voir le cas d'une tondeuse à gazon sur la figure 14). L'environnement peut se décomposer en plusieurs familles :

- Les personnes
- Les éléments physiques
- Les éléments immatériels (normes, directives, etc.)
- L'ambiance

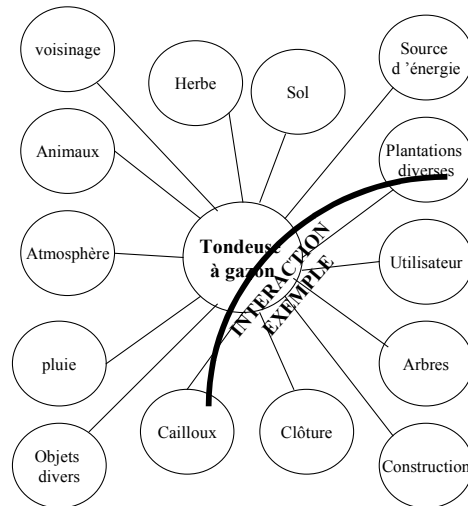


Figure 14 : Graphe APTE de l'environnement d'une tondeuse à gazon

Cette modélisation s'appelle le « diagramme pieuvre », « graphe d'interaction » ou « la modélisation APTE » (de la société Application des Techniques d'Entreprises).

2.1.1.4. La méthode SAFE

La méthode SAFE (Sequential Analysis of Functional Elements), d'origine américaine, permet de trouver des fonctions à travers l'étude des séquences du cycle de vie du produit. L'aspect le plus intéressant de cette approche est de décomposer toutes les séquences d'utilisation du produit. L'analyse consiste à se mettre à la place de l'utilisateur, de tenir compte de l'environnement au moment où il utilise le produit et de rechercher quelles sont les fonctions à satisfaire durant cette période. Le tableau (figure 15) suivant illustre cette démarche en reprenant l'exemple de l'aspirateur ménager électrique.

Séquences	Fonctions
Chercher l'aspirateur	Etre identifiable
Saisir l'aspirateur	Etre préhensible
Déplacer l'aspirateur	Etre maniable Etre léger Etre peu encombrant
Brancher sur la prise de courant	Permettre le branchement
Actionner l'interrupteur etc.	Permettre la mise sous tension

Figure 15 : Identification des fonctions à partir des séquences

Pour enrichir les connaissances sur le fonctionnement d'un système, il est possible de pondérer les fonctions.

2.1.1.5. Examen des mouvements et des efforts

Cet outil méthodologique propose de concentrer l'attention sur deux points particuliers : les mouvements et les efforts. Les produits objets et les processus techniques sont soumis à des efforts qui peuvent être provoqués par des mouvements, et réciproquement.

Les fonctions qui résultent de l'analyse peuvent être de deux types :

- Actives, assurer le déplacement
- Passive, assurer la réaction à l'effort

Afin de faciliter l'identification des fonctions, il est souvent nécessaire de caractériser les mouvements :

- Le genre : circulaire, longitudinal, etc.
- L'amplitude : longueur, hauteur, etc.
- L'enchaînement : simultané, alternatif, continu, etc.
- Le cycle : durée totale d'une séquence, etc.
- La temporisation : anticipation, retard, etc.
- Le produit ou l'un de ses constituants peut être générateur, transmetteur, transformateur, amplificateur, récepteur, etc.

Exemple de fonctions : transmettre l'effort, transformer le mouvement, résister à l'effort.

2.1.1.6. Analyse d'un produit de référence

Les outils d'analyse décrits précédemment permettent de recenser pratiquement toutes les fonctions d'un produit mais une omission est toujours possible. L'examen d'un produit de référence ; lorsqu'il existe, permet d'éviter les oublis. Un produit de référence présente une certaine analogie avec le produit à étudier :

- Produit similaire dans un domaine voisin
- Produit existant dans une même gamme
- Produit de la concurrence (« analyse concurrence » et veille technologique)

2.1.1.7. Synthèse

Cette méthode d'analyse de la valeur propose une démarche simple, puissante et intéressante pour recueillir les connaissances sur le fonctionnement du produit. Les résultats de la présente étude proposent cette méthode, couplée avec une approche ingénierie système, pour identifier les fonctions d'un système et expliciter les différentes situations de vie de celui-ci. Cette méthode doit être complétée pour enrichir et approfondir le fonctionnement d'un système. Cette méthode permet juste de « dégrossir » le problème et propose une vue fonctionnelle macroscopique du système. Pour résoudre la problématique de l'étude, il est nécessaire de disposer des modèles fonctionnels du produit plus détaillés. Le prochain paragraphe va présenter ceux qui existent dans la littérature.

2.1.2. Les graphes d'arborescence fonctionnelle

2.1.2.1. Le diagramme fonctionnel FAST

Le diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) qui apparaît sur la figure 16 (cas d'une tondeuse à gazon), pouvant être accompagné du diagramme APTE (figure 14), présente l'avantage d'ordonner graphiquement les fonctions en respectant un ordre logique. La méthode consiste, à partir des fonctions issues de l'AF (méthode RESEAU), à sélectionner les fonctions d'ordre général (celles qui n'apportent rien à la logique de satisfaction des fonctions, par exemple : Résister à la corrosion) et de les séparer de celles qui figureront sur le diagramme FAST. Les fonctions sont disposées, les une à côté des autres, suivant un ordre déterminé par les réponses aux questions suivantes : Pourquoi?, Comment ? et Quand ?

La construction du diagramme commence en plaçant à gauche la fonction principale et à sa droite la fonction qui répond à la question : comment ?

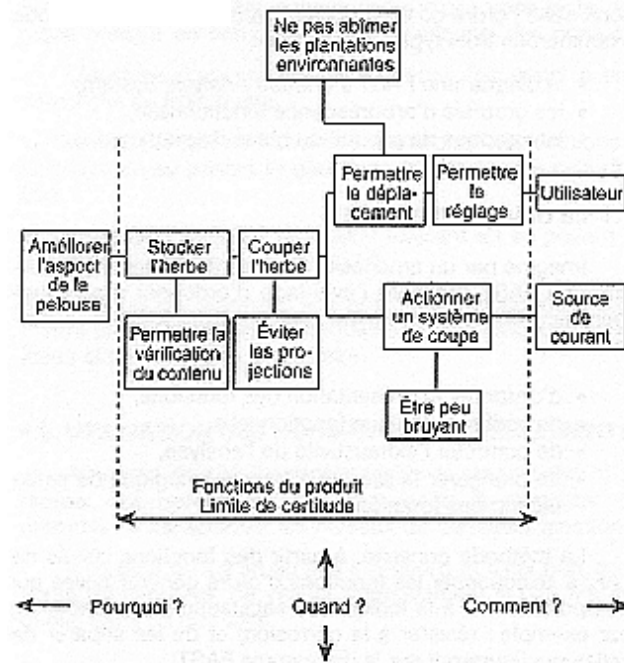


Figure 16 : Diagramme FAST d'une tondeuse à gazon

Le diagramme se construit de proche en proche sur une ligne baptisée « chemin critique », à l'exemple d'un PERT. Enfin, les fonctions qui répondent à la question : quand ? sont disposées à la verticale des fonctions qui sont réalisées simultanément. Pour illustrer ce qui précède, reprenons l'exemple de la tondeuse à gazon dont quelques fonctions ont été placées sur un diagramme FAST (figure 16):

Le diagramme comporte, à gauche et à droite, deux lignes verticales qui marquent la limite de certitude ; c'est à dire la zone à l'intérieur de laquelle sont comprises les fonctions offertes par le produit. Améliorer l'aspect de la pelouse ne dépend pas du produit mais de la façon dont il est employé par l'utilisateur.

La logique fonctionnelle du FAST permet de contrôler l'exhaustivité de l'analyse fonctionnelle. S'il n'est pas possible de répondre à l'une des trois questions, il y a deux possibilités : une fonction n'a pas été identifiée ou une fonction est mal formulée. Il faut revoir la formulation pour que la réponse soit claire.

2.1.2.2. Le modèle chromosomique

Andreasen (Andreasen 91) propose un modèle chromosomique à quatre domaines (figure 17) :

- ⇒ Le domaine des Phénomènes physiques décrivant les transformations physiques qui ont lieu dans le système
- ⇒ Le domaine des fonctions exprimant les résultats attendus
- ⇒ Le domaine des organes, représentant les entités qui répondront aux résultats attendus du système
- ⇒ Le domaine des pièces, précisant les éléments « composants » ou « pièces » des « organes » du système

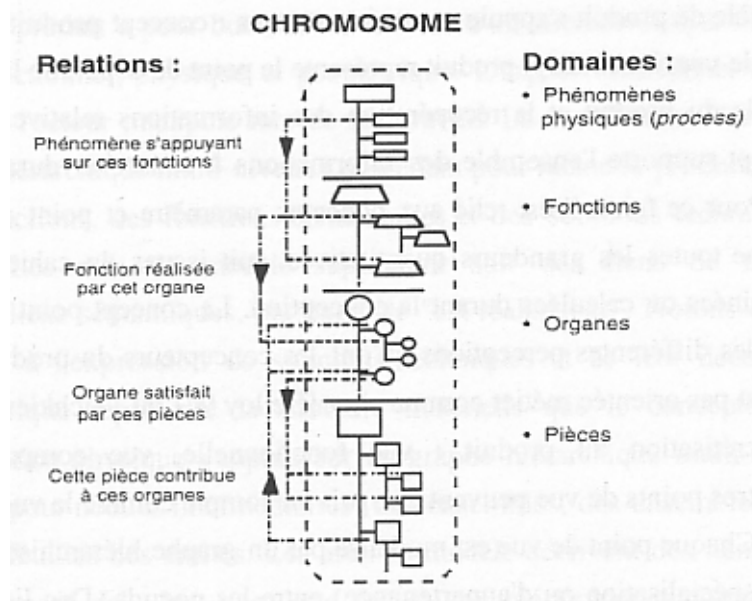


Figure 17 : le chromosome (Andreassen 91)

Le produit est défini à l'aide d'une représentation génétique, le chromosome, traduisant les résultats de la conception. Le travail du concepteur s'effectue à l'aide de trois opérations basiques (Mortensen 96), modifiant la composition du chromosome en influant sur les éléments du domaine : séparation, synthèse et insertion. L'opération de séparation permet d'extraire un élément de conception du modèle de produit, de l'ajuster afin de satisfaire un besoin spécifique. L'opération synthèse assure la création d'un nouvel élément de conception à partir de la composition ou décomposition des éléments déjà existants de façon intra ou inter domaines. L'opération d'insertion traduit l'intégration dans le modèle de produit d'un nouvel élément, en créant et tissant des relations nécessaires avec son environnement. Ce modèle est intéressant car il reprend les fonctionnalités utiles à la base de connaissances produit (faisant partie du référentiel métier) que l'étude vise à mettre en place. En effet, la séparation peut être vue comme l'utilisation de « connaissances produit » du référentiel à des fins de conception routinière suite à un nouveau projet de conception, cette séparation mène à une nouvelle définition du produit propre au projet et aux nouvelles exigences à atteindre. La synthèse est l'opération de modification de « connaissances produit » à des fins d'optimisation de sa qualité, de son coût ou pour respecter de nouvelles contraintes. L'opération d'insertion correspond à la prise en compte d'une nouvelle technologie dans le référentiel métier en remplacement d'une autre (ce peut être le cas par exemple du remplacement de la direction hydraulique par la direction sans colonne « steer by wire »). De plus, l'approche systémique (ingénierie système) se prête tout à fait à ce genre d'opérations.

2.1.2.3. Le Modèle Intégré de Définition de Système mécanique (MIDSYM)

Le projet MIDSYM (Modèle Intégré de Définition de Système Mécanique) (Mony 92) a permis de mettre en place les premiers éléments d'un modèle de produit pour l'ingénierie de produit. Son objectif est la conception d'un modèle informationnel, établi durant la conception détaillée, qui intègre toutes les informations (géométriques, fonctionnelles, technologiques et physiques) nécessaires à la définition du produit. Ce modèle a été implémenté dans une base de données objet (GEMSTONE) qui sert de base à tout échange d'information sur le produit déjà conçu. Le niveau de description des données du modèle est défini par le stockage minimum de sémantique autorisé pour permettre le partage des données vers les différentes vues applicatives. Mony propose un modèle intégrant l'ensemble des paramètres géométriques, fonctionnels, physiques et technologiques qui entrent dans la définition d'un système mécanique. Ceci permet une capitalisation des informations « produit » dès la conception, un partage et un enrichissement de ces informations par différents métiers ainsi qu'une capitalisation du savoir-faire au travers des informations stockées. Pour ce faire, l'analyse, dans le cycle de vie du produit, de la phase d'ingénierie de produit et de son état d'informatisation, débouche sur la définition du concept

« d'intégration par les données ». Cette approche représente un champ important d'amélioration de l'ingénierie de produit.

Le modèle de Mony a été positionné suivant cinq dimensions :

- ⇒ La dimension « information processus » : le modèle est un modèle informationnel et le résultat d'une démarche d'intégration par les données.
- ⇒ La dimension « cycle de vie du produit » : le modèle de définition de produit est décrit, en fin de conception, durant la conception de détail. Il constitue alors une référence pour l'ensemble des communications futures sur le produit.
- ⇒ La dimension « organisation du processus » : le concept d'entité permet, lors de la conception, la définition simultanée des informations nécessaires à la fabrication et à la remontée des contraintes de fabrication de niveau des classes d'entités.
- ⇒ La dimension « automatisation des processus » : les résultats obtenus suivant cette dimension sont liés à l'utilisation d'applications automatisées existantes et à l'interactivité des modèles. La capitalisation de l'expérience, obtenue par le stockage des informations « produit », permet la réutilisation de solutions et la prise en compte des modifications. A ce niveau, le modèle apporte une aide directe à l'automatisation des processus.
- ⇒ La dimension « sémantique » : ces travaux ont permis de contribuer à la détermination de la sémantique d'un système mécanique, reposant sur la structuration du modèle suivant plusieurs points de vue (fonctionnel, physique, technologique, géométrique) et commune à plusieurs métiers (conception, usinage, fabrication d'outillages de mise en forme).

Les différents modèles de MIDSYM ont démontré leur possibilité d'intégration dans l'ingénierie du produit et leur possibilité d'intégration avec des applications informatiques existantes. Trois vues principales ont été expérimentées, celle géométrique avec EUCLID, celle de préparation FAO avec le logiciel SMS et enfin celle de préparation du brut de la pièce et de la fabrication des outillages associés, par l'intégration au logiciel LURPA-CN3D. Ces travaux constituent une contribution en vue de la création d'une base de données « produit » permettant la gestion de l'ensemble complet des informations générées durant l'ingénierie des systèmes mécaniques.

2.1.2.4. Le modèle par couche

Les travaux (Crabowski 95) utilisent les principes de modélisation par couche en fonction des phases du processus de conception (modélisation du besoin, modélisation fonctionnelle, modélisation des principes - ou d'idées de solution - et modélisation des formes). L'évolution dans les couches du modèle s'effectue par une progression par états de solution successifs. Un ensemble d'opérations permet de passer d'un état de solution à un autre : concrétisation, abstraction, description, combinaison et alternat.

Un ensemble d'opérations permet de passer d'un état de solution à un autre : concrétisation ; abstraction, description, combinaison et alternat.

- La concrétisation : Permet de passer à un état de solution ES_i à un état ES_{i+1} mais d'une couche de modélisation inférieure.
- L'abstraction : Opération opposée à la précédente
- La description : Permet de passer d'un état de solution ES à un état de solution ES_{i+1} mais dans la même couche. Cette opération consiste en un apport d'information à un état donné du produit.
- La combinaison : Opération opposée à la précédente
- L'alternat : Permet de prendre en considération plusieurs alternatives d'état de solutions ES_i pour l'état ES .

2.1.2.5. Le modèle DEKLARE

Le modèle DEKLARE (DESIGN KnowLedge Acquisition for Redesign Environment) est proposé par Vargas (Vargas, 95) et Saucier (Saucier, 97). Ils décrivent le produit de plusieurs manières (point de vue physique, fonctionnel et géométrique) :

- Le modèle physique (voir un exemple figure 18) est très connu. Il consiste en la décomposition d'un objet en entités élémentaires (le modèle physique peut être une nomenclature). Un modèle physique est générique et est paramétré (par exemple si on prend l'objet vélo, deux de ces paramètres sont la couleur et sa masse, un des paramètres des roues est le diamètre...). Un modèle produit physique gère aussi la diversité. Il peut également être instancié (par exemple le vélo de madame Dupont est rouge, il a des roues de diamètre X, il pèse Y kilogrammes...).

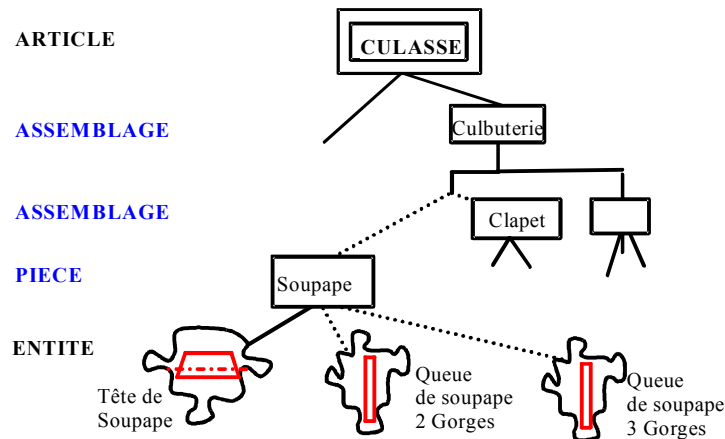


Figure 18 : Le modèle physique de Vargas (Vargas, 95)

- Le modèle fonctionnel (voir un exemple, figure 19) quant à lui est un peu moins courant et évident à construire. En effet son rôle est de décomposer les fonctions en sous fonctions et de les allouer aux éléments composant le produit. L'intérêt d'une telle modélisation est de savoir quel composant impacte quelle fonction, ceci afin de mieux maîtriser l'utilité de tel ou tel élément du produit pour une meilleure optimisation et de connaître l'impact d'une modification d'un élément sur une fonction...

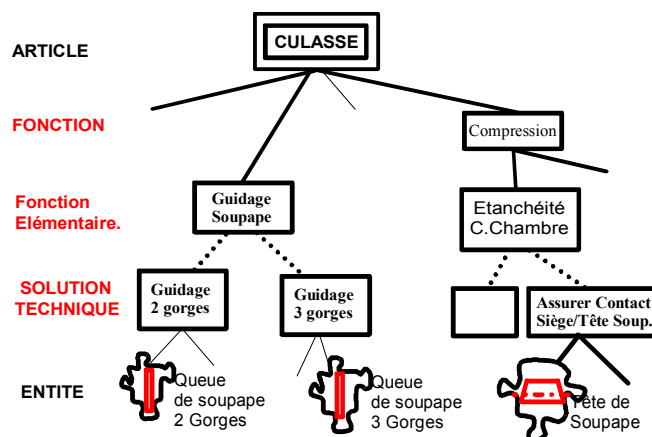


Figure 19 : Le modèle fonctionnel de Vargas (Vargas, 95)

Ces modèles sont couplés avec le modèle du processus de conception présenté (figure 34). F. Sellini (Sellini, 98) propose dans sa thèse une évolution sémantique des modèles précédents pour s'assurer leur inter cohérence. Ces modèles serviront de référence car les travaux de l'étude, chez PSA, s'inscrivent dans le même cadre que les travaux de Vargas, Saucier et Sellini.

2.1.2.6. Le modèle de représentation MDP

Dans le cadre du projet DSPT 8 intitulé « Scénario d’ingénierie communicante pour les Systèmes Intégrés de Production », Jacquet (Jacquet 98) propose une démarche de conception algorithmique. Le Modèle De Produit (MDP) se décompose en cinq niveaux de représentation :

- Représentation du besoin
- Représentation des exigences fonctionnelles du besoin
- Représentation technologique
- Représentation technique
- Représentation détaillée

Cette décomposition est similaire à une démarche ingénierie système (branche descendante du cycle en V).

2.1.2.7. Le modèle produit de MOKA

MOKA (Methods and tools Oriented Knowledge Acquisition) est une méthode (Moka 99) issue d’un projet européen ESPRIT / AIT qui a commencé en 1998. Ce projet a regroupé EADS, BAE systems, l’université de Coventry, Daimler Chrysler, Decan, KTI et PSA Peugeot Citroën. Les objectifs de ce projet ont été de définir une méthodologie pour réaliser des applications KBE (Knowledge Based Engineering). Les résultats sont la proposition d’un modèle du produit et du processus de conception (§2.2.5) basé sur le formalisme UML.

Le modèle produit (figure 20) décrit le « quoi » de la conception. Le modèle inclut des vues, classes et des attributs prédéfinis. Il y a 5 vues dans le modèle produit :

- La vue « structure » inclut les classes : structure, produit, assemblage, pièce, feature composite et classe feature. C’est la vue principale du méta modèle à partir de laquelle tous les autres liens sont faits.
- La vue « fonction » inclut les classes : Fonction, principe de solution, solution technique. Cette vue est en liaison avec la vue « structure » et la vue « comportement ».
- La vue « comportement » inclut les classes : Comportement, état et transitions. Cette vue est attachée à la structure
- La vue « technologie » décrit les technologies, le process de fabrication et le matériel utilisé
- La vue « représentation » décrit la géométrie de la structure.

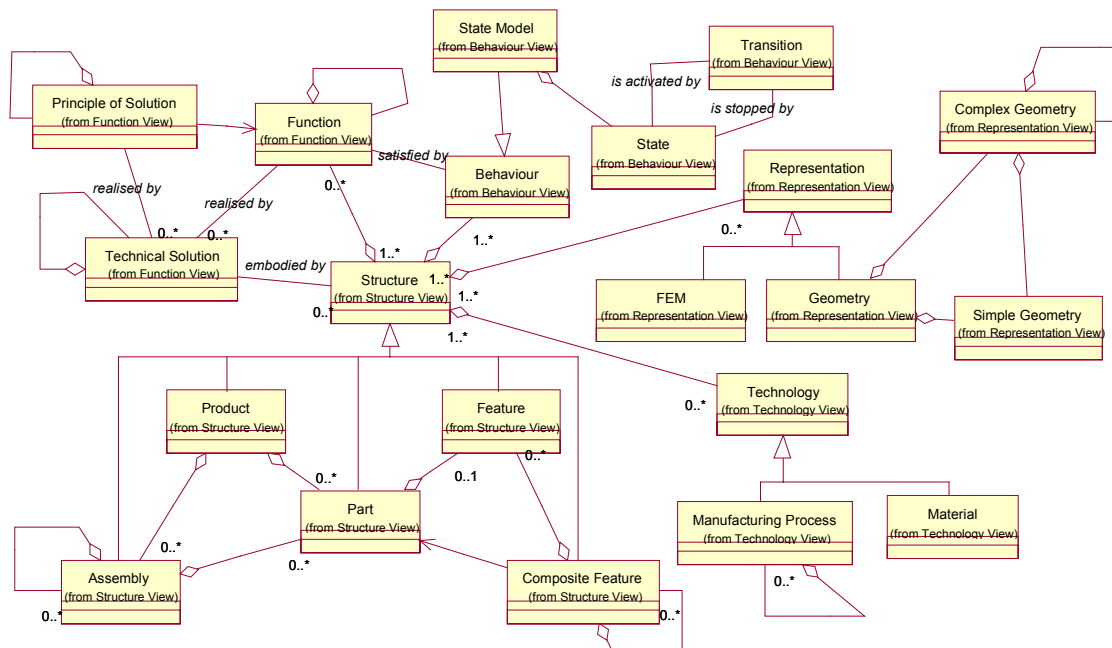


Figure 20 : Le meta modèle produit (Moka 99)

2.1.3. Les modélisations multi points de vue du produit

2.1.3.1. Les Perceptions différentes des concepteurs

Harani (Harani 97) propose un modèle de produit (figure 21) pour la capitalisation de savoir-faire et la réutilisation des connaissances. Elle s'appuie sur le principe de méta modélisation et a pour but de représenter et regrouper toutes les informations définissant et caractérisant le produit dans une même base de connaissances.

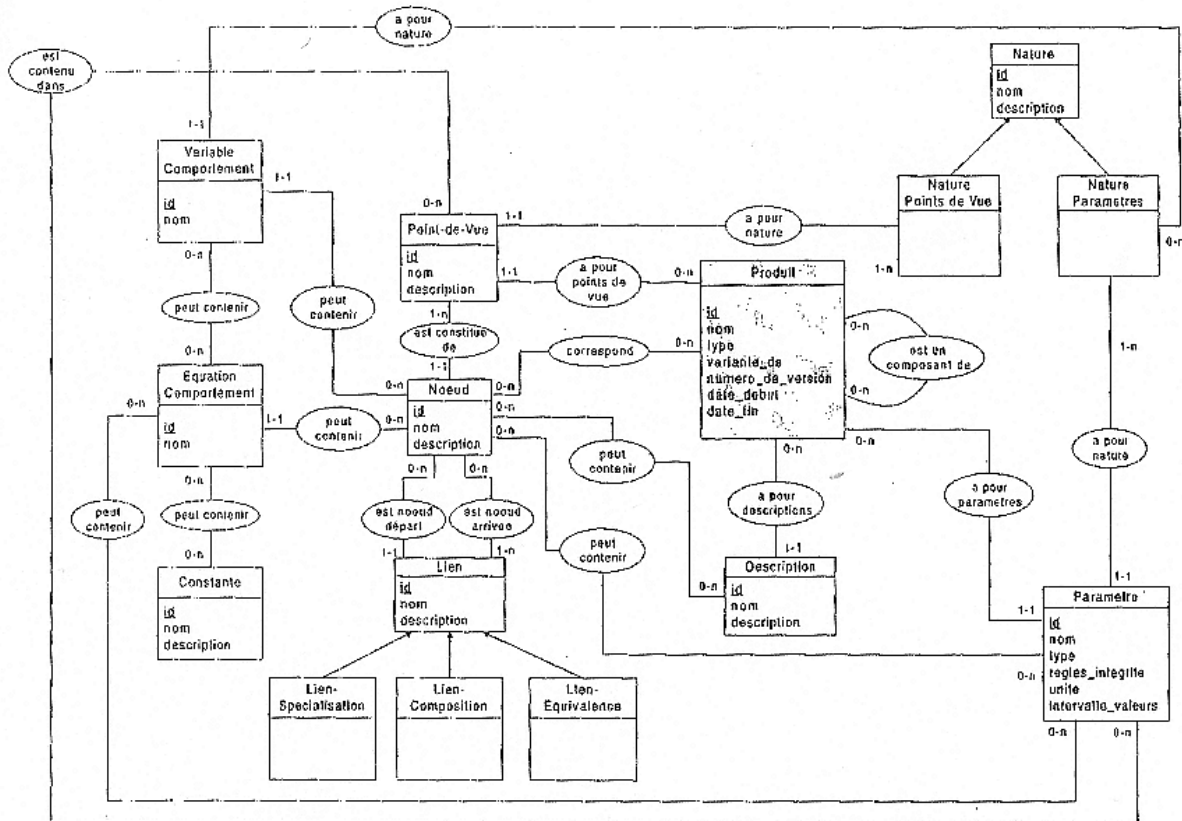


Figure 21 : Méta modélisation du produit (Harani97)

Ce modèle produit s'appuie sur trois concepts : le concept produit, le concept paramètre et le concept de « point de vue ». Le concept produit est le point de départ de la conception avec la description initiale du produit déjà conçu. Ce concept supporte l'ensemble des informations à conserver durant la conception et ultérieurement. Pour ce faire, il est relié au concept paramètre et point de vue. Le concept paramètre exprime toutes les grandeurs quantitatives, soit issues du cahier des charges, soit générées, déterminées ou calculées durant la conception. Le concept de « point de vue » permet une prise en compte des différentes perceptions qu'ont les concepteurs du produit mais n'est pas orienté métiers comme chez (Belloy 94) et (Tichkiewitch 98). Elle est dans ce modèle exprimée par niveau de concrétisation du produit : une vue fonctionnelle, une vue comportementale et une vue structurelle. Chaque point de vue est modélisé comme un graphe hiérarchisé avec des liens (de composition, de spécialisation ou d'appartenance) entre les nœuds. Des liens peuvent exister entre nœuds de graphes différents (association d'une fonction à un composant structurel). Les points de vue peuvent être par exemple : la vue « mécanique », la vue « électronique », la vue « thermodynamique », etc.

Dans son modèle, Y. Harani intègre la notion de comportement, relié à la notion de fonction et à celle de structure, approche s'inspirant des travaux de Rosenman (Rosenman 94). Ce modèle produit est couplé avec un modèle du processus de conception que l'on présente plus loin (figure 34).

2.1.3.2. Points de vue métiers

Dans le domaine des points de vue métier, les travaux de (Belloy 94) suivis de ceux de (Tichkiewitch 98) sont intéressants : Ces travaux ont été réalisés autour du thème de la « conception intégrée » qui est une problématique reconnue en tant que telle au sein de l'équipe portant le même nom au Laboratoire 3S de Grenoble.

Belloy propose un modèle d'intégration des connaissances du métier de la fabrication. Il montre l'intérêt de l'apport des connaissances relatives à la fabrication au plus tôt dans le processus de conception. Le modèle est une description de pièces et de mécanismes s'appuyant sur la notion d'entités de peau (qui donne forme au squelette, assimilé à la fibre neutre en élasticité) et squelette (surfaces fonctionnelles) qui donne une définition minimale et générique du produit. La représentation multi vues permet d'associer au modèle les connaissances de tous les métiers devant intervenir (contraintes) dans les choix de conception.

Tichkiewitch propose, quant à lui, pour la mise en place d'une structure de données, un modèle multi vues (figure 22). Cette base de données permet le stockage des données de chacun des métiers gravitant autour de la conception, la mémorisation des actions entre ces éléments, la restitution aux différents acteurs et la propagation des contraintes entre ces différents acteurs.

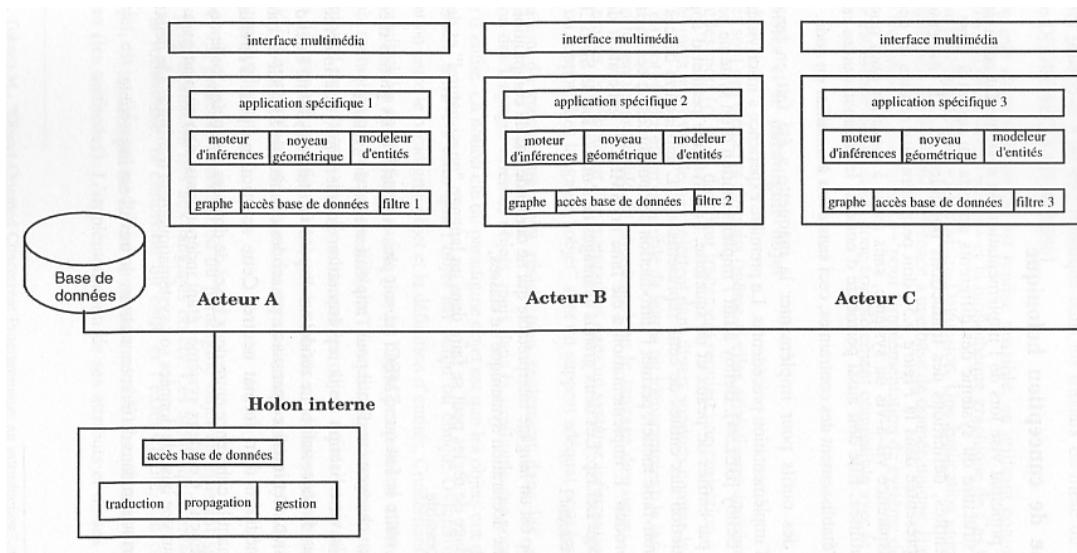


Figure 22 : Un modèle produit partagé (Chapa 97)

Le formalisme proposé repose sur la notion de peau et de squelette. Ce formalisme (voir figure 23) comprend des composants (objet physique) représenté par des rectangles, des liens (caractéristique des composants, par exemple « fixation carter ») représentés par des ovales, des relations entre les liens de composants différents ou d'un même composant (rectangle arrondis).

Ce modèle a trois règles de construction qui sont les règles de composition / décomposition (détail des composants) (figure 24), de substitution (permet de remplacer un lien par un ensemble composant-lien-relation précisant la façon dont est réalisée une relation) (figure 24) et de représentation multi vues (figure 25).

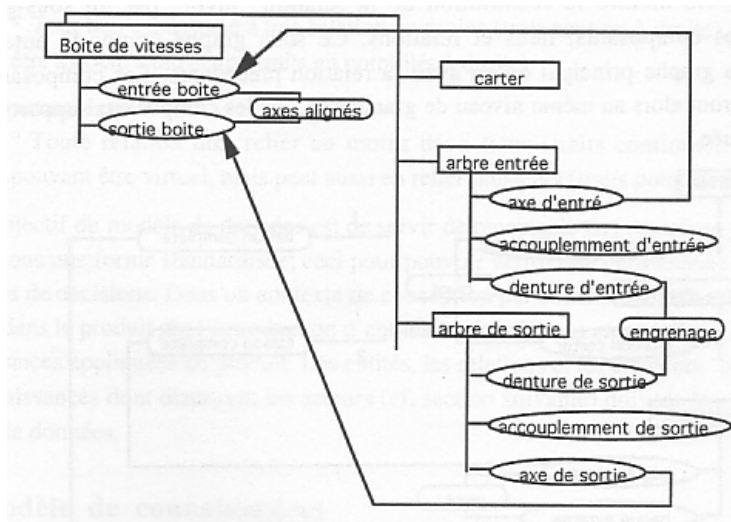


Figure 23 : La représentation de la composition du produit (Chapa 97)

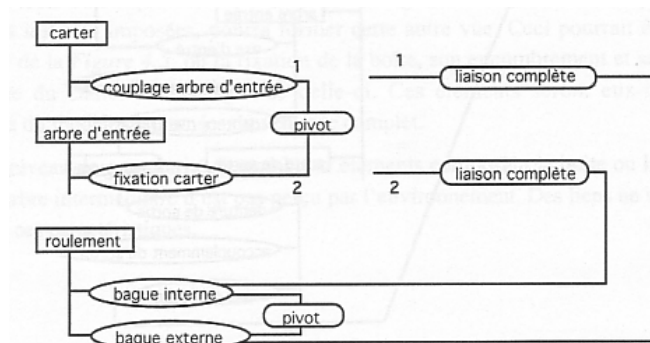


Figure 24 : La représentation de la substitution (Chapa 97)

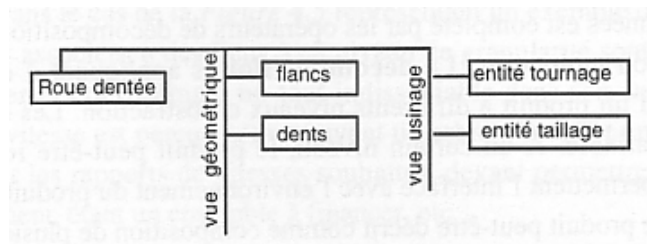


Figure 25 : La représentation multi vue du produit (Chapa 97)

Les modèles précédents sont intéressants dans la mesure où ils rassemblent les connaissances de conception et les connaissances des autres métiers gravitant autour de la conception. Ces modèles permettent aux concepteurs d'être informé au plus tôt, du processus de développement aval du produit, et, de connaître quelles contraintes (des autres acteurs) ils doivent prendre en compte pour faire leurs choix de conception. Le formalisme permet également de capturer des contraintes internes à un produit (règles de conception). Le formalisme est proposé dans l'étude pour représenter, pour un produit donné et ses composants, ses relations (contraintes) avec les autres acteurs. Il constituera un bon support d'informations en terme d'ergonomie pour une interface graphique de l'outil informatique proposé dans cette étude) d'informations pour encapsuler également les concepts de l'ingénierie système sur les contraintes des systèmes interfaces, associés et englobant.

2.1.4. Les modélisations géométriques du produit

Les premiers soucis des concepteurs ont été de modéliser géométriquement le produit à des fins de représentation virtuelle de celui-ci avant d'aboutir au prototype physique. Des croquis, aux tracés 2D, on modélise maintenant le produit en 3D. Cette représentation 3D permet de mieux manier le modèle géométrique et de s'approcher de ce que sera le produit une fois fabriqué (réalité virtuelle). La représentation 3D facilite les simulations qui peuvent être faites sur le produit à des fins de validation. L'objectif des entreprises étant de ne plus avoir recours au prototype physique et coûteux pour effectuer les tests. La représentation géométrique s'appuie sur des outils de C.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur) bien que les outils de D.A.O. (Dessin Assisté par Ordinateur) et les tracés manuels de plans et de dessins perdurent dans certaines petites entreprises. PSA Peugeot Citroën utilise CATIA de la société Dassault System comme logiciel de CAO. Les modélisations géométriques s'appuient sur diverses techniques de représentation telles que les courbes de Bézier ou Nurbs (Léon 98).

Le modèle géométrique est intéressant dans cette étude dans la mesure où il est le support de la conception détaillée du produit. Vargas (Vargas95) propose un modèle géométrique (voir exemple figure 26) en complément à ses modèles physiques et fonctionnels, qui décompose un produit en entités géométriques élémentaires simples comme le cylindre, le plan, la sphère... afin de faciliter l'exploitation par les logiciels de CAO. La décomposition géométrique de Vargas est reprise dans notre étude.

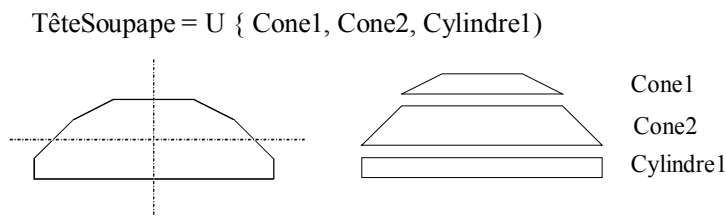


Figure 26 : Le modèle géométrique de Vargas (Vargas, 95)

2.1.5. Les graphes de produits, blocs diagramme, flux fonctionnels

Ces trois appellations désignent un graphe basé sur la circulation de flux fonctionnels entre les divers composants d'un produit. Le tracé d'un tel graphe n'est possible que si le produit existe ou s'il est en fin d'étude de définition car il faut connaître son architecture détaillée, la position des composants, leurs contacts, etc. Partant du principe que tous les composants d'un produit sont en contact les uns avec les autres, il est possible d'en déduire qu'à travers ces contacts passent des flux de fonction. Dans le domaine des produits mécaniques, toutes les pièces sont assemblées entre elles : fixation, soudure, articulation, glissière etc. Dans le domaine électrique ou électronique les contacts peuvent être d'une autre nature : champs électromagnétiques, rayons lumineux, etc. Dans le domaine des processus administratifs les contacts peuvent avoir lieu par tous les moyens de communication ; téléphone, fax, vidéo, etc. A travers ces contacts peuvent passer des flux de liquide, de courant électrique, de températures, de monnaie, de fonctions, d'informations, etc.

Deux grandes catégories de flux sont à distinguer : les flux de service et les flux techniques :

- **Les flux de service** : cette catégorie concerne les fonctions de service ou d'usage. L'origine et la terminaison de ces flux sont en contact avec des éléments de l'environnement. Par exemple, pour le système de direction d'un véhicule, le flux a son origine dans les mains du conducteur, passe par tous les organes de la direction et les roues pour aboutir sur la route.
- **Les flux techniques** : à l'opposé des flux de service, ils sont sans liaison avec des éléments de l'environnement (Par exemple : supporter l'abat-jour d'une lampe). C'est une fonction technique « canaliser la lumière », nécessaire à la fonction de service. Le flux a son origine et sa fin à l'intérieur du produit.

L'intérêt d'une telle modélisation est qu'elle fait le lien entre la vue fonctionnelle du système et la vue géométrique de celui-ci. (Dupinet 91) (Constant 96) (Clément 94) proposent des formalismes spécifiques tels que le P-graphe, le Bond-graph, le graph SATT (Surfaces Associées Topologiquement et Technologiquement) (voir figure 27) ainsi que le formalisme SADT (Structured Analysis and Design Techniques) pour formaliser les différents flux fonctionnels entre les composants d'un produit.

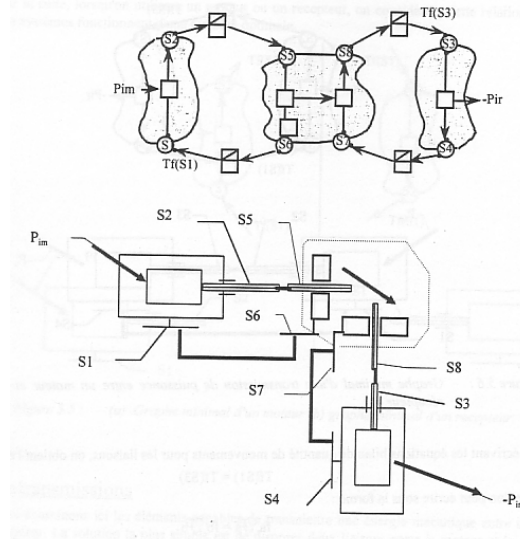


Figure 27 : graphe fonctionnel d'un transformateur avec le formalisme SATT (Constant 96)

Pour B. Eynard (Eynard 99), un modèle produit (figure 28) doit supporter la connaissance du produit, et la conception est aboutie lorsque la connaissance est complète. Ces travaux sont en directe filiation avec ceux de E. Dupinet. Le formalisme proposé comporte quatre éléments, qui sont les fonctions, les contraintes métiers, les entités technologiques et les entités frontières. Ce modèle produit évolue progressivement d'un état de connaissance à un autre. Un état de connaissance est défini comme étant un quintuplé comprenant les fonctions, les entités technologiques et frontières liées à l'état courant, une application appelée « liaison » qui associe à chaque fonction un couple unique d'entités technologiques, et une application partielle appelée « attache » qui associe à chaque couple (fonction, entité technologique) une entité frontière unique.

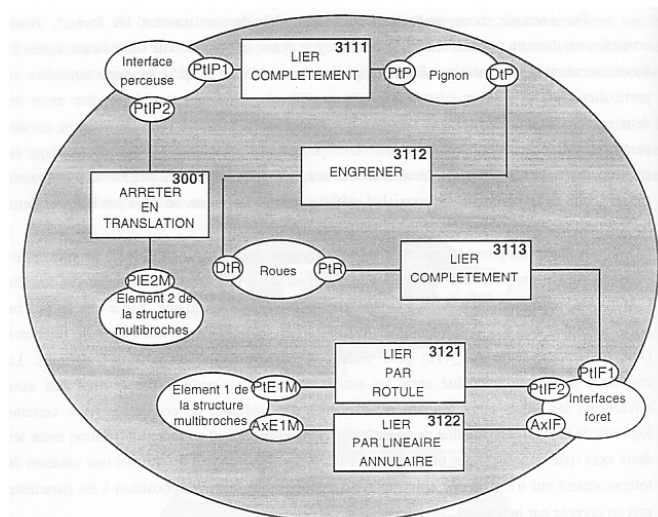


Figure 28 : Etat i d'un modèle de produit décrivant un système de perçage multibroche (Eynard 99)

2.1.6. Les modèles pour gérer des données techniques du produit

STEP/PDES (STandard for the Exchange of Product data / Product Data Exchange System) (PDES 91) est une norme développée par l'ISO (International Organization for Standardization), c'est un modèle produit. C'est un standard multi application (tous produits manufacturés, tous métiers et totalité du cycle de vie...). De plus, la généralité et la complétude de celui-ci permet de prendre en compte les besoins des différents acteurs de la conception en matière d'échange et de partage d'informations entre les différents métiers. Il prend en compte le fait qu'il faille maîtriser la diversité, les évolutions et les informations attachées aux produits, et ceci tout au long du cycle de vie de ce dernier. STEP divise le modèle produit en trois domaines qui sont les ressources, le cycle de vie et le domaine des applications. Ce projet a débouché sur une proposition de norme en 1992 (STEP 92). Le modèle proposé intègre la notion de feature, de tolérance et d'attributs technologiques. Son niveau sémantique est donc supérieur aux autres modèles normatifs. Le modèle se décline en protocoles d'application (AP : Application Protocol) en fonction des domaines traités. Les protocoles les plus utilisés aujourd'hui sont, l'AP 203 (voir figure 29), qui fournit une base pour la représentation géométrique.

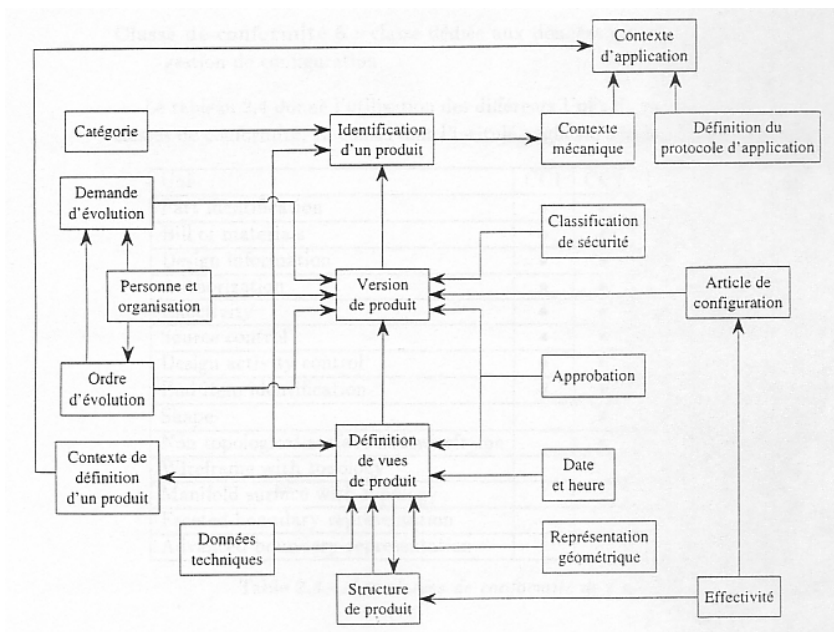


Figure 29 : Schéma général de l'AP 203 (Féru 98)

L'AP 214, quant à lui, est relatif à l'industrie automobile. Le protocole a pour ambition de donner un standard de description commun du produit, des procédés et des procédures afin de permettre aux services « cloisonnés » de l'entreprise de pouvoir communiquer avec un même langage. Ainsi, dans le domaine de la C.A.O., un fournisseur pourra communiquer avec son donneur d'ordre, même dans le cas où il posséderait des logiciels de C.A.O. différents. Les éditeurs de logiciels de C.A.O. développent des applications permettant de traduire des fichiers natifs CATIA en fichier CADDs par exemple. A travers STEP, Chambolle (Chambolle 99) a travaillé sur la définition du modèle conceptuel permettant de formaliser les échanges entre un donneur d'ordres automobile et son fournisseur. STEP AP 214 possède 5 catégories :

- Description des gammes de produit : identification des gammes de produits avec leurs attributs de spécification et leur structure hiérarchique, des fonctions réalisées par les produits, la description de leur structure organique, leurs solutions techniques et la définition de leurs caractéristiques dimensionnelles, physiques et de positionnement.
- Définition des produits : identification du produit, de ses différentes versions gérées par les vues applicatives et leur classification, description des nomenclatures d'assemblage par domaine (étude, fabrication...), les relations entre pièces.
- Caractéristique des produits : identification de la forme intrinsèque d'une pièce dans un contexte donné, ses formes fonctionnelles caractéristiques (form-feature), la description des

dimensions et tolérances sur la géométrie et l'assemblage, des propriétés (coûts, masse...) et des modèles destinés aux études cinématiques.

- Représentation des caractéristiques : description des formes géométriques, 2D ou 3D, (filaire, surfacique ou volumique), des dessins techniques et des références à des documents externes sous forme numérisée ou non (plan papier)
- Données administratives : association de données d'approbation, de confidentialité, de dates et intervalles temporelles de validité à tous les types de données de produit, identification des personnes et / ou organisations responsables, des activités et projets relatifs aux définitions et modifications des produits et des événements ou jalons intervenant dans le cycle de vie des produits ***.

STEP AP 214 possède 8 modèles :

- Expression de la diversité véhicule (famille et version véhicules)
- Gestion des pièces et de leurs instances (position, type d'huile, poids...)
- Gestion des découpages (solutions techniques, solutions fournisseurs, solutions finales)
- Relations entre pièces (assemblage)
- Documents associés à un produit
- Propriétés (coût, masse...) associées à un produit administration des personnes et des organismes responsables
- Administration des informations d'approbation et de sécurité

Les modèles STEP se sont peu intéressés aux phases amont de la conception, hors l'AP233 (STEP 00) qui est en développement s'y intéresse.

STEP décrit bien le produit pour sa gestion sur le cycle de développement de celui-ci. STEP est peu adapté à la conception. En effet, STEP est utilisé une fois que le produit est conçu. Cependant, les descriptions du produit sont intéressantes dans notre étude.

2.1.7. Bilan

Les méthodes d'analyse fonctionnelle, telles que la méthode RESEAU, nécessitent d'être accompagnées de modèles pour supporter toutes les informations et connaissances sur le produit. Cette méthode RESEAU servira de référence pour capturer les connaissances sur le produit, notamment en ce qui concerne ses fonctions et ses situations de vie sur tout son cycle de vie.

Les modèles décrits précédemment ont tous des objectifs particuliers et des manières différentes d'y répondre. Les objectifs de la plupart des modèles produits sont de pouvoir supporter l'information concernant le produit et de faire partager entre les acteurs de la conception. Dans les modèles produit, il est alors question de fonctions, de structure et de décomposition géométrique. Ces différents éléments supportent les informations des différentes phases successives de la conception : la conception fonctionnelle et la conception détaillée. L'image de chromosome (§ 2.1.2.2) qui est faite du produit est alors intéressante. En effet, tel un chromosome qui suit son cycle de développement pour aboutir à la naissance d'un être humain, le produit suit un parcours allant des besoins client à sa concrétisation physique découlant de ceux-ci. Les modèles produit sous forme d'arborescence ont pour objectifs de décomposer le produit en fonctions, en assemblages et pièces. Ces modèles visent à faire le lien entre les fonctions du produit et ses solutions techniques, puis les différents assemblages et pièces dont il est composé. La problématique de notre étude nécessite d'avoir recours à ces modèles pour la résoudre. En effet, il est nécessaire, pour structurer et archiver les informations (paramètres), d'identifier les fonctions du produit ainsi que tous les articles dont est composé notre produit. Le modèle de Vargas et de Moka servira de référence dans la présente étude. Il sera ajouté à ce modèle la notion de situations de vie et de cycle de vie des articles ainsi que les contraintes. Pour identifier l'origine (« source ») des contraintes, il faudra identifier les acteurs gravitant autour de la conception du produit qui viennent contraindre les choix de conception du produit. C'est alors que le modèle de Tichkiewitch permet de rajouter la dimension multi vues « métiers » au modèle produit. Avec ce modèle produit, les acteurs ont des vues sur

le produit qui peuvent leur permettre de s'exprimer au plus tôt en apposant leurs contraintes sur le produit ou alors en récupérant les informations qui leur sont utiles pour réaliser leurs tâches. Le modèle d'Harani introduit également la notion de point de vue mais dans un sens de fonction du produit nécessitant des connaissances particulières et bien spécifiques à un domaine donné tel que la chimie, l'électronique, la mécanique... Les points de vue que présente Harani sont dans le cadre de notre étude des fonctions différentes de l'entreprise.

En ce qui concerne la sémantique employée pour supporter les informations sur le produit, les modèles de type SATT supportant les flux fonctionnels et les liaisons sont peu adaptés pour la présente étude. En effet, dans un contexte de support d'information à des fins de « partage informatisé », ces modèles sont très peu exploitables car ils nécessiteraient leur traduction, dans un langage « entité-relation » ou dans un modèle de classes (tel que UML), pour une implémentation ultérieure dans une base de données. Ces modèles sont cependant intéressants car, en terme d'interface graphique, ils sont facilement compréhensibles par les concepteurs étant donné qu'ils sont proches d'un schéma technique. Ces modèles seront donc préconisés, dans la présente étude, pour décrire l'architecture d'un système et son fonctionnement.

La critique générale et principale qui peut être faite aux modèles décrits précédemment, est que le partage des paramètres de conception relatifs aux fonctions de service n'est pas au centre des problématiques, excepté pour le modèle d'Harani. En effet, les problématiques dont sont issus les modèles produits de la littérature sont principalement relatives à la conception détaillée du produit et donc à sa définition structurelle et géométrique. Ces modèles produits n'ont pas pour vocation à supporter les données du produit issues des phases amont à la CAO et à les faire partager aux différents acteurs de la conception. Par exemple, le dimensionnement des paramètres (régime de ralenti du moteur thermique, intensité délivrée par l'alternateur, débit et pression d'une pompe et section d'un vérin, etc) pour réaliser la fonction assistance des systèmes de direction ainsi que le choix des solutions techniques adéquates pour réaliser cette fonction ne peuvent pas y être décrits.

Le modèle d'Harani permet de décrire les paramètres de conception fonctionnelle ainsi que leur partage, via les points de vue. Mais on a remarqué précédemment que ces points de vue pouvaient concerner des acteurs rattachés à des fonctions différentes du produit mais en aucun cas les autres acteurs intervenant dans le processus de conception et sur tout le cycle de vie du produit (fabrication, montage, etc). Il ne permet pas de structurer ces paramètres selon les fonctions. Le modèle proposé dans la présente étude doit traduire le fait que le dimensionnement des paramètres doit être réalisé de manière à ce que la performance requise pour la fonction associée, au départ, soit atteinte. Cette structuration est primordiale en conception fonctionnelle et notamment dans un contexte multi acteurs où plusieurs fonctions doivent être réalisées de « manière croisée » par plusieurs acteurs. Le modèle d'Harani, ne décrit pas toutes les informations sur le produit : n'apparaissent pas le cycle de vie, les acteurs, les solutions techniques (voies technologiques) pouvant être retenues par le concepteur lors d'une conception routinière.

Une autre critique faite aux modèles existants est qu'ils ne prennent pas en compte la notion de projet et donc ne savent pas structurer les informations relatives au produit par rapport au projet. Ces informations pouvant être les résultats obtenus (instances) où les connaissances « créées » dans des projets et issues des retours d'expériences. L'objectif de conception sur une fonction donnée (entrée du processus de conception fonctionnelle) ne peut pas être stocké non plus. La sémantique du modèle Moka est intéressante dans la mesure où elle permet l'instanciation du modèle et son implémentation informatique immédiate. Le concept d'état du produit permet le suivi de son évolution au fur et à mesure du déroulement du processus de conception. Il est bien mis en évidence par Eynard (voir § 2.2.4). Il est utile dans le suivi de la réalisation d'un objectif de conception (Ouazzani 99).

2.2. Les modèles processus de conception

La modélisation des processus de conception est indissociable du modèle produit. En effet, il ne s'agit pas de capturer les états successifs du produit, il s'agit de capitaliser les tâches qui font passer le produit d'un état à un autre. Le but de formaliser le processus de conception est de le réutiliser pour la conception routinière, d'assurer un suivi de projet ou alors de construire un historique du projet. Les flux d'information sont également décrits dans ces modèles processus de conception.

2.2.1. Le modèle du processus de conception

Le modèle du processus de conception de Vargas (Vargas 95) a pour but de représenter la connaissance du processus de conception de manière déclarative. Ces connaissances sont de deux types : les connaissances de stratégie qui guident la conception (connecteur logique ou / et, connecteur temporel : précedence des tâches, parallélisme, synchronisation, RDV, initialisation) et d'autre part les connaissances de contrôle des échecs (qui représentent l'attitude à adopter lors d'échecs en cours de conception). Un exemple de processus de conception est représenté sur la figure 30.

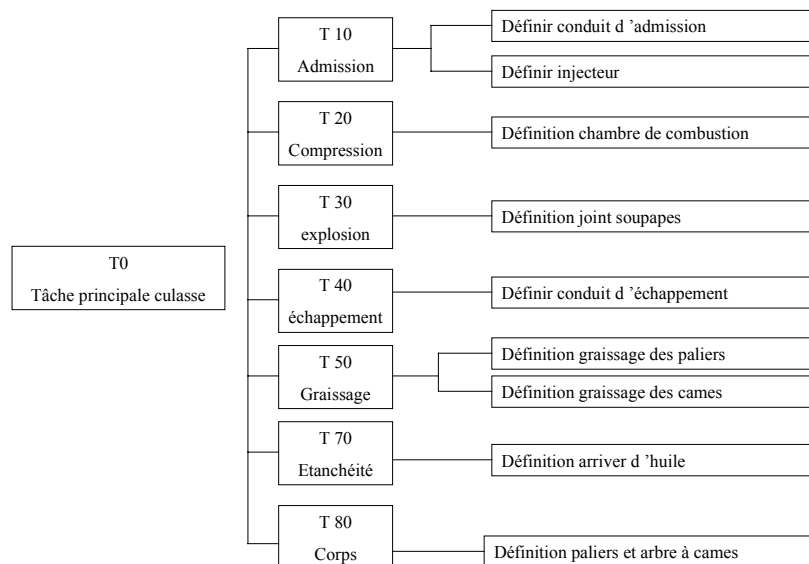


Figure 30 : Le processus de conception de la culasse

L'objectif des travaux de Vargas est de disposer à terme d'un véritable environnement de développement d'application métiers d'aide à la conception (propagation de contraintes). Le modèle proposé utilise les concepts de tâche et méthode :

- **Une tâche** : but à atteindre, problème à résoudre, ensemble de paramètres à évaluer
Exemple : conception de poutre
- **Une méthode** : manière possible de résoudre une tâche. Enchaînement de sous tâche et modélise la connaissance du concepteur. Exemple : soit « calcul de RDM », « calcul par éléments finis », « soit par expérience ».
- **L'état d'une tâche ou d'une méthode** : impossible, exécutable, en cours d'exécution, exécutées avec succès, exécutées avec échec.
- **L'attribut ressources** permet de préciser les ressources allouées à la réalisation de la tâche : l'utilisateur, un algorithme numérique donné...
- **L'attribut opportunité** permet de classer dynamiquement les tâches d'une même méthode (ou les méthodes d'une même tâche) de façon à toujours choisir la plus opportune.
- **Les pré-conditions et les post-conditions (contrôles)** sont des contraintes à respecter en entrée et sortie de tâche.

- **La fonction stratégie de résolution** permet de définir plusieurs heuristiques pour l'ordre de choix des méthodes d'une tâche et l'ordre d'exécution des tâches et méthodes, d'autre part, la connaissance de résolution des échecs.

Le processus de conception permet de propager, de manière ordonnée, les contraintes dans le modèle produit (figure 31).

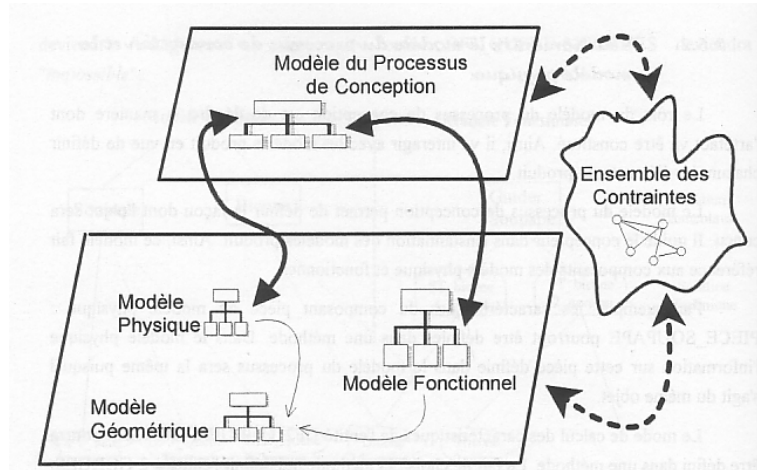


Figure 31 : La propagation des contraintes de conception (Vargas 95)

2.2.2. Un modèle pour la capitalisation des connaissances

Harani (Harani 97) propose un modèle (figure 32 et 33) pour capitaliser les connaissances et retracer l'historique de conception. La modélisation proposée par Harani s'appuie sur quatre concepts principaux et est représentée à partir du modèle entité-relation : le concept processus, le concept tâche, le concept état et le concept ressource. Un diagramme d'état est associé aux états d'exécution des processus, aux états des tâches et aux états d'évolution du produit. Les modèles produit et processus de conception sont liés (figure 34)

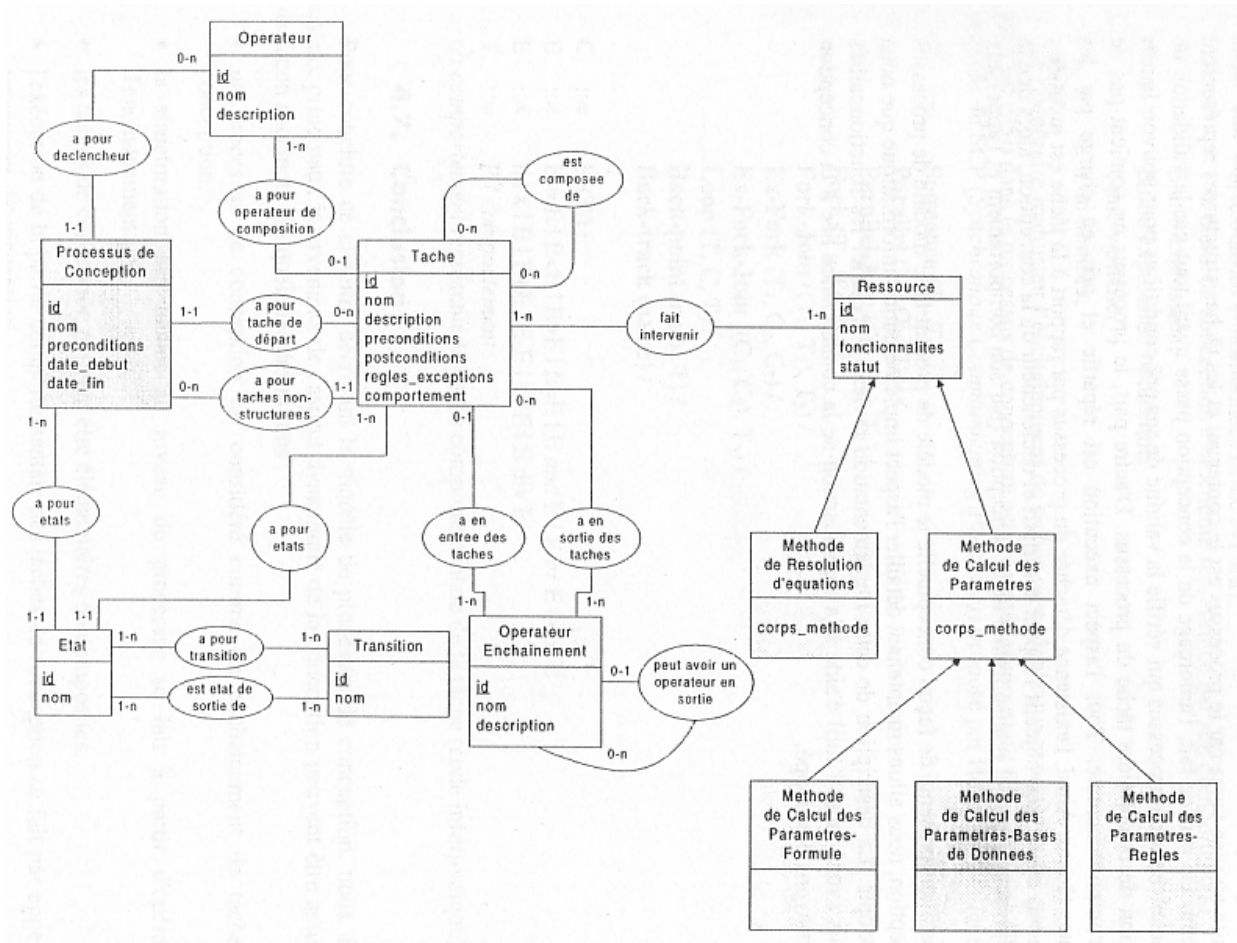


Figure 32 : Méta-modélisation du modèle de processus de conception (Harani 97)

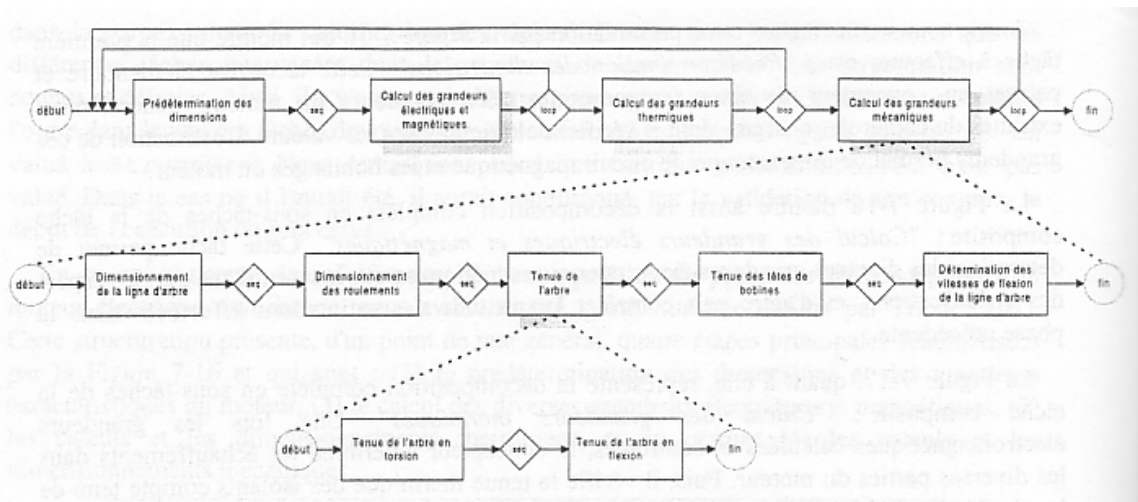


Figure 33 : Schématisation du processus de conception d'un moteur asynchrone (Harani 97)

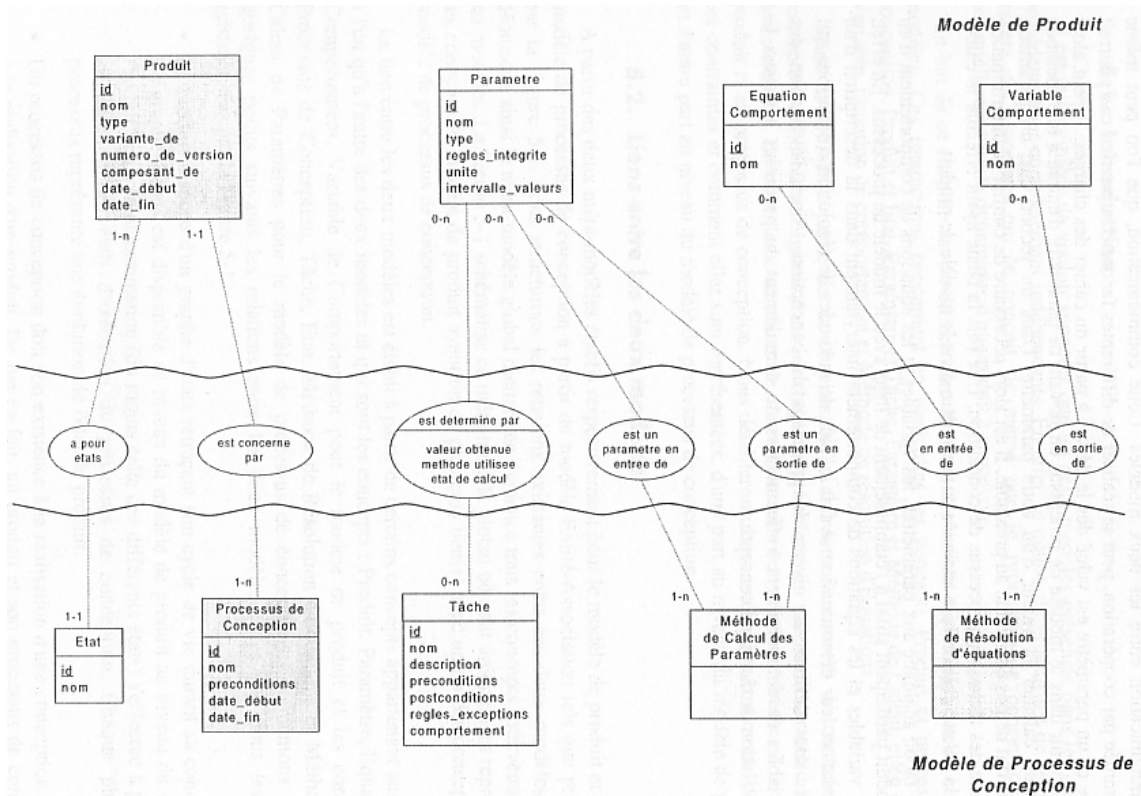


Figure 34 : Méta modélisation globale et liens entre les deux modèles produit et processus (Harani 97)

2.2.3. Le graphe d'état du processus de conception et son historique

SAGEP, système d'aide à la gestion du processus, (Ouazzani 98) permet l'acquisition et la capitalisation des historiques de conception. La méthode propose une notion d'objectifs et plus généralement de structure d'objectifs. La structure d'objectif est couplée à un graphe d'état de conception. Elle permet de décrire et de sauvegarder la décomposition et le raffinement des objectifs de conception, réalisés au fur et à mesure des actions du processus. Les arcs de l'arbre de cette structure d'objectifs sont des liens de décomposition ou de raffinement. Chaque objectif est caractérisé par quatre aspects, son exigence, sa valeur, son statut, sa nature.

Le graphe d'état de conception donne une description hiérarchique et dynamique du processus de conception. Le processus de conception est globalement décrit par une séquence d'états reliés par des sessions (figure 35). Les états définissent l'avancement du processus, à travers l'expression des objectifs traités et de leur statut. Un changement d'état est caractérisé par la réalisation ou le changement d'un ou plusieurs objectifs. Une session est composée par une agrégation d'actions physiques (ayant des conséquences sur les modèles de produit) ou de gestion, dans le but de réaliser totalement ou partiellement un ou plusieurs objectifs actifs. La méthode SAGEP permet une représentation multi niveaux du processus de conception à des fins de réutilisation ultérieure ou de gestion courante du processus.

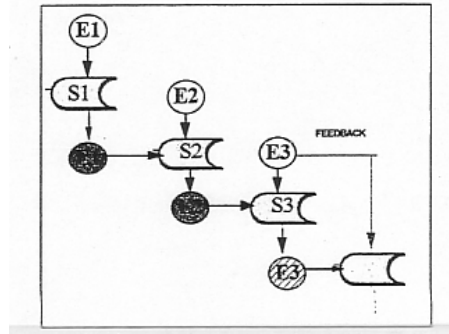


Figure 35 : La notion de session et d'état

2.2.4. l'approche GRAI

Les réseaux GRAI (Doumeingts 84) (Marcotte 95) (Girard 98) permettent de décrire les états d'entrée et de sortie d'une transformation opérée par une activité. L'activité d'exécution (figure 36-a) exprime une nature fortement procédurière voire programmable ou automatisable. Elle supporte la description du calcul ou du dimensionnement d'une pièce. Par exemple le calcul par élément fini d'une pièce réalisé par un algorithme approprié. Bien qu'il y ait une intervention humaine pour introduire les données et lancer le calcul, le travail est largement procédural et automatique.

L'activité de décision (figure 36-b) possède un caractère humain strictement décisionnel et non créatif à proprement dit (par opposition à l'activité de conception). La décision effectue les choix et les sélections d'alternatives dans le processus d'ingénierie, soit pour orienter le travail, soit pour valider les solutions. De même qu'en conduite, l'activité de décision possède un cadre avec quatre composantes : objectif, variable de décision, contrainte et critère. Les objectifs définissent les résultats fixés et attendus (orientés client et entreprise). Les variables de décision sont les moyens d'action du décideur pour atteindre ses objectifs. Les contraintes décrivent les limites des variables de décision. Les critères représentent les éléments à optimiser permettant de choisir les variables de décision à utiliser. La prise de décision n'est pas seulement technique mais elle peut être de nature stratégique.

L'activité de conception (figure 36-c) se définit par son caractère itératif, fondamentalement humain, créatif, non programmable. Elle décrit les activités d'analyse, de compréhension de problèmes et de recherche, d'imagination, de création et de proposition de solutions. L'activité possède un cadre de conception composé d'objectifs et de contraintes.

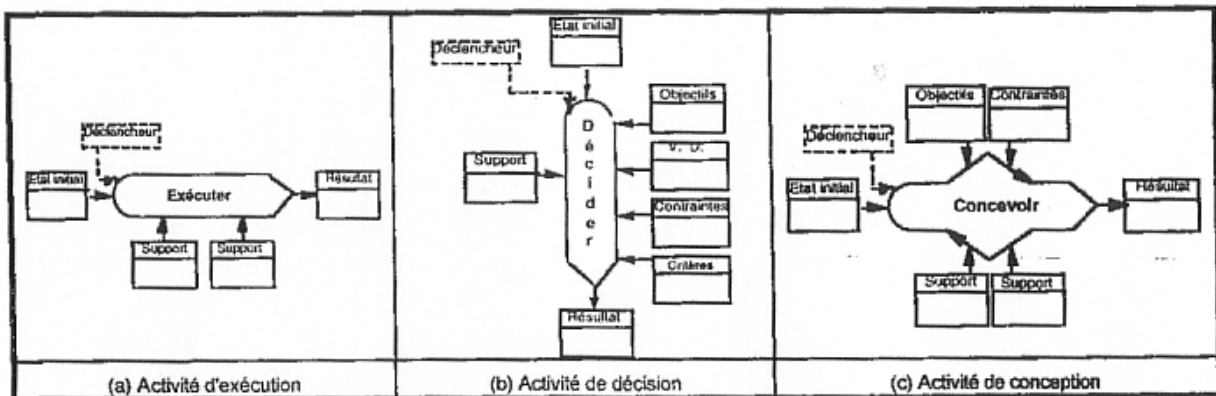


Figure 36 : Le formalisme GRAI pour la description des activités (Eynard 99)

GRAI permet de représenter une logique d'enchaînement de tâches et l'aspect dynamique du processus (date de lancement et durée des activités). Le réseau GRAI propose des opérateurs logiques et des déclencheurs (figure 37-4a).

Le couplage de ces activités au modèle produit décrit au § 2.1.3 est proposé par Eynard (Eynard 99) dans son graphe d'évolutions bidimensionnel produit-processus appelé GEB2P. Cette association rend possible l'extraction d'informations pertinente et nécessaire à la conduite de l'ingénierie. En effet, le concept d'état associé aux activités permet de lier le modèle de processus aux états successifs de la connaissance du produit. Pour chaque résultat d'activité le produit est alors affiné. Les états successifs de la connaissance du produit sont représentés à l'aide du modèle, composé de fonctions et d'entités technologiques, présenté au § 2.1.3. La figure 37-4b montre l'évolution de la connaissance du produit suivant le type des activités qui ont été réalisées et le lien issu des réseaux. L'alternative b n'ayant pas été validée par l'activité A2, l'itération propose l'alternative b' qui elle est validée.

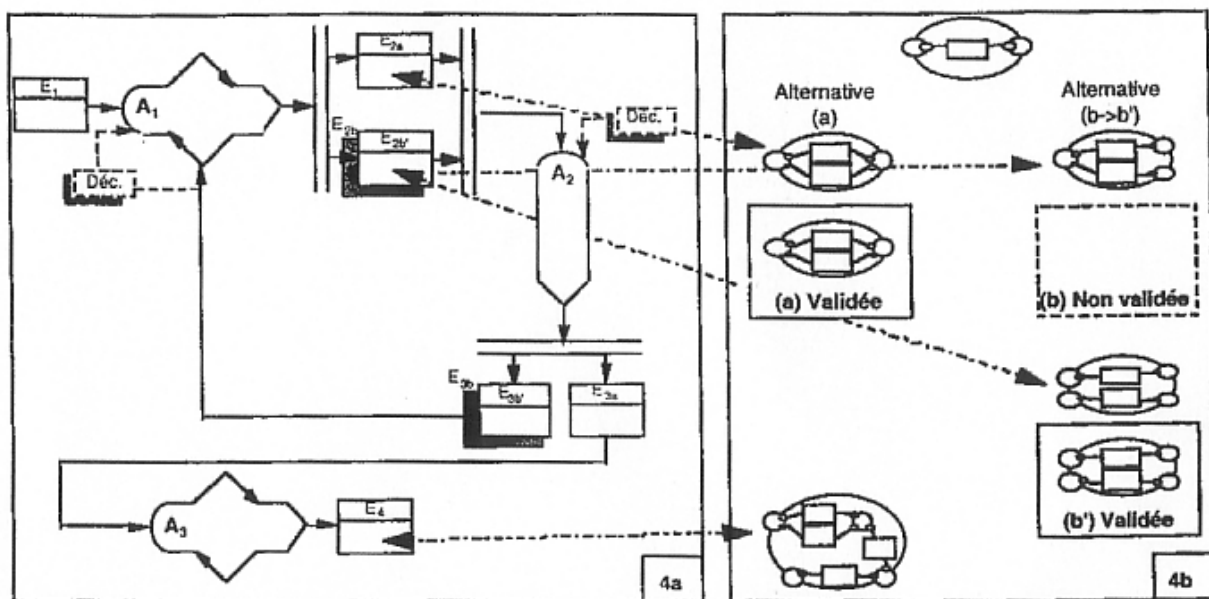


Figure 37 : Le processus de conception et les liens avec le produit (Eynard 99)

2.2.5. La modélisation MOKA

Le modèle processus de conception MOKA (Moka 99) décrit le « comment » et le « pourquoi » de la conception (figure 38). Le processus de conception inclut quatre concepts : les exigences de conception, la description de la conception, la théorie du domaine et la description du contexte. Le processus de conception inclut : des catégories de connaissance dynamiques, les connaissances sur les tâches, les buts et la stratégie adoptée. Le modèle du processus de conception est représenté avec le formalisme UML (Diagramme d'activité). Les parallélismes, les synchronisations et les transitions y sont représentés. Celles-ci ont les attributs suivants : description, inputs, outputs, contraintes, méthodes. Ce modèle du processus de conception est lié avec le modèle produit par l'intermédiaire de ses attributs inputs et outputs.

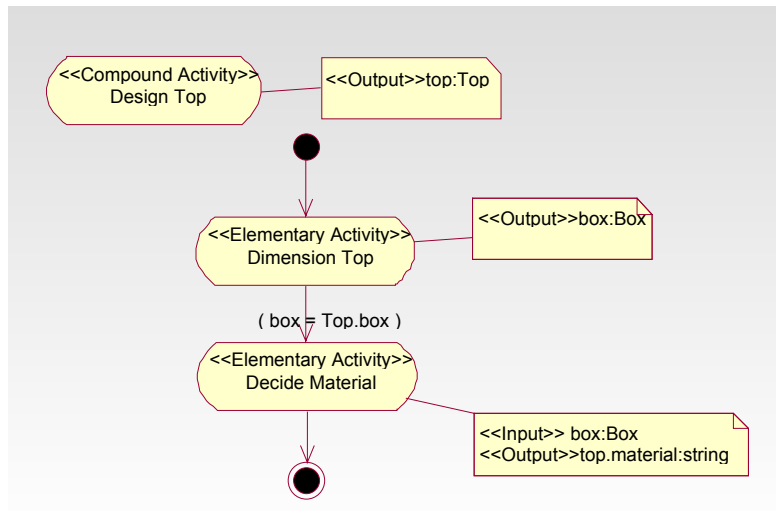


Figure 38 : Le meta modèle processus de conception

La méthode MOKA préconise le remplissage de fiches de connaissances appelées ICARE (pour Illustration, Constraint, Activity, Rule, Entity). Les fiches ICARE traduisent les meta modèles produit et processus qui ont été définis dans le projet. Ces fiches sont liées entre elles selon les associations des méta modèles produit et processus de conception (voir figure 39).

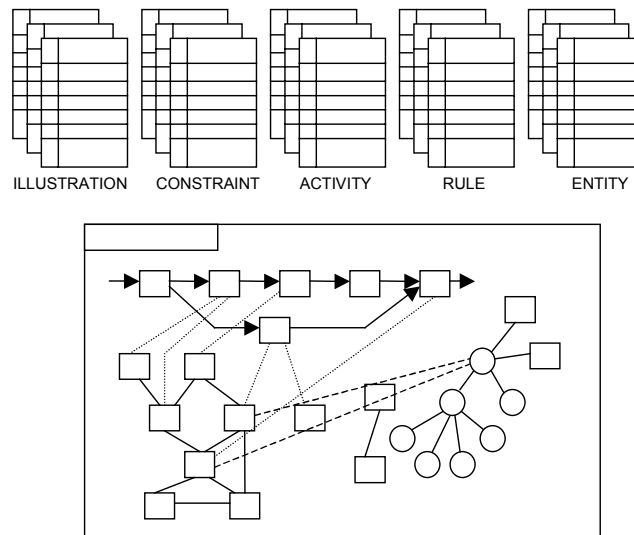


Figure 39 : Les fiches ICARE et leurs liaisons (Moka 99)

Les résultats de ce projet sont en cours de validation sur des cas industriels. Les ambitions des industriels utilisateurs de la méthode sont de pouvoir passer automatiquement du modèle informel (fiches ICARE) au modèle formel (meta modèle). L'implémentation dans un outil informatique serait alors immédiate. Cet outil permettrait la consultation des connaissances encapsulées et l'automatisation du processus de développement de système KBE donc de pièces.

2.2.6. Bilan

Les résultats proposés dans la présente étude vont s'inspirer de tous ces modèles précédents. La modélisation du processus de conception de MULTI s'inspire de ces modèles et propose une complétude de ces modèles processus de conception.

Le fait que le concept de projet n'apparaisse pas dans les modèles précédents empêche la gestion du retour d'expérience, le suivi de projet et la construction de l'historique de conception. Eynard met en

évidence le fait que le produit évolue au fur et à mesure du déroulement du processus de conception. Il parle d'objectifs qui s'affinent après itérations successives se traduisant par des tâches de conception refaite plusieurs fois avec de nouvelles données, jusqu'à l'atteinte de l'objectif fixé. Ses modèles décrivent bien ce principe. Il met également en évidence le fait qu'il existe plusieurs tâches de conception : des tâches de conception, de validation et d'exécution (calcul). Ces typologies de tâches sont intéressantes pour faire un référentiel métier. Le formalisme de la méthode Moka est le formalisme UML. Il peut être utilisé dans notre étude pour décrire le modèle du domaine du processus de conception. Les opérateurs du modèle de Harani sont également intéressants pour notre étude. Ils apportent une sémantique pour décrire les enchaînements des tâches. Ouazzani parle d'objectifs atteints en sortie tâches, cela est intéressant pour le suivi de projet. La sémantique du modèle de Vargas n'est pas assez riche, il se contente de décrire des tâches qui s'enchaînent et des méthodes associées à ces tâches. Tous les modèles ont compris l'utilité de coupler le processus de conception à un modèle du produit. C'est ce qui est également fait dans notre étude. La présente étude s'inspire de tous ces éléments pour assurer une complétude qui permet de résoudre notre problématique.

Les modèles existants ne prennent pas en compte la notion de projet qui permet de dérouler le processus de conception sur plusieurs projets en parallèle et d'en capturer l'historique sur chaque projet ainsi que les retours d'expériences de chaque projet pour les projets futurs. Les connaissances et retours d'expériences des projets passés sont rarement couplés aux tâches pour faciliter le concepteur dans sa réalisation.

3. Les modélisations des connaissances pour décrire l'ingénierie

Les méthodes d'ingénierie des connaissances proposent des modèles pour capitaliser les connaissances. Ces méthodes ont des applications dans le domaine de la conception de produit. Parmi les plus connues, il peut être cité les méthodes : KOD (Vogel, 88), KADS et plus récemment les méthodes MKSM, CYGMA (ADAM 98) et MOKA. Ces méthodes proposent des formalismes pour capturer les connaissances dans des contextes variés et génériques.

3.1. La méthode KADS

Knowledge Analysis and Documentation Système est une méthodologie à vocation généraliste qui a été développée dans le cadre des projets ESPRIT européens KADS 1 et KADS 2 (Schreiber 93). Les premiers travaux sur la méthodologie CommonKADS ont commencé au début des années 80 à l'université d'Amsterdam. Ils résultent d'une analyse des techniques d'acquisition des connaissances et de leur mise en œuvre pour la réalisation de systèmes à base de connaissances.

Un modèle CommonKADS propose 6 modèles :

- Le modèle d'organisation : identifie l'environnement du SBC (activité de l'entreprise, structure de l'entreprise exprimée en terme d'unités opérationnelles, ensemble des flux principaux de l'entreprise, liens hiérarchiques entre individus, les ressources informatiques, humaines, logistiques, les informations organisationnelles liées au projet courant, la liste des problèmes pouvant être résolue par SBC.
- Le modèle des tâches : définit et décrit les fonctions particulières dans l'organisation de l'entreprise
- Le modèle des agents : caractérise l'ensemble des acteurs (un agent exécute une tâche). L'agent peut être une personne physique, un logiciel ou tout autre « entité » pouvant réaliser une tâche (Ex : un système de gestion de processus)
- Le modèle de communication : représente l'interaction entre agents lors de la résolution de problèmes
- Remarque : modèle de coopération de KADS 1 = Modèle communication + modèle des agents de CommonKADS
- Le modèle d'expertise : formalise les capacités d'un agent à résoudre un problème

3.2. CYGMA

La méthode CYGMA (Bourne 97) (Cycle de vie et Gestion des Métiers et des Applications) a été définie par la société KADE-TECH. Cette méthode a été appliquée dans les industries manufacturières et spécialement dans l'activité de conception. CYGMA distingue six catégories de connaissances industrielles : connaissances singulières, terminologiques, structurelles, comportemental, stratégiques et opératoires. La méthode permet, en se basant sur ces catégories, de définir des référentiels métiers appelés « bréviaire de connaissances de filière métier » et de base de connaissances, exploitable par des algorithmes de raisonnement déductifs ou des moteurs d'inférences. Ces bases de connaissances sont appelées AMI (Applications Métiers industrielles ou Assistant Métier de l'Ingénieur) et visent à assister les activités de conception des opérateurs. Plusieurs bases de connaissances « référentiels métiers » (filtres à particules par exemple) ont été définis chez PSA. La méthode propose de réaliser :

- Un glossaire métier : l'artefact ainsi que son développement sont décrits, définition également des termes utilisés
- Un livret sémantique : permet de formaliser sous la forme de classe d'objet les connaissances d'un domaine particulier
- Le cahier des règles : décrit les règles de conception à appliquer en langage naturel
- Le manuel opératoire : regroupe la description SADT du processus de conception, le chemin de parcours modélisant toutes les alternatives (« routes ») de conception, la description des acteurs et des moyens

3.3. La méthode MKSM

MKSM est une méthode qui a été développée au CEA avec un objectif de gestion des connaissances (Ermine, 96). Ermine propose, dans sa méthode MKSM, de modéliser trois points de vue qui sont la structure, la fonction, et les évolutions (figure 40).

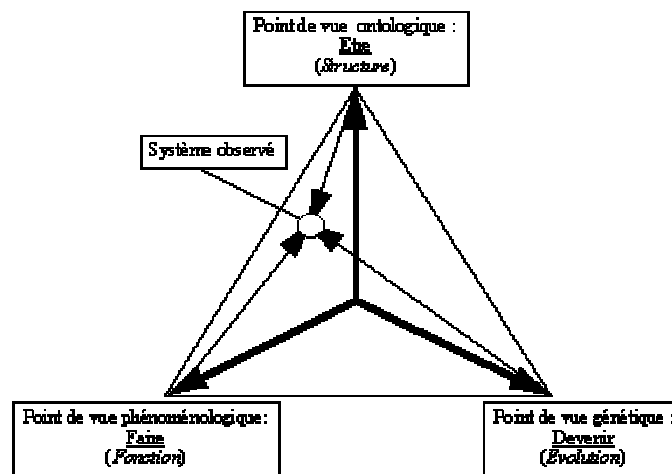


Figure 40 : Le macroscopie de MKSM

Le modèle d'activité (figure 41) représente le flot de données dans les activités. Il est défini sous une forme proche d'un actigramme SADT (Vernadat 96). Ce flux décrit les entrées, sorties, ressources et acteurs d'une activité. Une activité peut être décomposée en plusieurs activités, représentée par plusieurs diagrammes.

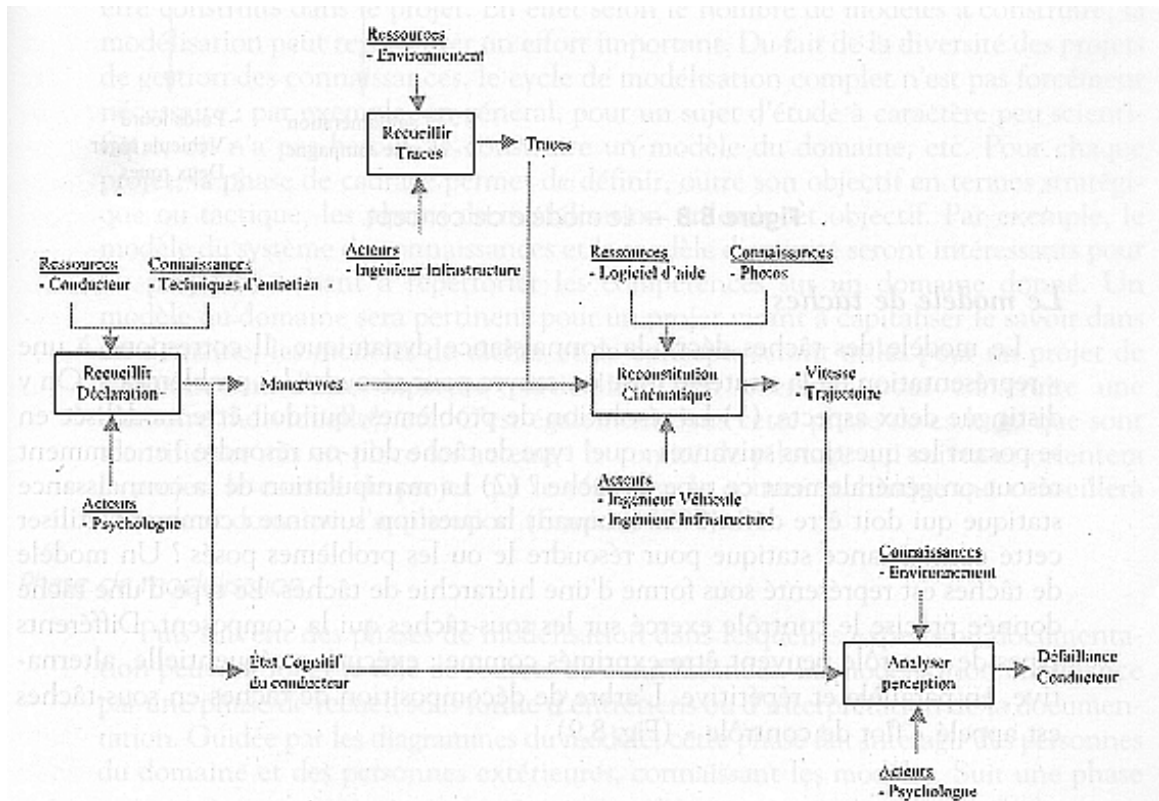


Figure 41 : Le modèle d'activité de MKSM

Le modèle des concepts (figure 42) représente l'aspect statique de la connaissance. Un concept représente une catégorie d'objets qui partagent les mêmes propriétés (celles-ci sont définies comme les attributs du concept). Un concept peut avoir des instances. Une hiérarchie de concepts peut être définie en utilisant la relation de « spécialisation ». Une autre relation « valeur » permet de définir les valeurs d'un concept. D'autres types de relations sont aussi définis entre les concepts comme les liens de cardinalité. Le réseau de concepts et relations est proche d'un réseau sémantique.

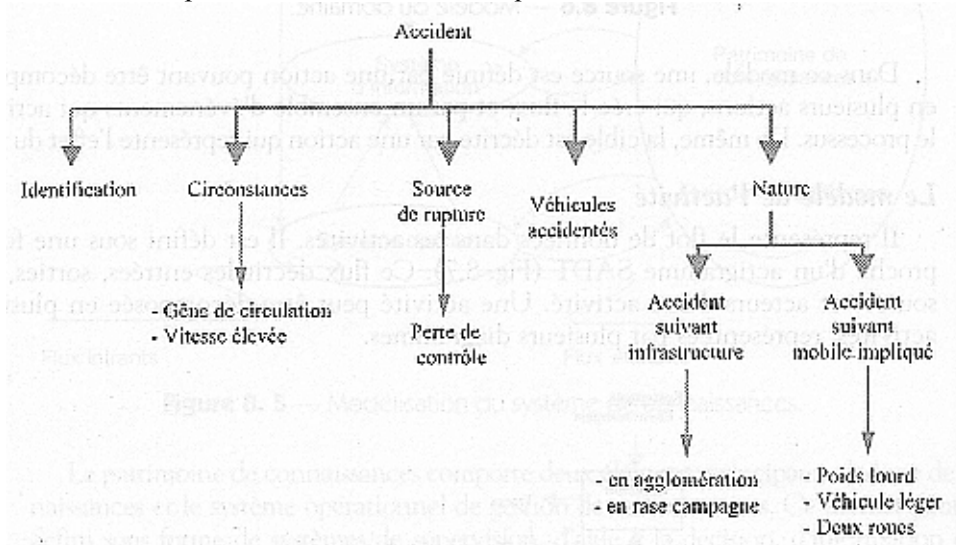


Figure 42 : Le modèle des concepts de MKSM

Le modèle des tâches (figure 43) décrit la connaissance dynamique. Il correspond à une « représentation de la stratégie mise en œuvre pour résoudre les problèmes ». Un modèle de tâche est représenté sous forme d'une hiérarchie de tâches. Le type d'une tâche donnée précise le contrôle exercé sur les sous-tâches qui la composent. Différents types de contrôles peuvent être exprimés comme : exécution

séquentielle, alternative, en parallèle et répétitive. L'arbre de décomposition de tâche en sous-tâches est appelé « flot de contrôle ».

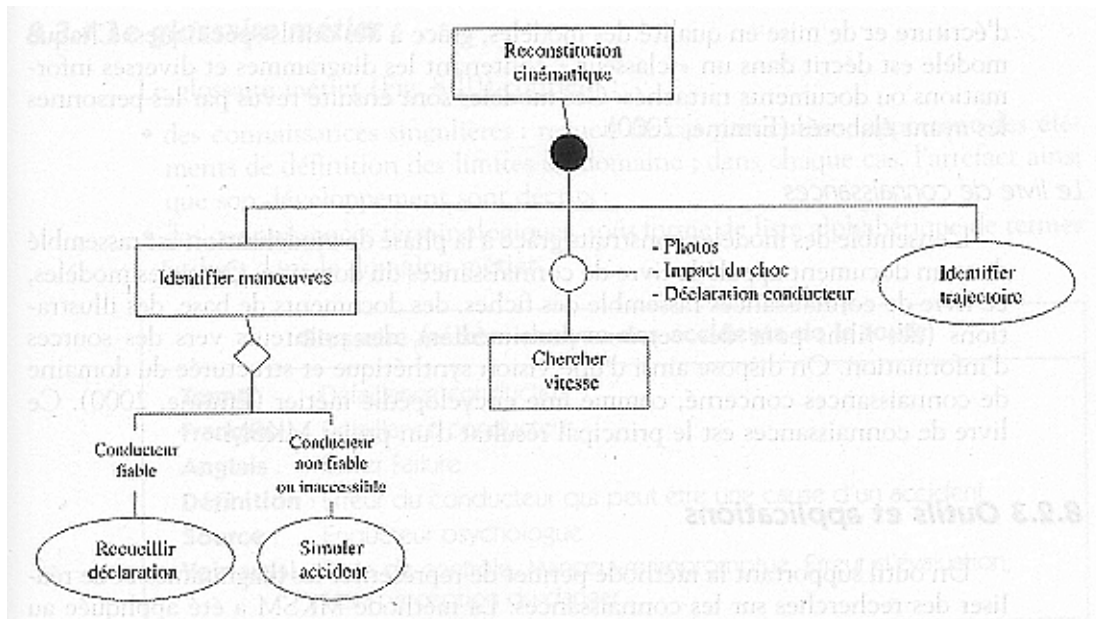


Figure 43 : Le modèle des tâches de MKSM

MKSM propose également un modèle intéressant pour décrire les phénomènes physiques (figure 44) d'un produit. Ce modèle permet d'introduire les concepts du domaine et d'identifier les interactions.

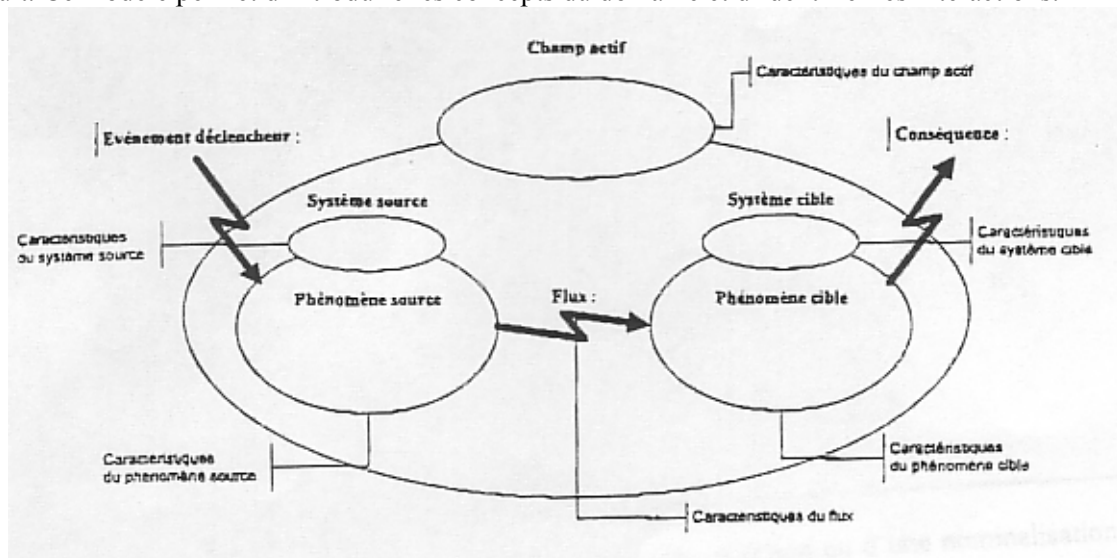


Figure 44 : Le modèle des phénomènes physiques

3.4. Synthèse

Ces méthodes sont intéressantes pour construire des livres de connaissances mais sont très peu adaptées pour faire des modèles à des fins « d'usage » dynamique informatique. On peut décrire avec ces modèles les concepts d'un domaine donné, les connaissances métiers. Les échanges d'informations ne peuvent pas être décrits avec ces modèles. Ces modèles ne proposent pas de modèles produits couplés avec le processus de conception. Les modèles de connaissances, exceptés CYGMA, sont génériques et nécessitent une adaptation pour un usage en conception.

4. Conclusions

Ce chapitre permet de faire une synthèse des évolutions dans le domaine de la formalisation du produit et de son processus de conception associé. Les modèles de la littérature proposent des éléments intéressants pour chaque point de nos problématiques mais aucun n'assure une complétude permettant de résoudre tous ces points. La présente étude vise à s'inspirer de toutes les recherches citées précédemment qui ont déjà été réalisées pour proposer un modèle produit et processus (colonne vertébrale du référentiel métier proposé) assurant une couverture permettant de résoudre la problématiques de l'étude.

L'analyse fonctionnelle est considérée, ici, comme une méthode pour recueillir les connaissances sur le produit. La proposition de méthodologie de recueil des connaissances proposé s'inspirera d'une démarche d'analyse fonctionnelle étant donné que l'on s'intéresse avant tout à la conception fonctionnelle.

Les chapitres suivants vont présenter le noyau de référentiel métier proposé, la proposition de méthodologie de gestion des connaissances ainsi que l'outil informatique associé. Pour chacune de ces parties, il sera encore fait des renvois sur des éléments précis de bibliographie. Notamment, les résultats de la recherche dans le domaine de la gestion des connaissances, de la mise à disposition des connaissances, en passant par la conduite de projet (conception assistée) et le suivi de projet, sont passés en revue. Pour chacune de ces parties, les outils informatiques associés, issus de la recherche scientifique ou industrielle, sont étudiés.

Chapitre 3

MULTI : Une proposition de référentiel métier pour la conception fonctionnelle

Pour résoudre la problématique, décrite dans le chapitre 1, plusieurs propositions sont faites dans cette étude de thèse. La première est une structure de type meta modèle pour la construction des référentiels métier pour la conception fonctionnelle dans ses phases amont à la CAO. L'approche systémique et le cycle en V sont utilisés. La seconde proposition est un ensemble de concepts pour capturer et réutiliser les connaissances encapsulées dans le référentiel métier (la bonne information au bon moment) puis les mettre à jour. Cette mise à jour pouvant être utile, par exemple, lors de l'intégration d'une nouvelle technologie et d'une nouvelle pratique. La troisième proposition est un ensemble de spécifications fonctionnelles pour un outil informatique support. Ces spécifications sont illustrées, pour certaines d'entre elles, par un prototype informatique développé dans le cadre de cette étude. Toutes ces propositions sont illustrées par un cas d'application qui est la conception fonctionnelle des systèmes de direction assistée des automobiles du groupe PSA Peugeot Citroën.

L'étape de conception fonctionnelle représente les trois premières étapes du cycle en V (figure 45). Il s'agit des étapes qui permettent de transformer les besoins clients en une définition fonctionnelle du produit, en passant par la définition des exigences techniques et de l'architecture fonctionnelle. En parallèle de la conception fonctionnelle, les tests et les essais nécessaires à la vérification des spécifications qui en sont issus sont réalisés. Les concepteurs ont donc également pour mission de définir les plans de tests et d'étudier les résultats obtenus afin de prendre les décisions correctives si les tests donnent de mauvais résultats. Après la conception fonctionnelle, la conception détaillée permet de définir tout le produit dans ses moindres détails sur la base de la définition fonctionnelle. La conception doit garantir le bon fonctionnement du produit selon ses performances requises au départ dans le cahier des charges.

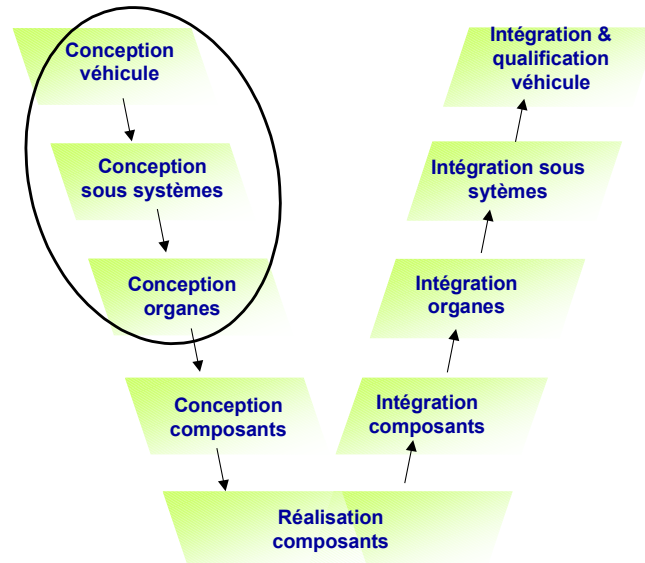


Figure 45 : La conception fonctionnelle et le cycle de développement de produit

Actuellement, peu d'outils informatiques permettent de supporter la conception fonctionnelle. Il existe cependant des outils de type KBE (KADVISER de la société Kadetech, ICAD de la Société KTI, Knowledge ware de la société Dassault Systèmes, etc) et des systèmes d'information produit (maquette numérique, nomenclature C.A.O., etc) pour supporter les phases de la conception détaillée (définition géométrique) du produit. Pour tout ce qui concerne les phases amont à la définition géométrique du produit (CAO), les concepteurs ne disposent d'aucun outil pour supporter leurs activités et les informations et données associées.

Le meta modèle est générique dans l'objectif qu'il soit valable pour la conception fonctionnelle de tout produit industriel. Le meta modèle est instancié sur un domaine donné (par exemple le dimensionnement fonctionnel des systèmes de direction) et permet alors de capturer toutes les données, informations et connaissances associées relatives à chaque projet de conception. Un projet de conception étant considéré ici, comme un déroulement du processus de conception sur un domaine (par exemple le dimensionnement fonctionnel du système de freinage d'un véhicule pour le projet X33 qui correspond à la conception d'un véhicule haut de gamme avec une grosse motorisation). **Le référentiel métier est alors le meta modèle instancié pour un domaine.**

La formalisation du meta modèle est effectuée selon une approche systémique (PSA 99) afin de garantir la modularité du référentiel métier et son application à toute conception de produit (système). L'approche systémique permet également de mieux mettre en évidence le besoin client et le résultat obtenu réellement. L'approche systémique facilite, par la suite, la maintenance du référentiel lors de l'intégration de nouvelles technologies.

Dans ce chapitre, dans un premier temps, le choix du formalisme générique retenu pour réaliser le meta modèle est justifié. Ensuite, le meta modèle permettant aux acteurs de construire leur référentiel métier est présenté. Ce meta modèle est décomposé en deux parties. La partie produit permet la capture, l'archivage et le partage des informations (fonctionnelles) sur le produit à tous les acteurs de la conception fonctionnelle. La partie processus de conception permet de décrire les tâches de conception et les flux d'information sur le produit qui en découlent. Cette deuxième partie du meta modèle permet de capturer (capitaliser) l'activité de conception à des fins de réutilisation et d'automatisation pour assister les acteurs et coordonner leurs échanges d'informations. Ainsi les acteurs de la conception peuvent être assistés dans leurs tâches de conception routinière fonctionnelle multi acteurs. Les tâches de conception fonctionnelle étant assignées à des rôles.

Les fonctionnalités d'usage des données, des informations et des connaissances encapsulées dans un référentiel métier (meta modèle instancié à un domaine) sont décrites dans le chapitre 4. Il est alors question, dans ce chapitre, de déroulement automatisé (workflow) du processus de conception, de gestion des modifications et de leurs impacts, du suivi de projet, de la constitution au fil de l'eau de l'historique de projet, de retours d'expériences, de push de connaissances pour réaliser une tâche, de rédaction automatique de compte rendu, de rédaction automatique de spécifications techniques, etc. Le meta modèle est implémenté dans un outil informatique. Cet outil informatique est présenté dans le chapitre 5.

Le meta modèle proposé dans l'étude pourrait à terme, être capable d'héberger tout le processus de développement d'un système (cycle en V). Pour cela, dans les perspectives de l'étude, des pistes sont données pour élargir l'étude à la conception détaillée et à tout le développement de produit.

1. Choix d'un formalisme

De nombreuses méthodes de modélisation existent et ont été listées par Vernadat (Vernadat 96). Ces méthodes ont été mises en place dans le cadre de la modélisation des entreprises à des fins de « reengineering » (Hammer 93). Parmi toutes les méthodes, la méthode UML (Rocques 00) permet d'élaborer notre méta modèle avec une approche objet à des fins d'implémentation informatique. UML est une technique de modélisation issue de l'OMG (Object Management Group), suite de Booch, OMT (Project Modelling Technique) et OOSE (Object Oriented Software Engineering). UML permet de décrire un domaine complet selon une approche objet. UML permet de réaliser les spécifications informatiques complètes pour le développement d'un outil informatique (de l'expression des besoins à la conception détaillée). Ce formalisme permet de décrire complètement une base de données (modèle produit et processus de conception) ainsi que tous les mécanismes de consultation et d'utilisation des éléments (connaissances) encapsulés.

Les modèles UML pour la description du comportement statique d'un système sont :

- **Diagramme d'activité** : représentation du comportement d'une opération en terme d'actions
- **Diagramme de cas d'utilisation** : représentation des fonctions du système du point de vue utilisateur
- **Diagramme de classe** : représentation de la structure statique en terme de classes et de relations
- **Diagramme de composants** : représentation des composants physiques d'une application
- **Diagramme de déploiement** : représentation du déploiement des composants sur les dispositifs matériels

Les modèles UML pour la description du comportement dynamique d'un système sont :

- **Diagramme de collaboration** : représentation spatiale des objets, des liens et des interactions
- **Diagramme d'états-transitions** : représentation du comportement d'une classe
- **Diagramme objet** : représentation des objets et leurs relations
- **Diagramme de séquence** : représentation temporelle des objets et de leurs interactions.

Le formalisme UML propose une grande rigueur de modélisation. Le langage UML permet de décrire explicitement des connaissances métiers, de décrire des scénarios d'utilisation, de mise en œuvre et de maintenance de ces connaissances. UML permet de bien spécifier les outils informatiques. De part sa simplicité, UML est très rapidement compréhensible par des concepteurs de produits ainsi que par des programmeurs informatiques. Seuls les modèles de classe et d'objet sont utilisés dans les résultats de l'étude. On s'inspire également du modèle d'activité d'UML pour décrire la dynamique de l'outil informatique proposé.

2. Un référentiel de conception pour les phases amont à la C.A.O.

Dans ce paragraphe, une structuration de référentiel métier générique est proposée au travers d'un meta modèle. Ce meta modèle doit permettre un partage, entre tous les acteurs impliqués dans la

conception (figure 46), des informations et données véhiculées pendant les phases amont à la C.A.O., ainsi que leur consultation intuitive.

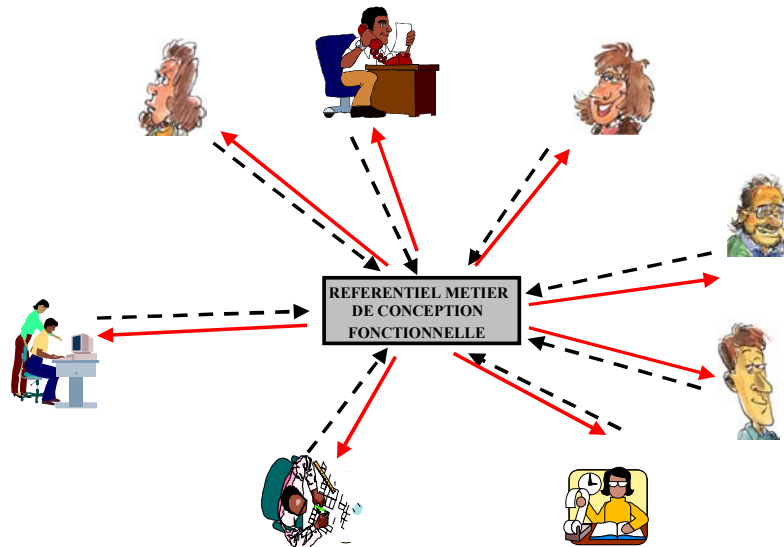


Figure 46 : Un référentiel métier partagé à l'ensemble des acteurs de la conception

Le meta modèle proposé vise à être générique à toute conception de produit. Il s'agit en fait d'un meta modèle qui pourra être instancié sur différents domaines et projets étudiés (par exemple le dimensionnement fonctionnel d'un système de freinage, le calcul de la puissance d'un micro processeur, etc.) afin de constituer le référentiel métier de ces domaines.

Le meta modèle proposé se décompose en deux parties principales qui sont le « meta modèle produit » et le « meta modèle processus de conception » regroupant respectivement les données, informations et connaissances sur le produit ainsi que sur le processus de conception.

Le **meta modèle (produit et processus de conception) proposé** est **composé de META CLASSES** qui concernent le domaine et d'autres qui concernent le projet sur lequel le processus de conception du domaine se déroule. Ces dernières permettent de capturer le déroulement du processus de conception et les instances du produit spécifiques à chaque projet. Nous pouvons alors décomposer ce meta modèle en quatre parties :

- ⇒ **Le META MODELE produit « partie domaine »** (voir § 3.1)
(ou référentiel de conception générique « produit » du domaine)
- ⇒ **Le META MODELE produit « partie projet »** (voir § 3.2)
(ou référentiel de conception générique « produit » du projet)
- ⇒ **Le META MODELE processus de conception « partie domaine »** (voir § 4.1)
(ou référentiel de conception générique « processus de conception » du domaine)
- ⇒ **Le META MODELE processus de conception « partie projet »** (voir § 4.2)
(ou référentiel de conception générique « processus de conception » du projet)

Le meta modèle proposé sera **instancié dans un premier temps pour le domaine traité** (par exemple la conception des systèmes de direction). On obtiendra alors, ce qui est appelé dans l'étude, le modèle du domaine qui est **composé de CLASSES** du domaine. Ce modèle du domaine aura, comme le meta modèle, deux parties principales, soit :

- ⇒ **Le MODELE produit du domaine**
(ou référentiel métier générique « produit » du domaine)
- ⇒ **Le MODELE processus de conception du domaine**
(référentiel métier générique « processus de conception » du domaine)

Le modèle du domaine sera à son tour **instancié sur chaque projet**. On parle alors d'instanciation – déroulement - du processus de conception du domaine et d'instanciation – définition - du produit du domaine. On obtient alors le modèle du projet (ou référentiel métier projet ou **mémoire projet**) qui lui est **composé d'OBJETS**. Ce modèle du projet, comme le modèle du domaine a deux parties :

- ⇒ **Le MODELE produit du projet**
(référentiel métier produit du projet)
- ⇒ **Le MODELE processus de conception du projet**
(référentiel métier processus de conception du projet)

Finalemment après la composition du référentiel métier du domaine et du référentiel métier du projet, on obtient :

- ⇒ **LE REFERENTIEL METIER**
(= REFERENTIEL METIER DOMAINE + REFERENTIEL METIER PROJET)

Ce référentiel métier est donc obtenu après **double instanciation** (respectivement et successivement pour le domaine traité et pour le projet sur le lequel « se déroule » le domaine traité – par exemple le déroulement du processus de conception fonctionnelle des systèmes de direction automobile sur le projet véhicule PEUGEOT 307 HDI) du référentiel de conception générique.

Les parties « produit » et « processus de conception » du meta modèle ne sont pas indépendantes l'une de l'autre. Elles sont liées par des meta classes (par exemple les paramètres du produit qui se retrouvent en entrée et sortie des tâches du processus de conception) (voir § 5).

Le meta modèle proposé se décline donc en **TROIS NIVEAUX de connaissances**. Pour chaque niveau des exemples sont donnés dans ce qui suit.

- **Pour le premier niveau : modélisation des connaissances génériques de la conception de produit**
Ce niveau représente notamment la modélisation générique d'un processus de conception, la modélisation générique d'un produit, les liens entre les fonctions et les paramètres du produit, les éléments (données, informations et connaissances) à prendre en compte lors de la réalisation d'une tâche de conception, la décomposition générique d'un produit, la définition générique d'un produit, etc.
- **Pour le deuxième niveau : modélisation des connaissances du domaine**
Ce niveau représente notamment les fonctions à réaliser pour le domaine, le type d'exigences à prendre en compte, les solutions technologiques (voies technologiques) pouvant être choisies, les paramètres à évaluer pour chacune des solutions technologiques, les dépendances fonctionnelles des paramètres, le processus de conception du produit avec toutes les possibilités et solutions technologiques envisagées, les rôles qui doivent intervenir sur le processus de conception, les contraintes à prendre en compte lors de la conception ainsi que leurs origines, la traçabilité des

exigences, les situations de vie que rencontrera le produit, le fonctionnement des solutions techniques, etc.

- **Pour le troisième niveau : modélisation des connaissances sur chaque projet pour un domaine**
Ce niveau représente par exemple, les exigences propres au projet, la manière dont s'est déroulé le projet, les choix qui ont été effectués, les critères retenus et utilisés pour faire ces choix, les solutions technologiques qui ont été retenues, les valeurs des paramètres, la durée de chaque tâche réalisée, l'historique des modifications qui sont intervenues en cours de projet, le nombre de fois qu'une tâche a été refaite, la traçabilité de réalisation des exigences, les tâches réalisées et celles restant à faire, la valeur d'un paramètre à un instant t du projet, le déroulement de plusieurs projets de conception routinière sur un même domaine (par exemple le dimensionnement fonctionnel des systèmes de direction ou des amortisseurs, etc), le contexte dans lequel une tâche doit être réalisée, le détail des contraintes à prendre en compte, les retours d'expériences des projets passés et en cours, les modifications et leurs impacts, les versions des informations (valeurs de paramètres, solutions technologiques choisies successivement, etc), les acteurs qui sont intervenu sur le projet, etc.

Dans la suite de ce chapitre, le meta modèle est présenté. La partie produit est présentée dans un premier temps (§ 3), ensuite c'est au tour de la partie processus (§ 4) puis des liens qui existent entre ces deux parties (§ 5).

3. Vers un référentiel métier du “produit” partagé

Le meta modèle produit « partie domaine » et le meta modèle produit « partie projet » sont décrits dans ce paragraphe.

3.1. Le méta modèle produit « partie domaine »

Dans ce paragraphe, le meta modèle, permettant de décrire l'arborescence structurelle et fonctionnelle du produit ainsi que les liens entre ces deux arborescences (vues) sont présentés. Les paramètres sont rattachés aux arborescences (appelée également « vues »), ainsi leurs dépendances fonctionnelles sont alors capturées. Ces dernières sous-entendent un besoin d'échange d'informations entre les acteurs responsables de chaque fonction et à ceux responsables de chaque élément de la structure du produit. Ensuite, le meta modèle permettant de décrire les phases du cycle de vie du produit ainsi que les contraintes sur le produit à concevoir associées, est défini. Ceci met alors en évidence un besoin d'échange d'informations entre les acteurs associés à chaque phase du cycle de vie du produit et les concepteurs de produit. En structurant les informations de cette manière, un acteur pourra par exemple savoir à quelle(s) fonction(s) un paramètre « participe », et donc connaître l'impact d'une modification de ce paramètre sur les fonctions du système. Un acteur pourra également connaître quelles sont les contraintes qu'il doit prendre en compte et quelles en sont leurs origines (fonctions « contraintes » des systèmes associés). Une fois le meta modèle « squelette » précédent défini, les autres connaissances utiles à la conception y sont ajoutées (on parle de « greffe » de connaissances). En effet, des informations supplémentaires sont nécessaires pour assurer une complétude à la base de données afin qu'elle devienne **une base de connaissances permettant l'acquisition des informations utiles à la conception routinière**. Par exemple, la notion de situation de vie du produit et des connaissances dites « **connaissances verticales** » sont également incluses. Elles sont en fait des compléments d'informations sur certaines classes du meta modèle « squelette ». Ces connaissances verticales ne nécessitent pas une modélisation précise selon notre formalisme (meta modèle). Celles-ci sont des connaissances sur les classes du meta modèle et sont recueillies dans une classe « connaissances », comme par exemple les connaissances sur le fonctionnement du produit décrites dans une classe « connaissances » associée à la classe « article », etc. Le meta modèle permet donc de décrire les « connaissances verticales » et toutes les autres informations dites alors les « **connaissances horizontales** ».

3.1.1. Le « squelette » du meta modèle produit « partie domaine »

3.1.1.1. Les dépendances fonctionnelles multi acteurs du produit

Un paramètre de conception peut appartenir à des catégories différentes. Ce peut être un paramètre intrinsèque à l'article (le débit d'une pompe, sa pression, ses temps de réponse...) ou un paramètre « externe » à l'article comme le sont les efforts extérieurs (effort en parking, le couple conducteur au volant, la température extérieure, etc). Les paramètres sont associés à des natures de paramètres qui caractérisent ces derniers. Les natures de paramètres ont pour attribut leur nom, leur unité et le symbole de l'unité. La partie de meta modèle suivant (figure 47) représente ces concepts.

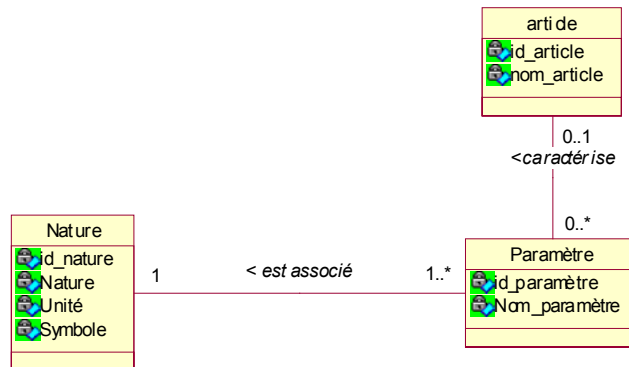


Figure 47 : Les liens entre les paramètres et les articles ainsi que la nature des paramètres

Dans l'exemple suivant (figure 48), la pompe a quatre paramètres fonctionnels. Les paramètres « régime de la pompe au régime de ralenti du moteur thermique du véhicule » et « régime de la pompe au régime maximum du moteur thermique du véhicule » ont la même nature qui est la « vitesse de rotation » qui s'exprime avec l'unité « tour par minute » dont le symbole est « tr/minute ».

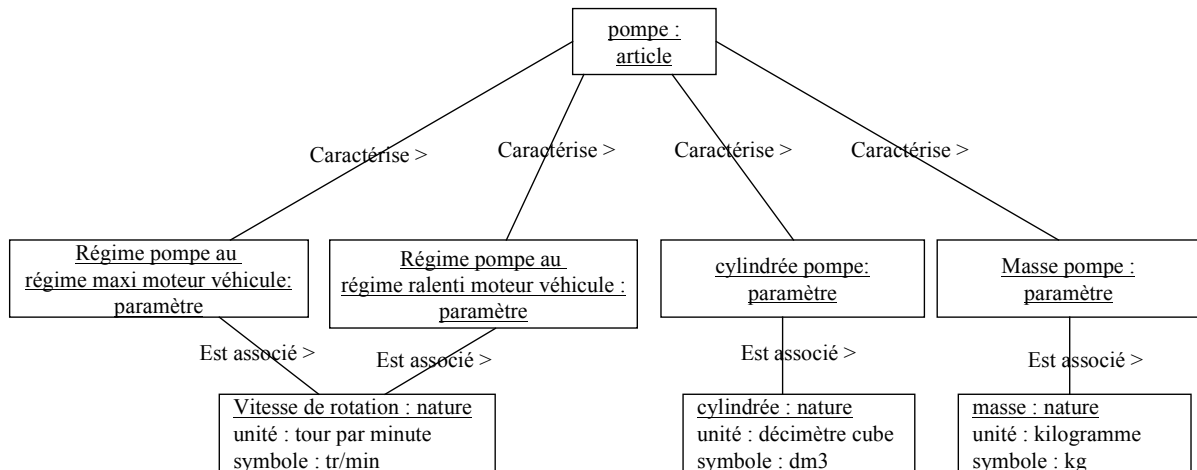


Figure 48 : Exemple pour une pompe hydraulique

Les paramètres caractérisent les articles et sont toujours rattachés à une fonction (figure 49). En effet, la performance d'une fonction est « réalisée » par des paramètres ou un jeu de ceux-ci. Le concepteur doit prendre en compte les paramètres externes à l'article, agissant comme contraintes, pour dimensionner les paramètres afin de réaliser la performance requise à la fonction. Les paramètres regroupent donc ceux qui caractérisent les performances (exigences) requises pour la fonction, ceux réellement « conçus » et tous les autres paramètres fonctionnels ayant contribué à la réalisation de la

performance. Les paramètres caractérisent plusieurs articles différents comme on l’a vu précédemment (figure 49).

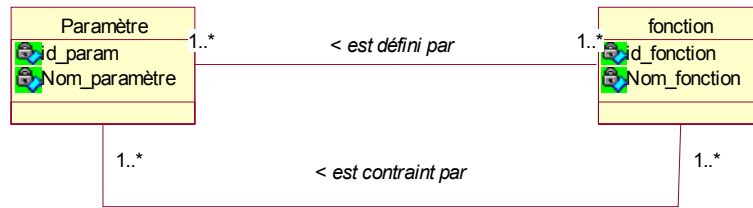


Figure 49 : Les liens entre les paramètres et les fonctions

Dans l’exemple suivant (figure 50), la fonction assistance est caractérisée par une courbe vitesse volant en fonction des efforts à la crémaillère. Cette dernière est au départ définie pour donner la performance souhaitée et constituer l’objectif de conception. Les spécifications sur la direction aboutissent à la définition d’un soutien du régime ralenti moteur (dans le cas du système avec pompe attelée au moteur) intrinsèque au moteur du véhicule. Un paramètre comme « le soutien de ralenti » peut réaliser plusieurs fonctions telles que « la consommation de carburant » et « la fonction assistance ». Une fonction peut également, comme la fonction assistance, être définie par un ensemble (jeu) de paramètres tels que « l’effort d’assistance » et « la section de vérin ». Une fonction peut également être contrainte par plusieurs paramètres. Par exemple la fonction assistance peut être contrainte par « l’angle de braquage du véhicule » et la « démultiplication pignon – crémaillère ». Une fonction est définie par des paramètres et des contraintes différentes d’une solution technique à une autre.

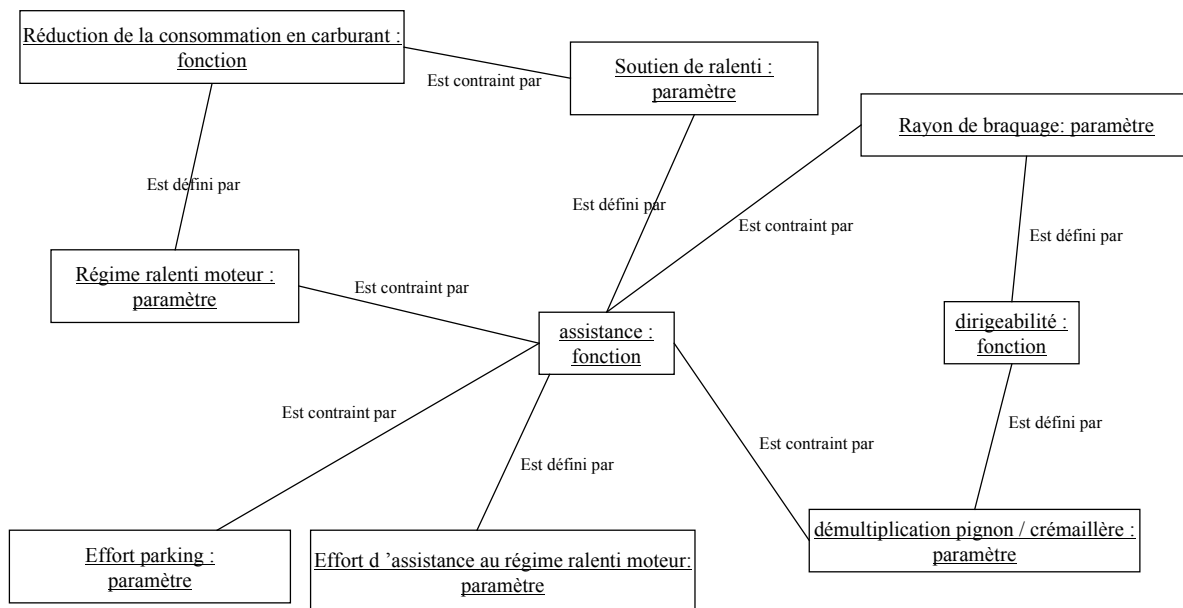


Figure 50 : Exemple pour les systèmes de direction

Ce paragraphe propose une partie du meta modèle pour décrire la structure du produit (structure organique et fonctionnelle). Il est question de produit générique car, dans ce modèle, toutes les possibilités de structure que ce produit pourra avoir lorsqu’il sera instancié sur les projets vont être formalisées. Par exemple, les fonctions freinage assisté et refroidissement de l’habitacle sont représentées même si le véhicule instancié sur un projet véhicule ne possède pas l’ABS, ni la climatisation. Pour le véhicule, toutes les options possibles seront « capturées », même si elles ne sont pas toutes choisies sur le véhicule instancié. Un produit est considéré comme un article. Celui-ci peut alors se décomposer en d’autres articles (figure 51) et réaliser une fonction qui elle-même peut se décomposer en d’autres fonctions. Une fonction caractérise un article ou un sous-ensemble de celui-ci. Chaque fonction peut être réalisée par une ou plusieurs solutions techniques. L’arborescence structurelle du produit est ainsi

obtenue. Dans la conception, il est question également de solutions techniques ou de concepts technologiques. Pour la réalisation d'une fonction particulière, le concepteur aura souvent le choix entre plusieurs solutions techniques possibles. Ces solutions techniques sont composées d'articles. Chaque fonction, article et solution technique sont définis par un nom.

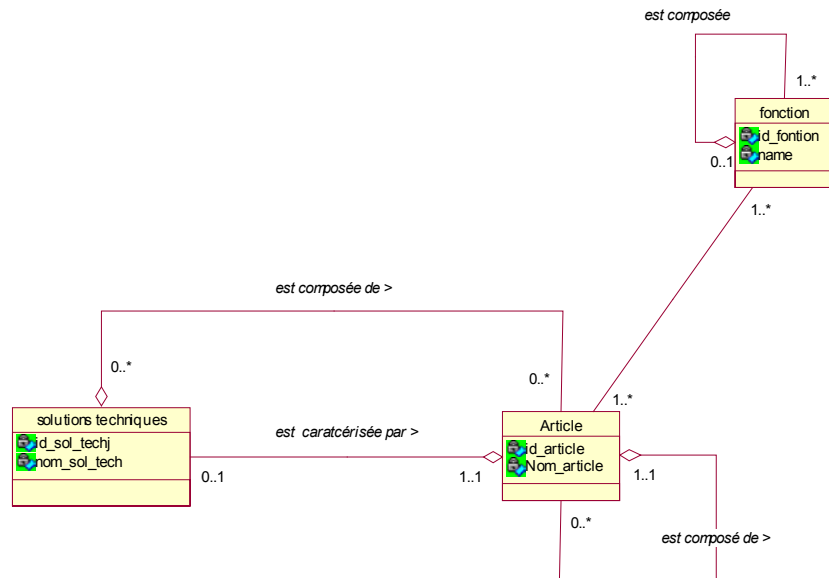


Figure 51 : La décomposition des articles et les solutions techniques

Les dépendances (interfaces) fonctionnelles d'un organe sont les articles qui participent à la réalisation des performances de la même fonction que cet organe. Un même organe peut avoir une ou plusieurs interfaces fonctionnelles. Tous ces organes sont dimensionnés pour réaliser les performances de la fonction. Quand un paramètre d'un organe participant à la performance de la fonction doit être changé, il faut regarder les interfaces fonctionnelles de cet organe pour savoir quels autres organes interviennent dans la performance de la fonction. La modification d'un organe participant à une fonction peut entraîner la modification des autres organes pour conserver la performance de la fonction. La notion de matrice QFD (Quality Functional Deployment), qui permet de faire la liste des organes « participant à une fonction », est utilisée. En d'autres termes, la matrice QFD permet de faire la liste des organes sur lesquels les fonctions du produit sont allouées.

Un organe est également contraint, en terme de dimensionnement fonctionnel (débit, pression, section, etc), de déplacement, d'agrandissement ou d'inclinaison de ses surfaces, par ses interfaces physiques. Quand un organe a un encombrement à respecter, on parle d'interface physique. Ces interfaces se traduisent par des contraintes.

Un organe (ou plutôt un paramètre de celui-ci) a donc des organes interfaces (un ou des paramètres de ceux-ci). Le dimensionnement d'un organe est donc contraint par ses interfaces et l'objectif de performance des fonctions auxquels il « participe ».

Dans l'exemple suivant (figure 52), le système de direction qui doit réaliser la fonction assistance, peut être caractérisé par trois technologies différentes. Chaque technologie a sa propre décomposition en articles qui à leur tour peuvent être caractérisés par des solutions techniques différentes.

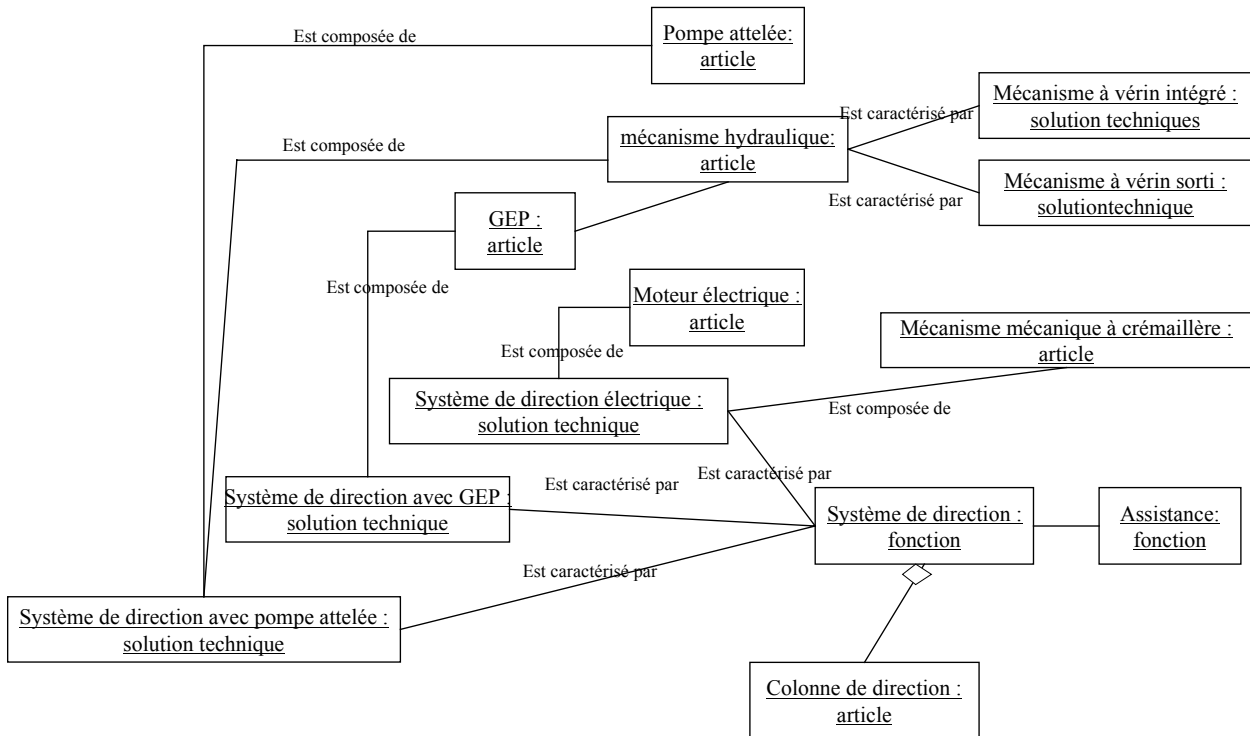


Figure 52 : Exemple de solutions techniques (caractérisation et composition)

Les solutions techniques peuvent toutes être testées dans le processus de conception mais une seule sera choisie au final. Les solutions techniques sont des articles qui se décomposent ou pas. Parfois, le choix de certaines solutions techniques et des articles associés imposent l'abandon ou le choix impératif d'autres solutions pour des raisons de compatibilité. Florence Sellini (Sellini 99) fait une description exhaustive de toutes les combinaisons de compatibilité possibles. Elle parle de connecteurs entre ces différents articles (solutions techniques). Le connecteur entre deux articles se représente en UML par une classe d'association sur le lien d'association reliant les deux classes articles. La classe connecteur se spécialise en différents types de connecteurs (figure 53). Les connecteurs retenus sont les connecteurs « et », « ou », « ou exclusif » et « implication ». Par exemple dans le cas des directions assistées, le choix d'une climatisation peut ne pas être compatible avec le choix d'une pompe attelée au moteur thermique. En effet, la puissance « consommée » par ces deux éléments est fournie par le moteur et implique donc une consommation de carburant élevée.

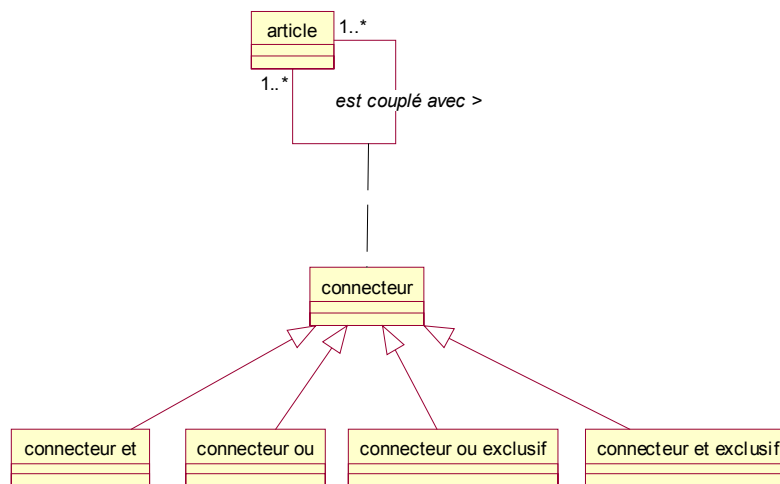


Figure 53 : Les connecteurs de compatibilité d'assemblage des articles

Il existe plusieurs types de fonctions (figure 54). Trois types de fonctions sont distingués (voir chapitre 1) : les fonctions de service qui regroupent les fonctions d'usage et les fonctions d'estime, les

fonctions techniques et les fonctions contraintes. Les fonctions contraintes caractérisent les fonctions issues des phases du cycle de vie du produit exceptée la phase d’usage, par exemple la fonction montage du produit, etc. Les fonctions de service sont déclinées en fonctions techniques.

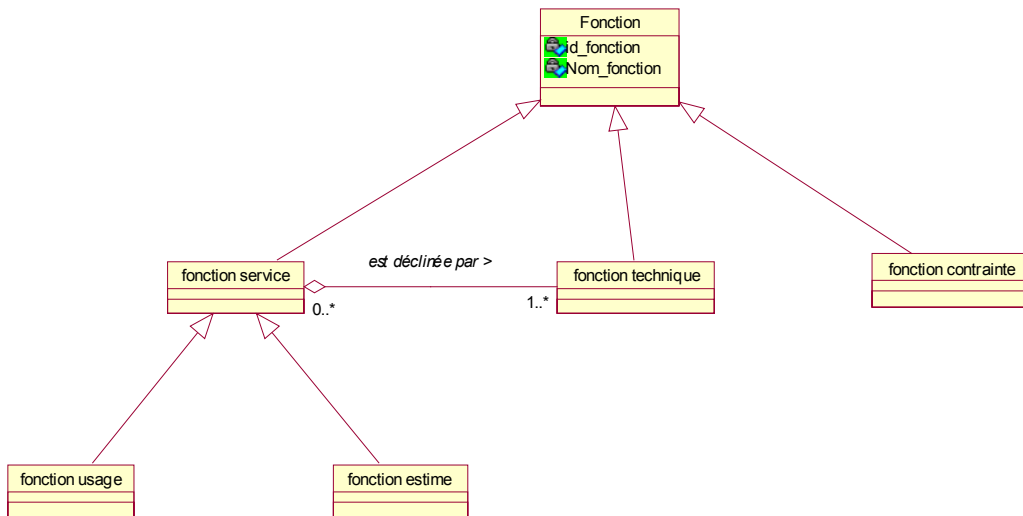


Figure 54 : Les différents types de fonctions

3.1.1.2. Les contraintes multi acteurs de conception

Ces contraintes sont issues des systèmes associés (multi acteurs et multi sites) et des situations de vie du produit conçu.

Un article a **un cycle de vie** (figure 55) composé de différentes phases (montage, usage, destruction, etc). Celles-ci mettent en œuvre les fonctions d’usage ou de service (dans le cas de la phase d’usage du produit) et les **fonctions contraintes** du produit (dans le cas des phases du cycle de vie autre que l’usage). Il a été écrit précédemment que les différentes fonctions se réalisaient suivant des **situations de vie différentes**. En effet, chaque phase du cycle de vie possède des situations de vie particulières. Le modèle suivant permet de capturer ces connaissances. Le « cycle de vie » est composé de phases distinctes (fabrication, montage, maintenance, démontage, dévissage de l’écrou, etc). Les phases du cycle de vie ont des situations de vie. Les phases du cycle de vie se décomposent en phase(s) d’usage qui mettent en œuvre les fonctions d’usage et en d’autres phases qui mettent en œuvre les fonctions contraintes. Le lien entre les fonctions et les situations de vie, est intéressant car il permet de connaître les fonctions et les différentes situations de vie à prendre en compte pour chacune d’entre elles.

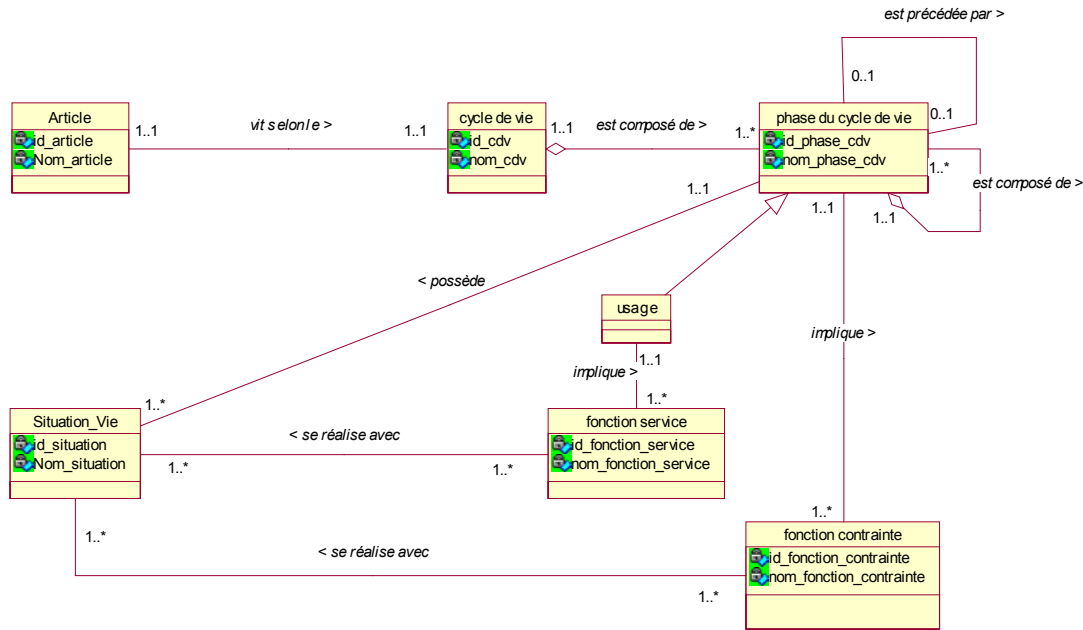


Figure 55 : Le cycle de vie et les situations de vie d'un article

Un produit rencontre des situations de vie tout au long de sa vie. Dans cette étude, les situations de vie qui sont prises en compte sont celles qui concernent le produit, une fois que celui-ci est fabriqué. Le produit passe par une succession de situations de vie dès lors qu'il a pris forme physiquement (réel ou virtuel) et ce jusqu'à sa destruction. L'usage engendre également des situations de vie particulières du produit.

Les situations de vie qualifiées pendant la phase d'usage du produit sont les plus importantes car elles concernent directement le client. La connaissance de toutes les situations de vie est importante pour le concepteur afin qu'il fasse les choix de conception appropriés. La traçabilité de ces choix de conception doit également être conservée à des fins de modifications ultérieures du produit. En effet, il est important qu'un concepteur sache qu'une définition du produit n'est pas le fruit du hasard mais qu'elle découle de la prise en compte de situations de vie que l'on aura pris soin de décrire.

Un produit comme la direction assistée d'une automobile rencontre les situations de vie pour sa fonction de service, la fonction assistance. Ces situations de vie sont les suivantes :

- Sur route mouillée
- Sur verglas
- Sur graviers
- En manœuvre parking
- En manœuvre à grande vitesse sur autoroute

Les manœuvres « véhicule » à grande vitesse imposent à la direction une grande vitesse volant pour permettre l'évitement d'obstacle. Les manœuvres en parking imposent un grand effort d'assistance. Les exigences techniques doivent donc prendre en compte toutes ces situations de vie.

Une anecdote intéressante concernant la conception des avions : après la conception d'un avion, des concepteurs se sont aperçus que la porte d'embarcation était trop haute par rapport aux nacelles en service dans tous les aéroports. Cette erreur de conception était due au fait que la situation de vie «embarcation des passagers» avait mal été formalisée. En effet, cette situation de vie implique une contrainte sur la conception. Cette contrainte est relative à la nacelle d'embarquement des passagers. Cette nacelle est en fait un système englobant (système des aéroports en matière de transport et d'embarcation des passagers dans les avions) du système étudié qui est l'avion. Suite à cette constatation, les concepteurs ont du

prendre en compte les mesures adéquates afin de résoudre le problème. Ils ont du déplacer le train d'atterrissage pour que l'avion bascule sous son poids et que la porte d'embarcation descende.

Les situations de vie servent à mieux spécifier le produit en terme d'exigences techniques et de contraintes à respecter en conception. L'objectif de l'étude est de formaliser ces situations de vie de manière à mieux spécifier et donc concevoir un produit bon du premier coup. Le fait de formaliser ces situations de vie, permet également de pouvoir simuler numériquement le comportement du produit afin d'identifier les risques au plus tôt, puis de valider la conception avant même d'avoir recours au prototype physique. En fait les situations de vie sont rattachées directement aux fonctions du produit. Les exigences relatives à ses fonctions sont donc la combinaison des situations de vie rattachées à ces fonctions. Les autres parties du cycle de vie (fabrication, montage, recyclage) font intervenir les fonctions dites « contraintes » **sur le produit (système) étudié** que l'on conçoit (fonction montage, maintenance et fabricabilité du produit par exemple). Ces phases du cycle de vie vont également rencontrer des situations de vie. Celles-ci vont impacter les choix de conception et la définition du produit. Un exemple de situation de vie associée à une fonction contrainte peut être le montage des faisceaux d'un camion. Ce montage oblige les monteuses à passer sous le camion, or les normes de sécurité l'interdisent. Les concepteurs doivent donc prendre en compte cette situation de vie pour placer les faisceaux de manière à par mettre un montage manuel sans passer sous le camion.

Les fonctions techniques (guidage en rotation, transmission du couple, étanchéité, etc) peuvent également rencontrer des situations de vie qu'il pourra être important de formaliser pour les mêmes raisons que précédemment.

Plus il y a de situations de vie différentes et plus les choix de conception de notre système seront restreints. Le triaxe des contraintes (figure 56) permet de représenter les concepts présentés précédemment. Les articles ont des fonctions (QFD) qui doivent se réaliser pour différentes phases du cycle de vie et différentes situations de vie. Ces mêmes articles et fonctions peuvent avoir des contraintes provenant des phases du cycle de vie et des situations de vie. Le triaxe permet de positionner toutes les contraintes afin que le concepteur puisse ne pas en oublier lorsqu'il conçoit.

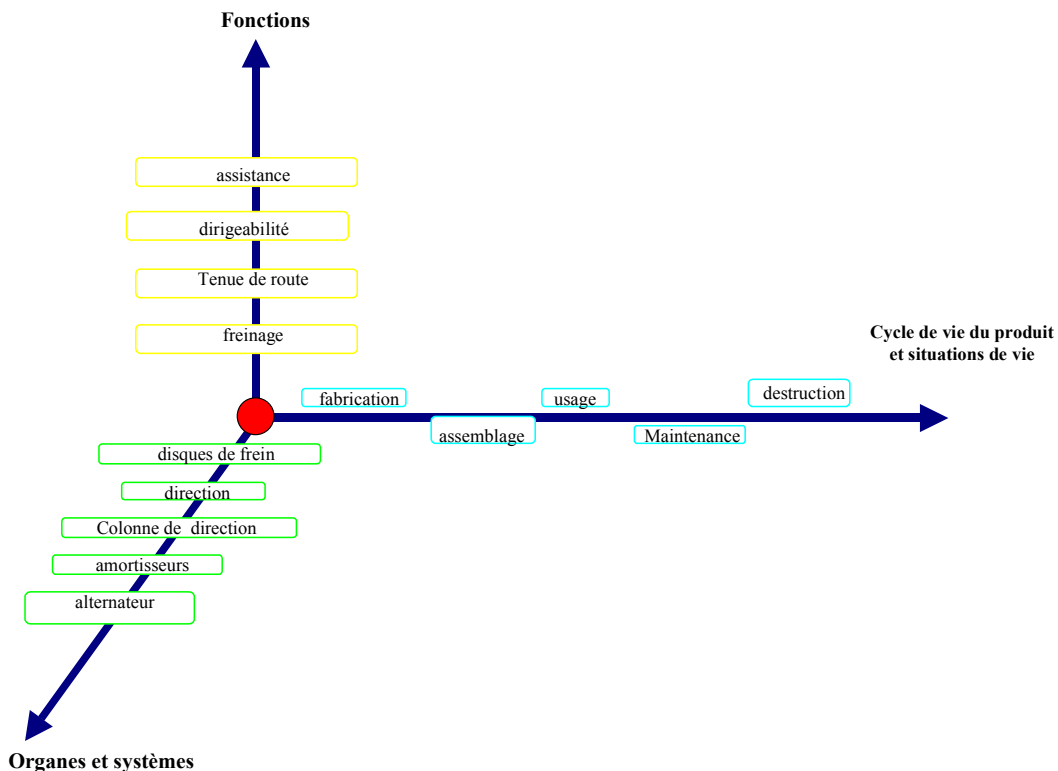


Figure 56 : Le triaxe des contraintes

Les situations de vie sur les fonctions d'usage engendrent des spécifications objectives que le concepteur devra concevoir. Les situations de vie sur les fonctions contraintes engendrent des contraintes sur la conception que le concepteur devra prendre en compte pour concevoir les fonctions d'usage (les spécifications et les contraintes peuvent être toutes les deux vues comme des contraintes car quoi qu'il en soit le concepteur doit les prendre en compte pour concevoir). Les situations de vie, issues de fonctions contraintes, sont en fait liées à des tâches qui sont réalisées dans les systèmes associés. Par exemple, « monter A dans B » impliquera sur la conception une contrainte sur A et B se traduisant par exemple par une règle : $A < B$. Dans le modèle produit, le concepteur devra donc voir que A et B sont liés par une règle lorsqu'il devra concevoir A ou B. Le concepteur devra connaître l'origine de la contrainte pour éventuellement pouvoir la remettre en cause (avec le monteur par exemple). Le concepteur devra alors connaître la phase du cycle de vie (avec les acteurs associés) de laquelle découle la contrainte (voir figure 57).

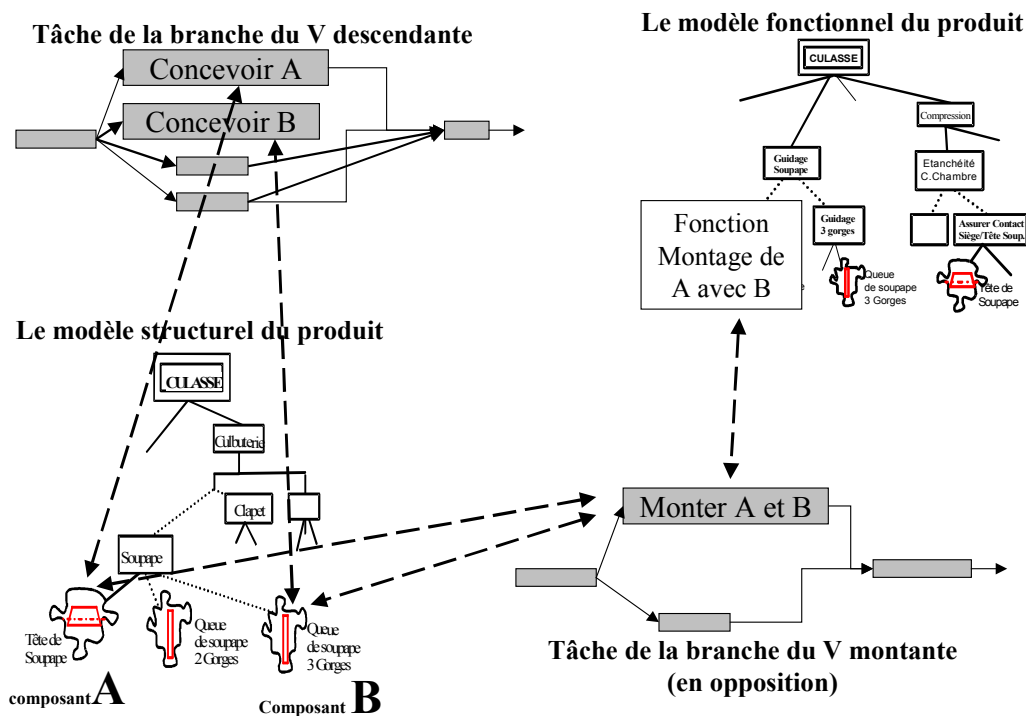


Figure 57 : Origine des contraintes et cycle en V (système associé)

L'exemple suivant (figure 58) illustre l'origine, dans le cycle de vie du mécanisme hydraulique, d'une de ses « fonctions contraintes ». Cette « fonction contrainte » se traduit par la prise en compte, par le mécanisme, d'une contrainte qui pourra par exemple dépendre des broches disponibles en fabrication pour usiner le tube du vérin.

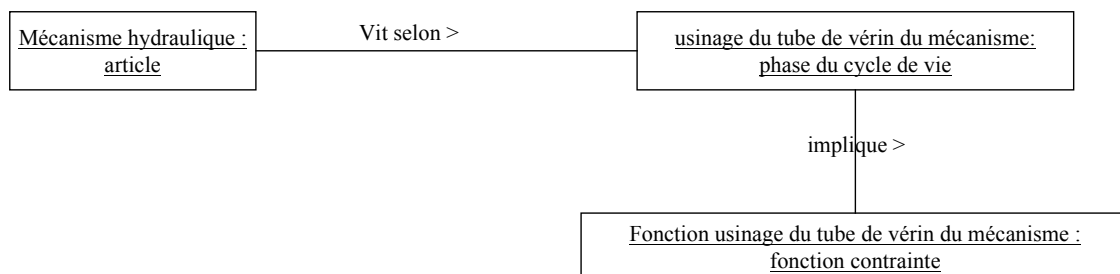


Figure 58 : Exemple de fonction contrainte et de son origine / cycle de vie du produit

L'exemple suivant (figure 59) permet de capturer les informations concernant l'impact des situations de vie sur les fonctions de service d'un article. Dans le cas du pare brise arrière, par exemple, les concepteurs doivent le dimensionner pour qu'il soit résistant. Ces concepteurs doivent donc prendre en

compte les efforts quand le véhicule est en marche avant sur autoroute mais ils ne doivent surtout pas oublier que le véhicule, quand il est livré chez le concessionnaire, peut être posé dans le sens inverse à la marche sur un camion, qui peut rouler à 130 km/h. La capture de toutes les situations de vie est important pour que le concepteur puisse prendre en compte.

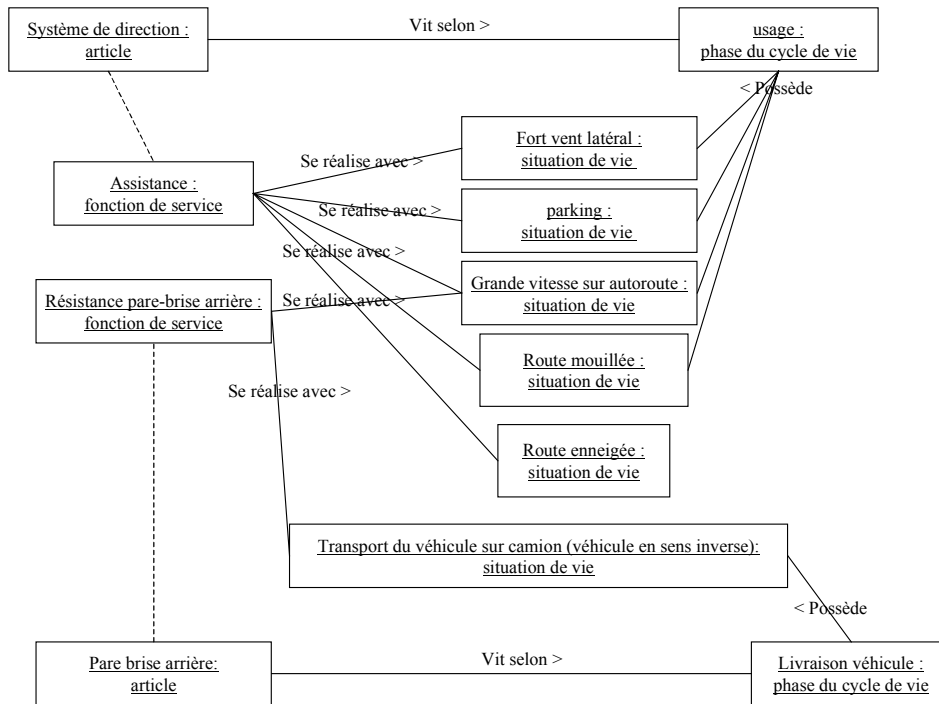


Figure 59 : Exemple de l'impact des situations de vie sur les fonctions d'usage de l'article

Il est important de prendre en compte les situations de vie pour déterminer les compatibilités des solutions techniques. Par exemple, un train qui sera vendu au Mexique et un même train vendu en France peuvent avoir des disparités. En effet, le train mexicain devra avoir des protections sur ses roulements de roues étant donné que sur les voies ferrées Mexicaine, de l'acide est déposé pour détruire les Cactus. Cet acide « attaque » les roulements de roues et réduit leur durée de vie. Le train français quant à lui peut se passer de ces protections. Ceci se traduit par un lien entre les solutions techniques et les situations de vie comme le montre la figure 60.

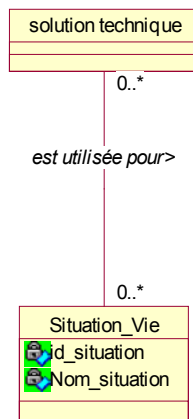


Figure 60 : Les solutions techniques et les situations de vie associée

Les situations de vie vont contraindre le concepteur. En effet, le concepteur verra des contraintes qui « proviendront » des étapes du cycle de vie. Ces contraintes pourront, soit être associées aux fonctions d'usage (passage d'un véhicule sous des ponts normalisés à 2 mètres de hauteur d'où une contrainte sur la

hauteur du véhicule), soit être associées aux fonctions contraintes (maintenance des freins avec utilisation d'une pince agréée par les garagistes du groupe, cette pince à des dimensions et des caractéristiques particulières, ce qui implique des contraintes sur les paramètres du produit que le concepteur devra prendre en compte). Il est question de « contraintes d'usage » et de « contraintes cycle de vie ». Le lien paramètre et situation de vie est explicitement représenté dans le modèle car il est intéressant de voir pour un paramètre donné les contraintes qu'il possède et leurs origines dans le cycle de vie. Ces concepts sont représentés sur la figure 61. Ces contraintes vont se répercuter explicitement sur le processus de conception du produit.

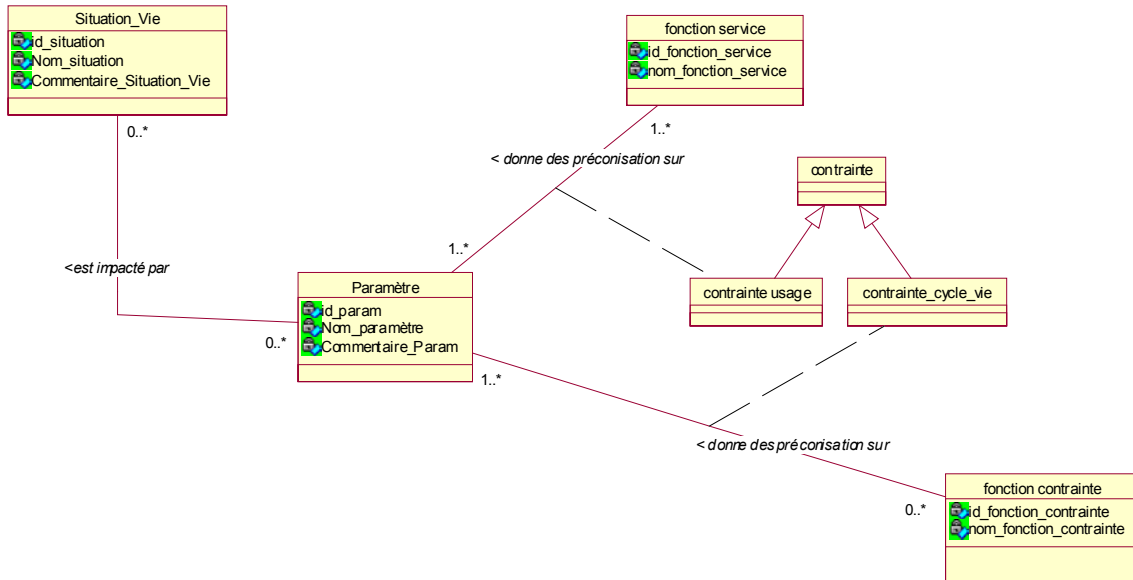


Figure 61 : Les contraintes sur le produit à concevoir

Il a été question de contraintes de conception, il peut également être question de **règles de conception** (figure 62). Les règles sous-entendent des contraintes sur le produit à la seule différence près qu'une règle s'exprime sous la forme [si... alors...]. Une règle peut s'appliquer au choix d'un paramètre ou à une configuration (solution technique) du produit. Une règle peut également dépendre du choix d'un paramètre ou du choix d'une solution technique.

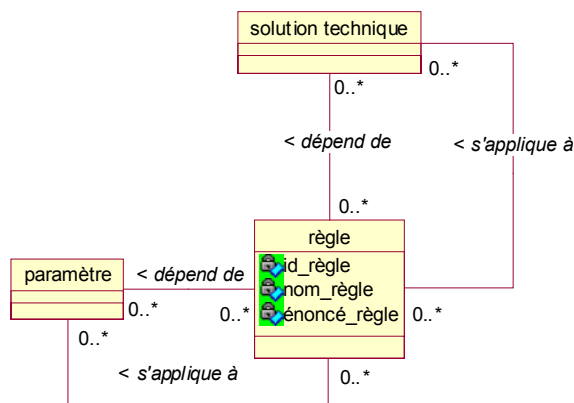


Figure 62 : Les règles et les paramètres

Le choix d'un paramètre ou d'une solution technique peuvent être contraint par zéro ou plusieurs règles. Une règle est exprimée avec les opérateurs =, >, <, >= ou <=. Le fait qu'une solution technique ait été choisie ou pas se traduit respectivement par 1 ou 0. L'énoncé d'une règle se fait de la manière textuelle suivante :

=> **SI** « débit » <= 45.4 l/s **ALORS** « diamètre des canalisations » > 423mm **ET** vérin = 1
 => **SI** « Direction électrique » = 1 **ALORS** « Intensité maximum » < 3A

3.1.1.3. Les exigences

Un paramètre peut être, soit un paramètre qui caractérise le produit (ou la fonction) et qui sera défini après conception, soit un objectif de conception (figure 63).

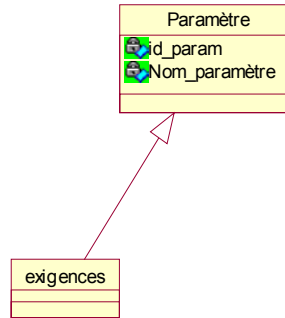


Figure 63 : Les paramètres qui traduisent des exigences

Des exigences sur le produit (sur ses paramètres) s’expriment pour des situations de vie précise. Il est alors important de le faire apparaître dans le modèle (figure 64). Par exemple, une tondeuse pourra avoir une vitesse requise pour gazon de jardin, mauvaise herbe, terrain avec risque de caillou, etc. Ceci impliquera peut être de proposer à l’utilisateur de la tondeuse plusieurs « mode de tonte » afin qu’il choisisse le mode adéquate.

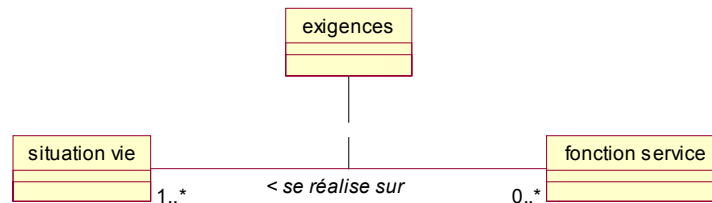


Figure 64 : Les exigences sur le produit à concevoir en situation de vie

3.1.1.4. L’approche systémique

Les résultats de l’étude sont en cohérence avec ceux proposés par l’ingénierie système. Un système est un article dont la granularité est défini par les concepteurs. Pour les systèmes de direction, c’est toute la direction qui est un système. Cette direction comprend des sous systèmes qui sont la colonne de direction, la source de puissance pour l’assistance, le mécanisme de direction, etc. Un système est défini par ses caractéristiques « externes » ou « frontière », les besoins client et les objectifs associés ainsi que par ses caractéristiques internes. La fonction est une caractéristique intrinsèque du système. La figure 65 illustre ces concepts.

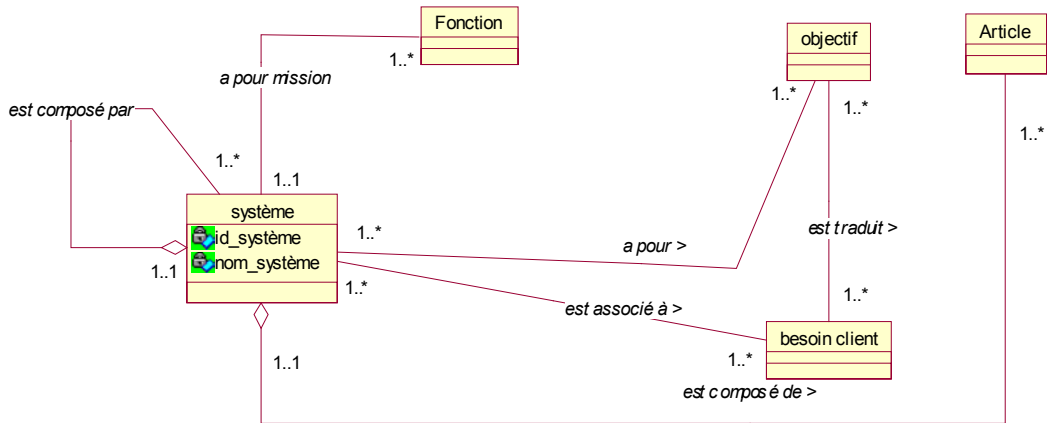


Figure 65 : La modularité systémique

Le système étudié est le système dont les fonctions d’usage sont conçues. Les systèmes associés sont les systèmes qui vont contribuer au développement du système étudié. Les systèmes environnant sont les systèmes extérieurs au système étudié et ayant un impact sur la réalisation des fonctions d’usage du système étudié. Ces concepts sont représentés sur la figure 66.

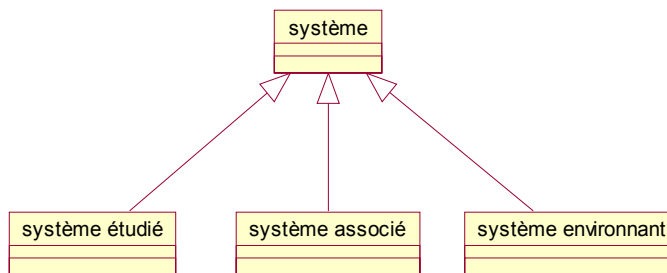


Figure 66 : Les différents types de système

➤ Système environnant, interfaces et origine des contraintes :

On identifie les systèmes environnant (ou englobant) car ils contraignent la conception des fonctions d’usage. Par exemple la signalisation, les normes en vigueur, les normes de pollution, les normes de recyclage font partie des systèmes environnant d’un véhicule. Par exemple, un concepteur des trappes à essence doit prendre en compte les normes de construction des pompes à essences (système environnant de ravitaillement) lorsqu’il conçoit. etc.

La figure suivante (figure 67) présente les systèmes englobant (environnant) d’un moteur automobile :

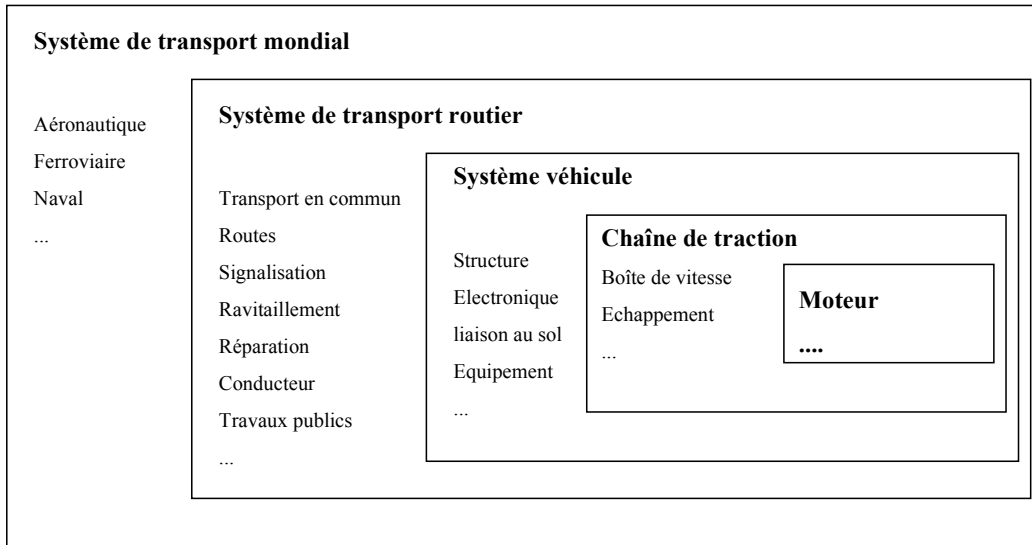


Figure 67 : Systèmes englobant et sous systèmes du système véhicule

Le système étudié a un système englobant et donc des contraintes qui proviennent de ce système englobant. Ces contraintes proviennent des interfaces (**ou paramètres**) du système englobant. Ces contraintes sont de plus relatives à des phases d'usage du système étudié. La figure 68 représente ces différents concepts.

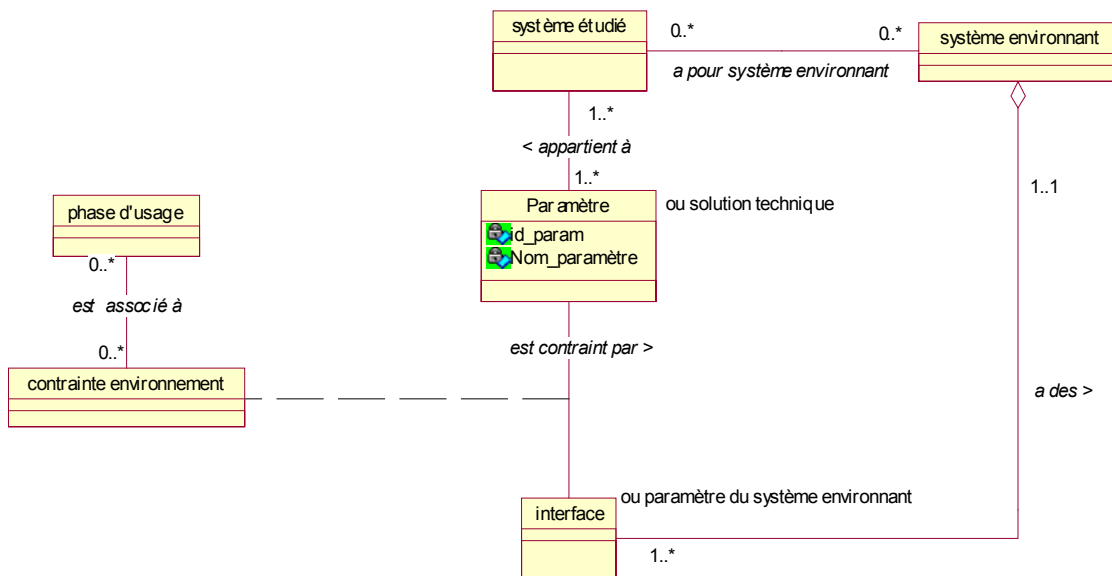


Figure 68 : Les interfaces et les systèmes environnant et englobant

Il a été identifié que les contraintes agissent souvent entre des paramètres du produit et / ou des paramètres issus des éléments des systèmes environnant (par exemple système route...) du cycle de vie. Dans tous les cas, ce système environnant intervient dans une étape du cycle de vie de notre système étudié. Par exemple l'effort crémaillère peut dépendre du « coefficient de frottement du revêtement de la route ». Il est donc important de capitaliser le lien entre la contrainte et les paramètres de notre système étudié, les paramètres des systèmes environnant et les étapes du cycle de vie où cette contrainte intervient.

La liaison solution technique et interface peut être intéressante. Par exemple dans le cas où le système environnant « condition de fonctionnement » serait « sableux » (interface), le concepteur devra choisir les étanchéités (solutions techniques) adéquates, etc. Les situations de vie sont alors liées aux systèmes

environnement, car le fonctionnement en milieu sableux caractérise également une situation de vie. Les contraintes d'environnement sont une spécialisation de la classe contrainte (figure 69).

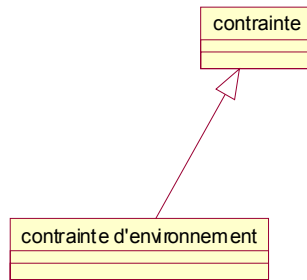


Figure 69 : La généralisation des contraintes d'environnement

➤ Système associé (au développement du produit) et origine des contraintes :

Un système associé réalise une phase du cycle de vie du produit (montage, fabrication, etc.). Il faut un lien entre les systèmes associés et les phases du cycle de vie du produit à concevoir ou fonction d'usage du produit. Autrement dit, le système associé réalise une fonction contrainte appartenant au système étudié. Seules les fonctions du système associé, qui contraignent notre système étudié, sont étudiées. La figure suivante (figure 70) présente les systèmes associés d'une automobile :

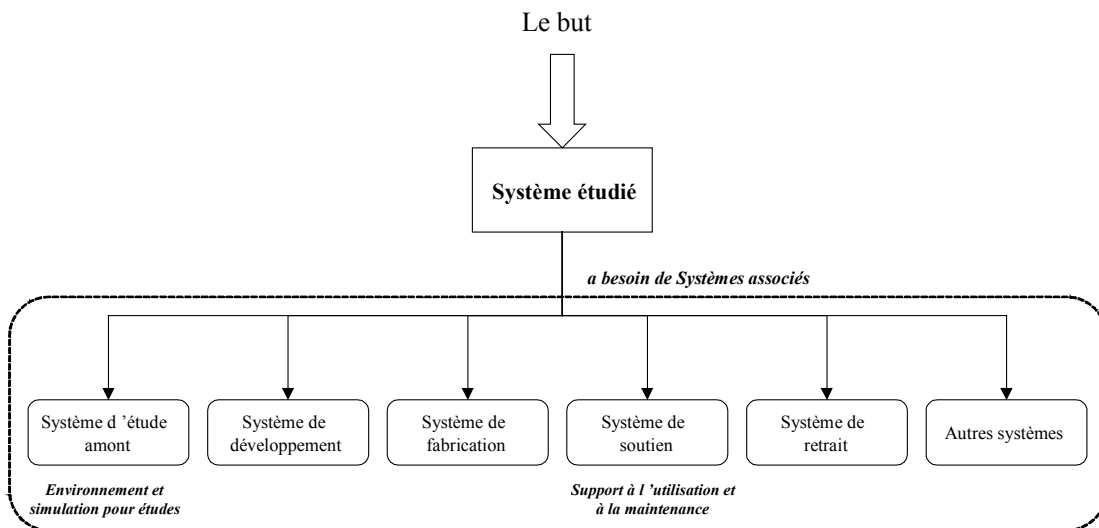


Figure 70 : Des exemples de système associé (PSA 99)

Le système étudié a donc un ou plusieurs systèmes associés. Le système étudié a donc des contraintes qui proviennent des systèmes associés. Ces contraintes proviennent des interfaces (**ou paramètre**) du système associé. Ces contraintes sont de plus relatives à des phases du cycle de vie du système étudié. La figure 71 représente ces différents concepts.

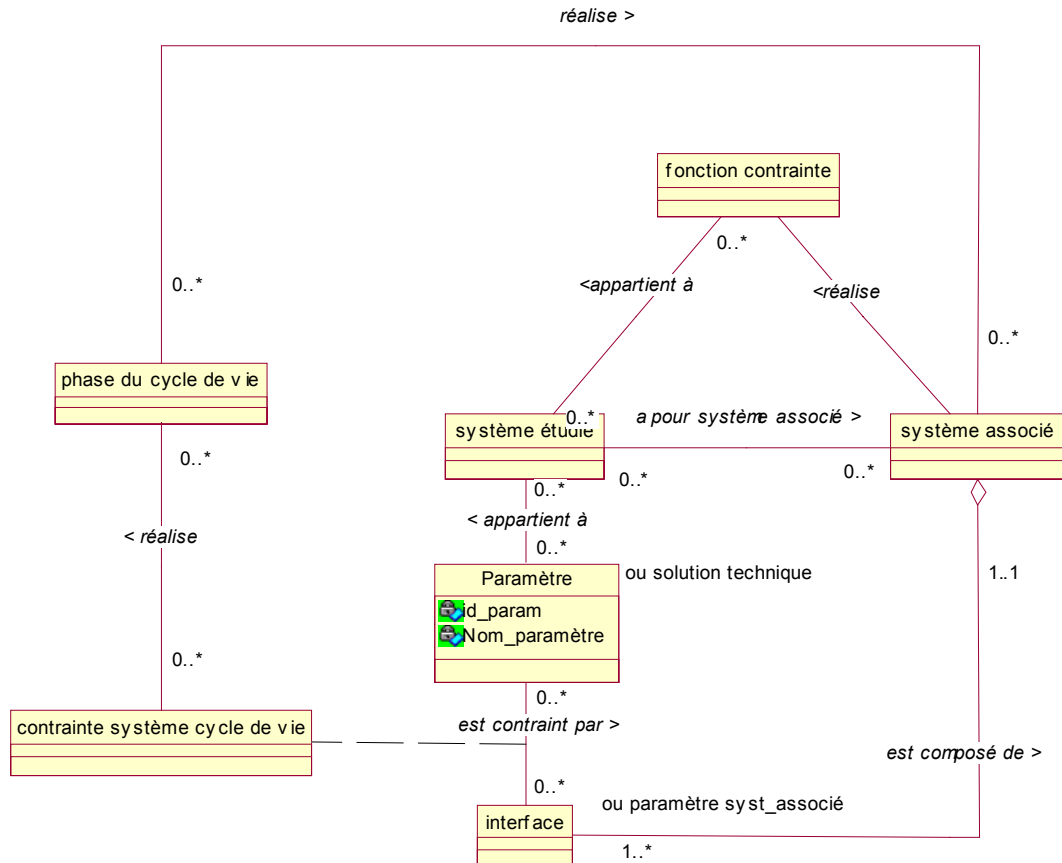


Figure 71 : Les interfaces et les systèmes associés

L’approche systémique permet de rendre générique le meta modèle à toute conception de système (appelé également article ou organe). Par exemple, le meta modèle pourra servir pour la conception du process de fabrication du produit. La conception et les technologies utilisées deviennent donc modulaires. Cette modularité facilitera la maintenance du référentiel métier. Par exemple, lorsqu’une nouvelle technologie sera employée, il sera plus aisé de mettre à jour le référentiel métier : l’analyse systémique déjà réalisée (identification des systèmes associées et interfaces, identification des tâches intrinsèques au système, à la technologie et permettant de dimensionner celle-ci afin d’atteindre les objectifs « clients », etc) permettra de « débrancher » (partie du modèle produit et de processus de conception du domaine associés) l’ancienne technologie devenue obsolète et de la remplacer par la nouvelle ; à condition que les deux réalisent la même fonction. En effet, l’analyse systémique a permis de considérer le système et son environnement (besoins clients, contraintes, interfaces, etc) indépendamment de la technologie employée (composition d’article) pour réaliser le système.

3.1.2. Les autres connaissances « verticales » génériques sur le produit

Certaines classes du meta modèle sont associées à une classe connaissance (voir figure 72).

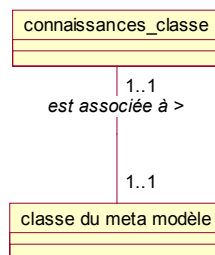


Figure 72 : Les connaissances associées aux classes du méta modèle

Ces connaissances peuvent être stockées dans la base de données et faire partie de la structuration de celles-ci. Ces connaissances permettent de rajouter de l'information sur les classes « éléments de la conception » afin de permettre une meilleure compréhension de celles-ci. En effet, les informations intrinsèques à la structuration de la base de données ne permettent pas de définir complètement le produit et le processus de conception. Ces connaissances sont transversales à tous projets de conception de produit. Les classes concernées sont alors :

- Article => connaissance_article
- Solution technique => connaissance_solution_techinique
- Fonction => connaissance_fonction
- Paramètre => connaissance_paramètre
- Nature => connaissance_nature
- Exigences => connaissance_exigence
- Cycle de vie => connaissances_cycle_vie
- Phase du cycle de vie => connaissance_phase_cycle_vie
- Situation de vie => connaissance_situation_vie
- Contrainte => connaissance_contrainte
- Règle => connaissance_règle
- Objectif => connaissance_objectif
- Système (étudié, associé, environnant) => connaissance_système
- Interface => connaissance_interface

Les connaissances sur les paramètres, les solutions techniques et les articles permettent également de décrire les éléments contextuels à prendre en compte lors de leur instanciation.

3.2. Le meta modèle produit « partie projet »

Ce paragraphe décrit la partie du meta modèle qui permet la capture des instances du modèle du domaine sur chaque projet de conception routinière. Un projet de conception routinière consiste, avec notre méthodologie et outil informatique, à instancier le modèle du domaine (instance du meta modèle sur un domaine) et à dérouler le processus de conception du domaine. Un projet a des objectifs qui lui sont propres. Chez PSA Peugeot Citroën, un projet correspond à la conception d'une version d'un type de véhicule (par exemple un type de véhicule est, chez PSA, la Peugeot 607). Ces versions ont des motorisations différentes, des trains différents et des boîtes de vitesse différentes (manuelle ou automatique). Pour chaque version, les contraintes ainsi que les exigences diffèrent. Pour réaliser les objectifs qui peuvent porter aussi bien sur le produit (les performances que le produit doit atteindre après sa conception) que sur le processus de conception (délais à respecter, technologie à utiliser, acteurs définis pour réaliser les tâches...), le produit aura une définition propre au projet après la conception routinière. Pour récupérer toutes les données, informations et retours d'expériences concernant un projet donné, la « partie projet » du meta modèle a été rajoutée à la « partie domaine » présentée précédemment. La capture de ces éléments permettra de les mettre en partage dans une base de données partagée, à l'ensemble des acteurs devant intervenir dans le processus de conception et sur un projet donné. Les différentes instanciation du produit (valeur de paramètres produits, choix réalisé dans le projet...) sur un projet donné peuvent alors être capturées. La figure suivante illustre que le produit peut être instancié différemment d'un projet à un autre. C'est à dire que les solutions techniques retenues (la croix indique qu'elles n'ont pas été retenues) peuvent ne pas être les mêmes et que le dimensionnement peut également être différent (voir un exemple sur la figure 73 qui représente la nomenclature générique d'un produit où les cases avec des croix représentent les solutions non retenues lors de la conception) d'un projet à un autre.

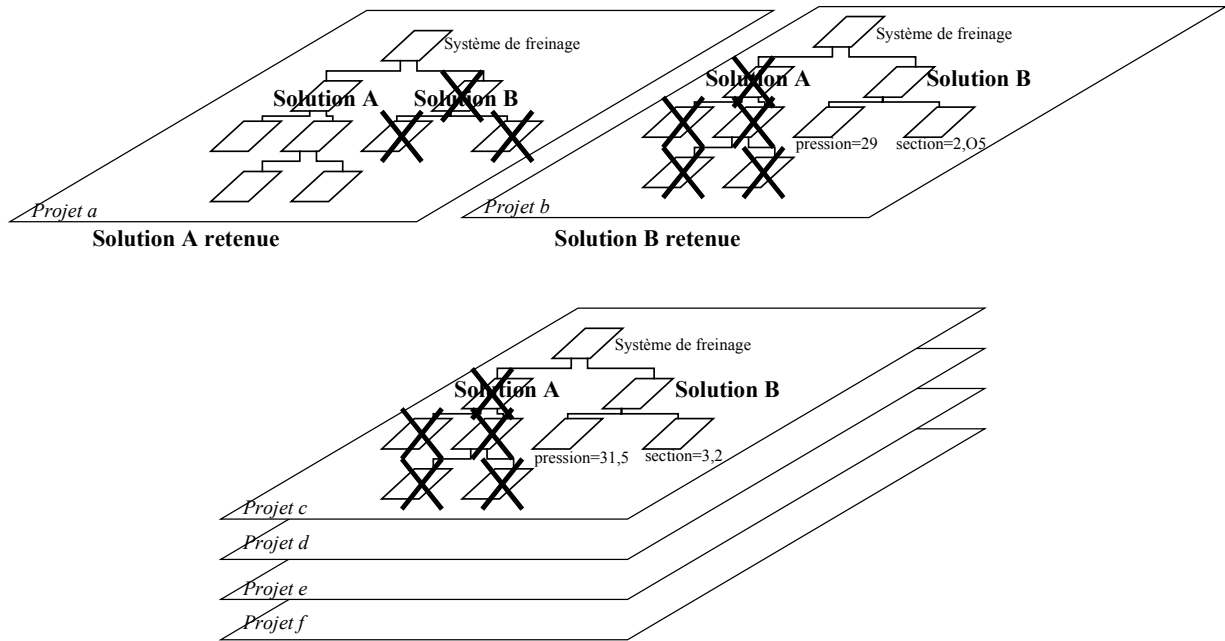


Figure 73 : L'instanciation différente d'un article sur plusieurs projet

Les différentes données, informations et connaissances projets à capturer sont décrites dans la suite du paragraphe.

PSA Peugeot Citroën utilise le concept de plate-forme. Ce concept de plate-forme permet de garantir une base commune à plusieurs automobiles. Les plate-formes sont en fait des gammes de produit (véhicule bas de gamme, moyen de gamme, haut de gamme). Ce concept peut être générique à toute conception de produit. Il est donc nécessaire de faire apparaître cette information dans le référentiel. L'objectif étant que le concepteur sache lorsqu'il a un choix à faire, quels sont les choix qui ont déjà été fait sur un produit de la même plate-forme afin de contribuer aux objectifs de réutilisation d'éléments sur une même plate-forme, et sur d'autres plate-formes. Ceci permet de réduire des coûts de développement. Le modèle (voir figure 74) permet de classifier les articles conçus ainsi que les projets associés dans une plate-forme.

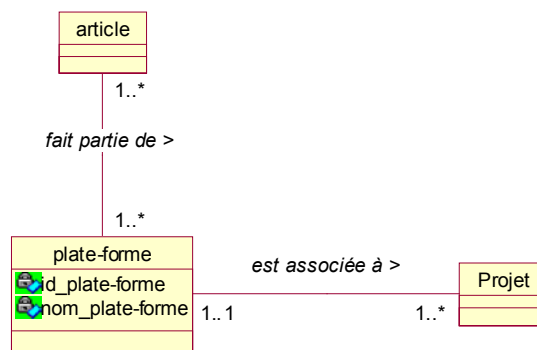


Figure 74 : La classification en plates-formes des articles et des projets de conception

3.2.1. Les valeurs des paramètres en cours de conception

3.2.1.1. Les instances de paramètres associés au projet

Les instances de paramètres (voir figure 75) sont toutes les valeurs qu'un paramètre peut avoir dans un projet donné. Les instances de paramètres sont caractérisées par :

- Une version : en effet, sur un projet donné, un même paramètre pourra avoir plusieurs valeurs, les versions aident donc à capturer l'historique des valeurs d'un même paramètre sur un projet donné.
- Date_modif : cet attribut permet de capturer la date de la modification d'une valeur de paramètre (soit de la création de l'instance)
- Valeur : il s'agit de la valeur numérique du paramètre
- Raison de la modification
- Intervalle de tolérance : il s'agit de l'intervalle de tolérance que le paramètre peut avoir sur un projet, donné. Ils ne doivent pas changer avec le projet mais être indépendant donc classe intervalle et instance d'intervalle.
- Indice de fiabilité : il s'agit d'une valeur de 1 à 5 qui permet de renseigner l'acteur sur la fiabilité de la valeur lors de sa prise en compte. Cette valeur indique, par exemple, à l'acteur que la valeur du paramètre est déterminée avec précision (indice 5) ou alors qu'elle est juste une estimation qui permet aux autres acteurs de pouvoir tout de même travailler (indice 1).
- L'état du paramètre est utile pour renseigner les acteurs sur le fait que la valeur d'un paramètre est définie, définie mais non validée, non définie, non définissable ou en cours de définition.
- Le signal permet de dire si le paramètre sera défini (valeur 1) ou pas (valeur 0). Si la solution technologique, à laquelle est associé le paramètre, n'est pas choisit, ce dernier ne sera pas défini.

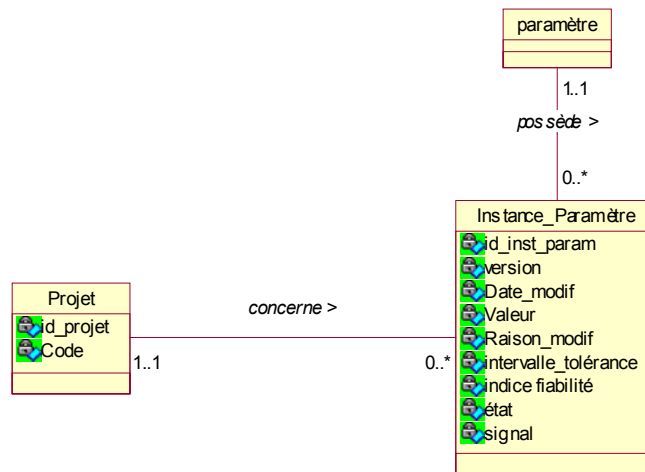


Figure 75 : Les instances de paramètre sur chaque projet

L'exemple suivant (figure 76) montre que le paramètre « section » peut avoir des instances différentes d'un projet à un autre mais également sur un même projet. Suite à des modifications et à un raffinement de la solution, un paramètre peut voir sa valeur évoluer sur un projet. Dans ce cas le paramètre est versionné.

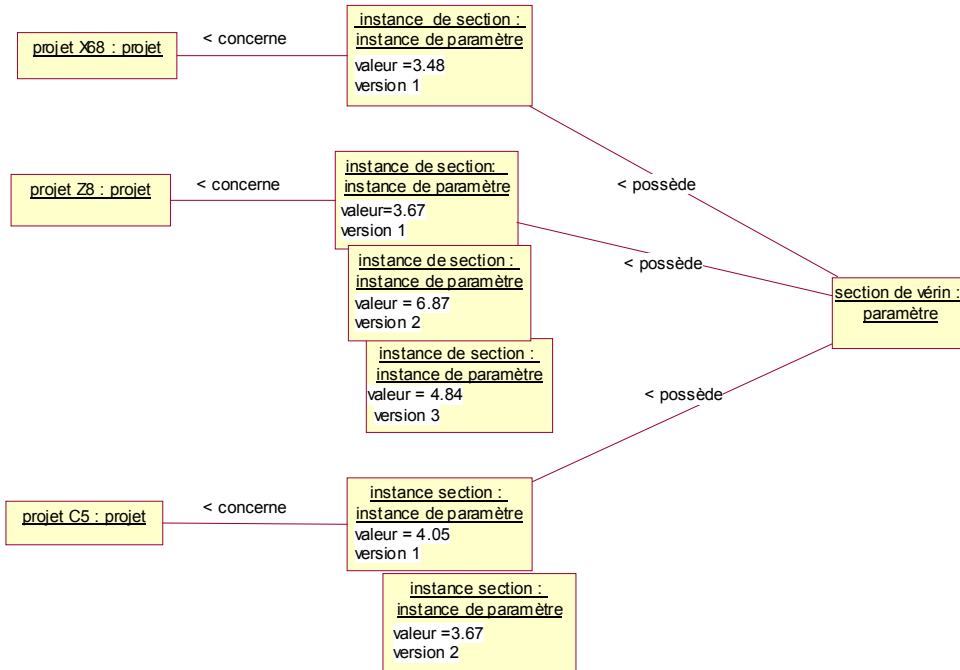


Figure 76 : Les instances projet différentes sur un même projet et sur des projets différents

3.2.1.2. Les instances d'exigences

Les exigences sont différentes d'un projet à un autre. L'exigence étant une spécialisation du paramètre. Le principe d'instanciation et de capture de celles-ci sur chaque projet est le même que pour les paramètres.

3.2.1.3. Les instances de contraintes

Les contraintes peuvent évoluer au cours du projet au même titre que les paramètres. Elles peuvent être différentes d'un projet à un autre. La figure suivante (figure 77) représente ce principe.

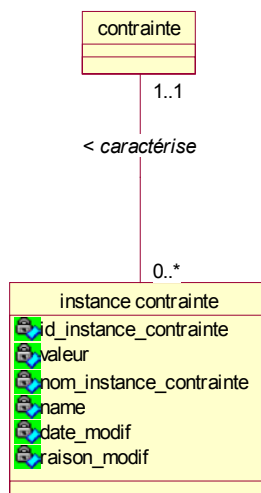


Figure 77 : Les instances contraintes

3.2.2. Les choix de solutions techniques en cours de conception

Les instances d'article permettent à tout moment, pour un projet donné, de reconstituer la composition de l'article (du système). Les signaux pour les instances d'article aident à identifier quels sont les choix qui ont été fait en terme d'article (par exemple pour un système de direction, le fait, que D.V.I. / Direction à Vérin Intégré = 0 et D.V.S. / Direction à Vérin Sorti =1, pourra être connu). Des choix amont, le concepteur pourra en tirer des conclusions. La figure suivante (figure 78) représente les concepts précédents :



Figure 78 : Les instances d'article

3.2.3. Les instances de fonctions propres à un projet

Un même paramètre pourra intervenir dans la réalisation de fonctions, et suivant plusieurs situations de vie différentes. Il faudra donc privilégier certaines d'entre elles et donc mettre une pondération sur les fonctions pour que le concepteur en soit informé. Par exemple pour un véhicule de ville, la conduite nerveuse (moins confortable) est privilégiée alors que pour un véhicule de route, c'est le confort sur route et à grande vitesse qui sera privilégié. Donc une pondération plus forte, sera alors définie à la fonction confort sur un projet de conception d'un véhicule de ville. La figure suivante (figure 79) représente ce concept. L'état de l'instance de fonction permet de décrire la pondération des fonctions différente sur chaque projet.

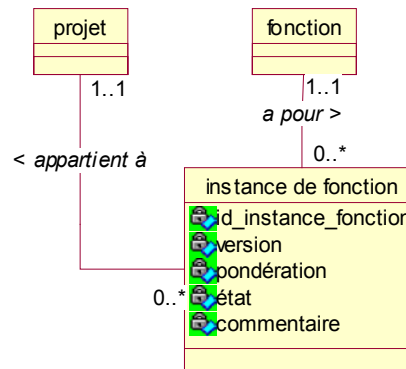


Figure 79 : Les instances de fonctions et leur pondération

3.2.4. Les connaissances verticales relatives aux projets

Les connaissances verticales peuvent être mises à jour sur chaque projet de conception (voir §3.1.2). En effet, les concepteurs pourront mettre des commentaires pour un projet donné. Ils devront alors identifier le projet sur lequel ils travaillent. Ces connaissances pourront alors être consultées sur d'autres projets puisqu'elles sont rattachées au modèle du domaine et qu'elles peuvent être consultables et modifiables sur les projets. Ces connaissances sont alors dites transversales.

4. Vers un référentiel métier du “processus de conception” partagé

De la même manière que dans le chapitre 3 pour le meta modèle produit, le meta modèle processus de conception « partie domaine » et le meta modèle processus de conception « partie projet » sont décrits dans ce paragraphe.

4.1. Le meta modèle processus de conception « partie domaine »

Le processus de conception fonctionnelle consiste à spécifier le produit pour que celui-ci atteigne les performances (exigences) requises par les clients. Cette partie du meta modèle permet de capturer les tâches de conception, leur enchaînement ainsi que les flux d’information (informations sur le produit) associés. La coordination des différents acteurs de la conception est ainsi décrite. Cette partie du meta modèle permet également de capturer les autres connaissances qui peuvent être nécessaires à la réalisation des tâches. Ces connaissances, dites aussi « verticales », sont capturées grâce à la meta classe « connaissances » associée à la meta classe « tâche ».

4.1.1. Le squelette du meta modèle processus de conception « partie domaine »

Pour formaliser, l’activité de conception multi acteurs, il est nécessaire de disposer d’un meta modèle. Ce meta modèle (voir figure 80) doit permettre de capturer les tâches de conception et leur coordination ainsi que les acteurs associés. Ce processus de conception peut être composé de tâches élémentaires de conception. L’enchaînement des tâches peut être décrit par des relations de précédence. Les tâches sont associées à des conditions d’exécution et à des conditions d’ordonnement qui permettent de conditionner leur enchaînement.

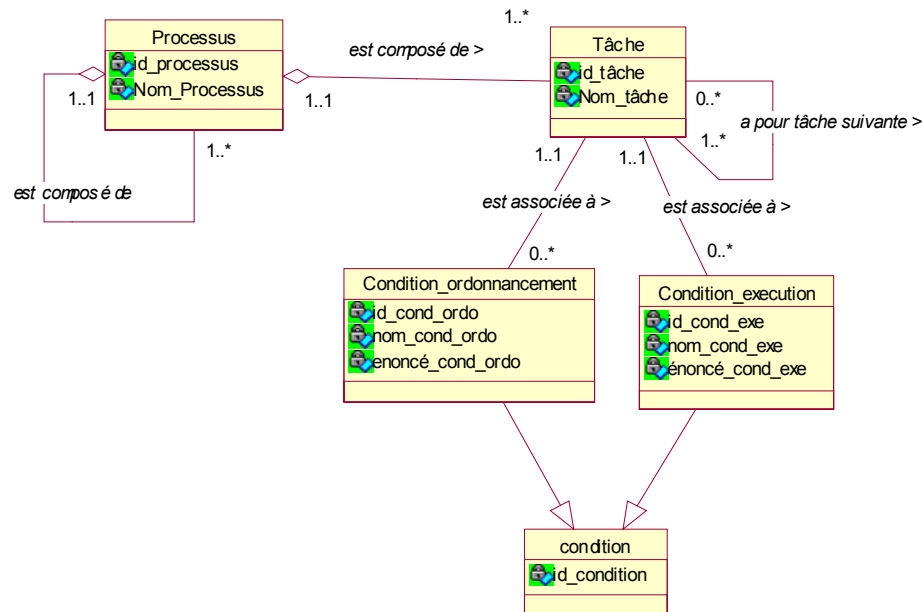


Figure 80 : Le processus de conception et l’enchaînement de tâches

L’exemple suivant (figure 81) montre un exemple d’enchaînement de tâches.

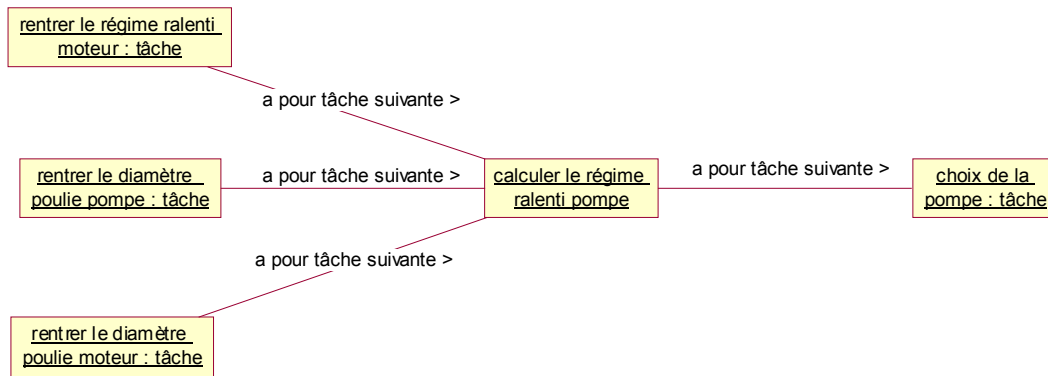


Figure 81 : L'enchaînement des tâches (exemple)

Le fait d'associer un rôle à chaque tâche de conception, permet de pouvoir tracer la coordination des acteurs et les différents échanges d'informations nécessaires entre concepteurs et autres acteurs du développement de produit (figure 82). Des acteurs seront affectés à ces rôles (un acteur pour un rôle sur un projet) sur chaque projet.

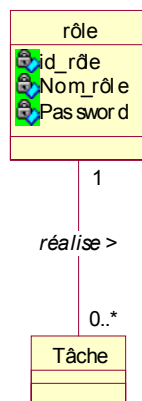


Figure 82 : Les rôles et les tâches de conception

4.1.1.1. Type de tâches

Les tâches de conception sont des tâches où l'acteur a besoin d'informations d'entrée et qui consistent, pour l'acteur, à déterminer des paramètres du produit (sortie de la tâche). Ces tâches peuvent se spécialiser. En effet, dans MULTI, pour un périmètre donné (par exemple la conception des systèmes de direction), un concepteur peut réaliser d'autres catégories de tâches.

En effet, il peut effectuer :

- Des tâches, où il doit définir un paramètre sans avoir besoin d'information. Ces tâches sont appelées dans l'étude les tâches de définition de paramètre. Dans l'absolu, un acteur a toujours besoin d'informations pour en définir d'autres, cependant, il faut définir un périmètre. Seules les tâches de conception du périmètre vont être modélisées. D'autres tâches de conception des processus de conception qui sont hors du périmètre donnent des informations aux tâches du processus de conception de notre périmètre. C'est là que les tâches de définition sont utiles. Par exemple les concepteurs des systèmes des directions ont besoin de la valeur du régime de ralenti moteur. Ce régime de ralenti moteur est déterminé par les motoristes. Dans le périmètre « système de direction » il y aura donc une tâche de définition du « régime ralenti moteur » qui sera réalisée par le motoriste. Les tâches de définition permettent de rentrer dans la base de données MULTI, les informations des organes extérieurs (paramètres extérieurs ou contraintes imposées) au domaine traité.
- Des tâches où il doit valider :
 - la valeur d'un paramètre
 - un choix d'une configuration

- Des tâches où il doit faire le choix d'une configuration, soit pour lancer son étude, soit pour la choisir en fonction de différents critères (la tâche de choix a un attribut qui permet d'identifier si le choix est inclusif ou exclusif).

Le modèle suivant (figure 83) spécialise la classe tâche. Il est important de la spécialiser car ces tâches ont des caractéristiques intrinsèques différentes. Les pourront être soit exclusif ou inclusif, le concepteur devra le préciser lors de l'élaboration du référentiel métier.

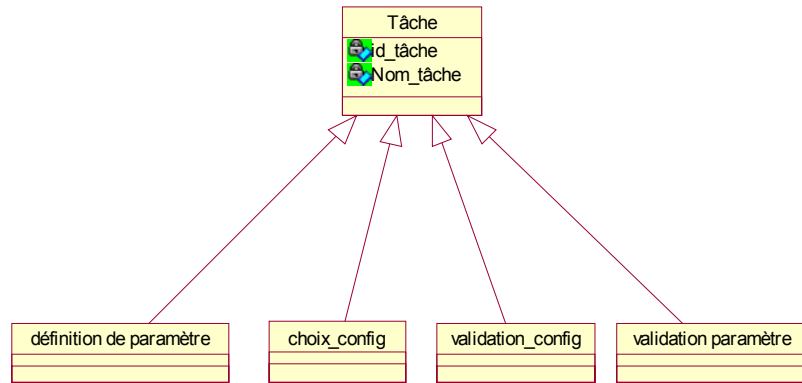


Figure 83 : Les différents types de tâches

Un processus a également une tâche de début et une tâche de fin qu'il est important d'identifier. En effet, ces tâches permettent de lancer le déroulement du processus de conception et de savoir quand il est terminé. Le diagramme suivant (figure 84) les représente.

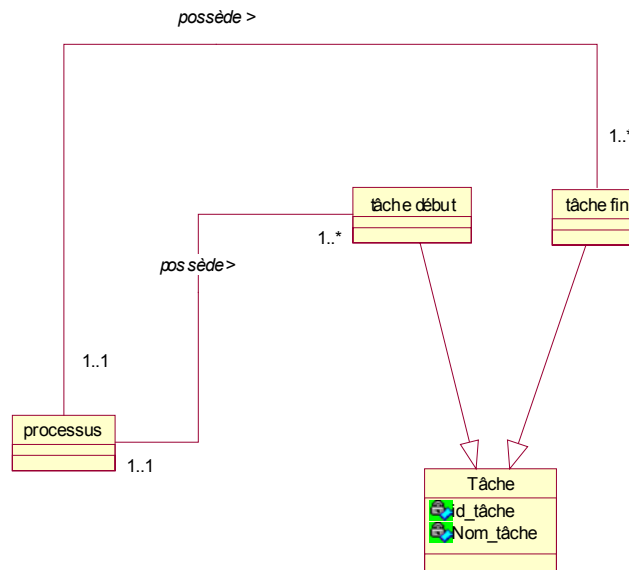


Figure 84 : Les tâches de début et de fin du processus

4.1.1.2. Les tests, conditions d'exécution et d'ordonnement

L'exécution des tâches dépend de deux tests qui sont : les conditions d'exécution et les conditions d'ordonnement. Une condition d'exécution est un test :

- ⇒ D'instance d'attribut de paramètres : par exemple, si section connue
- ⇒ De paramètres : par exemple si section > 5
- ⇒ Article : par exemple si direction à vérin intégré

Si ce test s'avère positif, alors la tâche peut être réalisée. Dans le cas contraire, elle ne doit pas être réalisée.

Les différentes conditions d'exécution sont représentées sur le diagramme suivant (figure 85):

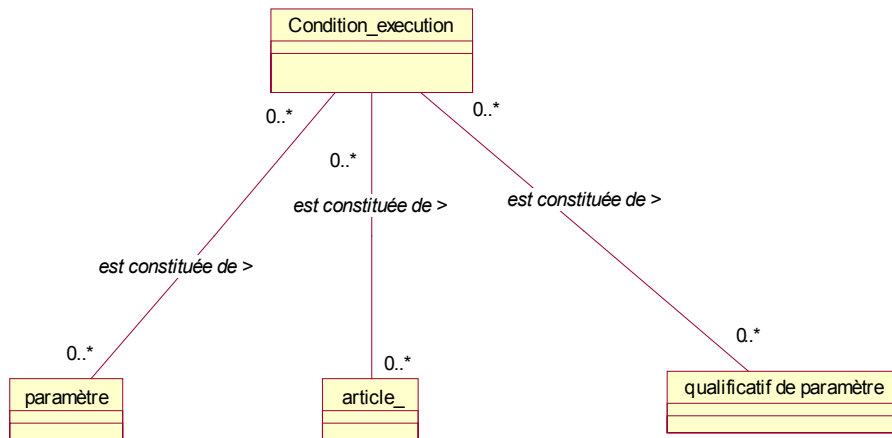


Figure 85 : Les conditions d'exécution

Une condition d'ordonnancement porte sur les états des tâches. Une tâche s'effectuera par exemple si et seulement :

- ⇒ Si tâche 108 (choix de la pompe) réalisé
- ⇒ Si (tâche 108 et tâche 109 réalisés) ou si tâche 110 réalisé

Les conditions d'exécution et d'ordonnancement sont définies comme une opération logique. Toutes les combinaisons peuvent alors être décrites.

La figure 86 illustre l'application des conditions d'exécution et des conditions d'ordonnancement. Dans cet exemple, un choix est fait en amont sur la solution à étudier. En fonction de la solution retenue, le processus de conception doit se dérouler différemment. Les conditions d'exécution et d'ordonnancement doivent alors être créées, pour que quelquesoit la solution retenue, la conception puisse se poursuivre. Ainsi pour le calcul de la pression, dans le cas de la solution 1, c'est les sections S1 et S2 qui sont attendues et dans le cas de la solution 2, c'est la section S2 uniquement. Dans le premier cas, la tâche « calcul pression » n'attend pas les deux sections comme il est décrit sur le diagramme mais une seule de ces deux sections, c'est la condition d'exécution qui permet de décrire les conditions de déroulement dans ce cas. De même pour que la tâche « calcul pression passe à l'état « à faire », il faut que les tâches précédentes soient réalisées. Or, dans l'exemple seul une des deux tâches, « calcul de S1 » ou « calcul de S2 » peut être réalisé et une seule des deux tâches T3 et T4 sera réalisée (en fonction du fait que la section S est déjà connue ou pas). Les conditions d'ordonnancement permettent au processus de conception de se dérouler en prenant en compte ce cas. Les tâches qui correspondent à la solution qui n'est pas retenue ne seront jamais réalisées et leur état ne passera jamais à l'état « à faire ».

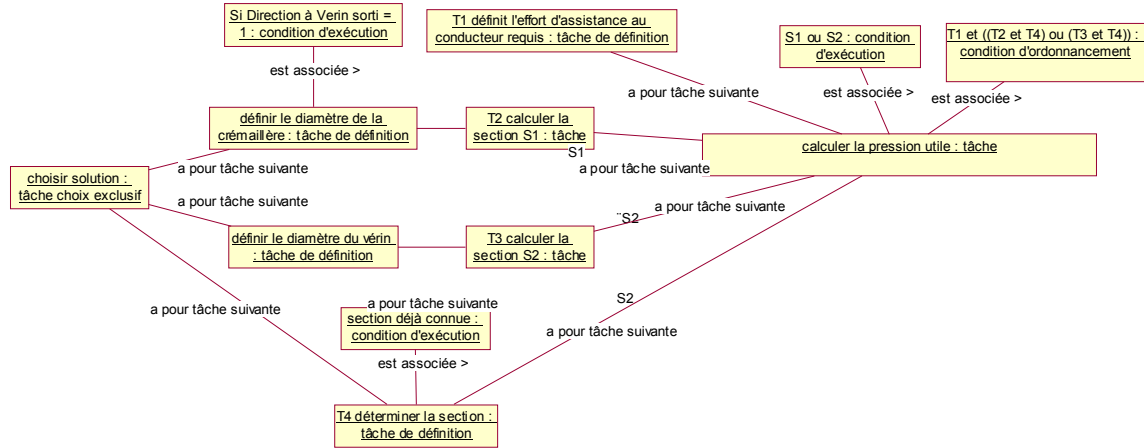


Figure 86 : Exemple de conditions d'exécution et d'ordonnement

4.1.1.3. Les « routes » du processus

Les différentes « routes » possibles dans un processus sont celles indiquées dans le tableau suivant (figure 87). Avec les tests sur les conditions d'exécution ou les conditions d'ordonnement précédentes (Levan 00), les routes suivantes sont obtenues. Dans l'étude, dès que la tâche est validée, son état passe à l'état 1. Or une tâche validée signifie que ces résultats de sortie sont validés également.

Formalisme	Signification
	La première activité produit un résultat nécessaire au déclenchement de la deuxième.
	Une seule activité peut produire un ou plusieurs résultats distincts utilisés par deux ou plusieurs activités différentes.
	Une seule activité produit un seul résultat partagé par deux ou plusieurs activités.
	Une seule activité produit un résultat dont la nature détermine le déclenchement d'une ou de plusieurs activités données.
	Pour démarrer une activité 3, il est nécessaire de disposer du résultat de l'activité 1 ou du résultat de l'activité 2.
	L'activité 3 est déclenchée dès que les résultats des activités 1 et 2 sont obtenus.

Figure 87 : Les différentes routes possibles dans le processus (Levan 00)

Le processus de conception décrit également les **rebouclages**. En effet, des retours en arrière dans le processus sont possibles. Par exemple : Soit une tâche « calculer section de vérin » qui donne une valeur

de section. Si la section est définie non faisable en aval dans le processus, il faudra revenir en arrière sur la tâche calcul section de vérin, etc. Une même tâche ne peut pas re-boucler sur elle-même

4.1.1.4. Prise en compte de la diversité / variante

Dans le processus, les conditions d'exécution permettent de prendre en compte la diversité. En effet, le processus étant générique, lors de son instanciation et en fonction des conditions d'exécution sur les instances d'articles, le processus prendra les routes associées aux variantes d'articles qui ont été choisies.

4.1.1.5. Contraintes

Une tâche a des contraintes de réalisation. Les contraintes sur le produit se répercutent directement sur la tâche. En effet, une tâche qui a un paramètre de sortie avec une contrainte sur celui-ci verra cette contrainte se reporter dans les contraintes qui lui sont associées. Les tâches peuvent également avoir des contraintes intrinsèques à elle-même telle que « cette tâche doit être réalisée avant une date précise ». Le diagramme suivant (figure 88) permet de capturer ces deux types de contrainte.

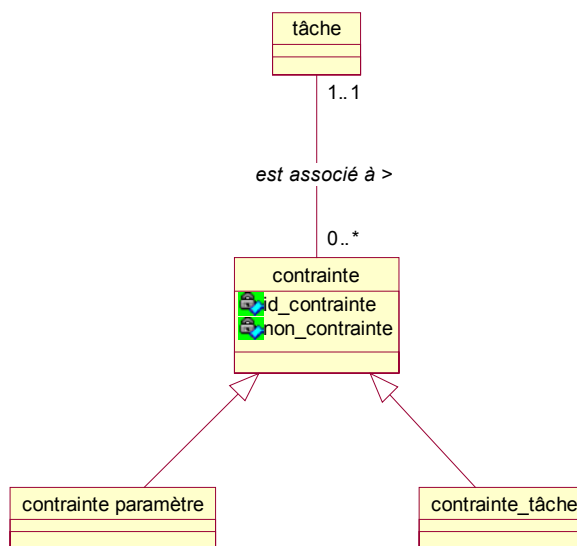


Figure 88 : Les types de contrainte sur la tâche

4.1.1.6. Règles

Une tâche a des règles associées. Les règles sur le produit se répercutent directement sur la tâche. En effet, une tâche qui a un paramètre de sortie avec une règle (de la forme $A = B + C$) sur celui-ci verra cette règle se reporter dans les règles qui lui sont associées. Le diagramme suivant (figure 89) permet de capturer cette règle.

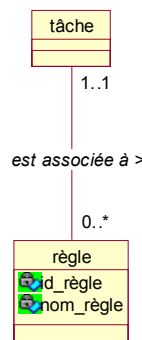


Figure 89 : Les règles sur une tâche

4.1.2. Les autres classes du meta modèle

Une tâche est réalisée à l'aide de ressource (figure 90). La classe ressource associée à la tâche permet de recenser toutes les ressources utiles à la réalisation de la tâche. Pour les tâches de calcul, ce peut être un fichier EXCEL par exemple.



Figure 90 : Les ressources d'une tâche

4.1.3. Les connaissances « verticales » sur le processus de conception

Ces connaissances dites « verticales » permettent d'apporter un complément d'information aux processus de conception modélisés. Ces connaissances sont relatives aux classes suivantes :

- Processus => connaissance_processus
- Tâche => connaissance_tâche
- Rôle => connaissance_rôle
- Compétence => connaissance_compétence

Les connaissances sur la tâche sont des connaissances métiers utiles pour réaliser la tâche. **Ces connaissances métier sont décrites dans le meta modèle.** Il peut s'agir en fait d'une partie du **processus de conception mais qui est mono acteur** et donc ne nécessite pas d'être modélisé et implémenté pour que l'outil informatique le déroule. Il peut s'agir d'une procédure ou de règles (fiche descriptive) que le concepteur doit suivre pour, par exemple, choisir une pompe dans un catalogue fournisseur. Ces connaissances sont utiles à capitaliser dans le cas de turn over ou de départ à la retraite d'expert du domaine de la tâche associée.

4.2. Le meta modèle processus de conception « partie projet »

Le déroulement du processus de conception, sur un projet donné, après son amorçage est piloté par les données de la conception. La présence de données ou d'informations déclenche l'activation de tâches à faire. Ainsi les acteurs sont avertis lorsqu'ils doivent intervenir dans le processus de conception. De cette manière, l'instanciation du produit est progressive et fonction du déroulement du processus de conception. De même le déroulement du processus de conception sur chaque projet, les re-bouclages, le nombre de fois qu'une tâche est réalisée, ses délais de réalisation, sa date de début de faisabilité, etc, sont historisés. La figure suivante (figure 91 où les cases sont des tâches et les croix signifie que la tâche n'a pas été réalisée) permet d'illustrer les différentes instanciations du processus de conception sur chaque projet.

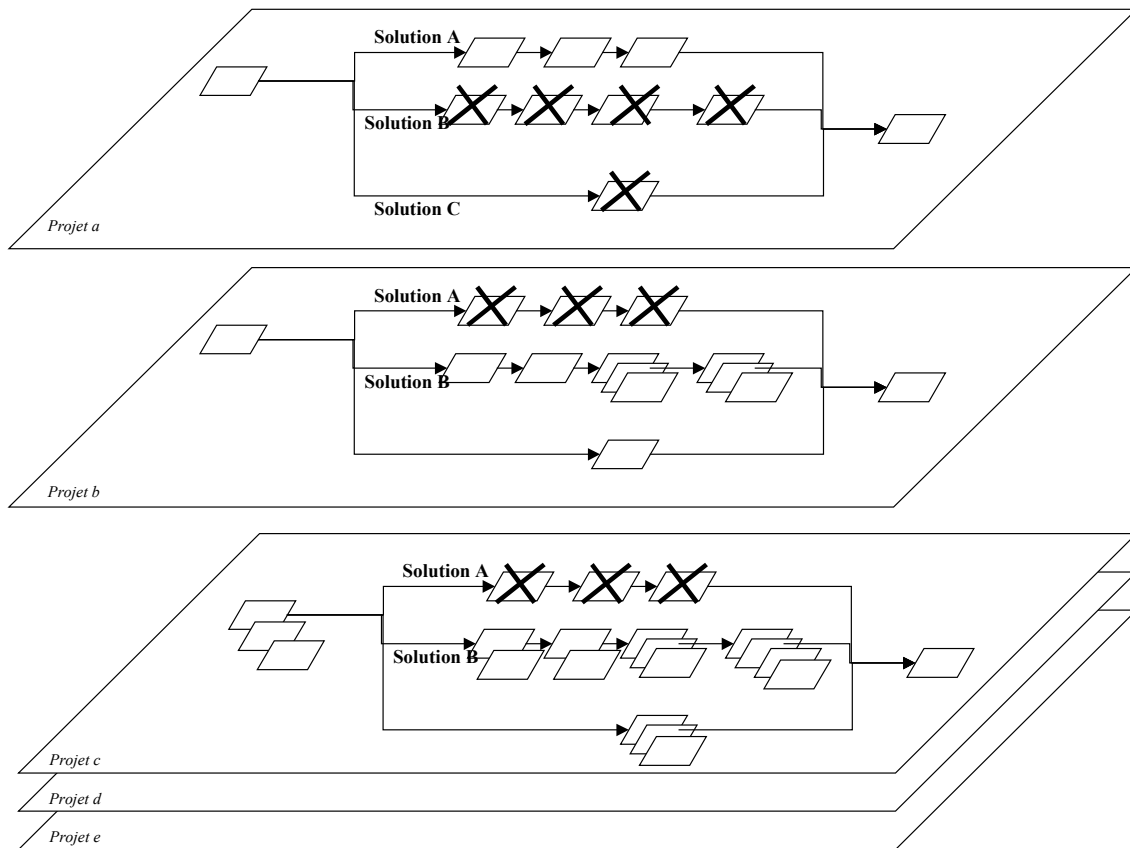


Figure 91 : Le déroulement du processus de conception sur chaque projet

4.2.1. Capture des instances de tâches

Les instances de tâches permettent de capturer le nombre de fois qu'une tâche a été exécutée sur un projet donné, la version, la date de début, la date de fin (voir figure 92). L'état permet de savoir si la tâche est :

- Non réalisée : cela veut dire que la tâche n'a pas été réalisée
- Prête (en attente de paramètre) : cela veut dire que toutes les tâches précédentes sont réalisées
- A faire : cela veut dire que toutes les tâches précédentes ont été réalisées et que les paramètres d'entrée de la tâche ont été déterminés
- En cours : cela veut dire que la tâche est en cours de réalisation
- Faite : cela veut dire que la tâche a été faite et qu'elle a été validée

Les instances de tâches servent à créer la mémoire projet et à identifier de fait qu'une tâche a été réalisée une ou plusieurs fois au cours d'un projet donné. Ceci afin de mettre en évidence les re-bouclages.

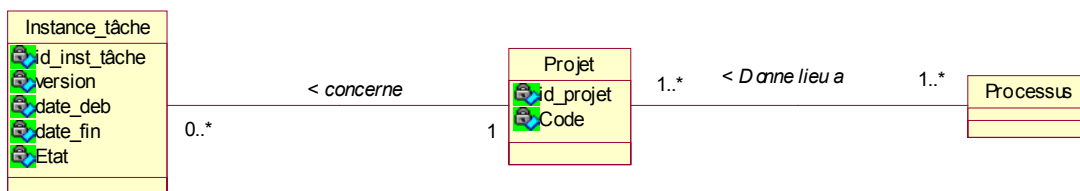


Figure 92 : Les instances de tâches

La figure (figure 93) suivante montre quelques exemples d'instances des classes ci-dessus (figure 92). Une tâche peut s'instancier différemment sur plusieurs projets mais également sur un même projet : une tâche peut s'instancier différemment sur un même projet suite à des modifications de valeurs de paramètres, à des fins d'affinement de la solution, déjà prises en compte et impactant cette tâche.

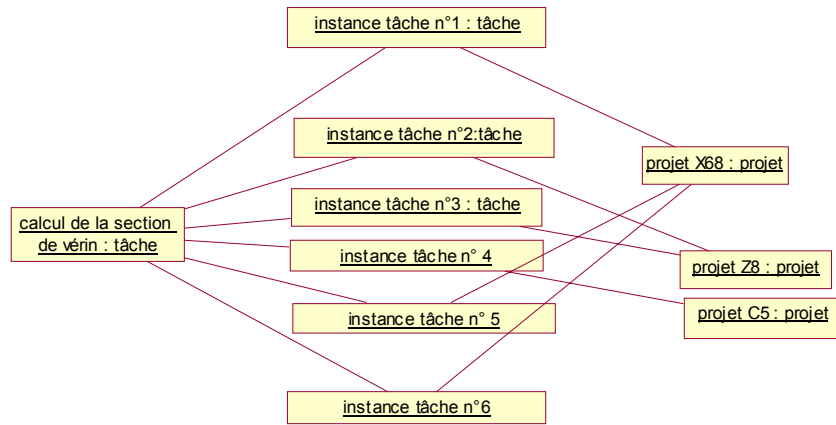


Figure 93 : Les instances de tâches

4.2.1.1. Exigences et processus, activités ou tâches

Les processus, activités et tâches de conception peuvent être associés à des exigences. Ces exigences peuvent être de deux types : les exigences découlant des exigences sur le produit qui doit être conçu ou des exigences que l'on appellera de gestion qui concerne davantage un projet particulier (figure 94).

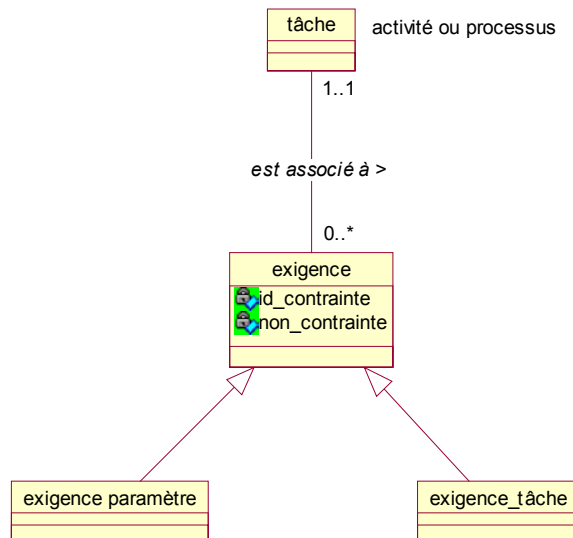


Figure 94 : Les types d'exigences sur la tâche

4.2.1.2. Les acteurs projet instance des rôles

Sur un projet donné, des acteurs seront affectés aux rôles déterminés dans le modèle du domaine (figure 95). Un acteur est caractérisé par son nom, ses références dans l'entreprise, son mot de passe (code d'accès à MULTI) et son Curriculum Vitæ.

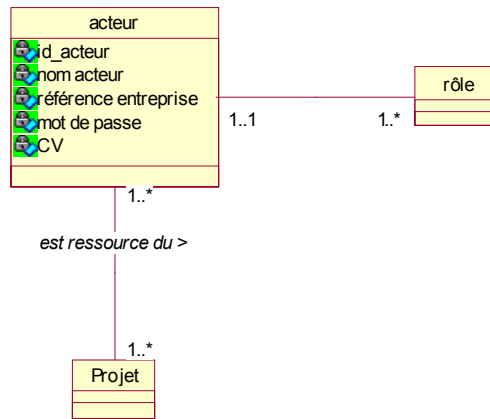


Figure 95 : Les acteurs sur un projet

Les rôles, associés à des tâches, sont attribués à des acteurs pour chaque projet (figure 96). Ainsi le schéma suivant peut représenter la coordination entre les différents acteurs lors du déroulement d'un processus de conception sur un projet donné. Les acteurs, pour réaliser leurs tâches ont besoin des informations d'entrée des tâches. La réalisation de leur tâche consiste en la définition de l'information de sortie des tâches. Un acteur peut avoir la même tâche à faire sur des projets différents. De même une tâche pourra être réalisée par des acteurs différents d'un projet à un autre en fonction des charges disponibles de chaque acteur. L'étude ne prend pas en compte la disponibilité des ressources (acteurs), ni les planning des projets. Ce pourra être une des perspectives à l'étude.

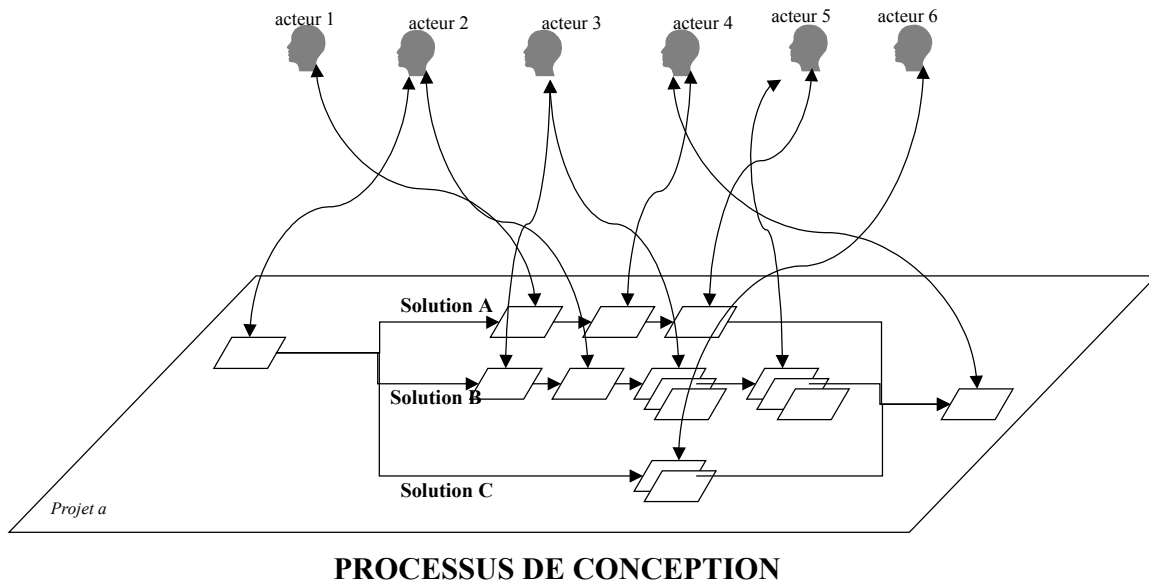


Figure 96 : La coordination en conception et le workflow

4.2.2. Capture des retours d'expérience sur les projets

Sur un projet donné et pour une tâche donnée, un acteur pourra faire remonter des remarques à des fins de modification du référentiel métier (voir figure 97). Ces remarques constituent les retours d'expériences concernant une tâche sur un projet.

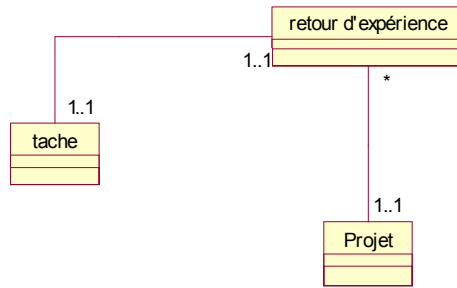


Figure 97 : Les retours d'expériences

Les retours d'expériences, ainsi capturés, pourront faire l'objet d'analyses. En effet, il est possible de prévoir une réunion des différents experts du domaine pour analyser ces retours d'expériences puis mettre à jour, en fonction de ceux-ci, le référentiel métier. Dans tous les cas les retours d'expériences seront consultables et reportés dans les connaissances verticales des tâches qui sont transversales à tous les projets. Ces retours d'expériences doivent être décrit en précisant bien le projet auxquels ils se rattachent ainsi que le contexte associé du projet (Faure 99). La création de « modèles » de fiches de retour d'expérience, pour guider les acteurs dans la rédaction afin de ne pas oublier d'informations, pourra être proposée dans les perspectives à l'étude.

4.2.3. Les connaissances verticales sur le référentiel projet processus

On associe des connaissances aux instances de tâches pour capturer l'ensemble des fois où une même tâche a été réalisée et les différents résultats qu'elle a obtenu en fonction des différents contextes. Ces connaissances pourront être consultées lors de la réalisation de cette tâche dans un autre contexte.

5. Liens entre les deux meta modèles

Les meta modèles produit et processus de conception sont liés. Les tâches du processus de conception utilisent des informations (paramètre et configuration) du produit etinstancient ce dernier au fur et à mesure du déroulement du processus de conception. Sur chaque projet véhicule, l'instanciation différente du processus de conception est couplée avec une instanciation différente du produit (figure 98).

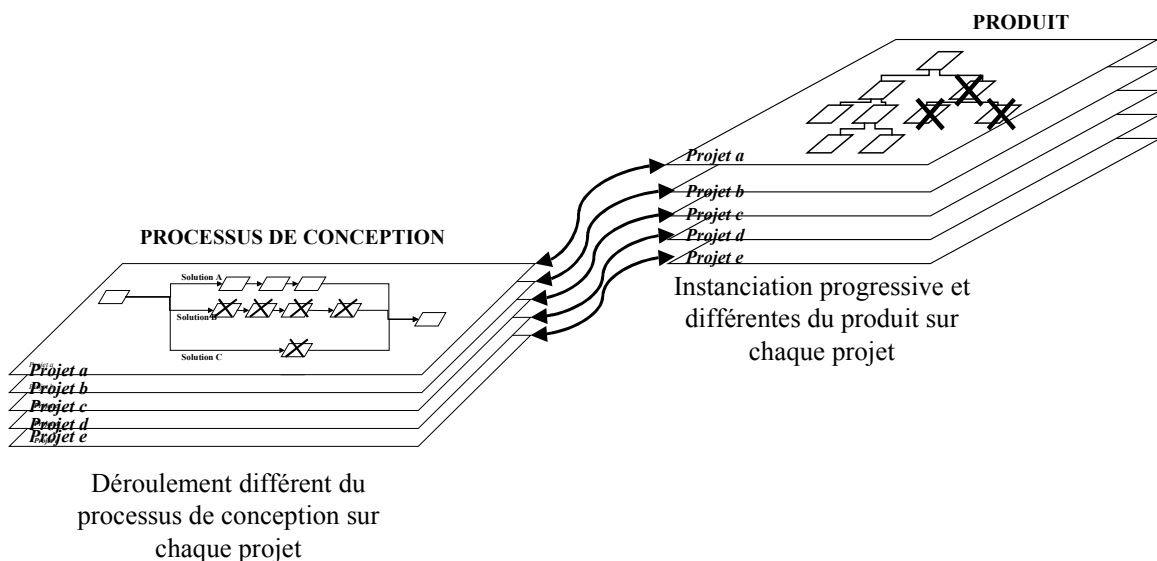


Figure 98 : Déroulement du processus de conception et instanciation progressive du produit

5.1. Liens entre les deux meta modèles « partie domaine »

5.1.1. Flux d'information - paramètres

Une tâche a besoin de paramètres du produit en entrée. Le résultat de cette tâche peut être également un paramètre (figure 100) du produit.

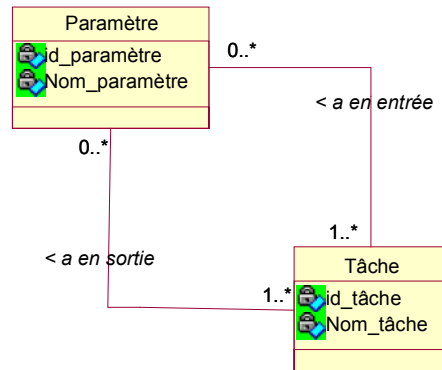


Figure 99 : Les liens entre le modèle produit et le modèle processus de conception

L'exemple suivant (figure 100) instancie les classes précédentes (figure99) pour la tâche « calcul du régime de rotation de la pompe au ralenti moteur ».

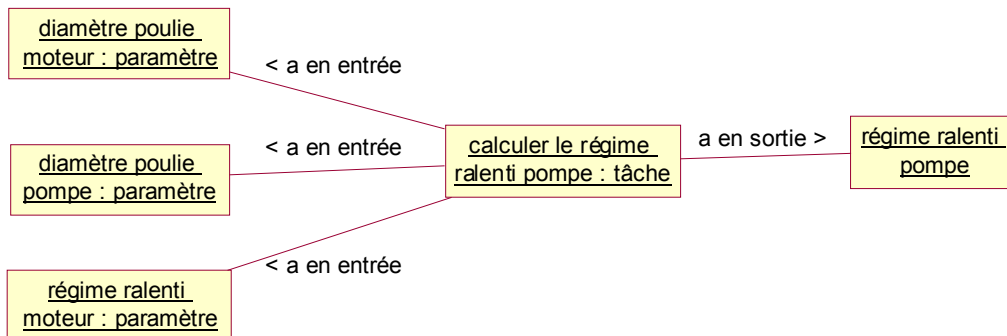


Figure 100 : Les paramètres d'entrée et de sortie des tâches (exemple)

5.1.2. Les solutions techniques

Dans le cas des tâches de choix, c'est une solution technique (figure 101) que l'on est amené à choisir (sortie de la tâche). C'est donc cette solution technique qui fait le lien entre les deux modèles.

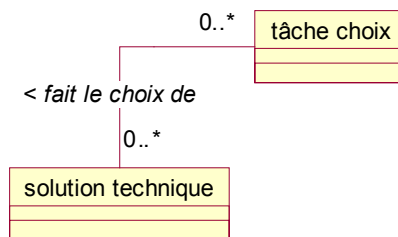


Figure 101 : Lien entre le produit et le processus par les solutions techniques

Le choix d'une solution technique n'est pas représenté en entrée car il est supporté dans les conditions d'exécution de la tâche.

5.1.3. La diversité / variante du produit (dans les conditions d'exécution)

Les tests au niveau des tâches peuvent porter sur le produit. Elles peuvent faire intervenir des instances de paramètres ou des instances d'article. C'est ce mécanisme qui permet de gérer la prise en compte de la diversité produit dans le processus de conception.

5.1.4. Les contraintes

Les contraintes au niveau des tâches peuvent porter sur le produit (figure 102) (voir § 4.1.1.5).

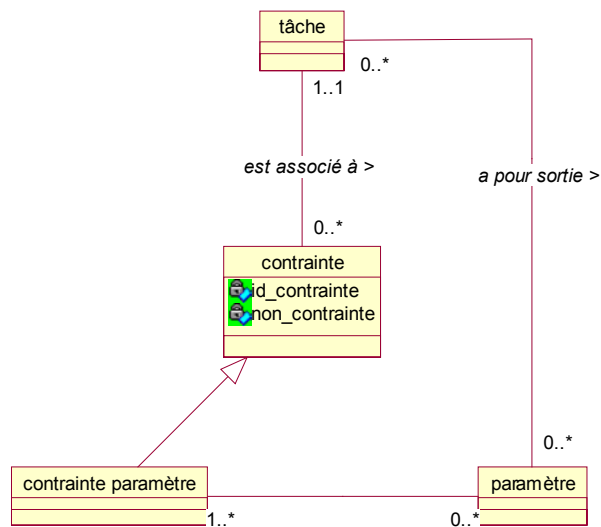


Figure 102 : Lien entre le produit et le processus de conception par les contraintes produit

5.1.5. Les règles

Les règles sur la tâche proviennent des règles s'appliquant aux paramètres de sortie de la tâche (figure 103) (voir § 4.1.1.6).

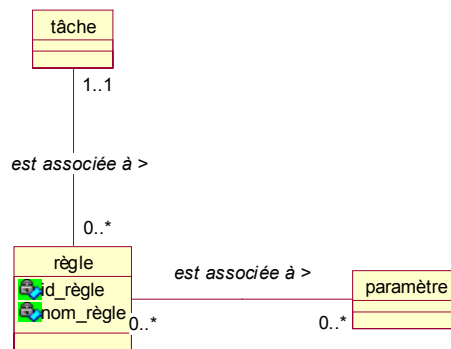


Figure 103 : Lien entre le produit et le processus de conception par les règles produit

5.2. Lien entre les deux meta modèles « partie projet »

5.2.1. Liaison entre les instances de tâche et de paramètre

Les instances de tâches sont associées aux instances de paramètres (figure 104). En effet, si une tâche doit être refaite, obligatoirement, ses sorties (paramètres) vont être modifiés. Donc la création d'une nouvelle instance de tâche crée une nouvelle instance de paramètres de sortie de la tâche. La modification d'une valeur de paramètre sur un projet donné implique que les tâches dont ce paramètre est en entrée soient à redéroulées. Donc la création d'une nouvelle instance de paramètre implique la création d'une nouvelle instance de toutes les tâches dont ce paramètre est en entrée.

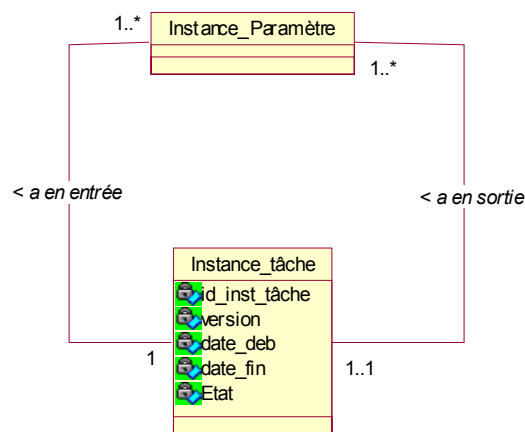


Figure 104 : Le lien entre les instances tâche et les instances paramètre

5.2.2. Gestion de la diversité

Pour une tâche, il pourra lui être affecté en entrée des paramètres provenant de différentes technologies (variante ou configuration). Si une des technologies relative à un des paramètres d'entrée n'est pas retenue, alors la tâche s'instancie et ne prend plus en compte ce paramètre associé en entrée (le signal du paramètre de la technologie écartées passe à l'état inhibé). Ce qui veut dire que la tâche ne prendra plus en compte ce paramètre.

6. Extension des concepts à la conception détaillée (quelques pistes) et perspectives

Dans le cadre des perspectives, il est intéressant d'étendre les concepts précédents (donc le référentiel métier) à la conception détaillée et aux autres phases du développement de produit. Les aspects gestion des projets (ressources et planning) peuvent également être développés.

6.1. Quelques pistes pour la conception détaillée

La conception détaillée suit ce qu'on a appelé la phase de conception fonctionnelle (phases amont à la CAO ou conception préliminaire). La figure suivante (figure 105) positionne cette étape de la conception dans le cycle de développement produit en V : il s'agit de la conception des composants.

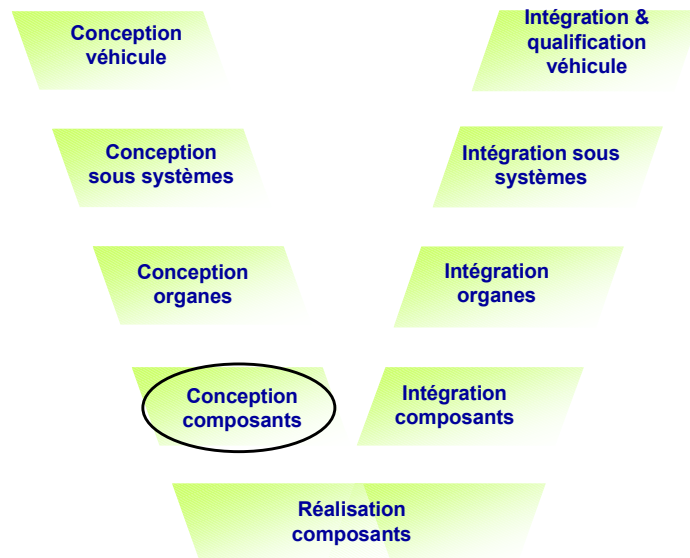


Figure 105 : La conception détaillée et le développement de produit (PSA 99)

6.1.1. Ajout aux modèles produits précédents

Pour prendre en compte la conception détaillée, il suffit juste de prendre en compte l'aspect géométrique du produit. Le but final étant que le produit soit entièrement défini afin que sa fabrication puisse être lancée. Le niveau de description géométrique du produit doit donc être rajouté dans le meta modèle produit. Le meta modèle doit donc inclure les entités géométriques élémentaires qui peuvent caractériser le produit. Le produit est alors décrit avec une combinaison de ces entités élémentaires géométrique. Cette combinaison d'entité géométrique élémentaire doit également être capturée.

6.1.1.1. Formalisation de la structure géométrique

Le modèle géométrique que proposent Vargas (Vargas, 95) et Saucier (Saucier, 97), peut être réutilisé dans l'étude. Celui-ci, en complément des modèles physiques et fonctionnels, décompose un produit en entités géométriques élémentaires simples comme le cylindre, le plan, la sphère, etc, Cette décomposition facilite son exploitation par les logiciels de CAO. Ainsi il sera possible, de voir le modèle géométrique du produit en cours et en fin de conception détaillée. Ce modèle géométrique pourra alors être partagé, au même titre que la base de données produit MULTI, à l'ensemble des acteurs intéressés (maquette numérique). Les entités géométriques élémentaires sont d'après la méthode CAD-X1 (Vargas 95)) le cylindre, la sphère, le plan, le cône, le parallélépipède, etc (voir un exemple figure 106).

$$\text{TêteSoupape} = U \{ \text{Cone1}, \text{Cone2}, \text{Cylindre1} \}$$

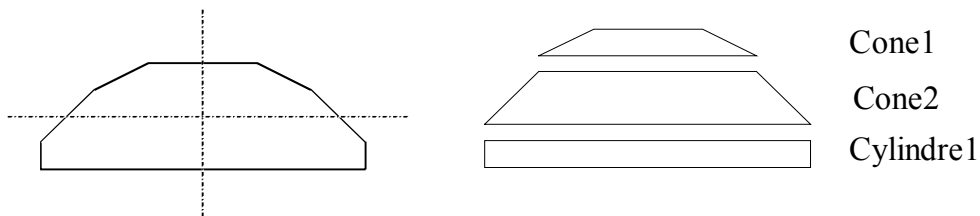


Figure 106 : La composition des entités géométriques

6.1.1.2. Inclusion des informations fonctionnelles à la C.A.O.

Les paramètres géométriques sont rattachés à des fonctions techniques, lesquelles, sont « définies » par leur dimensionnement. Les fonctions techniques sont une spécialisation des fonctions. Ces fonctions techniques peuvent avoir également plusieurs solutions techniques pour leur réalisation. Elles ont également des exigences techniques induites des exigences techniques prises en compte en conception fonctionnelle. Ces exigences induites sont, en fait, le résultat de la conception fonctionnelle. Par exemple, dans le cas des systèmes de direction. Les exigences techniques étaient, pour la conception fonctionnelle, une courbe vitesse volant en fonction d'effort à la crémaillère ainsi que les couples conducteurs tolérés. A partir de ces exigences techniques, le choix d'une technologie a été réalisé et son dimensionnement a été fait pour atteindre l'exigence (performance) requise. Ce dimensionnement a aboutit à une valeur de section de vérin pour le mécanisme. Cette valeur de section de vérin est alors une exigence induite pour la conception détaillée du mécanisme. On voit, avec cet exemple, que la conception fonctionnelle et la conception détaillée sont liées par les exigences induites qui découlent des exigences techniques. **Ces exigences induites sont alors les sorties du processus de conception fonctionnelle et les entrées du processus de conception détaillée.**

6.1.1.3. Règles et contraintes rattachées aux entités élémentaires géométriques

Les règles peuvent être décrites de la même manière qu'en conception fonctionnelle. Le langage RDL de la méthode CAD-X1 pourra, également, être pris comme référence (Vargas 95). Ce langage, proche du langage courant, permet, entre autre, d'exprimer des opérations géométriques.

6.1.2. Ajout aux modèles processus de conception précédents

Dans le modèle processus de conception, la conception détaillée peut se caractériser de la même manière que la conception fonctionnelle. Le « meta modèle processus de conception » peut alors être utilisé dans les deux cas.

6.1.3. La propagation des contraintes

Les intervalles de choix possibles des valeurs des paramètres se réduisent au fur et à mesure de l'avancement de la conception. Il s'agit des règles implémentées et de la propagation de contraintes. La propagation de contraintes n'a pas été étudiée dans cette étude.

6.1.4. Exploitation par la C.A.O.

Le fait de formaliser la géométrie du produit et le processus de conception détaillée permet d'automatiser la modélisation géométrique avec un modéleur CAO tel que CATIA de la société Dassault Système. Le déroulement d'un processus de conception détaillée instanciera alors le modèle géométrique générique (nomenclature) afin d'obtenir un modèle géométrique instancié.

6.2. La fabrication, l'intégration et la validation des systèmes

6.2.1. Le cycle de vie, les tâches et les flux d'information associés

Une fois les composants conçus, ils sont fabriqués, assemblés, intégrés et validés (figure 107).

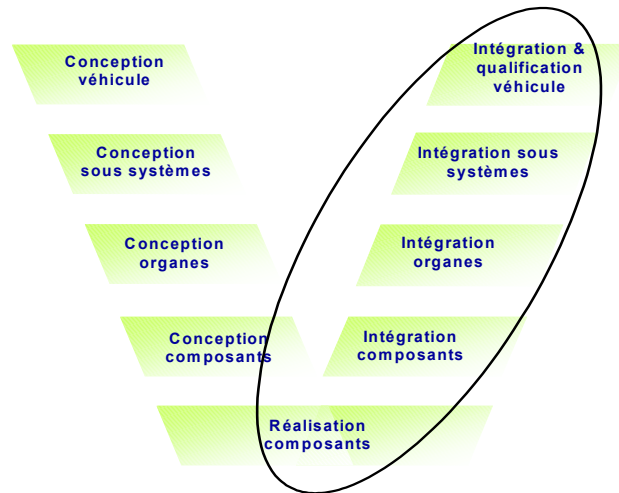


Figure 107 : L'intégration et la validation des systèmes (PSA 99)

Ces étapes se réalisent avec les systèmes associés à notre système étudié. Dans un contexte d'ingénierie concurrente où les phases de conception des différents systèmes étudiés et associés sont réalisées en parallèle (voir l'exemple pour la conception produit process) il est important **de bien formaliser les étapes de conception des différents systèmes (produit et processus de conception)**. La formalisation des flux d'information entre les différents acteurs concepteurs des systèmes permet à ceux-ci de prendre en compte au plus tôt les informations venant des autres. Ces informations peuvent être des contraintes où des informations qui permettent la poursuite et l'avancement simultané de la conception des systèmes. **Cette formalisation de la conception des différents systèmes fait partie des perspectives de l'étude.**

Cependant, du fait que l'approche systémique ait été utilisée, les résultats présentés dans cette étude, qui concernent la conception de produits peuvent être valables pour la conception de tous ces systèmes. Les perspectives de l'étude sont alors de valider ce point là.

La branche montante du cycle en V peut être décomposée en plusieurs activités et tâches. Les perspectives sont de **formaliser les tâches et les flux d'information (développement virtuel – simulation et réelle) associés pour ces étapes du développement de produit.**

Le fait de formaliser tout le développement de produit pourrait permettre une propagation rapide des modifications faites en conception puis une industrialisation et donc une mise sur le marché rapide de nouveaux produits.

6.3. La conception produit process

Le développement du système associé « process » peut se représenter par le cycle en V suivant (figure 108).

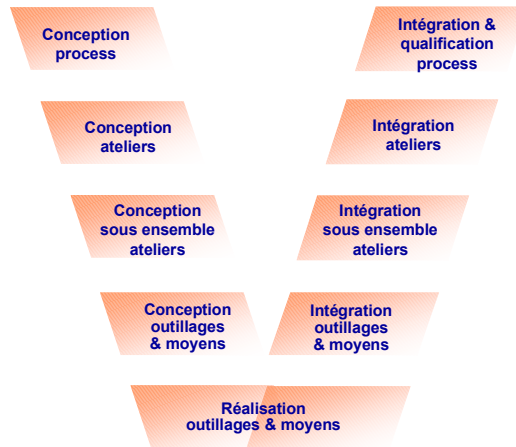


Figure 108 : Le cycle en V de développement du process (PSA 99)

A titre, d'exemple, voici les systèmes englobant du système process (figure 109) suivants :

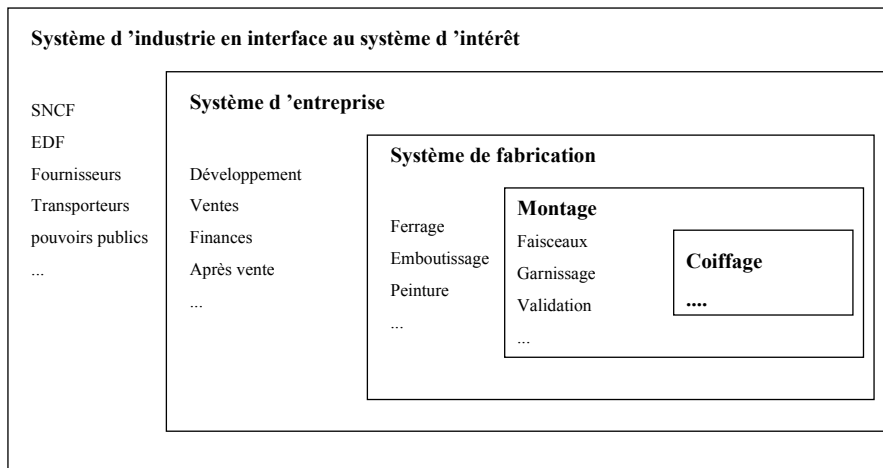


Figure 109 : Les systèmes englobant et sous systèmes du système de fabrication (PSA 99)

Une fois la conception du produit (MULTI) et du process (perspectives) formalisées, les perspectives sont d'imbriquer les deux formalisations et de parler de « **conception imbriquée** » du **produit et du process**.

Chapitre 4

MULTI : une proposition de méthodologie pour la gestion des connaissances du référentiel métier

De nombreux travaux ont déjà été menés dans le domaine de la gestion des connaissances. Ce domaine appelé plus couramment « knowledge management », a émergé dans les années 1990. R. Dieng (Dieng 00) fait un état de l'art assez exhaustif des travaux dans ce domaine.

Ce chapitre apporte au concepteur, une démarche structurée lui permettant d'aboutir au modèle du domaine à partir du meta modèle proposé dans le chapitre 3. L'objectif de ce chapitre est de donner des préconisations aux concepteurs (ou « cogniticien » : personne extérieure au bureau d'étude chargée de faire ce référentiel métier et spécialisée dans les interviews) afin que ceux-ci parviennent en un minimum de temps et avec le maximum de qualité à un référentiel métier fiable, réutilisable et évolutif.

La capture des connaissances se fait en deux grandes étapes :

- D'une part l'instanciation des classes du méta modèle « partie domaine »
- D'autres part l'instanciation des classes du meta modèle « partie projet »

Le référentiel métier doit être géré, c'est à dire : être rempli avec les connaissances recueillies, être utilisé, évoluer, être affiné, être enrichi, etc. Pour que celui-ci vive, l'étude propose une méthodologie permettant d'assurer la gestion de ce référentiel métier.

Les étapes primordiales dans la vie de ce référentiel peuvent, d'après Grunstein (Grunstein 99), être les suivantes (figure 110):

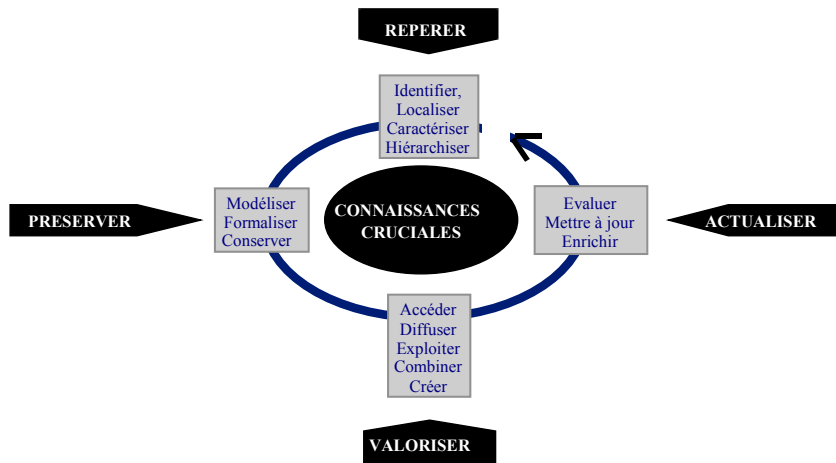


Figure 110 : Le cycle de vie des connaissances

Ce cycle propose quatre étapes distinctes qui sont appelées :

- Le repérage des connaissances cruciales à capturer
- La préservation de ces connaissances
- La valorisation de ces connaissances à des fins d'utilisation
- L'actualisation de ces connaissances

Dans le domaine de la conception le schéma précédent, peut être adapté et enrichi. Le schéma suivant (figure 112) peut alors être pris comme référence car mieux adapté (schéma issu des travaux du réseau « gestion des connaissances » de PSA Peugeot Citroën). Ce schéma illustre les flux de connaissances autour du patrimoine et les actions associées à ceux-ci. Ce schéma ressemble un peu à une fontaine. Thevenot (Thévenot 98) parle de fontaine des connaissances.

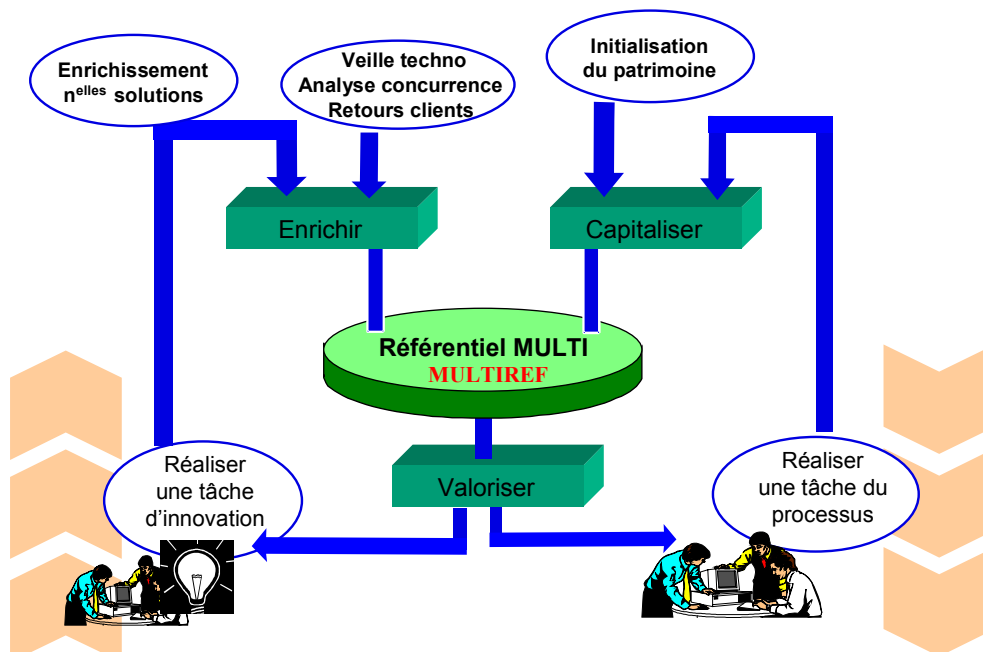


Figure 111 : Les flux de connaissances autour du patrimoine

Le schéma précédent présente trois grandes activités de gestion du référentiel métier qui sont :

- Son enrichissement : Suite à la conception de nouvelles solutions ou à la découverte de nouvelles technologies grâce à la veille, il s'agit de les intégrer dans le référentiel métier en retirant, si besoin, les technologies devenues obsolètes.
- La capitalisation : Il s'agit de capitaliser des connaissances existantes dans l'entreprise et non formalisées avec le référentiel MULTI.
- Sa valorisation : Il s'agit de faire en sorte que ce référentiel soit utilisé par les concepteurs, c'est à dire, qu'il soit sous une forme adéquate privilégiant son utilisation. Cette étape est supportée par les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication).

Dans ce chapitre, une check-list d'opérations sera proposée afin de capturer les connaissances de manière à construire le référentiel métier. Des préconisations de réutilisation des connaissances du référentiel métier sont présentées. Des concepts, sur les mises à jour des connaissances encapsulées dans le référentiel métier, sont définis. Dans ce chapitre, un formalisme a été développé pour décrire les scénarios « partie dynamique » pour la réutilisation des connaissances et leur maintenance. Le formalisme du diagramme d'activité de UML, combiné avec celui du modèle des use cases de UML, sont utilisés. Dans le formalisme utilisé, les interactions de l'utilisateur avec l'outil informatique peuvent être décrites. Le formalisme développé est le suivant (figure 112):

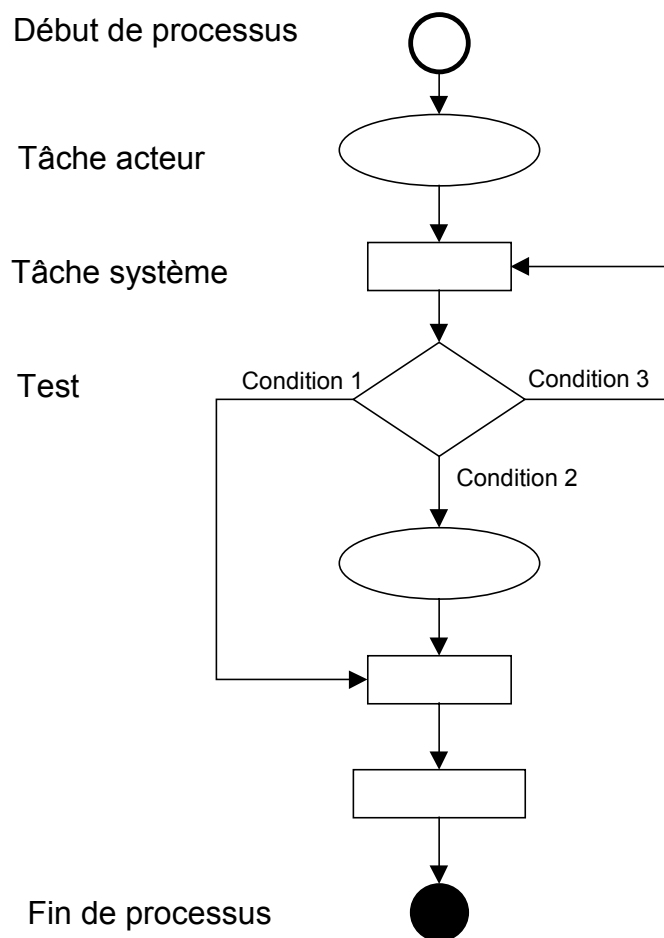


Figure 112 : Le formalisme utilisé pour décrire les scénarios

1. Méthodologie de capture des connaissances du référentiel

1.1. Etapes à suivre pour constituer le référentiel métier / projet

A partir du référentiel métier décrit dans le chapitre trois, un guide de capture des connaissances de ce référentiel métier est proposé. Toutes ces connaissances peuvent être capturées au préalable dans des fiches de connaissances de (Etapes de A à H) avant d'être implémentées dans l'outil informatique MULTI. Les étapes suivantes sont préconisées :

• PHASES DE CONCEPTION FONCTIONNELLE (AMONT À LA CAO)

A. Recueillir les caractéristiques du produit

1. Identifier les classes d'articles (système étudié et système environnant) et leur décomposition (lien « est composé de »), faire l'arborescence générique et structurelle du produit (donner un identifiant à chaque article et un nom)
2. Identifier toutes les solutions techniques (donner un identifiant à chaque solution technique et un nom)
3. Identifier la composition en articles des solutions techniques (lien « est caractérisée par »)
4. Déterminer les incompatibilités d'assemblage des articles (connecteurs « et », « ou », « ou exclusif » et « et exclusif »)
5. Identifier les fonctions du système et leur décomposition, faire l'arborescence générique et fonctionnelle du produit (donner un identifiant et un nom à chaque fonction)
 - identifier les fonctions de service
 - fonction d'usage
 - fonctions d'estime
 - identifier les fonctions techniques
 - identifier les fonctions contraintes
6. Faire le lien entre les fonctions de service et les fonctions techniques (lien « est déclinée par »)
7. Faire le lien entre les fonctions et les solutions techniques (lien « est réalisée par »)
8. Faire le lien entre les fonctions et les articles (lien « est réalisée par »)
9. Lister l'ensemble des paramètres caractérisant les articles (lien « caractérise ») (donner un identifiant aux paramètres et un nom)
 - paramètre intrinsèque
 - effort extérieur
10. Déterminer les attributs des paramètres et les liens avec les autres paramètres (lien « est associée à ») (donner un identifiant, un nom de nature, une unité, un symbole)
11. Déterminer les attributs (par exemple les attributs « connue » ou « inconnue » pour le paramètre section) que peut avoir le paramètre sur un projet donné (donner un identifiant, donner un nom)
12. Identifier le lien entre les paramètres et les fonctions (lien « est défini par »)

13. Identifier toutes les phases du cycle de vie du produit (lien « vit selon le »)
14. Identifier toutes les situations de vie des fonctions de service pour la phase usage du cycle de vie
15. Identifier toutes les situations de vie des fonctions contraintes pour les autres phases usage du cycle de vie (hors usage)
16. Identifier les liens entre les solutions techniques (qui peuvent être choisies) et les situations de vie pour lesquelles elles sont adaptées.
17. Identifier les paramètres impactés par les situations de vie (lien « est impacté par »)
18. Identifier les fonctions de service ainsi que les contraintes associées qui donnent des préconisations sur les paramètres
19. Identifier les fonctions contraintes ainsi que les contraintes associées qui donnent des préconisations sur les paramètres
20. Identifier les contraintes possibles sur les paramètres
21. Identifier les règles associées aux paramètres (lien « dépend de » et lien « s'applique à »)
22. Identifier les règles associées aux solutions techniques (lien « dépend de » et lien « s'applique à »)
Donner les instances des règles, leur nom et leur énoncé

B. Recueillir les caractéristiques du processus de conception fonctionnelle

23. Lister les processus que l'on veut formaliser et leur décomposition
24. Lister les activités pour chaque processus et leur décomposition
25. Lister les tâches pour chaque activité et / ou processus et leur enchaînement (lien « tâche suivante »)
26. Lister et donner les conditions d'ordonnement pour chaque tâche
27. Lister et donner les conditions d'exécution pour chaque tâche
28. Déterminer le type de chaque tâche
29. Déterminer la tâche de début et la tâche de fin de processus
30. Identifier les contraintes sur les tâches
31. Identifier les règles

C. Etablir les liens entre les deux modèles

32. Identifier les tâches, leurs entrées et leurs sorties et identifier l'appartenance aux articles de chaque paramètre, identifier les flux d'information
33. Faire le lien entre les tâches de choix et les solutions techniques
34. Identifier les variantes (diversité) et l'impact de leur choix sur le déroulement du processus de

conception

D. L'approche systémique

35. Identifier les systèmes par rapport aux activités de développement du produit et leur décomposition en sous systèmes
36. Capturer les performances à atteindre (objectifs) par le système (entrée de l'activité « processus » de conception fonctionnelle)
37. Capturer les besoins clients (« entrée » de l'activité de définition des exigences induite et de conception de l'architecture fonctionnelle)
38. Faire les liens entre les objectifs et les besoins clients
39. Donner la composition du système en terme d'articles (lien système article)
40. Déterminer les liens entre les fonctions et les systèmes
41. Identifier les liens entre les tâches et le système (à des fins de maintenance du référentiel métier lors de changement de technologie)
42. Identifier les systèmes associés et environnant et englobant
43. Identifier les interfaces et contraintes, pour chaque fonction d'usage du système étudié, des systèmes environnant sur les paramètres du système étudiés => spécialiser les systèmes associés (soutien, fabrication, développement, retrait...), déterminer l'origine des contraintes
44. Idem 44 pour les systèmes associés pour chaque phase du cycle de vie autres que l'usage

E. Ressources humaines

45. Identifier les rôles et les tâches associées
46. Identifier les rôles et les paramètres produit associés (abonnement)
47. Identifier les compétences des rôles (code compétence, ressources humaines)

F. Les instances du produit et des tâches

48. Déterminer les exigences voulues pour chaque paramètre sur un projet donné
49. Identifier les situations de vie et les exigences
50. Voir pour les objectifs du système à les détailler dans les instances plutôt que dans la partie meta modèle
51. Identifier les projets
52. Lister les instances successives des paramètres sur les projets du passé et en cours au moment de la création du référentiel

- 53. Idem pour les instances d'article
- 54. Identifier les instances des contraintes
- 55. Identifier les instances de fonctions
- 56. Identifier les instances de tâche et leur lien avec les projets et les tâches
- 57. Identifier les acteurs et leur lien avec les rôles
- 58. Liens entre les instances tâche et les instances de paramètre
- 59. Identifier les plate-formes et les projets associés

G. Retour d'expérience

- 60. Capturer les retours d'expériences sur chaque tâche

H. connaissances verticales

- 61. Identifier les connaissances sur chaque classe du meta modèle (voir chapitre 3)

I. Versionnement du modèle du domaine

- 62. Le modèle du domaine sera amené à évoluer. Il est important de capitaliser les différentes versions de ce référentiel et donc de capturer l'historique des modifications.

J. lister les documents associés au cycle de développement de produit (cycle en V) et leur contenu

- 63. Les activités du cycle en V s'échangent des documents (il est question de spécifications techniques des besoins, spécifications techniques générales, spécifications techniques détaillées, spécifications techniques de réalisation, plan de tests, plans de montage et d'intégration, etc.). Ces documents pourront pointer vers des informations de notre référentiel et réciproquement

Cette étape de capture des connaissances est assistée par l'outil informatique MULTI (selon la démarche décrite précédemment). Le scénario de capture des connaissances du domaine et des « connaissances projet » est le suivant (figure 113) :

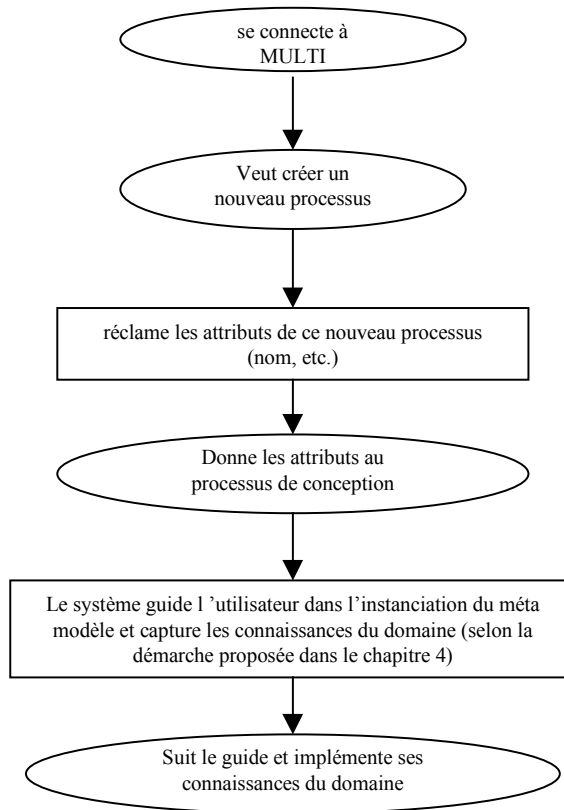


Figure 113 : La capture des connaissances assistée par ordinateur

1.2. Liste des méthodes préconisées pour le recueil des connaissances

Les méthodes de résolution (MFQ 94) de problèmes telles que le brain storming ou la matrice de décision (diagramme PARETO) peuvent être utilisées pour capturer les connaissances par rapport à un problème donné. Par exemple le brain storming ou « brassage d'idées » permet de rassembler plusieurs experts et de déceler les connaissances qui peuvent être utiles à la résolution d'un problème. La méthode consiste, dans le cas de la réduction des temps de reconversion machine (réduction des temps de réglage d'une machine lors des changements de série), à rassembler plusieurs opérateurs, à leur demander ce qui peut réduire ces temps de reconversion machines. Alors, ils vont tous émettre en vrac des idées d'amélioration (ou des problèmes rencontrés). L'animateur du brain storming doit capter toutes les solutions et problèmes discutés. Ensuite, il énumérera la liste de ces derniers aux acteurs. L'animateur demandera l'avis de chaque acteur pour chaque élément de la liste. Il proposera à chaque acteur de donner une valeur (entre 1 et 5 par exemple) aux solutions et problèmes proposés selon plusieurs critères. Par exemple, les critères coûts, délais de mise en oeuvre et efficacité de la solution proposée peuvent être choisis dans le cas des temps de reconversion. L'animateur pondère les critères différemment selon les objectifs de son entreprise et fait la multiplication. Une fois les totaux effectués, un classement apparaît et les solutions peuvent être choisies. Un plan d'actions peut donc être fait. Le brain storming permet alors d'extraire des connaissances pour un objectif particulier, pour faire émerger des critères de choix, etc.

1.3. Niveau de détail dans la description des connaissances sur le processus

Les connaissances horizontales et verticales sont complémentaires. Cependant, l'implémentation informatique, nécessite de définir un niveau de granularité à ces connaissances. En effet, il est possible de décrire tout le processus de conception « horizontalement ». Cependant, il faut avoir en tête que l'objectif, par la suite, est de guider les acteurs dans leurs échanges d'informations. Donc, en aucun cas, deux tâches successives qui sont réalisées par le même acteur seront encapsulées dans des « classes tâches » différentes du meta modèle. Ces tâches seront plutôt modélisées et mises dans les connaissances

« verticales » sur une tâche les englobant. La figure suivante (figure 114), illustre le mécanisme qui permet de considérer ces tâches « mono acteurs » verticales (connaissances pour réaliser la tâche) plutôt qu'horizontales. L'enchaînement des tâches mono acteurs peut alors constituer un guide de conception pour l'acteur et donc être reporté dans les connaissances verticales sur la « macro tâche » associée.

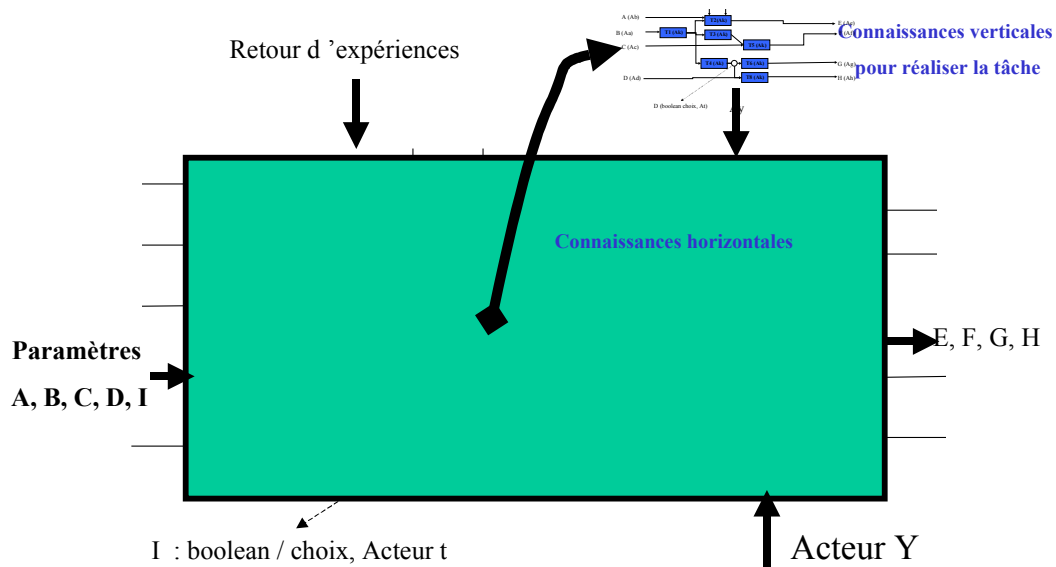


Figure 114 : Les niveaux de détail dans la description du processus de conception

1.4. Aspects sociologiques

Ce paragraphe éclaire quelques aspects sociologiques de la gestion des connaissances qui peuvent être observés dans l'entreprise.

1.4.1. Les conflits entre experts

L'étude ne préconise pas de méthode pour permettre à deux experts d'opinions divergentes de trouver les « bonnes » connaissances à formaliser dans le référentiel métier. Des experts peuvent en effet être en contradiction sur des façons de faire. L'emploi des méthodes de résolution de problèmes (MFQ 94) telles que le brain storming, la matrice de décision, etc, sont également préconisées pour identifier les « bonnes » connaissances.

1.4.2. La culture du donnant-donnant

L'expert accepte de s'investir et de passer du temps à formaliser ses connaissances uniquement s'il obtient un retour immédiat. L'expert doit réaliser que les informations qu'il donne (construction du référentiel métier) aident les autres à travailler sans le solliciter lorsqu'il est occupé. Le fait d'archiver les informations et connaissances permet de les capitaliser afin de pouvoir les retrouver au moment venu. Le compte rendu de conception, rédigé automatiquement, est un élément essentiel pour l'expert car il constitue en quelque sorte le retour sur son investissement et la finalité du processus de conception. En effet, la rédaction du compte rendu est « ennuyeuse » pour les concepteurs car ils doivent se remémorer le projet et rassembler tous les résultats obtenus. De plus, cette rédaction se fait souvent en fin de projet où les délais alloués pour la faire sont très court. MULTI doit prévoir la rédaction automatique d'un compte rendu en fin de processus, pour éviter aux concepteurs de le faire.

1.4.3. Une « culture documentaire » brisée

Les acteurs du développement de produit ont encore l'habitude de travailler en s'échangeant des documents papiers ou des fichiers électroniques (tableau EXCEL, document WORD, etc). Avec MULTI, l'acteur obtient uniquement l'information qui est intéressante (trop d'information nuit à l'information) à un instant t (par exemple la dernière valeur du régime ralenti moteur sur la Peugeot 307 HDI). Le fait de ne plus avoir recours au document présente un grand avantage : le fait d'avoir recours à une information structurée, centralisée et partagée facilite sa consultation en temps et en heure ainsi que sa mise à jour en ligne. Tout ceci garantit une plus grande flexibilité, efficacité (l'information pertinente au moment opportun) et fiabilité de l'information.

2. Méthodologie de réutilisation des connaissances du référentiel métier

L'objectif de ce paragraphe est de décrire comment les acteurs du développement de produit vont pouvoir utiliser le référentiel métier et quelles sont les fonctionnalités informatiques que l'on va mettre en place afin de faciliter l'utilisation de celui-ci.

2.1. Réutilisation des connaissances en conception routinière

En conception routinière l'acteur du développement de produit, doit disposer d'un certain nombre de connaissances génériques et de connaissances propres au projet en cours ou passés. La figure suivante (figure 115) illustre des exemples de questions que peuvent se poser les concepteurs lors de la réalisation d'une tâche.

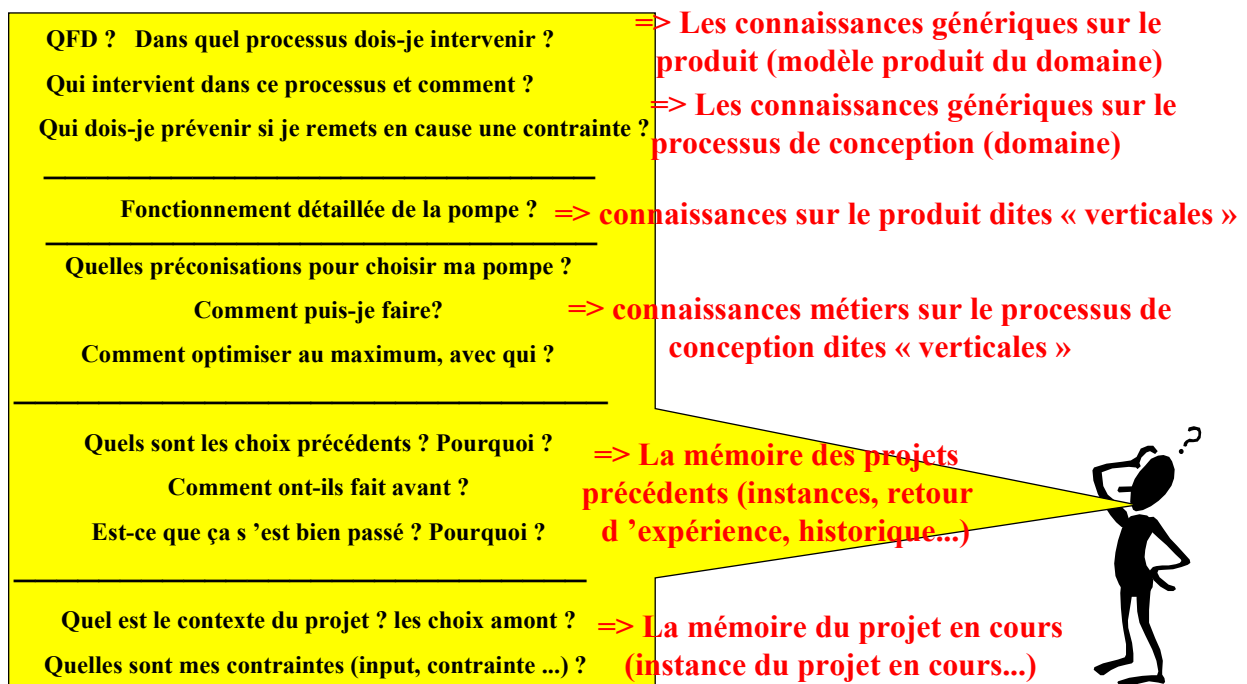


Figure 115 : Exemple de connaissances utiles pour le concepteur

2.2. Consultation du référentiel métier du domaine

Les acteurs peuvent consulter toutes les connaissances du référentiel métier (voir le chapitre 3) capturées au préalable selon le guide décrit dans le paragraphe 1 de ce chapitre 4. Ces connaissances peuvent être génériques à tous projets de conception ou être intrinsèques aux projets. La consultation se divise alors en deux ensembles.

Consulter les connaissances génériques du domaine

☞ Tout acteur doit être capable de naviguer dans le modèle du domaine afin d'avoir accès à toutes les connaissances qui peuvent l'intéresser et qui ont été recueillies dans le référentiel métier, comme par exemple :

- L'ensemble des tâches à réaliser pour faire la conception fonctionnelle (dimensionnement fonctionnel et choix des solutions techniques existantes dans le cas de la conception routinière)
- La structure générique du produit
- Les fonctions d'un article
- Les dépendances fonctionnelles d'un paramètre
- Les contraintes à prendre en compte
- Les différentes situations de vie d'un article
- Les systèmes associés
- Le type de besoin
- Le type d'exigence requise pour un processus de conception donné
- Etc.

Consulter les connaissances projet

- Les valeurs des paramètres sur un projet donné
- Les solutions techniques retenues sur les projets
- les exigences pour chaque projet
- les tâches réalisées sur les projets
- le nombre de modifications sur chaque projet
- le suivi de réalisation des tâches sur les projets en cours
- le suivi de l'état des paramètres et des choix des solutions techniques sur les projets en cours
- les retours d'expériences sur chaque projet
- la valeur des contraintes sur chaque projet
- Etc.

Les classes et les associations du meta modèle permettent de décrire l'arborescence selon laquelle un concepteur pourra naviguer dans les modèles du référentiel métier et passer d'une connaissance (classe) à une autre. Le scénario de consultation des connaissances du domaine et des « connaissances projet » est le suivant (figure 116) :

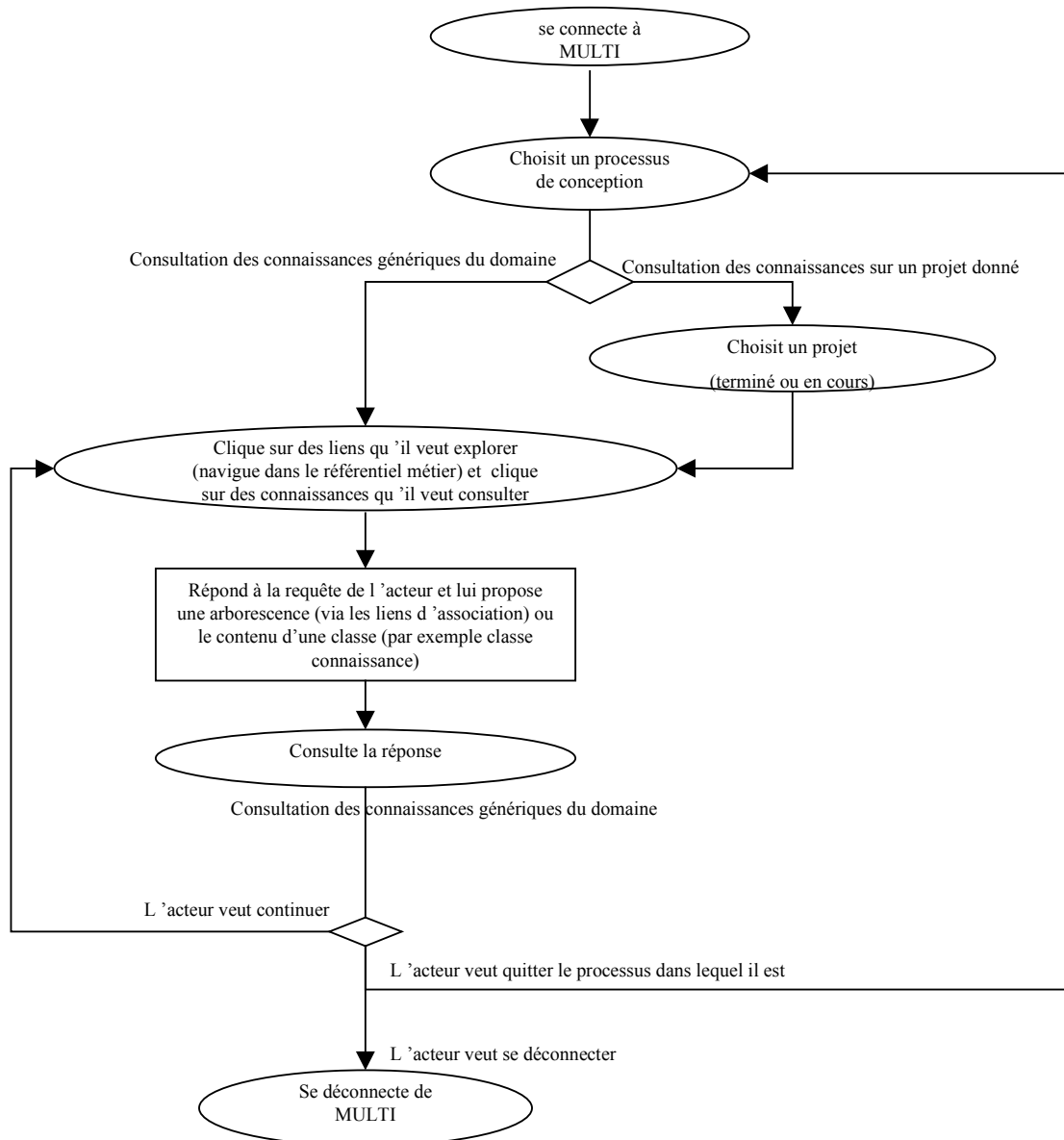


Figure 116 : La consultation des connaissances génériques du domaine et des connaissances projet

2.3. Pilotage de la conception et dynamique des connaissances encapsulée

Beaucoup de travaux ont déjà abouti (Eynard 99) à des systèmes informatiques automatisant une partie du processus de conception mais peu de travaux portent sur le « pilotage de la conception ». La conduite de la conception se limite souvent à la consultation de guide de conception sur papier ou sur un intranet. Dans la présente étude, l'objectif est de développer un outil informatique permettant de piloter la conception.

2.3.1. Conception assistée et déroulement du processus de conception sur chaque projet

Le fait d'avoir modélisé le processus de conception permet d'assister le concepteur dans ses tâches de conception routinière. En effet, en implémentant le processus de conception dans un système informatique, il est possible de le dérouler (instancier) sur chaque projet véhicule ainsi que d'instancier le produit, les instances du processus de conception et du produit étant couplées. Les tâches sont alors distribuées aux acteurs associés.

Le logiciel distribue les tâches aux acteurs concernés selon l'enchaînement décrit dans le processus de conception et le mode de déroulement choisi (voir les différents modes proposés par la suite). Le logiciel prévient ainsi l'utilisateur concerné qu'il a une tâche à réaliser, l'acteur ouvre cette tâche, la réalise, la valide, ou lance son exécution si celle-ci est réalisée par un logiciel externe (calcul sous EXCEL par exemple) pour enfin lire le résultat et valider.

Dans tous les cas, avant que le processus puisse s'instancier et se dérouler, un administrateur désigné doit créer un nouveau projet. Le diagramme d'activités suivant (figure 117) permet de représenter les interactions du système et de l'utilisateur pour cette phase de création et lancement de nouveau projet.

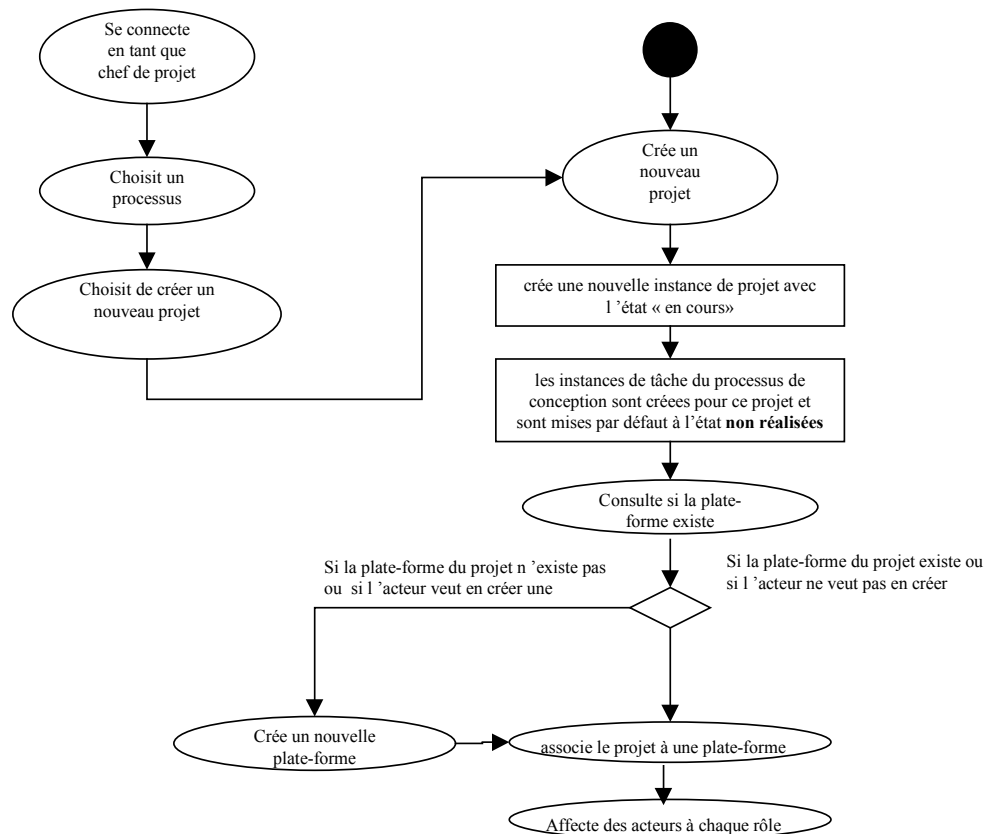


Figure 117 : Le lancement d'un nouveau projet

2.3.2. Plusieurs modes de déroulement

3 modes de déroulement sont prévus en fonction de la complexité des processus de conception à formaliser. **Le mode 3 sera le mode privilégié dans notre étude car il simplifie la capture et la maintenance du modèle du domaine.** Ces 3 modes de déroulement du processus de conception sont les suivants :

2.3.2.1. Mode 1

Dans le mode 1, les tâches de définition de paramètres sont distribuées au fur et à mesure aux acteurs. Les tâches de définition sont les tâches qui permettent de définir (qui ont en sortie) les entrées des tâches. Les tâches de définition n'ont pas d'entrée. Les tâches, exceptées les tâches de définition, sont enchaînées, c'est à dire qu'on identifie pour chacune d'elles leurs tâches précédentes et qu'on peut alors connaître pour chacune d'elles leurs tâches suivantes.

Dès le lancement du processus, les tâches (hors tâches de définition) qui n'ont aucune précédence et dont les conditions d'exécution et d'ordonnement sont validées passent à l'état « prête ». A partir de ce moment là, le système informatique réclame (tâche de définition) aux acteurs concernés de réaliser les tâches de définition (les tâches de définition passent à l'état « à faire ») associées aux entrées de ces tâches « prêtes ». Une fois toutes les informations d'entrée présentes dans la base (soit issues de tâche de définition, soit issues du résultat d'autres tâches réalisées en amont, soit mises dans la base de données produit directement), les tâches « prêtes » passent à l'état à faire et sont envoyées dans l'agenda de tâches des acteurs concernés. Ensuite, pour poursuivre le déroulement du processus de conception, le système fait passer à l'état « prête » les tâches (hors tâche de définition) dont les tâches précédentes ont été réalisées et dont les conditions d'exécution et d'ordonnement sont validées, et ainsi de suite.

Dans ce mode la tâche peut avoir les états :

- Non réalisée
- Non réalisable
- Prête
- En attente de test sur les conditions d'exécution et d'ordonnement
- En attente de paramètre
- A faire
- réalisée

Dans l'exemple ci-dessous (figure 118), les tâches de définition de paramètres précèdent les autres types de tâches. Les particularités des tâches de définition sont qu'elles ne sont précédées par aucune autre tâche et qu'elles n'ont pas d'entrée. Dans la conception des systèmes de direction, par exemple, le concepteur des moteurs thermiques du véhicule va être sollicité, pour mettre à disposition des concepteurs des systèmes de direction, ses valeurs de régime moteur au ralenti et maximum. Celui-la recevra donc les tâches de définition correspondantes à faire.

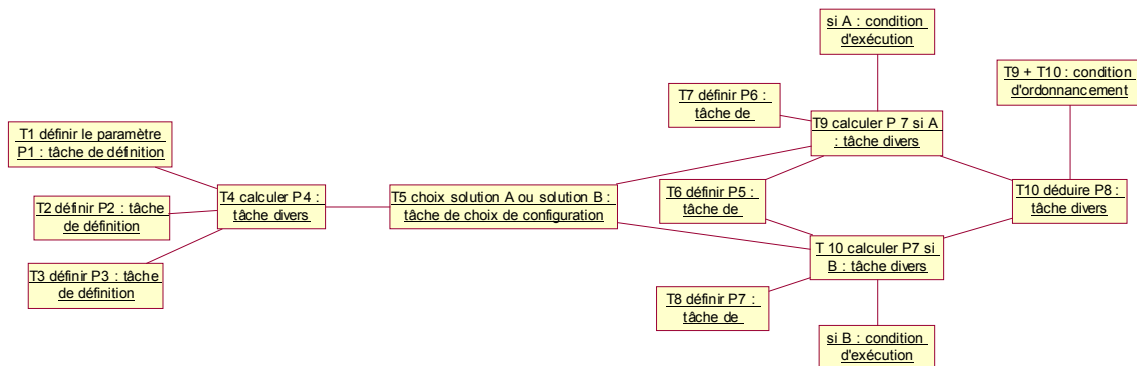


Figure 118 : Exemple de tâches et de leur enchaînement

Le diagramme d'activités suivant (figure 119) représente la procédure à suivre par l'outil informatique et par l'utilisateur.

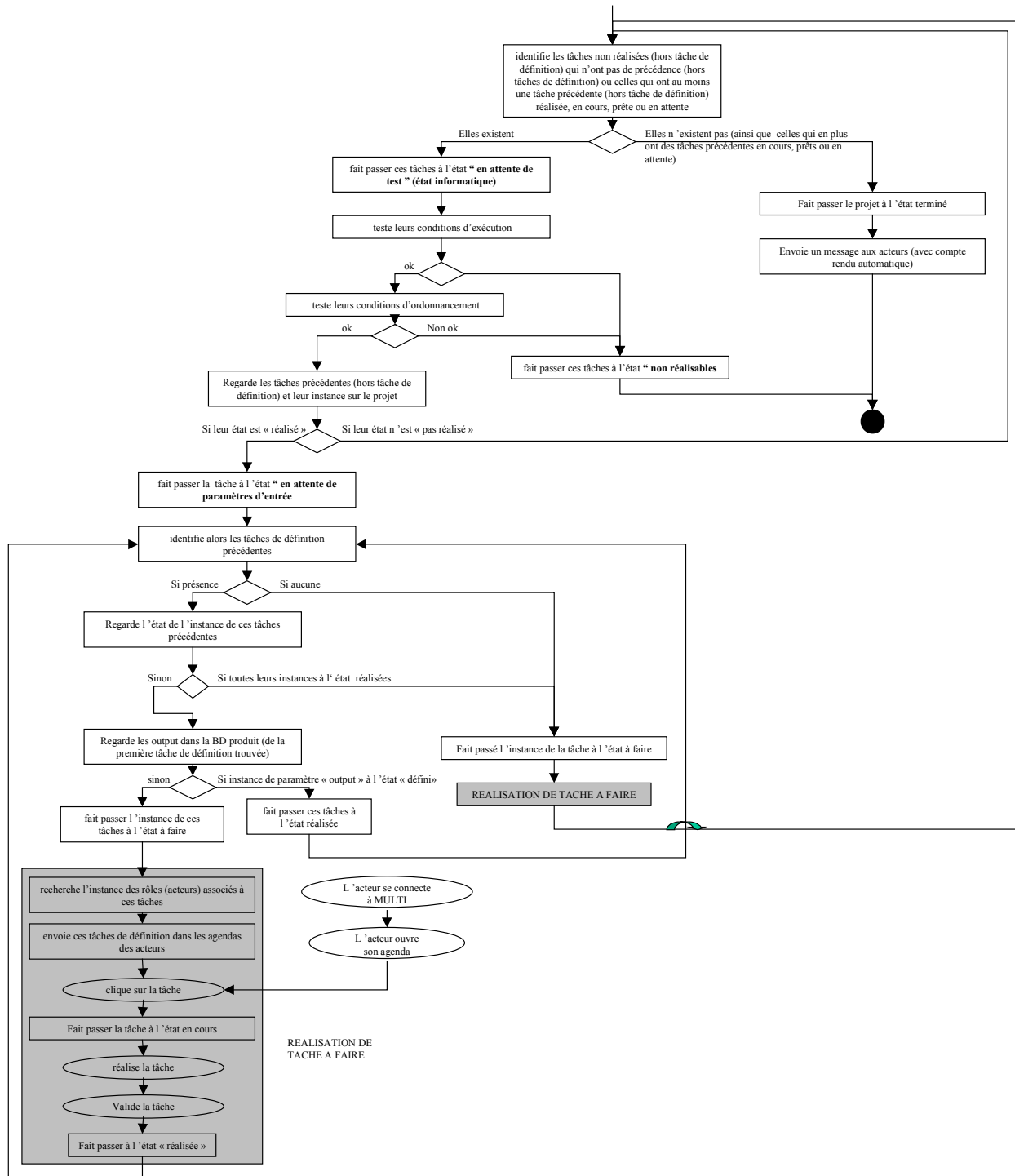


Figure 119 : Déroulement du processus de conception MODE 1

2.3.2.2. Mode 2

Dans le mode 2, à la seule différence du mode 1, les tâches de définition de paramètres sont envoyées dès le départ. Ces tâches de définition ont alors des conditions d'exécution et d'ordonnement. Ces conditions permettent ne pas envoyer dès le départ les tâches de définitions de paramètre de solutions qui ne sont pas retenues en amont.

La figure suivante (figure 120) illustre le même processus de conception qu'en figure 119 sauf qu'ici les tâches de définition sont faites dès le départ mais elles ont cette fois-ci des conditions

d'exécution. Toutes les tâches de définition ne seront donc pas envoyées dès le départ. En effet, l'exécution de certaines tâches de définition dépendra, par exemple, du choix de technologies qui sera fait en aval. Dans ce cas précédent, la condition d'exécution portera justement sur le choix de la solution technologique retenue. Dès que le choix de la technologie sera fait, la tâche de définition pourra alors être réalisée. L'avantage de ce mode de fonctionnement est que les acteurs pourront être sollicités dès que la tâche de définition est faisable (traçabilité de toutes les valeurs et modification depuis le début du projet). Dans le mode 1, il fallait attendre que la tâche qui avait des tâches de définition (input) soit prête pour les envoyer dans les agendas.

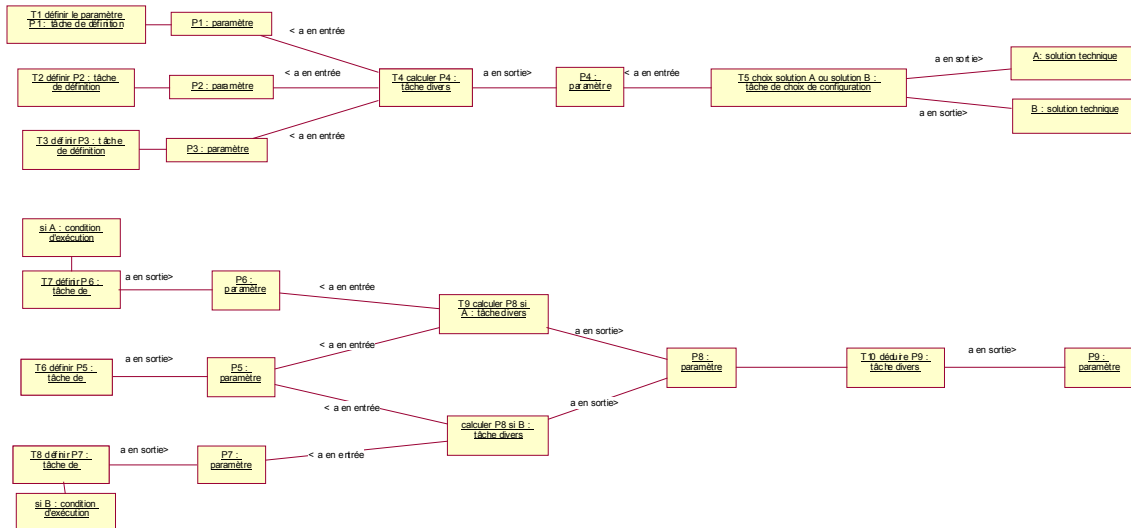


Figure 120 : Tâche de définition envoyée dès le départ

Dans ce mode la tâche peut avoir les états :

- Non réalisée
- Non réalisable
- En attente de test (état système non visible par les utilisateurs)
- En attente de paramètre
- A faire
- réalisée

Le diagramme d'activités suivant (figure 121) permet de montrer le diagramme d'activités de l'outil informatique et des utilisateurs ainsi que leurs interactions pour ce mode 2.

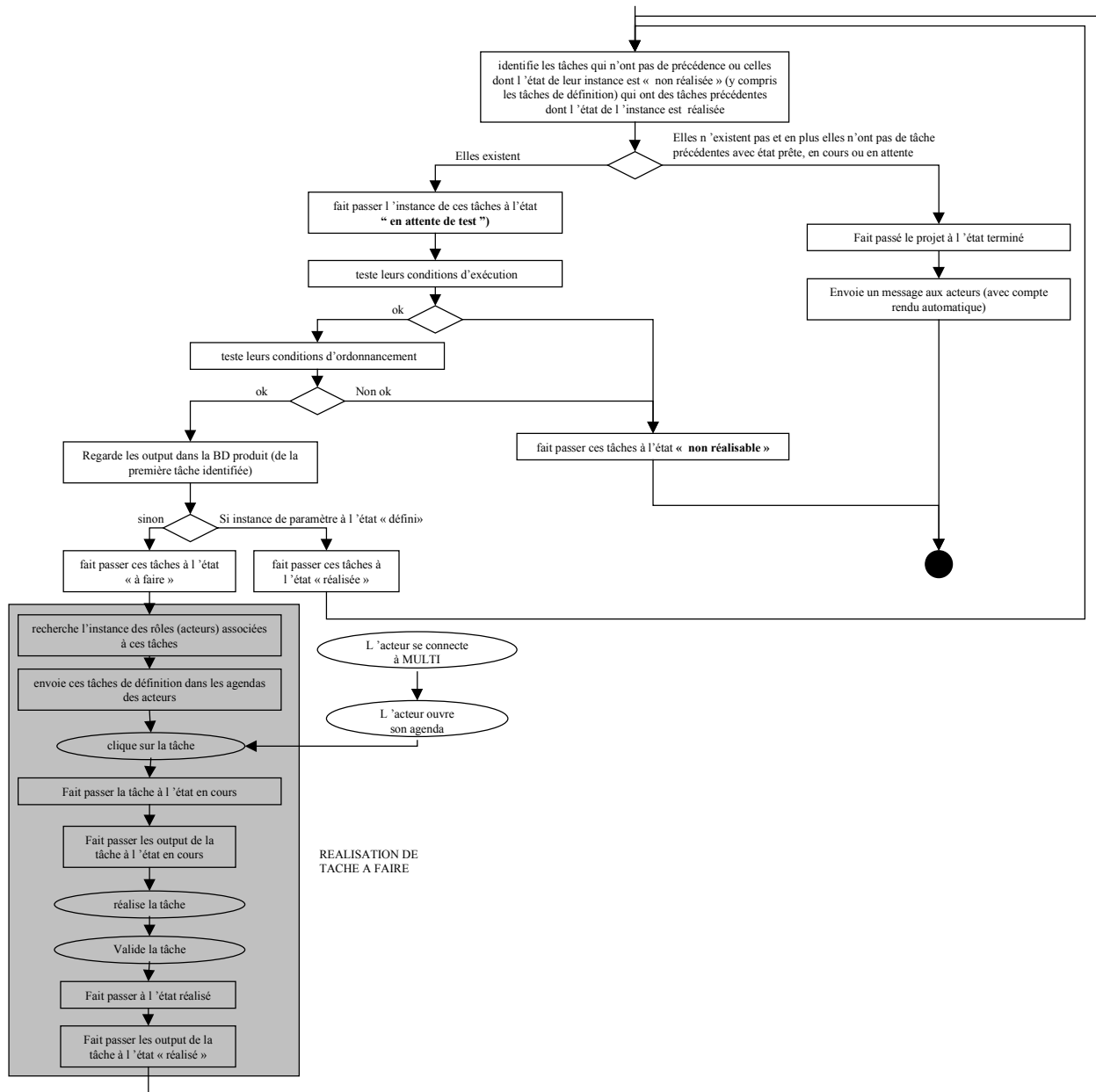


Figure 121 : Déroulement du processus de conception MODE 2

2.3.2.3. Mode 3

Dans le mode 3, à la différence du mode 1 et 2, on considère les tâches de définition comme d'autres tâches et ont les mêmes propriétés. D'ailleurs dans le modèle du domaine on ne distinguera pas les tâches de définition. Egalement, les tâches ne sont pas enchaînées. **On déclare uniquement leurs entrées et sorties ainsi que leurs conditions d'exécution**, l'ordonnement n'étant pas nécessaire ici. Le système identifie alors les tâches qui n'ont pas d'entrée ou celles qui ont les entrées instanciées ainsi que les conditions d'exécution « validées » sur le projet considéré. Ce système fait passer ces tâches à l'état « à faire » et les envoie dans l'agenda de tâches des acteurs. L'intérêt de ce mode est qu'il est possible, lors de la maintenance du modèle du domaine, de rajouter des tâches sans difficulté et sans se préoccuper de leur enchaînement avec les autres. **L'exécution des tâches est pilotée par la disponibilité de leurs entrées.** Ce mode permet tout de même de reconstituer un enchaînement logique car les entrées d'une tâche sont les sorties des tâches précédentes. Ce mode peut donc être très intéressant dans le cas où seules les entrées et sorties définiraient l'enchaînement des tâches et le déroulement du processus de conception.

2.3.3. Instanciation progressive du produit

Les sorties des instances de tâches sont des instances de paramètre ou d'article du produit, elles instancient ce dernier au fur et à mesure du déroulement du processus de conception. L'instanciation progressive découle des éléments du paragraphe sur le déroulement du processus de conception. Les diagrammes d'activités présentés permettent de représenter cette instanciation progressive. L'instanciation du produit peut se faire à la main, sans passer par les tâches, en effet, un acteur peut éditer directement des valeurs de paramètre sur un projet donné.

Le paramètre peut avoir les états suivants :

- Non défini
- Non définissable (la solution technique associée n'a pas été retenue)
- Défini

2.3.4. Gestion de la diversité du produit

Un autre principe développé est celui qui concerne la diversité du produit. Le processus du domaine décrit toutes les possibilités qui peuvent être envisagées.

Pour prendre en compte la diversité, un mécanisme d'inhibition a été mis en place. Ce mécanisme permet d'instancier le processus de conception au fur et à mesure de son déroulement. Quand le concepteur choisit une solution technique, l'instance d'article associée passe à l'état 1 et les instances de tous les autres articles qui auraient pu être choisis à la place passent à l'état 0. Les paramètres de ces derniers passent à l'état « inhibé grisé » car ils ne doivent pas être définis. Toutes les tâches de définition en relation avec un paramètre des solutions technologiques non retenues inhibées, ceci revient à dire que des inputs peuvent disparaître (être inhibé) de certaine tâche. Pour réaliser cela, l'attribut « signal » des classes « instances d'articles » et « instance de paramètre » a été défini.

2.3.5. Push d'informations et de connaissances

Les méthodes traditionnelles obligeaient les concepteurs à consulter les informations sur les comptes rendus et des fichiers stockés sur leur disque dur. Ces concepteurs devaient consulter les livres de connaissances et autres notes explicatives pour se remémorer les connaissances. Les informations, connaissances, contraintes et règles sur les paramètres de sortie de la tâche sont toutes distribuées (push) aux acteurs avec la tâche auxquelles elles sont associées.

2.3.6. Restitution du contexte

D'une manière générale, le contexte est un problème crucial de la mémoire d'entreprise (Ackerman 96) (Giboin 99) (Klemke 99). Ackerman (Ackerman 96) juge crucial la notion de ce qu'il appelle la gestion du contexte réduit. L'objectif est de trouver un compromis entre trop et trop peu de contexte (c'est le paradoxe du contexte) : trop d'informations contextuelles conduit à « un océan de détails superflus » et ne permet pas de généraliser ; trop peu de contexte empêche l'utilisateur de comprendre l'information et l'expert de formaliser.

Lorsqu'un utilisateur consulte la base de connaissances, il doit se préoccuper du contexte dans lequel ont été décrites les connaissances. En effet, celles-ci sont toujours recueillies dans un contexte donné et il est important de bien définir le contexte de validité des connaissances. Par exemple dans le cas de l'automobile, un concepteur lorsqu'il consulte les connaissances relatives à la tenue de route et les préconisations associées, il devra bien veiller à que ce qu'il va lire concerne bien la gamme de véhicule qu'il souhaite. Dans le cas contraire, il se peut qu'il applique des connaissances relatives aux véhicules bas de gamme sur les véhicules haut de gamme, ce qui l'induirait en erreur.

De même, quand un utilisateur doit réaliser une tâche, il doit connaître le contexte dans lequel, il doit la réaliser, c'est à dire les choix qui ont été faits en amont, les performances attendues, les contraintes qu'il doit prendre en compte, le temps et l'argent qui lui sont alloués.

C'est pour cela que dans les connaissances verticales associées à la tâche, des liens pointent vers ces connaissances :

- tous les paramètres du projet qui ont été définis
- les choix technologiques qui ont été réalisés
- le processus dans lequel s'inscrit la tâche à faire
- les autres acteurs associés
- tout ce qui concerne les objectifs et préconisations concernant l'activité ou le processus dans lesquels la tâche intervient
- les résultats des projets passés
- les choix effectués sur la même plate-forme

Ces connaissances sont consultables au moment où l'acteur doit réaliser sa tâche.

2.3.7. Donner une valeur à un paramètre du produit

Un acteur pourra à tout moment, selon ses droits, donner une valeur à un paramètre sans que le « workflow de tâches le lui demande » (figure 122). Dans ce cas il fera comme s'il voulait consulter le paramètre et pourra éditer une valeur ou modifier une valeur existante (voir dans ce dernier cas la gestion des modifications).

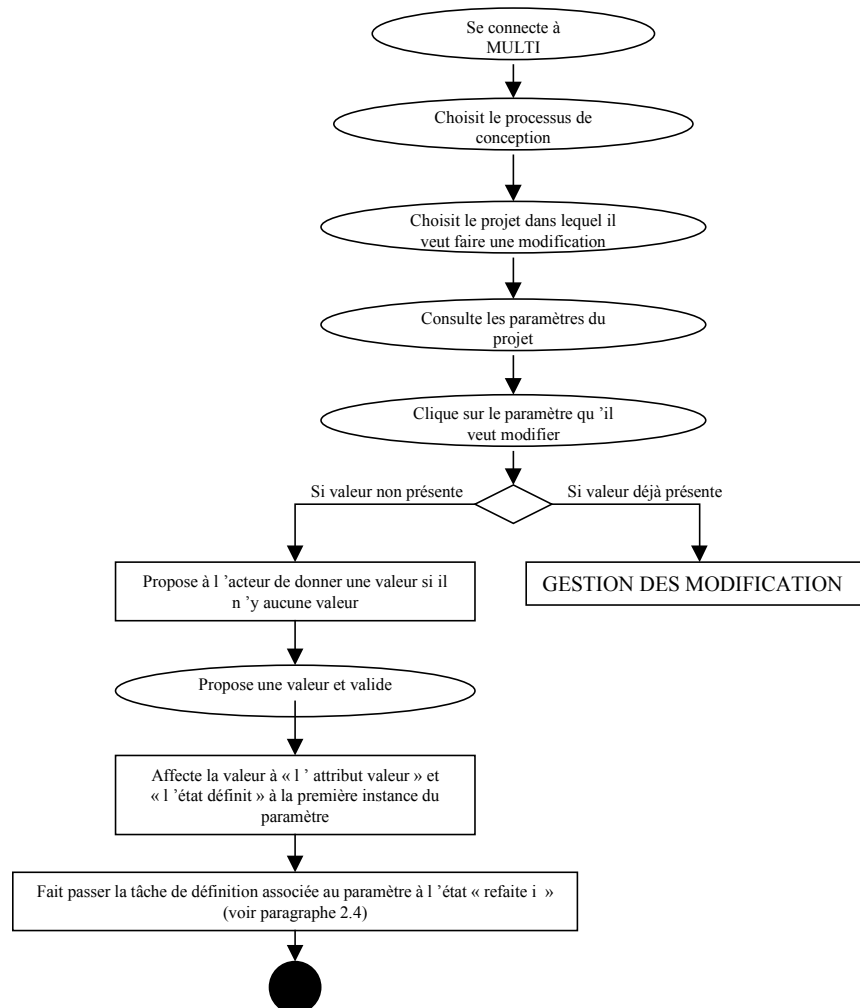


Figure 122 : Définition non assistée d'un paramètre

2.3.8. Poser les contraintes pour leur prise en compte

Tout acteur pourra également « **poser** » une **contrainte** issue des phases aval à la conception fonctionnelle ou de la conception d'autres organes conçus en simultané (contraintes d'environnement ou interfaces physiques). Par exemple le fabricant de mécanismes de direction pourra poser une contrainte sur le section de vérin. Cette contrainte devra alors être « dupliquée » sur les tâches faisant intervenir cette section de vérin comme « choisir section de vérin ». Cette contrainte pourrait être, par exemple, de choisir des valeurs de section afin de réutiliser des machines existantes. Les contraintes peuvent être valables pour tous les projets ou uniquement sur un projet donné. Il faudra alors prévoir de poser une contrainte sur le modèle du domaine ou lors de son instanciation (même démarche que la figure précédente).

2.4. Gestion des modifications en conception, rebouclage et versionnement

Dans le cas où un acteur modifie une valeur existante dans la base de données produit, le workflow doit prendre en compte cette modification et re-dérouler le processus pour redistribuer « état à refaire » les tâches impactées par la modification. Si une tâche est réalisée et que un de ses paramètres d'entrée change alors elle passe à l'état « à refaire ». Le système informatique doit alerter tous les acteurs concernés (découlant du produit), le chef de projet (compte rendu de projet) et les abonnés (les acteurs peuvent s'abonner à un paramètre pour être prévenu par mail dès que celui-ci est modifié) aux paramètres.

Les nouveaux états supplémentaires des instances de tâches sont alors :

- A refaire (voir gestion des modifications)
- Modifiée i (quand elle est impactée par une $i^{\text{ème}}$ modification est qu'elle sera refaite)
- Refaite i (quand elle a été refaite pour la $i^{\text{ème}}$ fois / modification)

Le nouvel état supplémentaire pour les instances de produit est :

- Modifié i (i étant le nombre de modifications ou le nombre d'instance de la tâche)

Les rebouclages aboutissent également au versionnement des paramètres et des tâches. La figure suivante (figure 123) représente le diagramme de séquence correspondant à la gestion des modifications.

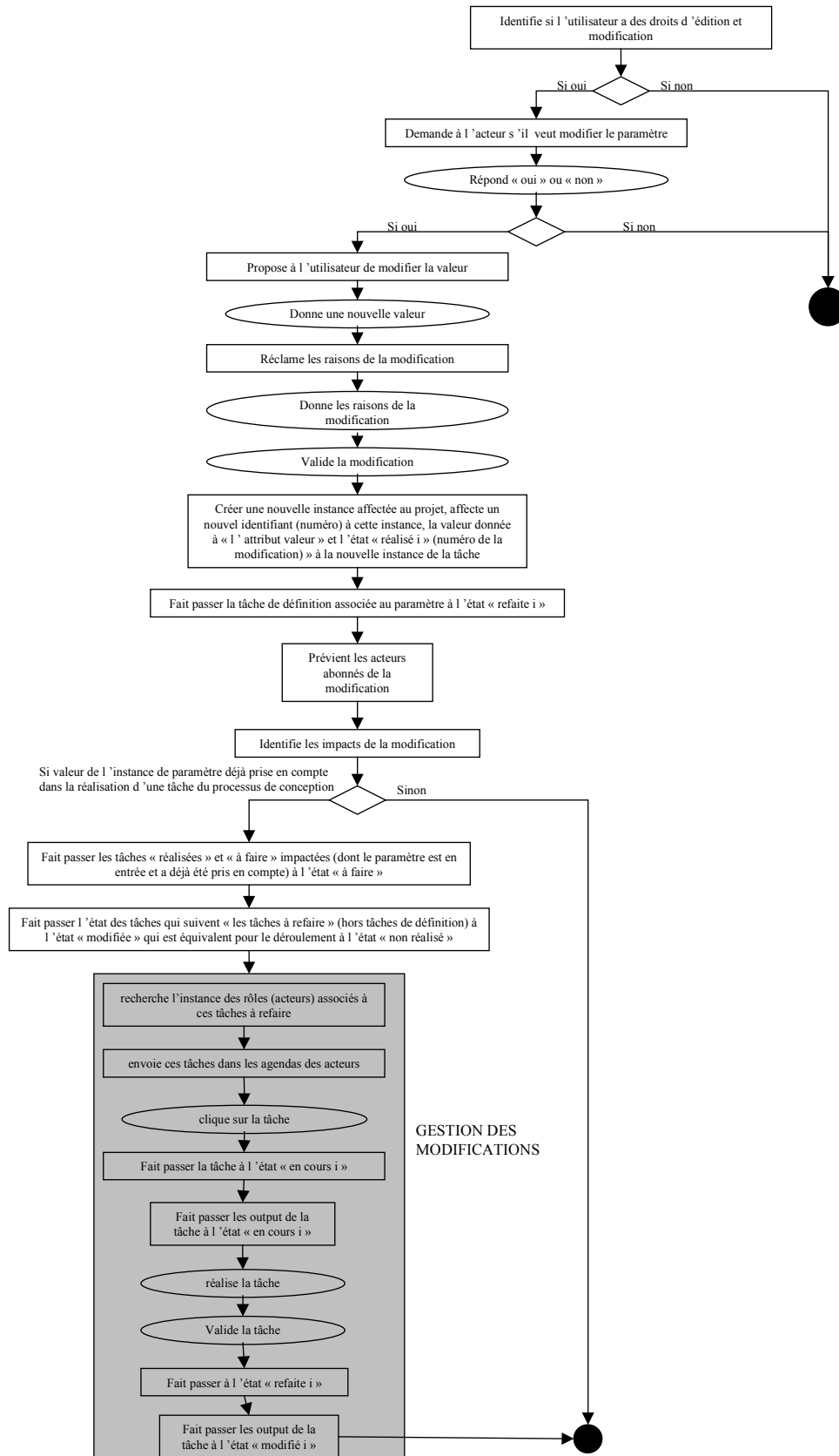


Figure 123 : Procédure de gestion des modifications

2.5. La gestion de projet

2.5.1. Consultation des instances de paramètres

Les acteurs peuvent consulter, à tout moment, toutes les connaissances du référentiel projet : un acteur pourra ainsi connaître l'état d'avancement et de définition du produit, ses paramètres évalués, etc. (voir la consultation des connaissances projet). L'intérêt de disposer d'une base de données structurée commune partagée est d'avoir à tout moment les paramètres nécessaires dans leur dernière version et de pouvoir accéder en permanence, sous condition de leur présence, à des paramètres provenant d'autres acteurs sans être obligé de déranger ceux-ci par téléphone, messagerie, etc. Cette base de paramètres doit être structurée car l'acteur voudra connaître les paramètres relatifs à un projet véhicule particulier, à une fonction particulière, à un organe particulier. Il pourra également avoir accès uniquement aux paramètres des fonctions ou des organes dont il est responsable puis directement aux paramètres qui lui sont nécessaires pour réaliser ses tâches ainsi que les résultats de ces tâches. Un acteur pourra donc consulter pour un projet donné, en cours ou terminé :

- ses paramètres ou tous les paramètres du système selon l'approche
 - ☞ fonctionnelle
 - ☞ organique
 - ☞ alphabétique

Un acteur pourra également consulter les résultats obtenus lors de projets antérieurs (paramètres que le logiciel aura stocké par projet).

Un mécanisme de versionnement permettra aux acteurs de garder une trace des modifications des paramètres (en cours d'étude).

2.5.2. Suivi de l'avancement d'un projet déroulement (instances de tâches)

Un acteur pourra consulter :

- les tâches du processus de conception (données d'entrée, données de sortie, connaissances associées...) ainsi que les états pour voir l'avancement du processus. L'acteur peut visualiser :
 - ☞ ses tâches
 - ☞ toutes les tâches

2.5.3. Suivi de la prise en compte des modifications

Le concepteur peut suivre (codes de couleur spécifique) la prise en compte des modifications en regardant l'évolution des tâches qui doivent être refaites et l'état des impacts de la modification au niveau du produit.

2.5.4. Traçabilité des exigences

Le concepteur peut suivre la réalisation des exigences en regardant les codes de couleur spécifiques sur les paramètres et solutions techniques sur lesquels se déclinent les exigences (arborescence exigences, fonctions de service, fonctions techniques, solutions techniques et paramètres de conception détaillée).

2.6. Traçabilité et mémoire projet

2.6.1. Traçabilité des choix de conception

2.6.1.1. Choix de solutions techniques

Les instances d'articles permettent de capturer les choix retenus sur chaque projet et leur versionnement.

2.6.1.2. Dimensionnement des solutions techniques

Les instances de paramètre permettent de capturer les valeurs définies sur chaque projet ainsi que leur versionnement et les raisons des modifications.

2.6.2. Historique du déroulement d'un projet

Les instances de tâche permettent de capturer le déroulement du processus de conception sur chaque projet ainsi que le versionnement des tâches (un acteur peut voir le nombre de fois qu'une tâche a été réalisée).

2.6.3. Capture des retours d'expérience

Pomian (Pomian 96) décrit ainsi le cycle de retour d'expérience et la méthode REX : « cela passe par l'optimisation de l'accès aux expériences antérieures et par l'intégration des résultats d'une expérience ultérieure. Cette démarche se propose d'éviter les pertes de savoir-faire par la transformation des états de l'activité de l'entreprise en « archives mortes » (informations pertinentes diluées dans une énorme masse de documents) ou par le départ d'experts. ».

Les retours d'expériences sont rattachés aux tâches et non aux instances de tâche. Ceci permet leur consultation, au même titre que les connaissances sur tous les autres projets du processus de conception. En effet, un acteur travaillant sur un projet donné doit pouvoir consulter les retours d'expériences des autres projets. Un acteur peut inscrire des retours d'expérience sur n'importe quelle tâche afin que ceux-ci soient pris en compte et que le référentiel métier puisse être modifié plus tard. Les retours d'expériences enrichissent les connaissances sur la tâche dans la mesure où ils apportent des éléments permettant de reproduire des bonnes pratiques (best practices) où, vice versa, de ne pas reproduire des mauvaises pratiques. Il est possible de proposer une fiche à l'émetteur du retour d'expérience afin de l'assister dans la description de son expérience et l'aider à bien expliquer tous les éléments qui pourraient être utile à sa prise en compte (contexte, pratiques utilisées, erreurs produites, comment ne pas faire ces erreurs, quelles nouvelles solutions proposées, etc). La figure suivante (figure 124) décrit la boucle MULTI de retour d'expérience.

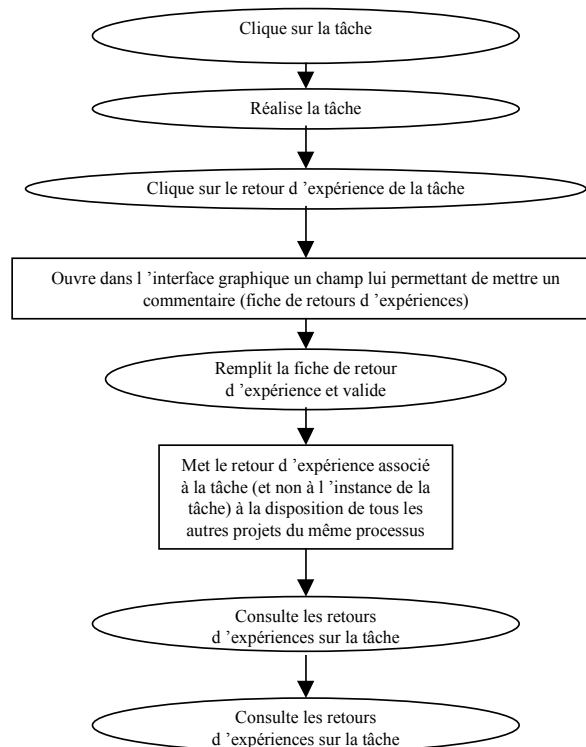


Figure 124 : Capture, consultation et boucle de retour d'expérience

2.7. Liens avec les applicatifs : MULTI un outil non intrusif

MULTI peut communiquer avec des applications métier tel que EXCEL. MULTI est un outil non intrusif dans la mesure où il ne perturbe pas l'activité de conception mais s'y adapte. Il représente une couche logicielle qui véhicule les informations entre acteurs. Le logiciel MULTI est couplé avec EXCEL pour effectuer des calculs et tracer des courbes. Les tâches nécessitant le recours à EXCEL sont les tâches de calcul et les tâches de représentation graphique. Les données d'entrée de ces tâches sont envoyées dans la feuille EXCEL. Ainsi quand l'acteur voit apparaître sa tâche de calcul dans l'agenda, il peut alors cliquer dessus et voir apparaître son fichier EXCEL avec les informations d'entrée correspondante. Il peut alors lancer son calcul et le valider. Les résultats du calcul sont à leur tour envoyés et archivés dans MULTI. Ce mode de fonctionnement évite les re-saisies qui sont sources d'erreurs. Ce mode de fonctionnement préconise que l'on conserve dans MULTI les feuilles EXCEL existantes dans le bureau d'étude pour perturber le moins possible les habitudes des concepteurs.

2.8. Perspectives

2.8.1. Le plan d'ingénierie

La modélisation du processus de conception peut servir de base pour dimensionner le projet en terme d'estimation de ressources et de délais. Ces estimations sont faites par l'intermédiaire de simulations des charges et des délais alloués à un processus de conception pour un projet donné. Ces estimations permettent d'établir le plan d'ingénierie qui constitue l'engagement des métiers vis à vis du projet. MULTI pourrait à terme réaliser cette simulation étant donné que les processus de conception y sont implémentés.

2.8.2. La gestion des compétences

On peut recenser dans MULTI les compétences nécessaires pour le projet et les décrire. A chaque tâche, nous pouvons décrire les compétences utiles. Ainsi, il est possible, lors du démarrage d'un projet, de rechercher les compétences adéquates. Il faut créer des tables de compétences, associer des rôles à des compétences, puis des compétences à des tâches.

3. Maintenance des connaissances

Il existe plusieurs types de modification du référentiel métier :

- Modification suite à des retours d'expérience relatifs au dysfonctionnement du processus de conception déjà modélisé (pratiques à l'instant t)
- Modification suite à des retours d'expériences dans les étapes aval à la conception :
 - Modification suite à des retours clients externes
 - Modification suite à des retours clients internes
- Enrichissement des connaissances verticales génériques : connaissances issues de la veille technologiques par rapport à une nouvelle technologie ou à un nouveau savoir-faire, informations qui avaient été oubliées au départ
- Modification suite à un changement de technologie (pour de meilleures performances, du fait de l'évolution du process rendant faisable une technologie qui avait été écarté auparavant, etc.), etc.

3.1. Retour d'expérience

Comme le fait A. Faure (Faure 99), l'étude préconise qu'une équipe d'expert analyse les retours d'expériences, recueilli dans MULTI au travers les tâches, toutes les semaines. Cette analyse de retour d'expérience peut engendrer une mise à jour du référentiel métier (du modèle produit ou processus de conception du domaine).

3.2. Nouvelle technologie et modification du référentiel métier

Quand une technologie change, le référentiel métier (produit / processus) reste pérenne grâce à l'approche systémique sur lequel il a été construit. Grâce à cette approche, il suffit de remplacer l'ancienne technologie par la nouvelle (le responsable du référentiel métier « débranche » l'ancienne et « rebranche » la nouvelle). En effet, le fait d'avoir formalisé le système avec ses frontières et interfaces ainsi que ses exigences permet de conserver l'ensemble en ne modifiant que ce qui concerne la partie « interne » (architecture fonctionnelle et physique) des technologies échangées.

La plupart des référentiels métiers, actuellement, sont basés sur une approche processus et organigramme technique de tâches. L'inconvénient de cette approche est qu'elle n'est pas basée sur une analyse systémique et fonctionnelle du produit. Donc, lorsque la technologie change, ce référentiel n'est pas pérenne et de gros efforts sont nécessaires pour le mettre à jour. Avec l'approche MULTI, la modification du référentiel métier est plus aisée à réaliser du fait de sa structuration rigoureuse.

Dans un monde où l'innovation prime et où les technologies ne cessent d'évoluer, il est indispensable d'utiliser l'approche systémique. Grâce au meta modèle proposé, lorsque les technologies changent, il est possible de voir quelles sont les tâches et parties du produit impactées et quelles sont les parties du modèle du domaine à conserver. Il est question, également, d'« enrobage systémique ». Les modifications du processus de conception sont capturées et ce dernier est versionné (figure 125).

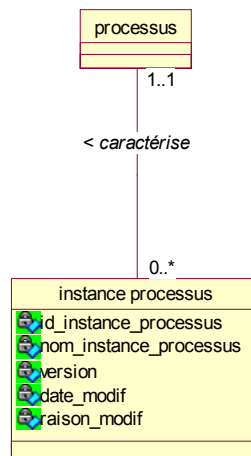


Figure 125 : Les instances de processus

Un acteur, chargé de la modification du modèle du domaine, peut modifier le processus de conception ainsi que le produit (ajouter une tâche, un acteur, un organe, un paramètre d'entrée à une tâche, etc). Le diagramme suivant (figure 126) représente le scénario de modification du référentiel métier.

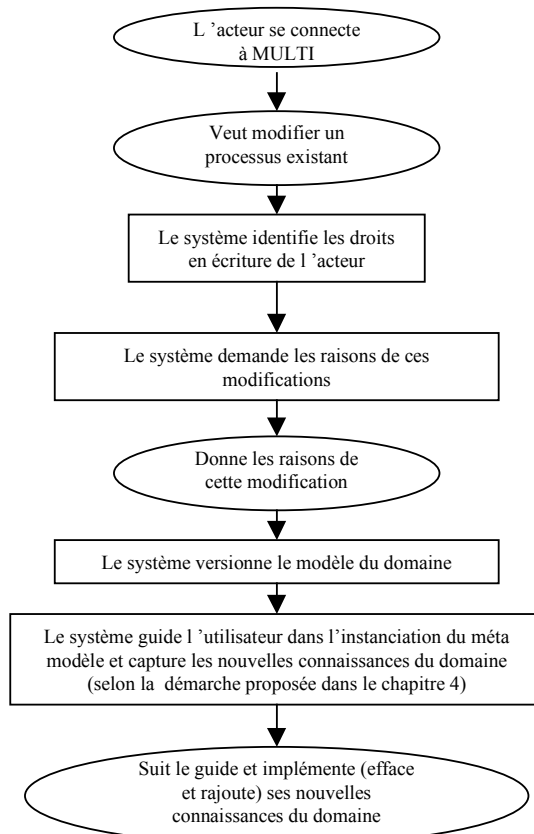


Figure 126 : Les instances de processus

3.3. Veille et connaissances verticales liées au processus

Il est intéressant de mettre un pointeur dans les connaissances liées au processus vers les résultats de la veille concernant des technologies émergentes sur le marché ou alors de nouveaux concepts qu'il serait intéressant d'exploiter. Ainsi MULTI peut servir de base de connaissances au bureau d'étude. MULTI peut alors servir à dérouler un processus de conception sur les projets ou alors tout simplement à archiver les informations et connaissances dans une base de données structurées. Ainsi les connaissances de la veille pourront être archiver dans MULTI pour être consultées.

4. Utilisation de la méthodologie pour les autres types de conception

Les connaissances recueillis et formalisés dans le modèle du domaine peuvent servir, non seulement aux étapes de conception routinières (nouvelles variantes), comme c'était l'objectif de départ, mais aussi pour la conception de nouveaux produit, pour la reconception et pour la recherche de nouveaux concepts. Dans ces trois derniers cas, le référentiel permet la capture au fil de l'eau de toutes les informations et connaissances nécessaires. Cette capture au fil de l'eau permettra d'avoir le plus rapidement possible le modèle du domaine réutilisable sur d'autres projets. Les solutions techniques qui n'ont pas été retenue ainsi que les raisons seront mentionnées dans le référentiel (connaissances verticales sur les solutions techniques). Ainsi le contexte des choix de conception est connu ainsi que la traçabilité de ces choix. En effet, une technologie inutilisable à l'instant t pourra devenir utilisable plus tard dans un contexte différent (faisabilité machine, plus de budget, etc.). Thoben (Thoben 99) a bien mis en évidence ces niveaux de réutilisation dans sa figure suivante (figure 127).

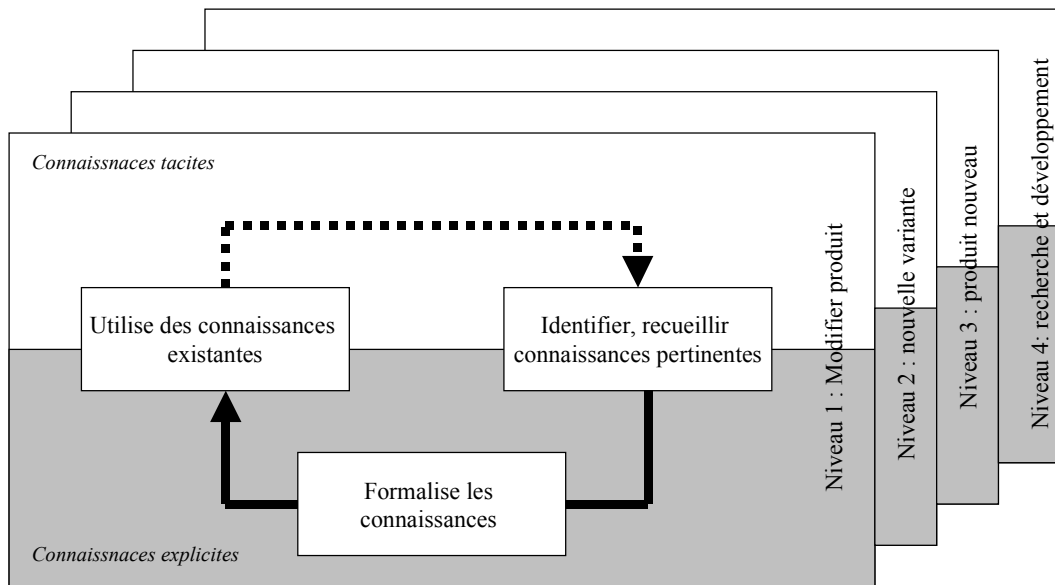


Figure 127 : Les quatre niveaux de réutilisation des connaissances en conception (Thoben 99)

Le fait d'utiliser le référentiel MULTI à tous les stades de la conception permet de construire le référentiel métier au fil de l'eau. Ceci permet donc de faciliter par exemple la prise en main des technologies innovantes par les équipes projets quand ce sont les équipes de recherche (travaillant en avance de phase) qui les ont mises au point. Les équipes de recherche pourraient alors proposer aux équipes projet de nouvelles technologies avec le référentiel métier associé. Les équipes projet n'auraient plus qu'à lancer le projet et à se faire guider par MULTI. MULTI pourrait donc constituer un bon moyen de transfert de connaissances à travers le transfert de modèle produit, modèle processus de conception.

Chapitre 5

MULTI : Une proposition d'outil informatique pour l'implémentation du référentiel métier et sa gestion

Ce chapitre décrit l'outil informatique MULTI développé dans le cadre de l'étude. Ses mécanismes mettent en oeuvre les modèles présentés dans le chapitre 3 et permettent leur instanciation, leur consultation, leur utilisation ainsi que leur maintenance. En effet, le méta modèle présenté dans le chapitre 3 a été implémenté dans un outil informatique afin de permettre aux concepteurs, après programmation des fonctionnalités requises, de :

- Implémenter le modèle du domaine
- Réaliser leur projet
 - Consulter le référentiel métier
 - Etre prévenu des modifications qui impactent ce qu'ils ont déjà fait
 - Etre prévenu dès que les informations dont ils ont besoin pour travailler sont présentes dans la base et qu'ils ont alors une tâche à réaliser
 - Mettre leur retour d'expérience dans la base
- Modifier le référentiel métier

L'objectif de l'outil informatique est de faire passer les acteurs du développement de produits, et notamment les concepteurs, d'une organisation où les échanges d'informations sont répartis et diffus à une organisation où ils sont structurés, distribués, centralisés et partagés.

Ces deux modes d'organisation sont schématisés, de manière non exhaustive, respectivement sur les figures suivantes (figure 128 et 129).

Sur la première figure, les acteurs du développement s'échangent beaucoup d'informations par téléphone, courrier, compte rendu, mail, intranet. Ces informations sont sous forme de document word, EXCEL, etc. Les connaissances sont archivées et classées dans des armoires voir des intranet peu structurés.

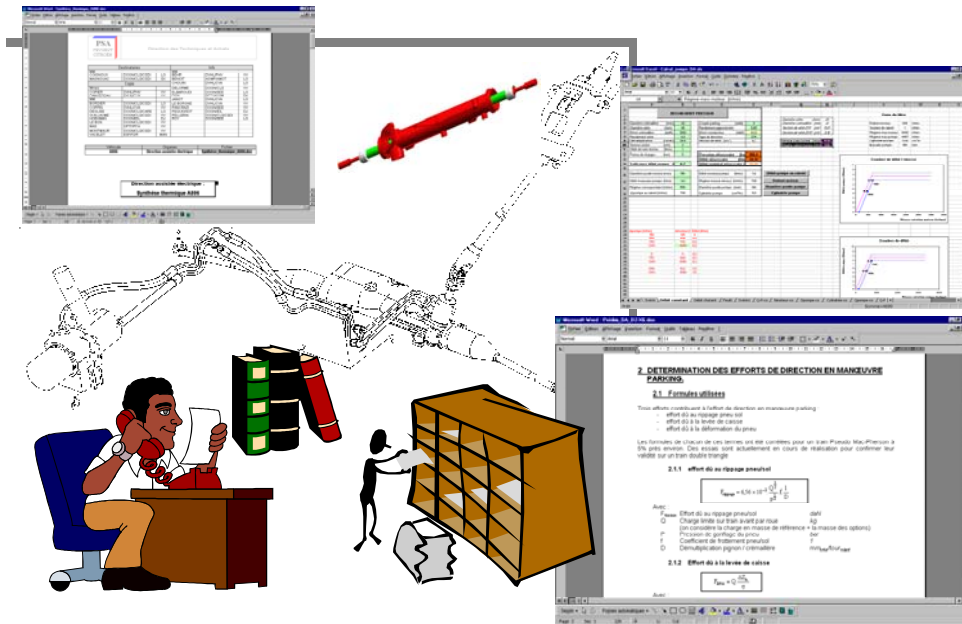


Figure 128 : La gestion des flux d'information actuellement

Sur la figure suivante (figure 129), la nouvelle organisation est schématisée. Ici, l'outil informatique et au coeur de tous les échanges d'information entre les acteurs. Tous les échanges transitent par l'outil informatique qui constitue un véritable Système d'Informations et de Connaissances (S.I.C.). L'outil informatique assiste de plus les acteurs dans leur conception routinière en leur distribuant des tâches à faire dans leur agenda de tâches et en leur « poussant » les informations et connaissances utiles à la réalisation de celle-ci. Les fichiers EXCEL (EXCEL principal outil de calcul des concepteurs) sont même remplis par les informations provenant des autres acteurs de manière à ce que l'acteur qui en a besoin pour réaliser le calcul n'ait pas à rechercher l'information et à la ressaisir dans sa feuille EXCEL. De même le résultat de la tâche de calcul est automatiquement envoyé dans la base de données centralisée et partagée par l'ensemble des acteurs de la conception ayant droit d'accès à celle-ci.

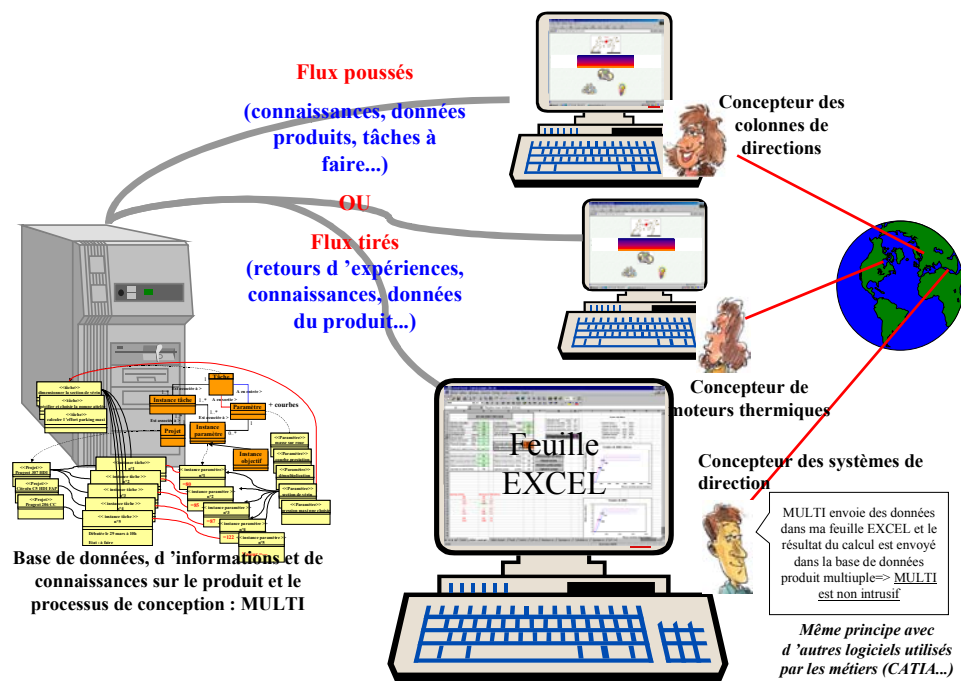


Figure 129 : La gestion des flux d'information avec MULTI

La première partie de ce chapitre décrira les spécifications fonctionnelles de l'outil. La deuxième partie décrira l'architecture du prototype réalisé et quelques I.H.M. (Interface Hommes Machine). Enfin en troisième partie, les résultats sont illustrés à l'aide des scénarios d'utilisation génériques et d'interfaces graphiques du prototype informatique.

Les éléments décrits ne sont pas tous implémentés dans le prototype informatique. Les spécifications qui sont détaillées ici sont celle de l'outil informatique complet (la cible à atteindre en matière de système d'information pour le processus de conception).

1. Etude préliminaire

1.1. Les grands choix techniques

Les technologies clés sont principalement :

- UML
- Les architectures 3-tiers
- Internet (la technologie NETSCAPE étant celle homologué à PSA)
- Java
- Les bases de données SGBDR (ORACLE 8)

1.2. Recueil des besoins fonctionnels

Le logiciel MULTI assiste les utilisateurs dans l'application de la méthodologie de gestion des connaissances présentée dans le chapitre 4. Cette méthodologie propose trois étapes qui sont :

- la formalisation de ces connaissances
- l'utilisation de ces connaissances
- la maintenance de ces connaissances

1.3. Acteurs du système MULTI

On observe 6 types d'acteurs (au sens d'UML):

- Les utilisateurs
- L'administrateur qui est un utilisateur particulier
- Le logiciel Excel
- Word (pour rédiger le compte rendu)
- L'imprimante (pour l'impression de compte rendu)
- Le moteur de propagation de contraintes

2. La conception du prototype informatique

2.1. Architecture

La figure 130 représente l'architecture du prototype informatique réalisé :

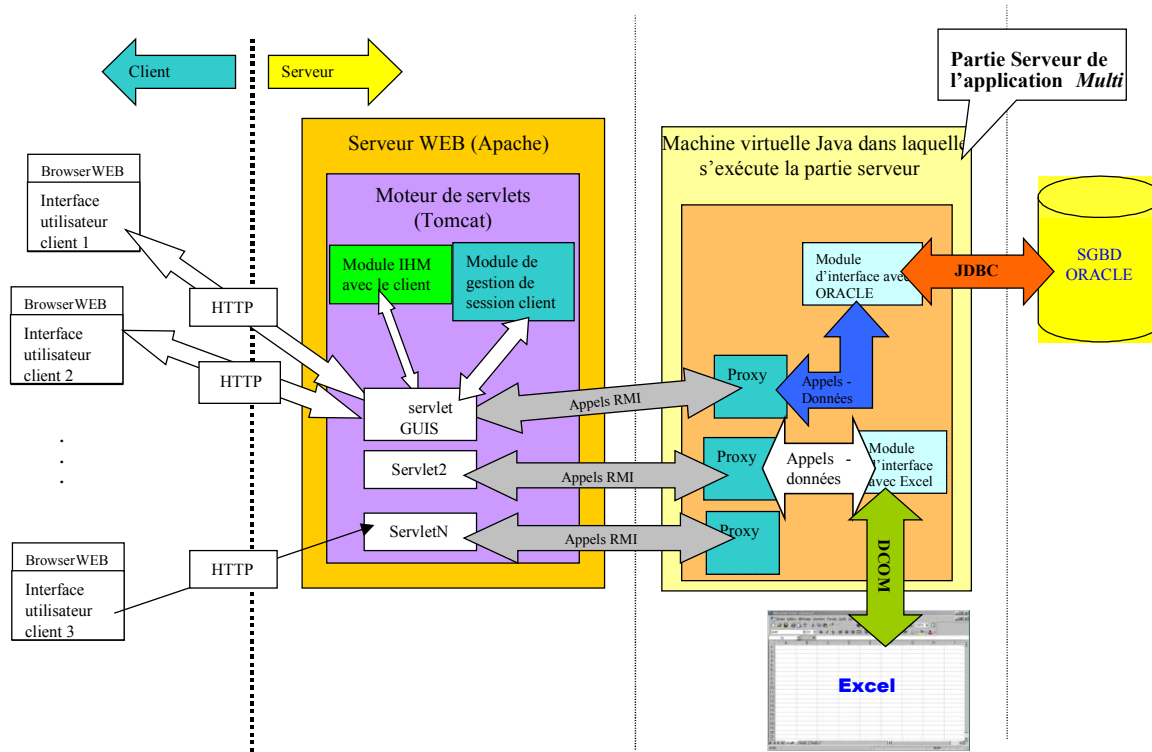


Figure 130 : L'architecture de MULTI

2.2. Justification du style d'architecture 3-tiers

Le style d'architecture en tiers (tier signifie "partie" en anglais) spécifie l'organisation des composants d'exploitation mis en œuvre pour réaliser le système. Chaque partie indique une responsabilité technique à laquelle souscrivent les différents composants d'exploitation d'un système.

On distingue donc plusieurs types de composants en fonction de la responsabilité technique qu'ils jouent dans le système. Un système client/serveur fait référence à au moins deux types de composants, qui sont les systèmes de base de données en serveur, et les applications qui en exploitent les données en client.

Le style d'architecture 2-tiers correspond à la configuration la plus simple d'un système client/serveur. Dans ce cas, il incombe aux clients de gérer l'interface utilisateur et les processus d'exploitation. Les serveurs ont pour responsabilité de traiter le stockage des données. Ce type d'architecture est parfaitement bien adapté aux systèmes départementaux, dans la mesure où les concepts et les processus manipulés n'existent qu'une seule fois au sein d'un département de l'entreprise.

Dans le cadre des architectures d'entreprise, certains concepts et processus sont communs à plusieurs domaines d'activité. Cette caractéristique implique une synchronisation souvent complexe des données entre différents départements de l'entreprise. Le concept d'objet métier consiste à centraliser cette gestion afin d'en maîtriser la complexité. L'objet métier est à la fois un modèle d'analyse qui colle à la réalité du problème de l'entreprise, mais également un modèle de composant d'exploitation qui s'insère dans le déploiement du système d'entreprise. L'intégration des objets métier sous la forme de composants métier fait passer l'architecture client/serveur du 2-tiers au 3-tiers, car elle implique un nouveau type de composants d'exploitation qui s'insère entre les clients et les serveurs de données.

Le style d'architecture 3-tiers facilite la réutilisation au sein d'un système, puisque les composants métier correspondent à des concepts communs à différents métiers de l'entreprise. Dans le cas de MULTI,

les classes Projet et Processus sont de bons composants métiers candidats, puisqu'ils concourent tous deux au métier de l'administrateur et des autres acteurs.

Comme le style d'architecture 3-tiers définit un moyen logiciel intermédiaire entre les applications clientes et les serveurs de base de données, il fournit au système les moyens techniques qui lui permettent de garantir des temps de réponse constants, quelque soit le nombre d'utilisateurs connectés.

La spécification d'une architecture à composant métier 3-tiers implique des contraintes sur le modèle d'exploitation. Une solution client/serveur 3-tiers entraîne en effet la répartition des composants d'exploitation suivant les responsabilités :

- Le stockage des données sera réparti entre plusieurs instances de bases de données en central ou en agence. Un moteur de base de données relationnel, a d'ailleurs été retenu : ORACLE 8.
- La distribution des services métier est réalisée sur plusieurs composants métier dont le déploiement est à préciser. La technologie Java-RMI est arrêtée pour sa réalisation.
- La présentation et la gestion des applications correspondent à différents composants d'exploitation répartis en central ou en agence. Ces applications seront développées en Java et déployées sur les postes clients. Le serveur Web est une application particulière qui a pour rôle de rendre accessible la situation des commandes aux différents clients de MULTI. Elle sera réalisée avec la technologie Java-servlet.

2.3. Conception détaillée

Le méta modèle a été implémenté dans une base de données ORACLE. Des modules ont été développés en JAVA afin de réaliser les fonctionnalités requises pour l'outil informatique (voir chapitre 4). Des frontaux (IHM) ont été développés avec le langage HTML.

3. Scénarios d'utilisation générique et maquette informatique

Dans ce chapitre, des copies des principaux écrans du prototype réalisé illustrent le déroulement d'une session. L'IHM suivante (figure 131) représente la page d'accueil de MULTI. Cette page d'accueil permet d'accéder aux processus de conception.

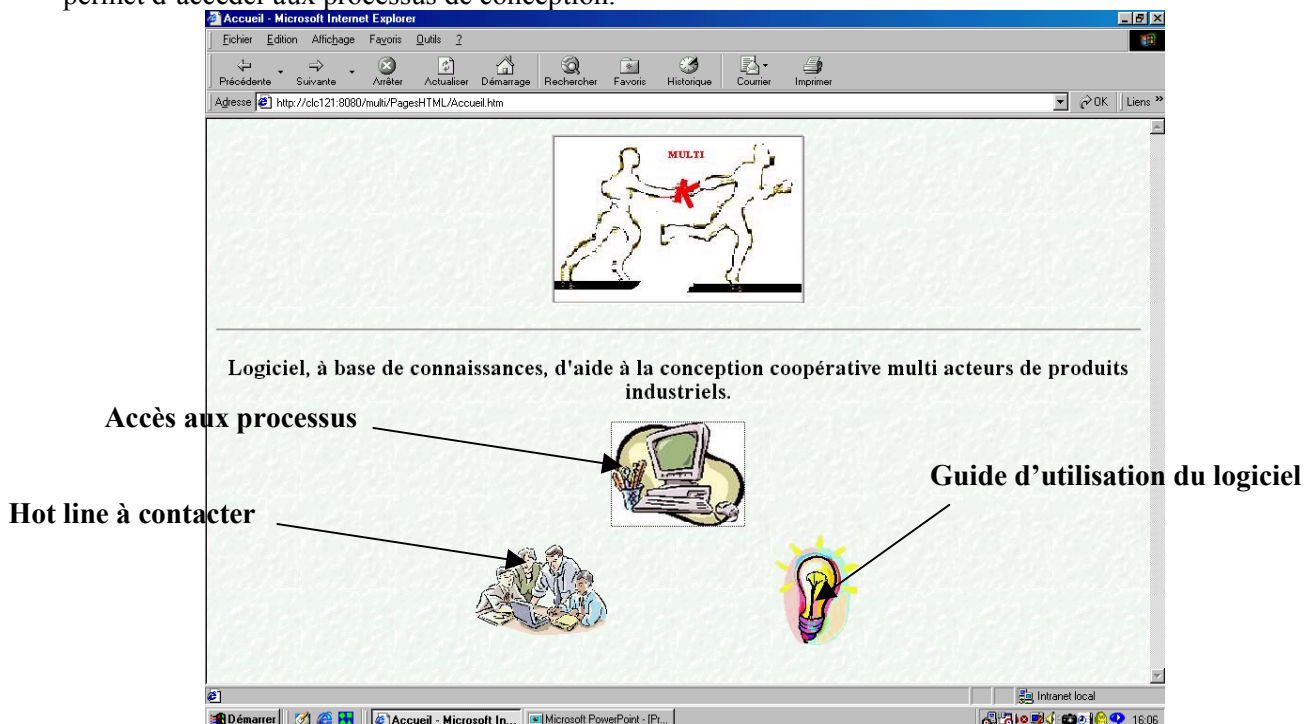


Figure 131 : Page d'accueil de MULTI et son logo

Avant d'accéder aux processus de conception, l'acteur doit s'identifier dans le système (figure 132).

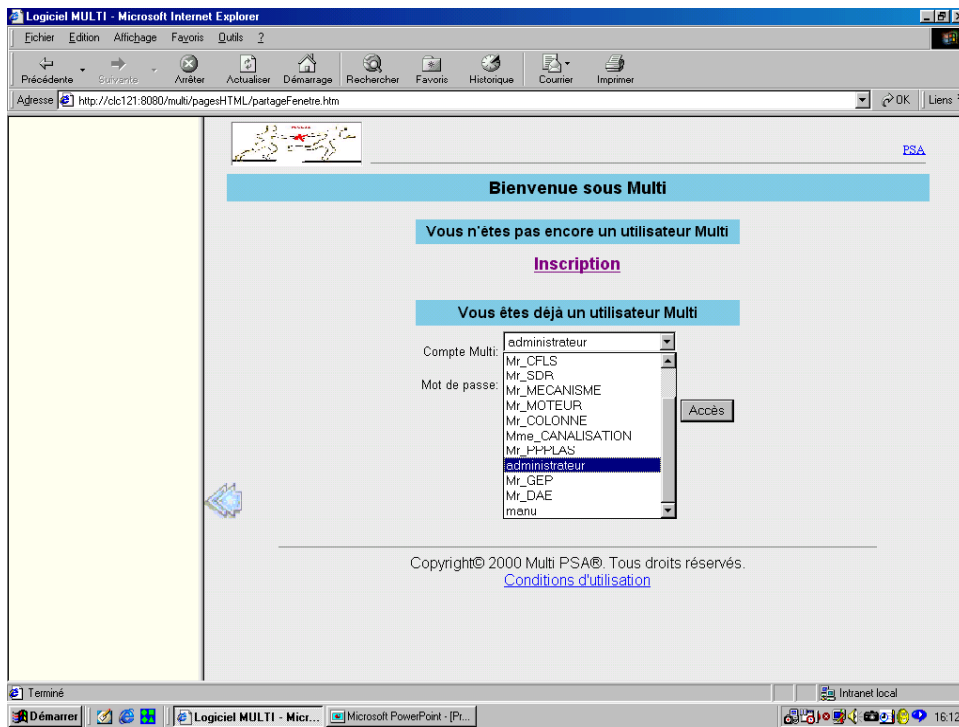


Figure 132 : Identification de l'utilisateur

L'administrateur MULTI (personne dédiées dans une équipe de conception) peut donner les droits à n'importe quel acteur (IHM suivante). Un login et mot de passe seront alors attribués aux acteurs (figure 133).

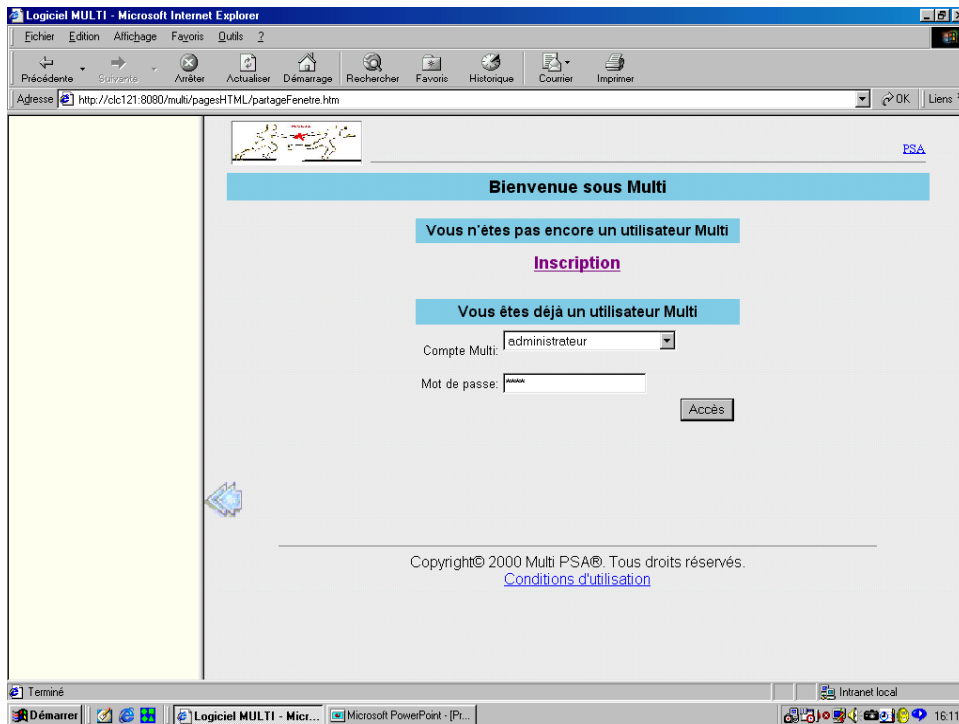


Figure 133 : Connexion à MULTI

Dans l'IHM suivante (figure 134), c'est l'administrateur qui se connecte, le système lui propose le menu permettant de rentrer pour consulter un processus, de modifier un processus (modèle du domaine) existant ou de créer un nouveau processus. La frame de gauche permet à l'utilisateur de changer de processus de conception, de fermer et ouvrir une nouvelle session, de quitter MULTI, de localiser l'acteur dans le processus et le projet sur lequel dans lequel il est entré.

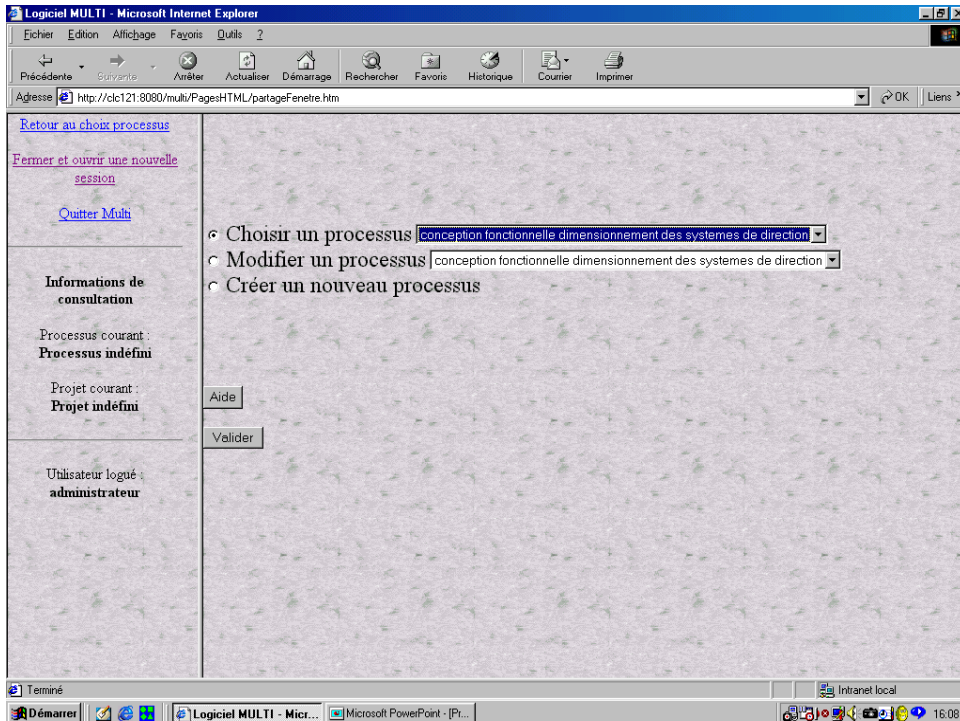


Figure 134 : Menu proposé à l'administrateur après connexion

Dans l'IHM suivante (figure 135), l'administrateur choisit par exemple un processus de conception parmi plusieurs. Il s'agit, dans cette illustration, de la conception fonctionnelle des systèmes de direction.

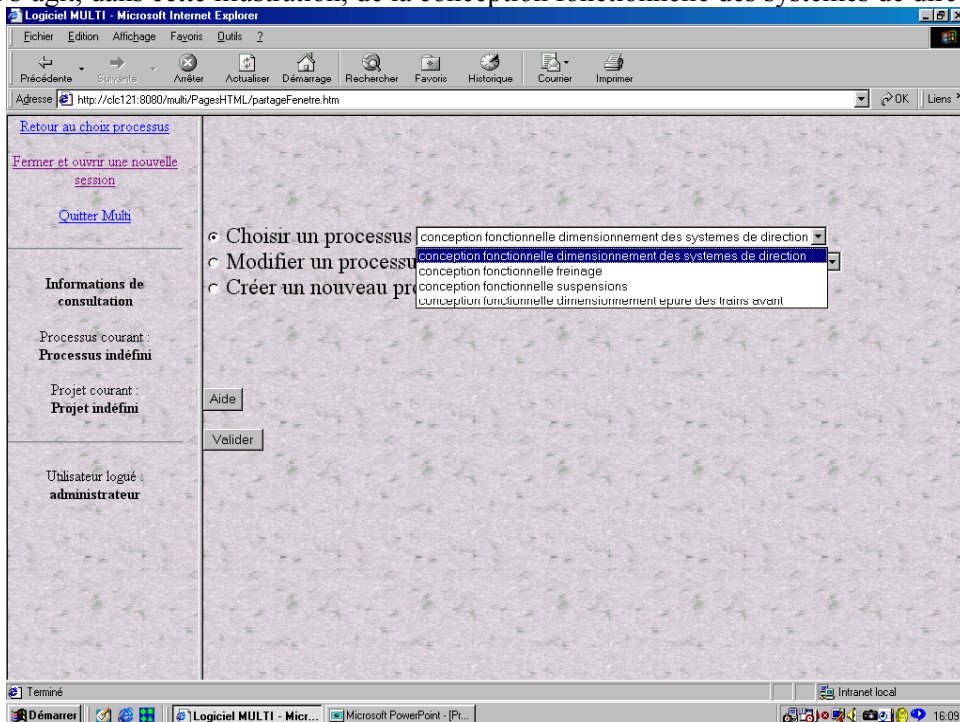


Figure 135 : Liste déroulante des processus de conception déjà implémentés

Si ce n'est pas l'administrateur qui se connecte (figure 136), la modification et la création de processus ne lui sont pas proposées par contre il a l'accès à son agenda de tâche à faire (en haut et à gauche de l'IHM).

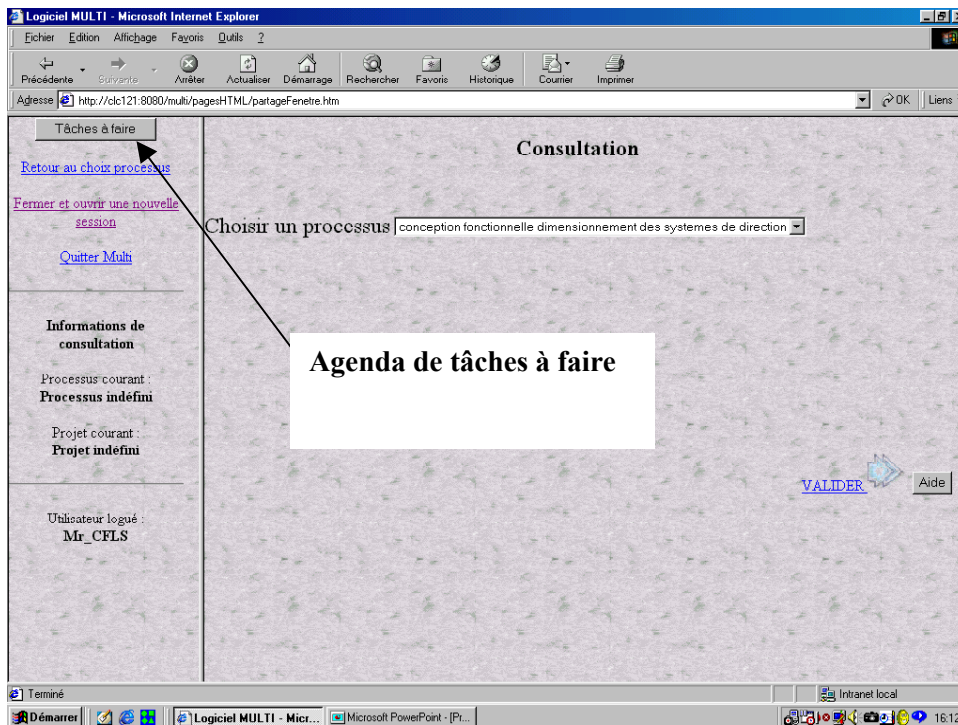


Figure 136 : Menu proposé aux autres acteurs après connexion

Si l'acteur clique sur son agenda, il accède aux tâches qu'il doit faire sur le processus de conception qu'il a choisi. Ces tâches peuvent appartenir à plusieurs projets, ainsi il pourra instancier la même tâche sur plusieurs projets différents. L'acteur peut alors sélectionner la tâche qu'il désire réaliser dans l'immédiat (figure 137). Un indicateur de priorité des tâches pourrait être rajouté.

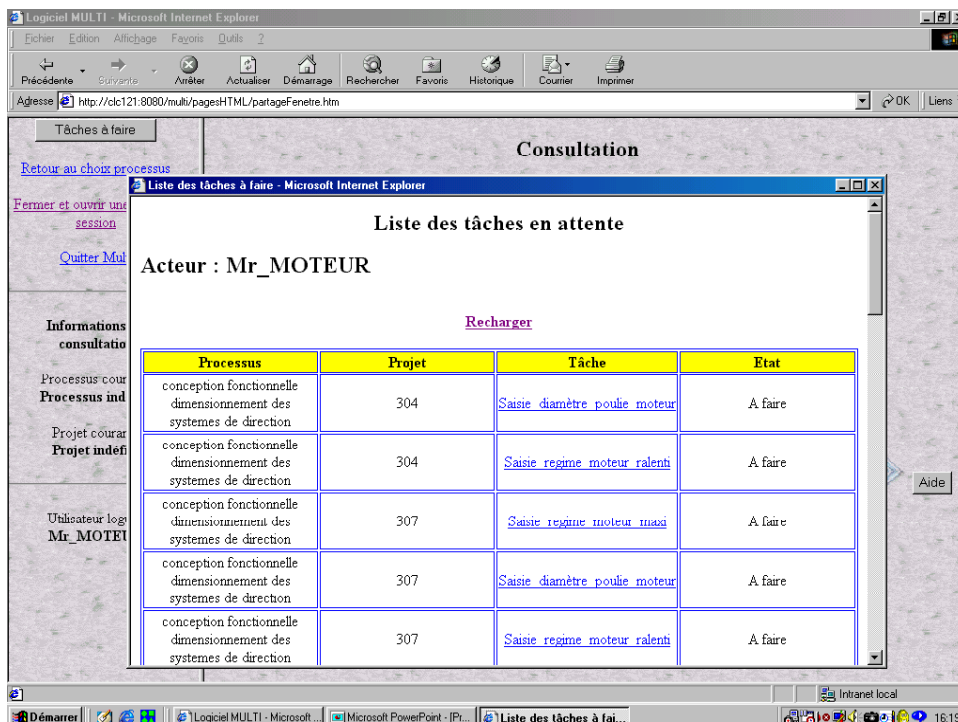


Figure 137 : Agenda de tâche d'un acteur

L'acteur après avoir cliquer sur une tâche voit apparaître l'IHM de la tâche suivante. Dans cette IHM (figure 138), il voit apparaître le nom de la tâche, les informations nécessaires à la réalisation de la tâche, les connaissances associées à la tâche et l'action qu'il doit réaliser. Dans l'exemple suivant l'acteur doit définir une information et la rentrer dans le système. Ici, il s'agit d'une tâche de définition de paramètre sans paramètre d'entrée. L'acteur saisit la valeur dans le champ adéquate et valide sa tâche.

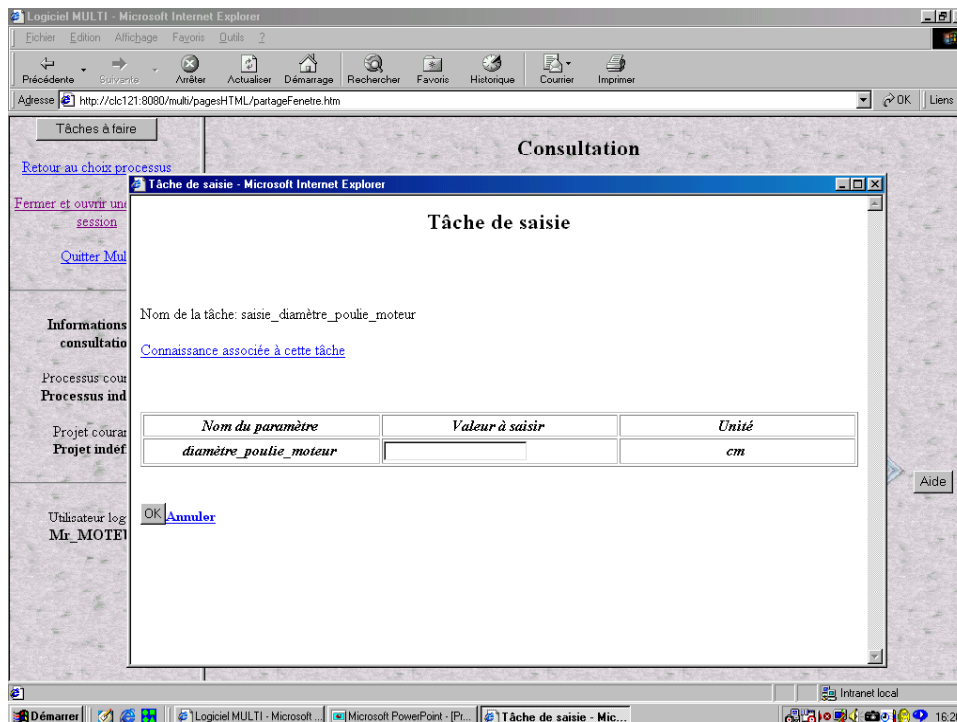


Figure 138 : Ouverture d'une tâche de l'agenda

L'acteur peut cliquer sur la tâche pour voir apparaître des connaissances sur sa réalisation (best practices, retours d'expérience, pointeur sur les valeurs choisies sur d'autres projets, etc.) (figure 139)

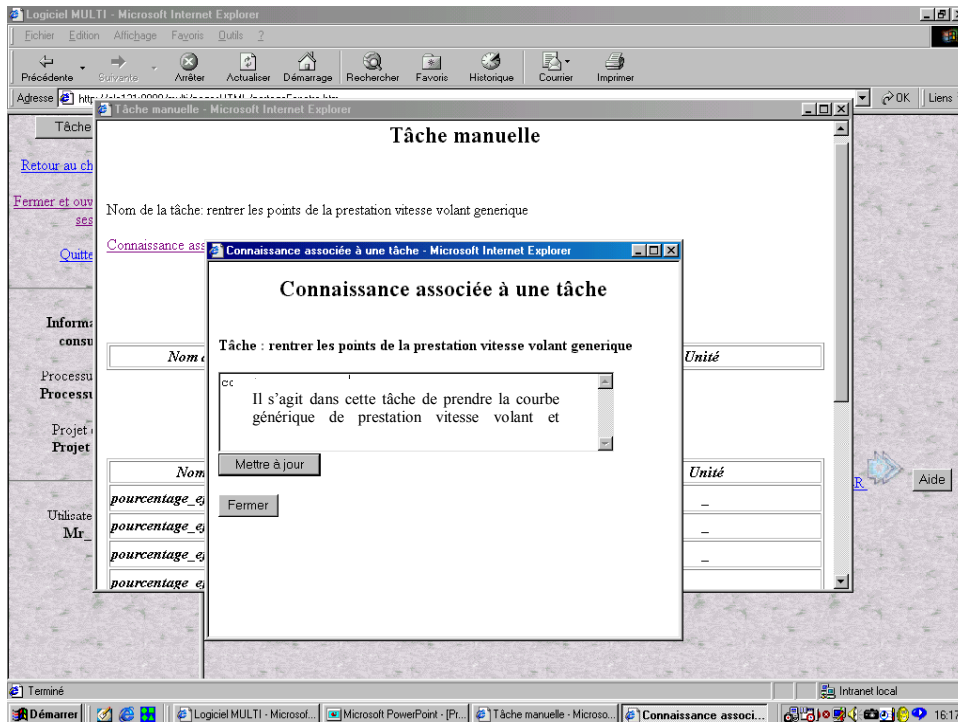


Figure 139 : Ouverture des connaissances sur une tâche

L'acteur peut également consulter les résultats sur un projet donné après avoir sélectionné un processus de conception. Il doit alors sélectionner un projet terminé ou un projet en cours (voir figure 140).

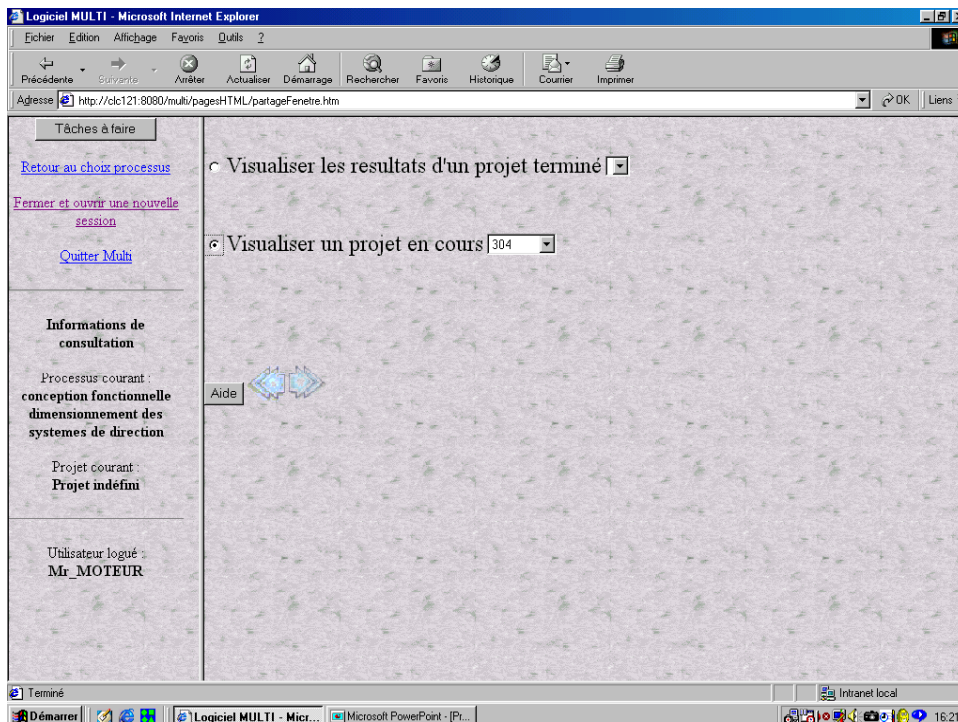


Figure 140 : Menu après le choix d'un processus, choix d'un projet

L'acteur peut alors visualiser les instances de paramètres ou les instances de tâches. Il peut également consulter le compte-rendu des résultats et du déroulement du projet. L'acteur peut trier les paramètres par fonction, par article ou par ordre alphabétique (figure 141).

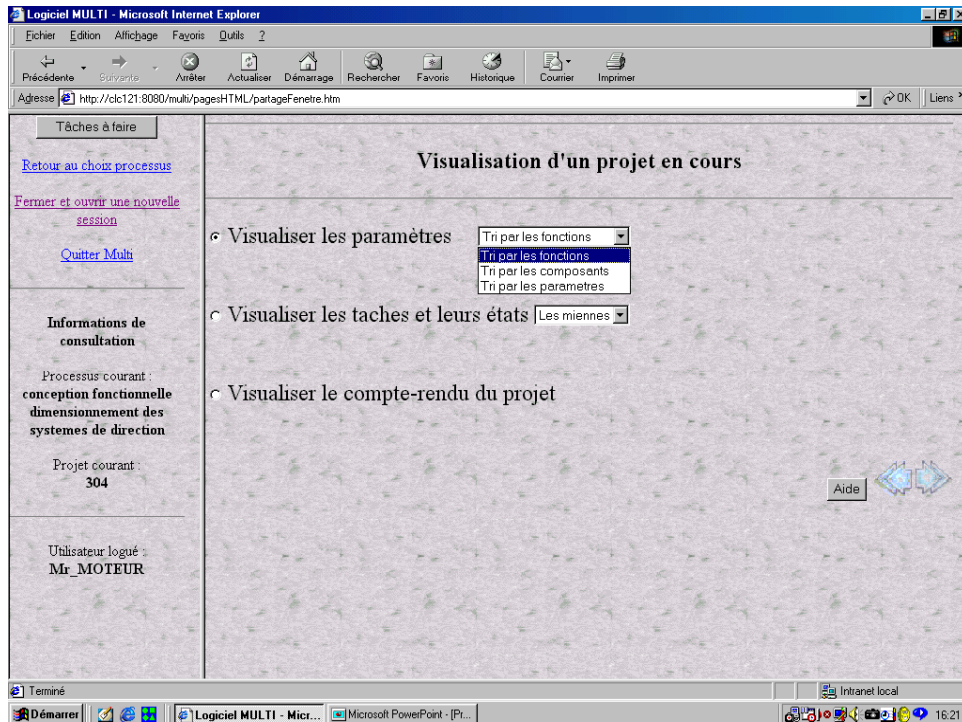


Figure 141 : Menu après choix « visualiser les résultats d'un projet en cours »

Si l'acteur choisit de consulter les paramètres par article, il voit apparaître les paramètres du projet et l'attribut de leurs instances (voir figure 142). Un code de couleur permet d'avoir un suivi de l'instanciation du produit et de l'avancement de la conception.

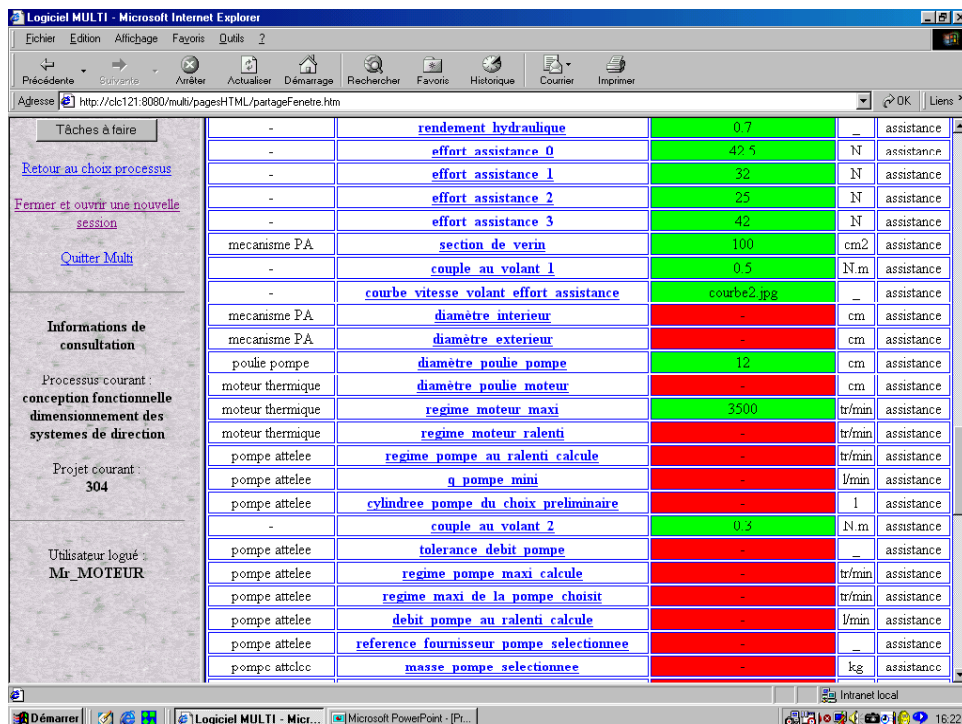


Figure 142 : Choix de visualisation des paramètres

Si l'acteur sélectionne un paramètre, il voit apparaître toutes les instances du paramètre sur tous les projets sur lequel le processus de conception s'est déroulé ainsi que le versionnement de ces instances de paramètre (figure 143).

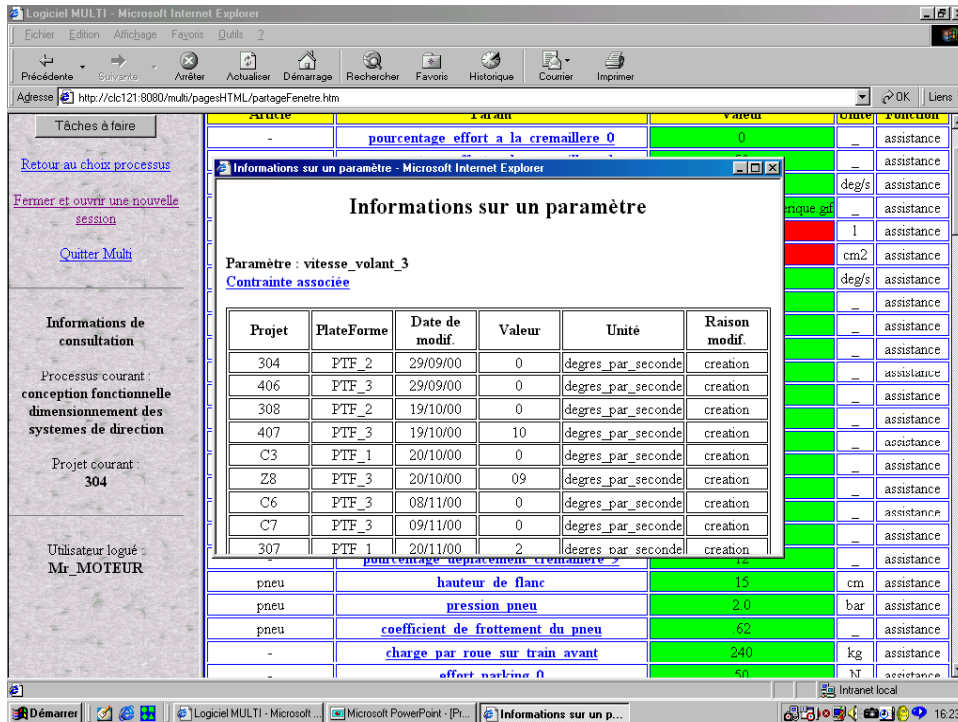


Figure 143 : Visualisation des informations sur un paramètre après avoir cliquer dessus

Si l'acteur choisit de visualiser les tâches et leurs instances, il voit apparaître l'ensemble des tâches du processus de conception sur le projet choisi. Un code de couleur permet d'avoir un suivi d'avancement du projet selon l'état des tâches (figure 144).

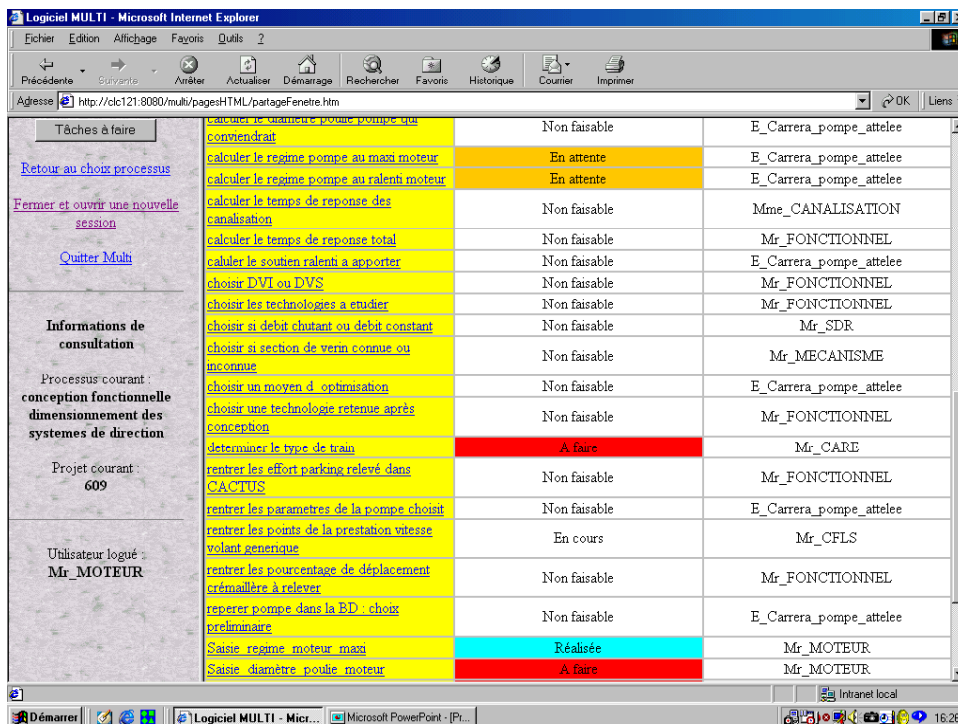


Figure 144 : Liste des tâches et leur état

L'acteur peut cliquer sur une tâche et voir les connaissances du domaine (domaine) de la tâche. Ainsi il peut voir ses tâches précédentes, ses paramètres d'entrée et de sortie, ses connaissances, etc (figure 145).

4. Perspectives : MULTI pour la conception détaillée de produits industriels

MULTI pourrait servir à la conception détaillée. Il suffirait de le coupler avec un moteur de propagation de contraintes et un modelleur CAO pour la représentation des résultats géométriques (voir avec le logiciel DEKLARE de la société Kadetech). Les contraintes seraient alors consultables et modifiables dans MULTI. Ceci faciliterait leur maintenance, car, dans MULTI, ces contraintes sont intégrées dans le modèle produit et des connaissances qui les accompagnent. Ainsi un acteur, pourra bien connaître l'origine des contraintes avant de les modifier. La figure suivante représente le type d'architecture fonctionnelle qui serait possible avec le moteur de propagation de contraintes « Knowledge Ware » et le modelleur géométrique CATIA par exemple (figure 147).

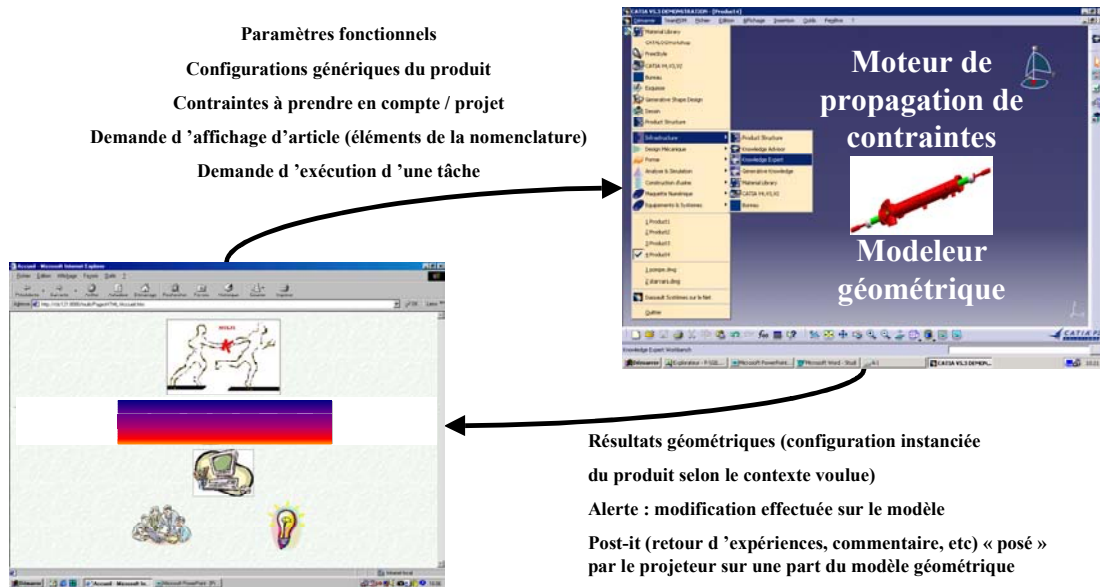


Figure 147 : Le lien entre MULTI et le logiciel Knowledge Ware de Dassault Systèmes

Pour la conception détaillée, les fonctionnalités de MULTI, qui ont été spécifiées pour la conception fonctionnelle, peuvent être utiles avec la configuration précédente (figure 147). Par exemple :

- Le stockage des informations et données sur la définition du produit (modèle géométrique)
- La gestion des flux d'information entre acteurs (consultation et push de morceaux de maquette numérique)
- Le déroulement du processus de conception détaillée => pilotage du modelleur géométrique / tâches
- La sollicitation (agenda de tâches à faire) des acteurs pour la réclamation d'informations et de contraintes
- La sollicitation des acteurs pour lancer l'exécution des tâches et les valider
- L'archivage (selon le référentiel MULTI - situations de vie) et gestion des contraintes et des règles
- La gestion des modifications => annotations et notifications aux autres acteurs
- La gestion des interfaces physiques
- Le Quality Functional Deployment géré par MULTI
- La gestion de la nomenclature et des versions
- Etc.

Chapitre 6

Application à la conception fonctionnelle des systèmes de direction assistée automobile

Ce chapitre va illustrer les concepts proposés dans les chapitres précédents sur un cas d'application qui a été étudié chez PSA Peugeot Citroën. Il s'agit du dimensionnement fonctionnel des systèmes de direction automobile. La conception fonctionnelle des systèmes de direction consiste à choisir une solution technologique parmi trois autres possibles puis à la dimensionner et à l'intégrer dans le véhicule afin de réaliser les fonctions attendues par celles-ci et d'atteindre leurs objectifs. Chaque solution a ses caractéristiques différentes et une architecture différente. Les solutions techniques sont composées d'articles.

Le référentiel métier a été réalisé pour ce domaine. Un extrait est présenté dans ce chapitre. Seule la conception fonctionnelle des systèmes de direction avec pompe hydraulique attelée au moteur thermique du véhicule est présentée. Les processus de conception fonctionnelle relatifs aux technologies électro-hydraulique et électrique ne sont pas présentés. Cependant, les processus de choix des solutions à étudier puis de la solution retenue sont détaillés. L'illustration se limite à une partie du référentiel métier, l'intérêt de ce chapitre n'étant pas de présenter le référentiel métier de la conception des systèmes de direction dans sa totalité mais plutôt de donner aux lecteurs quelques exemples d'application pour les concepts proposés dans l'étude.

En fin de ce chapitre, quelques perspectives possibles d'extension du référentiel métier pour la conception fonctionnelle à la conception détaillée du mécanisme de direction, sont présentées. Cette partie n'a pas fait l'objet d'une demande des concepteurs étant donné que la conception détaillée (et la fabrication) des mécanismes est réalisée chez un fournisseur. L'illustration faite ici permet de clarifier les résultats proposés pour la conception détaillée et surtout d'illustrer le lien entre le déroulement du processus de conception fonctionnelle et celui du processus de conception détaillée.

1. L'organisation de PSA

1.1. L'organigramme

Le groupe PSA Peugeot Citroën est divisé en cinq grandes directions (figure 148). Les concepts de la thèse ainsi que le prototype informatique ont été réalisés à la DINQ (Direction de l'Innovation et de la Qualité), au sein de l'entité OMIC (Outils et Méthodologies pour l'Ingénierie des Connaissances) du

département SIPP (Système d'Information Produit Process) de la DSIN (Direction des Systèmes d'INformation). L'entité OMIC a pour mission de spécifier des méthodologies et des outils informatiques pour la gestion des connaissances pour les métiers de la DPTA (Direction des Plate-formes, des Techniques et des Achats) et de DIFA (Direction Industrielle et Fabrication). Les concepteurs des systèmes de direction, qui nous ont aidé à illustrer les concepts de la thèse, forment une entité de la DOGN (Direction des OrGaNes) appelé CSDI (Conception des Systèmes de Direction).

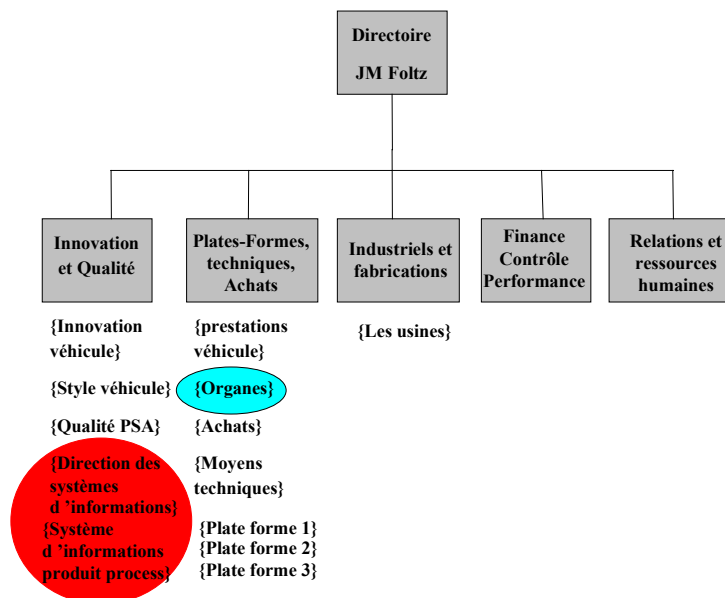


Figure 148 : L'organisation de PSA Peugeot Citroën

1.2. Le service CSDI

Les concepteurs du service d'étude des systèmes de direction automobile conçoivent les directions de tous les véhicules du groupe. Les concepteurs de CSDI doivent dimensionner et intégrer les systèmes de direction assistée (les directions mécaniques étant devenues obsolètes) dans les véhicules afin qu'ils atteignent les performances requises dans les cahiers des charges des véhicules tout en respectant les contraintes relatives à chaque projet (encombrement, faisabilité, délais, coûts, etc). Les performances requises des systèmes de direction sont exprimées sous forme de vitesse volant, couple du conducteur requis en fonction des efforts résistant à la manoeuvre du conducteur et des situations de vie du véhicule telles que le parking et la grande vitesse.

Plusieurs technologies sur étagère existent (système de direction électrique, hydraulique et électrohydraulique), les concepteurs doivent donc choisir la meilleure de ces technologies pour chaque véhicule. Les concepteurs du service d'étude des directions automobile ont de l'ordre de 10 types de véhicules à équiper simultanément. Pour chaque type de véhicule, les performances, motorisations, contraintes, etc, peuvent être différentes d'un véhicule à un autre ; ce qui oblige les concepteurs à travailler sur des versions différentes pour un type de véhicule donné. En effet, le choix de la technologie ou le dimensionnement pourront être différents pour des véhicules de même type mais de motorisations ou de boîtes de vitesse différentes.

Le service d'étude des systèmes de direction automobile comprend une trentaine de personnes. Parmi ces personnes, une dizaine d'ingénieurs sont responsables d'une partie du système (colonne de direction, canalisation, pompe hydraulique,...). Les ingénieurs conçoivent fonctionnellement le produit. Ils déterminent les paramètres fonctionnels du produit afin que celui-ci réalise les fonctions de service (comportement routier, assistance de direction, sécurité dans le freinage...) selon les performances requises (il s'agira de déterminer des débits, des régimes de pompe...). Le reste de l'équipe est composé de projecteurs CAO, ils ont la charge de faire la conception détaillée du produit et réalisent ainsi les

fonctions techniques (étanchéité, guidage en rotation...), choisissent les composants du produit et les dimensionnent « géométriquement ».

La coopération entre les concepteurs des systèmes de direction est étroite. Etant chacun responsables d'une partie du produit ils doivent tous prendre en compte ce que les autres font pour finalement consolider leur solution et obtenir le produit final assemblé, performant, de bonne qualité et faisable. Les concepteurs de CSDI coopèrent également avec des personnes externes au service. Ces personnes peuvent être d'autres concepteurs d'organes ou d'autres métiers travaillant sur une des phases du cycle de vie du produit. Pour concevoir à moindre coût, les concepteurs de systèmes de direction doivent prendre en compte des contraintes externes au système de direction (par exemple ils doivent prendre en compte la valeur du ralenti moteur, la valeur des sections à choisir afin de réutiliser les broches existantes en fabrication, etc).

2. Les besoins exprimés par les concepteurs de systèmes de direction

Les besoins exprimés par les concepteurs de CSDI se localisent majoritairement en conception fonctionnelle (phase amont à la CAO qui se fait chez eux sous CATIA). Leurs besoins sont :

- D'**archiver** les informations (notamment les paramètres de définition du produit ou des contraintes sur le produit) issus de la conception fonctionnelle pour faciliter leur **consultation**, leur **mise à jour**, leur **partage** à l'ensemble des acteurs intéressés puis leur **diffusion dans un contexte de conception multi projets, multi acteurs et multi sites**
- De **formaliser** leur activité et d'être assistés dans le déroulement de leur processus de conception fonctionnelle qui est **routinière** et dans les échanges associés d'informations (**flux d'information**) et de contraintes
- D'être assistés dans la **gestion des modifications** (redéroulement du processus de conception routinière) intervenant en cours de projet, l'identification des impacts des modifications pour alerter les personnes concernées par ces modifications.
- De rédiger rapidement des **comptes rendus** de projets exhaustifs

La problématique présentée dans le chapitre 1 est issue en partie des observations faites chez CSDI. Les propositions de la thèse prennent en compte les besoins exprimés par les utilisateurs mais également des besoins observés et qui ne sont pas encore perçus, car non prioritaires, par les utilisateurs. Cependant, tous nos résultats proposés sont illustrés sur le cas des systèmes de direction.


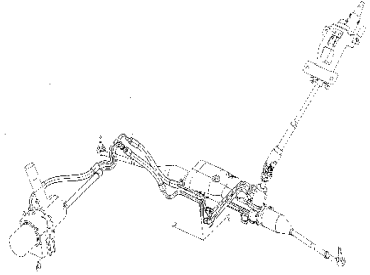
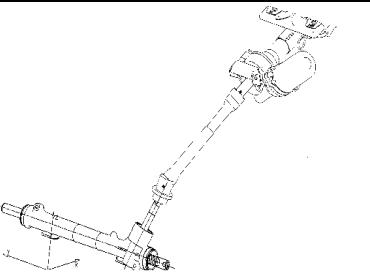
3. Description du cas d'application

3.1. La technologie conçue

3.1.1. Composition

Il existe trois types de technologie pour les systèmes de direction : les systèmes de direction avec pompe attelée au moteur, avec GEP (Groupe Electro-Pompe) ou les D.A.E. (Directions Assistées Electriques). Toutes ces technologies sont composées d'une colonne, d'un mécanisme, d'une source de puissance, de tuyaux, de faisceaux électriques.

Trois technologies	Leurs constituants
--------------------	--------------------

 <p>Direction hydraulique</p>	<p>Une pompe hydraulique attelée au moteur Une poulie (courroie) Un mécanisme avec vérin et crémaillère (valve associée) Des canalisations Une colonne</p>
 <p>Direction électro-hydraulique</p>	<p>Un groupe électro-pompe (GEP) Un mécanisme avec vérin et crémaillère (valve associée) Des canalisations Des faisceaux électriques Une colonne</p>
 <p>Direction électrique</p>	<p>Un moteur électrique (3 configurations) ➤ Sur colonne ➤ Sur crémaillère ➤ Sur pignon Un mécanisme avec système roue et vis sans fin Des faisceaux électriques Une colonne</p>

3.1.2. fonction

La fonction principale de la direction est :

- Permettre au conducteur la dirigeabilité du véhicule avec le maximum de confort et de sécurité dans toutes les situations de vie du véhicule

Cette fonction est caractérisée par une courbe vitesse volant en fonction de l'effort à la crémaillère (dépendant de la vitesse du véhicule et maximum quand les manoeuvres se font en parking avec un véhicule ayant une vitesse nulle) puis les couples du conducteur au volant admis.

3.2. Le processus de conception cible

La conception fonctionnelle pour le dimensionnement des systèmes de direction vise à dimensionner la source de puissance des directions assistées (les directions mécaniques ne faisant pas l'objet de l'étude étant devenues obsolètes). Plus globalement, il s'agit de déterminer tous les paramètres permettant de satisfaire les prestations requises relatives aux fonctions principales (assistance) et également aux fonctions externes (contraintes) à la direction.

La direction a la fonction principale suivante :

- Permettre au conducteur la « dirigeabilité » du véhicule avec un niveau optimum de confort et de sécurité dans toutes ses situations de vie possibles du véhicule (en courbe, à grande vitesse, sur verglas...).

Les trois fonctions suivantes ont été identifiées:

- Assurer les manoeuvres d'évitement à grande vitesse

- Assurer les manoeuvres parking avec le minimum d'effort et de manoeuvres du conducteur
- Assurer le durcissement (pour le conducteur) de la direction à grande vitesse

Les systèmes de direction impactent également des fonctions extérieures. En effet, par exemple, pour réaliser cette fonction précédente, le système de direction hydraulique « puise » son énergie sur le moteur thermique du véhicule (environnement extérieur). Il faudra donc se préoccuper de la fonction suivante qui est propre au moteur (contraintes) :

- consommation de carburant (pour des raisons commerciales et écologiques)

La direction impacte également de nombreuses autres fonctions notamment avec son paramètre masse:

- comportement vibratoire, tenue de route, amortissement...

La conception fonctionnelle est la charnière entre les besoins clients et la définition détaillée du produit (voir figure 149).

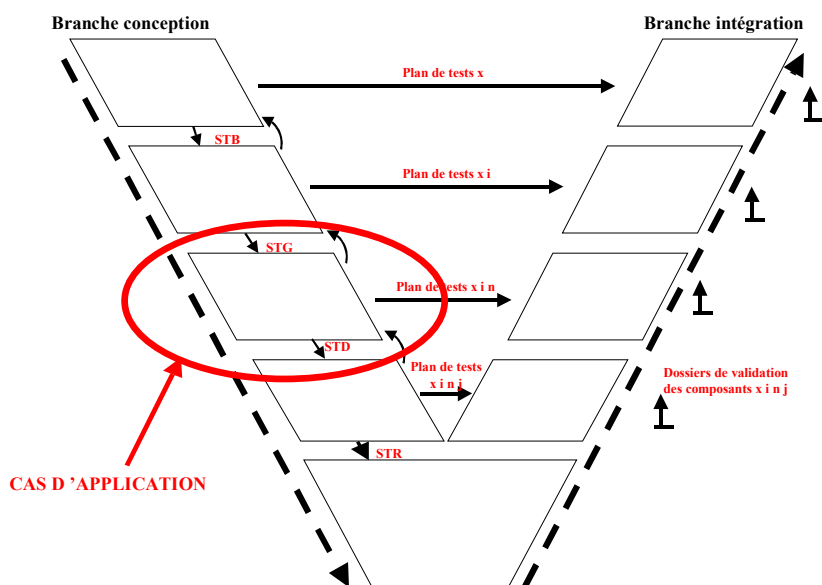


Figure 149 : La situation de notre cas d'application par rapport au cycle en V

La conception fonctionnelle est l'étape de la conception qui est chargée de définir les paramètres fonctionnels du produit à concevoir « en réponse » aux spécifications techniques des besoins. La conception fonctionnelle des systèmes de direction permet de choisir une technologie, de dimensionner les organes qui la composent ainsi que sa source de puissance afin qu'elle réponde aux objectifs exprimés dans le cahier des charges (figure 150).

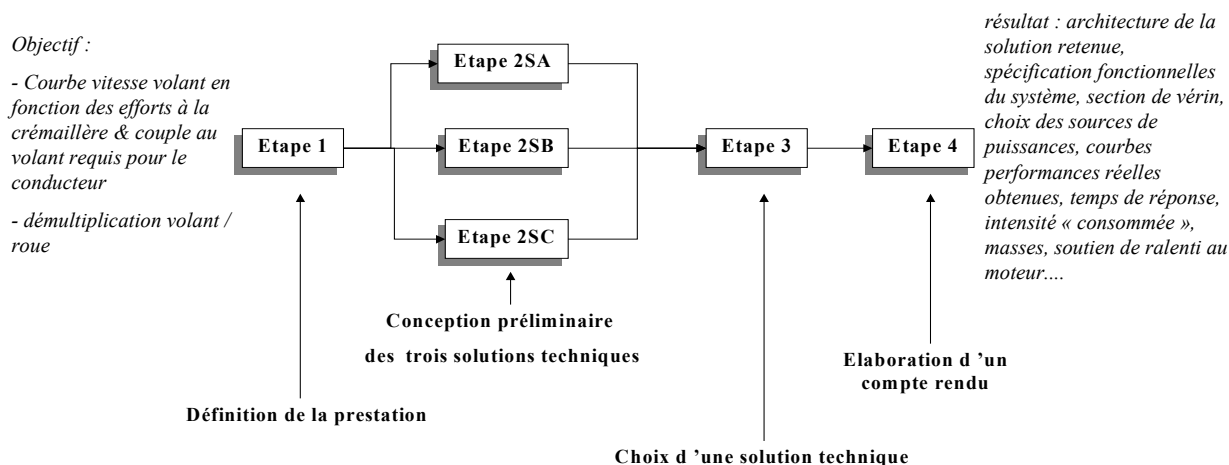


Figure 150 : La conception fonctionnelle / dimensionnement des systèmes de direction

Les étapes (niveau macroscopique) du processus de conception sont alors les suivantes.

Tâches	Action
Etape I 1	Définition de la prestation fonctionnelle qui fixera les objectifs fonctionnels de la direction à laquelle les concepteurs veulent aboutir
I 2	Pour chaque prestation relative à une fonction propre, faire la conception fonctionnelle et l'optimisation de chaque solution technique envisageable en parallèle (proposer pour chacune le meilleur choix possible en terme de coûts, performances...)
I 2SA	Pour direction hydraulique (pompe attelée)
I 2SB	Pour direction électro-hydraulique (G.E.P)
I 2SC	Pour direction électrique
I 3	Comparaison des solutions techniques et choix d'une seule solution
I 4	Elaboration d'un compte rendu

3.3. Les acteurs

Les acteurs qui participent à la conception (définition et contraintes) des systèmes de direction sont les suivants :

- Le responsable du service
- Le responsable des spécifications fonctionnelles
- L'architecte de la liaison au sol
- Le représentant du projet au niveau des plate-formes véhicules
- Le concepteur des colonnes de direction
- Le concepteur des mécanismes
- Le concepteur des DAE
- Le concepteur de pompe électro-hydrauliques GEP
- Le concepteur de pompes hydrauliques
- Le concepteur des moteurs
- Le concepteur des tuyaux
- Le concepteur des faisceaux électriques

Dans la suite, les abréviations suivantes sont utilisées pour les acteurs :

Rôle de l'acteur	Abréviation
Responsable des canalisations	CANA
Responsable de la conception fonctionnelle de la liaison au sol	CFLS
Responsable des colonnes	COL
Responsable des DAE	DAE
Responsable des pompes électro-hydrauliques	GEP
Responsable du mécanisme	MECA
Responsable des moteurs	MOT
Responsable des pompes hydrauliques attelée	PA
Pilote Produit Process LAS	PPP
Responsable électricité véhicule	ELEC
Responsable des systèmes de direction	SYST
Responsable tenue de route	SDV/SDR
Responsable de l'architecture LAS	ARC

4. Le référentiel métier (extrait) pour la conception des systèmes de direction

Nous allons illustrer dans ce paragraphe une partie de la méthode de capture des connaissances présentée dans le chapitre 4 ainsi qu'une partie du meta modèle présenté dans le chapitre 3. Le mode de

déroulement qui est envisagé dans ce cas d'application est le mode 3 où il n'y a pas de tâche de définition et où les tâches ne sont pas enchaînées et sont définies par leur entrée et sortie ainsi que leurs conditions d'exécution.

- **PHASES DE CONCEPTION FONCTIONNELLE (AMONT À LA CAO)**

A. Recueillir les caractéristiques du produit

1. Identifier les classes d'articles du système étudié

Les articles composant les systèmes direction sont pour les trois technologies confondues :

ARTICLE
Système de direction
La colonne de direction
La pompe hydraulique
Valve
Le moteur électrique
Le groupe électro-pompe
La canalisation
Le mécanisme pneumatique
Le mécanisme mécanique
Ensemble pignon crémaillère
Poulie pompe hydraulique
Les faisceaux électriques

Les classes d'article des systèmes environnant et qui interviennent dans la conception fonctionnelle des systèmes de direction sont les suivant :

ARTICLE
Véhicule
Train avant
Moteur du véhicule
Poulie moteur thermique
Alternateur véhicule
Volant
châssis
Bloc avant véhicule

2. Identifier toutes les solutions techniques

Les solutions techniques de l'étude des directions sont par exemple :

SOLUTIONS TECHNIQUES
Système de direction électrique
Système de direction hydraulique
Système de direction électro-hydraulique
Pompe attelée
Groupe électro-pompe
Moteur électrique
Direction à vérin intégrée (DVI)
Direction à vérin sortie (DVS)
Pompe à débit chutant
Pompe à débit constant

Moteur électrique sur crémaillère
Moteur électrique au volant
Moteur électrique sur colonne

3. Identifier la décomposition (lien « est composé de ») des articles, faire l'arborescence générique et structurelle du produit (donner un identifiant à l'article et un nom)

La décomposition du mécanisme est par exemple :

ARTICLE	ARTICLE
Mécanisme	Tige de vérin
	Corps du vérin
	Tête du vérin
	Rotule pour biellette
	Fixation carter
	Crémaillère

4. Identifier la composition en article des solutions techniques (lien « est caractérisé par »)

Chaque solution technique est composée d'article. Pour les trois technologies principales des systèmes de direction, nous avons par exemple :

SOLUTION TECHNIQUE	ARTICLE
Système de direction électrique	Le moteur électrique
	La colonne de direction
	Le mécanisme
	Valve
	Les faisceaux électriques
Système de direction hydraulique	La pompe attelée
	La colonne de direction
	La canalisation
	Le mécanisme
	Valve
	Les faisceaux électriques
Système de direction électro-hydraulique	Le groupe électro-pompe
	La colonne de direction
	La canalisation
	Le mécanisme

5. Déterminer les incompatibilités d'assemblage des articles

Les solutions techniques (et leur décomposition) sont bien évidemment incompatibles entre elles. Un exemple d'incompatibilité entre article peut être : l'usage de la climatisation n'est pas compatible avec la solution système de direction hydraulique avec pompe attelée au moteur.

6. identifier les fonctions du système et leur décomposition, faire l'arborescence générique et fonctionnelle du produit

Dans cette partie, des exemple vont être donnés pour la conception des systèmes de direction.

- identifier les fonctions de service

- fonction d'usage

FONCTION D'USAGE
Assistance
Rapidité de réponse de la direction (manœuvre d'évitement)
Dirigeabilité du véhicule

Autres fonctions non « étudiées » dans la cas d'application

FONCTIONS
Suivi de trajectoire
Sensation de sécurité et perception des limites
Sensation d'adhérence à la route
Robustesse aux manœuvres d'urgences
Manœuvrabilité
Douceur de précision au roulage
Tenue de cap
Vibrations

- fonctions d'estime

FONCTION D'ESTIME
Esthétique

- identifier les fonctions techniques

FONCTION TECHNIQUE
Masse
Transformer le couple volant en effort crémaillère
Transformer le déplacement angulaire du volant en déplacement angulaire des roues
Transformer le couple volant en couple colonne
Transformer le couple colonne en effort crémaillère
Transformer l'effort en crémaillère en couple de rotation (direction) des roues

- identifier les fonctions contraintes

FONCTIONS CONTRAINTES
Fabricabilité de chaque article de la direction
Montabilité de chaque article de la direction
Achat de chaque article

7. Faire le lien entre les fonctions de service et les fonctions techniques (lien « est déclinée par »)

Cette décomposition n'est pas utilisée dans la conception fonctionnelle, par contre elle est utile en conception détaillée (voir la conception détaillée)

FONCTION	FONCTION
Dirigeabilité	Transformer le couple volant en effort crémaillère
	Transformer le déplacement angulaire du volant en déplacement angulaire des roues

Transformer le couple volant en effort crémaillère	Transformer le couple volant en couple colonne
	Transformer le couple colonne en effort crémaillère
	Transformer l'effort en crémaillère en couple de rotation (direction) des roues

8. Faire le lien entre les fonctions techniques puis de service et les solutions techniques (lien « est réalisée par »)

Quelques exemples de liens sont :

FONCTION	SOLUTION TECHNIQUE
Assistance	Système de direction électrique
	Système de direction hydraulique
	Système de direction électro-hydraulique
	Pompe hydraulique
	Mécanisme
	Moteur électrique
	Groupe électro-pompe
	Direction à vérin intégré
	Direction à vérin sortie
Assurer le débit	Pompe à débit chutant
	Pompe à débit constant
Transmettre le couple	Colonne de direction
	Mécanisme
	Volant

9. Faire le lien entre les fonctions et les articles (lien « est réalisée par »)

Un article peut participer à plusieurs fonctions et une fonction peut être réaliser par plusieurs articles (Q.F.D.). Ces associations découlent de celle entre les fonctions et les paramètres, les paramètres caractérisant les articles.

Article	Fonction
Moteur thermique du véhicule	Assistance
	Consommation de carburant
Mécanisme	Assistance
	Dirigeabilité

10. Lister l'ensemble des paramètres caractérisant les articles (lien « caractérise »)

La liste des paramètres étant véhiculés dans le processus de conception fonctionnelle (fonction assistance) des systèmes de direction est décrite dans le tableau suivant. Ainsi pour chaque projet véhicule, l'ensemble des paramètres de cette liste est instancié différemment :

Paramètre	Intitulé exact	Signification	Unité
$C_{\text{conducteur}}$	Couple au volant du conducteur	Il s'agit du couple fournit par le conducteur sur le volant.	daN.m
Cyl	Cylindrée de la pompe	Il s'agit de la cylindrée de la courbe.	cm ³ /tr
C_{moteur}	Couple moteur		N.m
D	Déplacement de la crémaillère par rapport à l'angle de roue	Cette valeur donne le rapport « d'engrènement » entre le déplacement crémaillère et la rotation du pignon (relié à la colonne qui elle-même est relié au volant). Cette valeur varie en fonction de la position crémaillère.	mm crémaillère / deg roue

Démul	Démultiplication pignon / crémaillère	Cette valeur correspond au nombre de tour volant (tour colonne ou tour pignon) à faire pour faire coulisser la tige de vérin d'une valeur donnée.	sans unité
F _{assistance}	Effort d'assistance	Cet effort représente l'effort du système de direction (couple au volant) qui permet d'aider le conducteur (effort conducteur) à vaincre les efforts résistant (effort crémaillère) lors du braquage des roues. Cet effort est ramené à la crémaillère (par rapport à son axe).	daN
F _{assistance_maxi}	Effort d'assistance maximum		daN
F _{crémaillère}	Effort crémaillère	C'est l'effort crémaillère requis par le système de direction	daN
F _{conducteur}	Effort conducteur	Cet effort représente l'effort du conducteur (couple au volant) ramené à la crémaillère (par rapport à son axe). Cet effort avec l'effort d'assistance « combattent les efforts résistants (effort crémaillère)	daN
F _{déformation}	Effort de déformation	A l'arrêt du véhicule, lorsque l'on tourne le volant, le pneu se déforme. Cette déformation crée un effort résistant s'opposant au déplacement de la crémaillère, c'est ce qu'on appelle l'effort du à la déformation	daN
F _{levée}	Effort de levée	A l'arrêt du véhicule, lorsque l'on tourne le volant, le véhicule monte ou descend (selon la position du volant et le sens de rotation du volant), c'est ce qu'on appelle la levée de caisse (due à la géométrie du train...). Celle-ci crée un effort résistant s'opposant au déplacement de la crémaillère, c'est ce qu'on appelle l'effort du à la levée de caisse ou l'effort de levée.	dan
F _{limite}	Effort limite		N
F _{parking}	Effort parking	Cet effort correspond à l'effort résistant s'opposant au déplacement de la crémaillère, celui-ci projeté sur l'axe de la crémaillère. Il est équivalent de l'effort crémaillère quand le véhicule est à vitesse nulle. L'effort résistant prend en compte le frottement des roues sur la route, à la géométrie du train avant...L'effort parking (effort crémaillère) s'oppose au déplacement de la crémaillère et donc à l'effort » fourni par le conducteur pour faire tourner les roues.	daN
F _{parking_maxi}	Effort de parking maximum	Cet effort correspondant à l'effort parking maximum, c'est à dire quand on est en braquage maximum des roues.	daN
F _{ripage}	Effort de ripage	A l'arrêt du véhicule, lorsque l'on tourne le volant, les pneus frottent en pivotant sur la route, c'est ce qu'on appelle le ripage. Celui-ci crée un effort résistant s'opposant au déplacement de la crémaillère, c'est ce qu'on appelle l'effort du au ripage du pneu sur le sol ou l'effort de ripage.	daN
f _{pneu/sol}	Coefficient de frottement du pneu sur le sol	Il s'agit du coefficient de frottement des pneus sur le sol.	sans unité
h _{fanc}	Hauteur du pneu sous la jante	Il s'agit de la hauteur du pneu sous la jante. Pour la connaître on peut avoir besoin du diamètre intérieur et extérieur du pneu.	cm
I _{cycle moyen client}	Intensité moyenne du cycle client	Il s'agit de l'intensité moyenne en usage	A
I _{démarrage}	Intensité de démarrage		A
I _{maxi}	Intensité maximum		A
I _{moyen}	Intensité moyenne		A
L _{canalisation}	Longueur des canalisations		Cm

L _f	Longueur des faisceaux		M
M _{canalisations pa}	Masse des canalisations		Kg
M _{colonne pa}	Masse de la colonne		Kg
M _{mécanisme pa}	Masse du mécanisme		Kg
M _{pompe-attelée pa}	Masse de la pompe attelée		Kg
M _{totale pa}	Masse totale du système		Kg
M _{valve pa}	Masse de la valve		kg
M _{canalisations GEP}	Masse des canalisations		Kg
M _{colonne GEP}	Masse de la colonne		Kg
M _{faisceaux GEP}	Masse des faisceaux		Kg
M _{GEP}	Masse du GEP		Kg
M _{mécanisme GEP}	Masse du mécanisme		Kg
M _{totale GEP}	Masse totale du système		Kg
M _{valve gEP}	Masse de la valve		kg
M _{totale dae}	Masse totale du système		Kg
M _{colonne dae}	Masse de la colonne		Kg
M _{mécanisme dae}	Masse du mécanisme		Kg
M _{faisceaux dae}	Masse des faisceaux		Kg
M _{moteur dae}	Masse du moteur		Kg
N _{pompe maxi}	Régime maxi de la pompe		Tr/min
N _{pompe-mini}	Régime mini garanti de la pompe	Il s'agit de la valeur donnée (c'est un point q _{min} , N _{mini}) par le constructeur à partir de laquelle la courbe q=f(N) est tracée. Cette pente dépend de la cylindrée de la courbe.	Tr/min
N _{pompe ralenti}	Régime ralenti de la pompe au ralenti moteur		Tr/min
p _{pneu}	Pression de gonflage des pneus	Il s'agit de la pression de gonflage des pneus.	bar
p _{pompe}	Pression de la pompe		bar
P _{pompe maxi}	Pression maxi de la pompe		Bar
Pl	Pertes en ligne		V
Q	charge limite sur train avant par roue	Cette valeur correspond à la charge supportée par chaque roue. Cette charge est la moitié de celle du train avant sachant que c'est le moteur qui la représente en partie (pour avoir un dimensionnement unique pour chaque véhicule, on considère la masse de référence du véhicule + la masse des options du même véhicule toutes options).	kg
Q _{chutant}	Débit chutant	Le débit chutant correspond à la valeur du débit chutant de la pompe. En effet, habituellement, le débit est constant, c'est à dire qu'il reste constant (via un régulateur de débit) quelquesoit la vitesse d'entraînement de la pompe. Il est possible de faire chuter ce débit à partir d'une vitesse de rotation d'entraînement de la pompe donnée. L'objectif est en fait de « durcir » la direction quand on est à grande vitesse sur autoroute.	l/min
Q _{fuite-valve}	Débit de fuite de la valve	La valve a des fuites qu'il faut prendre en compte.	l/min
Q _{pompe}	Débit de la pompe		l/min
Q _{pompe-mini}	Débit mini pompe garanti	Il s'agit de la valeur donnée (c'est un point q _{min} , N _{mini}) par le constructeur à partir de laquelle la courbe q=f(N) est tracée. Cette pente dépend de la cylindrée de la courbe.	l/min
Q _{pompe ralenti}	Débit de la pompe au ralenti moteur	Il s'agit du débit correspondant à l'entraînement en rotation correspondant au régime ralenti moteur via la courroie et les poulies.	l/min
L _{canalisation}	Longueur des canalisations		Mm

Sf	Section des faisceaux		m ²
Soutien	Soutien de ralenti	Il s'agit de la valeur qu'il faut rajouter au régime de ralenti moteur pour permettre à la pompe d'être entraînée au bon régime en manœuvre parking.	Tr/min
S _{vérin}	Section du vérin		Cm ²
T _{calculateur_pa}	Temps de réponse du calculateur	(option)	S
T _{canalisations_pa}	Temps de réponse des canalisations		S
T _{pompe-attelée}	Temps de réponse de la pompe attelée		S
T _{canalisations_GEP}	Temps de réponse des canalisations		S
T _{calculateur_GEP}	Temps de réponse du calculateur	(option)	S
TGEP	Temps de réponse du GEP		S
T _{calculateur_dae}	Temps de réponse du calculateur	(option)	S
T _{moteur_dae}	Temps de réponse du moteur		S
Tol _{débit_pompe}	Tolérance sur le débit de la pompe		L/min
X _{crémaillère}	Position de la crémaillère	Cette position correspond au déplacement d'un point de la crémaillère par rapport au sens axial de celle-ci et en prenant comme origine ce point dans la configuration braquage des roues nul. Cette position varie de la valeur nulle à la valeur correspondant à la course crémaillère maximum.	Cm
X _{crémaillère_maxi}	Déplacement crémaillère maximum	Cette position correspondant au déplacement de la crémaillère dans la configuration braquage maximum des roues.	Cm
βm	Braquage moyen	Cette valeur donne le braquage moyen des roues. Cette valeur est calculée par le logiciel CACTUS.	degrés
φ _{crémaillère}	Diamètre de la crémaillère		cm
φ _{poulie/moteur}	Diamètre poulie du moteur		Cm
φ _{poulie/pompe}	Diamètre poulie de la pompe		Cm
φ _{vérin}	Diamètre du vérin		cm
η _{train}	Rendement du train	Ce rendement est mécanique, il prend en compte la géométrie, les frottements...	sans unité
ΔC	Variation de couple au volant (conducteur)		DaN.m
Δp	Pertes de charges dans le circuit retour	Les pertes de charges sont dues au frottement visqueux dans les canalisations et la valve.	bar
Δvoie	Variation de la voie	Cette valeur est une caractéristique cinématique donnée par le logiciel CACTUS. Elle varie pour chaque valeur de déplacement à la crémaillère.	mm voie / mm crémaillère
Δx _{crémaillère}	Réduction course crémaillère		Mm
Δzn	Variation d'altitude du point bas de roue	Cette valeur est une caractéristique cinématique donnée par le logiciel CACTUS. Elle varie pour chaque valeur de déplacement à la crémaillère.	mm ZB / mm crémaillère

η_{pignon}	Rendement pignon / crémaillère	Il s'agit du rendement mécanique de l'engrènement du pignon sur la crémaillère	sans unité
$\eta_{\text{hydraulique}}$	Rendement hydraulique	Il s'agit du rendement hydraulique	sans unité
$\mu_{\text{canalisation}}$	Coefficient de dilatation des tuyaux	$\mu_{\text{canalisation}} = \frac{\text{volume d'huile retardé}}{\text{longueur canalisation} \times \text{pression maxi}}$	M ³ /m.ba r
ρf	Résistivité des faisceaux		Ohm.m
Ω_{moteur}	Régime moteur		Tr/mn
Ω_{volant}	Vitesse volant	Il s'agit de la vitesse de rotation du volant	tr/s

Ces paramètres peuvent être des paramètres externes ou des paramètres intrinsèques aux systèmes de direction

➤ Paramètre externe (effort extérieurs):

ARTICLE	PARAMETRE EXTERNES
Tous systèmes de direction (CFLS)	Courbe vitesse volant en fonction de l'effort à la crémaillère en %
	Les % $F_{\text{crémaillère}}$
	Les Ω_{volant}
	Les $C_{\text{conducteur}}$
	Démul
Système de direction (SYST)	Courbe effort parking en fonction du déplacement de la crémaillère
	Courbe vitesse volant en fonction de l'effort à la crémaillère
	Courbe vitesse volant en fonction de l'effort d'assistance
	Courbe vitesse volant en fonction du couple d'assistance
	Les $F_{\text{crémaillère}}$
	Les % $X_{\text{crémaillère}}$
	Les $X_{\text{crémaillère}}$
	Les F_{parking}
	$X_{\text{crémaillère_maxi}}$
	$F_{\text{parking_maxi}}$
	$D(x_i)$
	$\Delta z_n(x_i)$
	$\Delta \text{voie}(x_i)$
	β_m
	$F_{\text{déformation}}(x_i)$
	$F_{\text{levée}}(x_i)$
	$F_{\text{levée}}(x_i)$
	Les n1 $F_{\text{conducteur}}$
Les n1 $F_{\text{assistance}}$	
Train avant	η_{train}
Avant du véhicule	Q
Moteur	N pompe ralenti

N pompe maxi
$\phi_{\text{poulie-moteur}}$
Soutien
Consommation engendrée par pompe hydraulique

➤ paramètre intrinsèque pour chaque solution (système de direction)

SOLUTION TECHNOLOGIQUE	ARTICLE	PARAMETRE INTRINSEQUE
Solution hydraulique	Pompe hydraulique	Courbe débit pression
		Les n l débit
		Les n l pression
		Les q chutant
		q constant
		q pompe ralenti
		q pompe mini
		Liste fournisseur
		$\phi_{\text{poulie-pompe}}$
		Cylindrée
		Tol _{débit pompe}
		M _{pompe hydraulique}
		T _{pompe hydraulique}
	Circuit du fluide	Δp
	Fluide	M _{fluide}
	Mécanisme et valve	DVI ou DVS
		η_{pignon}
		q _{fuite-valve (courbe)}
		S _{vérin}
		$\phi_{\text{erémaillère}}$
		$\phi_{\text{vérin}}$
		P _{vérin maxi}
	M _{mécanisme & valve}	
	Colonne	M _{colonne}
	Calculateur	T _{calculateur}
	Canalisations	$\eta_{\text{hydraulique}}$
		$\mu_{\text{canalisation}}$
		L _{canalisation}
M _{canalisations}		
T _{canalisations}		

SOLUTION TECHNOLOGIQUE	ARTICLE	PARAMETRE INTRINSEQUE
Solution électro-hydraulique	GEP	Courbe débit pression
		Les n l débit
		Les n l pression
		Les q chutant
		q constant
		q pompe ralenti
		q pompe mini
		Liste fournisseur
		Cylindrée

		Tol _{débit pompe}
		M _{GEP}
		T _{GEP}
		I _{cycle moyen client}
		I _{veille}
		I _{maxi}
		I _{démarrage}
		DVI ou DVS
	Mécanisme et valve	q _{fuite-valve (courbe)}
		S _{vérin}
		φ _{crémaillère}
		φ _{vérin}
		P _{vérin maxi}
		M _{mécanisme & valve}
	Colonne	M _{colonne}
	Calculateur	T _{calculateur}
	Canalisations	η _{hydraulique}
		μ _{canalisation}
		L _{canalisation}
		M _{canalisations}
		T _{canalisations}
	Faisceaux	S _f
		L _f
		ρ _f
		Pl
		M _{faisceaux}
T _{faisceaux}		
Fluide	M _{fluide}	

SOLUTION TECHNOLOGIQUE	ARTICLE	PARAMETRE INTRINSEQUE
Solution électrique	Moteur électrique	Courbe (vitesse moteur, couple moteur)
		M _{moteur}
		T _{moteur}
		I _{veille}
		I _{maxi}
		I _{démarrage}
		I _{cycle moyen client}
		M _{mécanisme}
	Colonne	M _{colonne}
	Faisceaux	S _f
		L _f
		ρ _f
		Pl
		M _{faisceaux}
		T _{faisceaux}

11. Déterminer les natures des paramètres et les liens avec les paramètres (lien « est associée à »)
(voir ci-dessus)

12. identifier le lien entre les paramètres et les fonctions (lien « est défini par »)
tous les paramètres présentés ci-dessus participent à la fonction assistance

Paramètre	Fonction
Régime de ralenti moteur	Assistance
	Consommation de carburant
Démultiplication pignon crémaillère	Assistance
	Dirigeabilité

13. Déterminer les attributs que peut avoir le paramètre sur un projet donné (donner un identifiant, donner un nom)

PARAMETRE	ATTRIBUT
Section	Connu ou inconnu

14. Identifier toutes les phases du cycle de vie du produit (lien « vit selon le »)

ARTICLE	PHASE DU CYCLE DE VIE
Système de direction	Fabrication
Système de direction	Montage

Les éléments composant le système de direction ont également ces situations de vie.

15. Identifier toutes les situations de vie des fonctions de service pour la phase usage du cycle de vie

FONCTION	SITUATION DE VIE
Assistance	ligne droite et courbe sol plan et bosselé hors vent et vent latéral

16. Identifier toutes les situations de vie des fonctions contraintes pour les autres phases usage du cycle de vie (hors usage)

(il n'a pas d'exemple dans ce cas)

17. Identifier les liens entre les solutions techniques qui peuvent être choisies et les situations de vie pour lesquelles elles sont adaptées.

(il n'a pas d'exemple dans ce cas)

18. Identifier les paramètres impactés par les situations de vie (lien « est impacté par »)

Un exemple est le suivant :

PARAMETRE	ATTRIBUT
Section de vérin du mécanisme	Fabrication du tube du vérin

19. Identifier les fonctions de service ainsi que les contraintes associées qui donnent des préconisations sur les paramètres

Un exemple est le suivant :

FONCTION	PARAMETRE	CONTRAINTE
assistance	Section	La section choisie doit être compatible

		avec celle des broches qui vont permettre d'usiner les tubes du vérin.
--	--	--

20. Identifier les fonctions contraintes ainsi que les contraintes associées qui donnent des préconisations sur les paramètres

Un exemple est le suivant :

FONCTION CONTRAINTE	PARAMETRE	CONTRAINTE
Fabricabilité du tube du vérin du mécanisme	Section	La section choisie doit être compatible avec celle des broches qui vont permettre d'usiner les tubes du vérin.

21. Identifier les contraintes possibles sur les paramètres

Un exemple est le suivant :

[section de vérin = section broche existante]

22. Identifier les règles associées aux paramètres (lien « dépend de » et lien « s'applique à »)

Un exemple est le suivant :

[Section = pression * surface utile * coefficient de perte]

23. Identifier les règles associées aux solutions techniques (lien « dépend de » et lien « s'applique à »)

(Il n'y a pas d'exemple dans ce cas là)

B. Recueillir les caractéristiques du processus de conception fonctionnelle

24. Lister les processus et sous processus que l'on veut formaliser et leur décomposition

Ici on va formaliser un seul processus, on pourrait cependant en formaliser plusieurs :

PROCESSUS
Dimensionnement fonctionnel des systèmes de direction
Dimensionnement du système de freinage
Dimensionnement des systèmes de suspension
Dimensionnement du train avant
Dimensionnement des transmissions
Dimensionnement du GMP (Groupe Moto Propulseur)
Dimensionnement de la manoeuvre de vitre
Dimensionnement de la boîte de vitesse

25. Lister les tâches pour chaque processus et leur enchaînement (lien « tâche suivante »)

Le processus de conception fonctionnelle des systèmes de direction ne va pas être décrit dans les détails. Les tâches relatives à la conception fonctionnelle des systèmes direction avec la solution pompe attelée directement sont celles décrites dans le tableau suivant. L'enchaînement de ces tâches n'est pas décrit ici

puisque le mode de déroulement 3 est utilisé. L'enchaînement des tâches peut être reconstitué avec les entrées et sorties de chaque tâche.

TACHE	INPUT	OUTPUT	ACTEUR
Tracer la courbe de prestation générique	rentrer les points de la prestation vitesse volant générique'	Courbe de prestation générique	CFLS
Déterminer la courbe de prestation pour le projet	courbe de prestation générique	Courbe de prestation pour le projet	FONC
Déterminer les efforts parking	déterminer le type de train' rentrer les pourcentages de déplacement crémaillère à relever' charge sur roue course crémaillère pression pneu hauteur de flanc Coefficient de frottement du pneu sur le sol	rentrer les efforts parking relevé dans CACTUS'	CFLS
Déterminer la courbe effort d'assistance / effort crémaillère	rendement pignon démultiplication	courbe effort d'assistance / effort crémaillère	FONC
Déterminer la courbe débit pression	choix de DVI ou DVS' choisir si débit chutant ou débit constant' choisir si section de vérin connue ou inconnue'	courbe débit pression	PA
Choisir la pompe hydraulique dans la base de données fournisseur	démultiplication debit_de_fuite_valve delta_P rendement_hydraulique débit chutant section vérin diamètre intérieur diamètre extérieur	choix de la pompe hydraulique	PA
Choisissez un moyen d'optimiser	modifier le soutien de ralenti modifier le dimaètre oulie de la pompe augmenter la xylindrée de la pompe modifier la section de vérin	choix du moyen d'optimiser	PA
Calculer le régime pompe au régime ralenti moteur	diamètre poulie moteur diamètre poulie pompe régime maxi moteur	régime pompe au régime ralenti moteur	PA
Calculer le régime pompe au régime maxi moteur	diamètre poulie moteur diamètre poulie pompe régime ralenti moteur	régime pompe au régime maxi moteur	PA
Choisir la pompe	q_pompe_mini cylindree_pompe_du_choix_preliminaire tolerance_debit_pompe regime_maxi_de_la_pompe_choisit regime_mini_de_la_pompe_choisit	masse_pompe_selectionnée coût_de_la_pompe_selectionnee pression_maxi_de_la_pompe_s electionnee debit_maxi_de_la_pompe_sele ctionnee cylindree_de_la_pompe_choisi t_selectionnee	PA
Calculer le soutien ralenti à	diamètre poulie moteur	soutien ralenti à apporter	PA

apporter	regime_moteur ralenti q_pompe_mini tolerance_debit_pompe debit_pompe_au ralenti_requis cylindree de la pompe à choisir		
Calculer le diamètre poulie pompe qui conviendrait	Regime_moteur ralenti q_pompe_mini tolerance_debit_pompe debit_pompe_au ralenti_requis cylindree de la pompe à choisir	diamètre poulie pompe qui conviendrait	PA
Calculer la cylindrée pompe qui conviendrait	diamètre_poulie_moteur diamètre_poulie_pompe regime_moteur ralenti q_pompe_mini tolerance_debit_pompe debit_pompe_au ralenti_requis	cylindrée pompe qui conviendrait	PA
calculer la section qui conviendrait	pression de vérin maxi requise	section qui conviendrait	PA
Valider le soutien ralenti	soutien de ralenti proposé	soutien ralenti	MOT
Calculer la masse totale du système avec pompe attelée	masse pompe et valve masse colonne masse mécanisme masse canalisation masse valve	masse totale du système avec pompe attelée	FONC
Calculer le temps de réponse des canalisations	longueur_des_canalisations coefficient_de_dilatation_des_canalisation	temps de réponse des canalisations	CANA
Calculer le temps de réponse total	temps_de_reponse_de_la_pompe temps_de_reponse_de_la_canalisation	temps de réponse total	FONC
Choisir la technologie retenue	masse totale système avec PA masse totale système avec GEP masse totale de la DAE temps de réponse total système avec PA temps de réponse total système avec GEP temps de réponse total de la DAE prix solution avec PA prix solution avec GEP prix solution avec DAE	technologie retenue	FONC
Rédiger le compte rendu	tous les paramètres	compte rendu	FONC
Définir les points de la prestation vitesse volant générique'		Courbe de prestation générique	CFLS
Choisir le type de train'		type de train choisi	CARE
Définir la masse colonne		masse colonne	COL
Définir les pourcentages de déplacement crémaillère à relever		pourcentages de déplacement crémaillère à relever	FONC
Définir la course crémaillère		Course crémaillère	FONC
Définir la pression pneu		Pression pneu	FONC
Définir la hauteur de flanc		Hauteur de flanc	FONC
Définir le coefficient de frottement du pneu sur le sol		Coefficient de frottement du pneu sur le sol	FONC
Choisir DVI ou DVS		DVI ou DVS	FONC

Définir le prix de la solution avec PA		prix solution avec PA	FONC
Définir le rendement pignon		rendement pignon	MECA
Définir la démultiplication		démultiplication	MECA
Choisir si section de vérin connue ou inconnue'		section de vérin connue ou inconnue	MECA
Définir démultiplication		démultiplication	MECA
Définir la section de vérin		section vérin	MECA
Définir le diamètre intérieur		diamètre intérieur	MECA
Définir le diamètre extérieur		diamètre extérieur	MECA
Définir la masse mécanisme		masse mécanisme	MECA
Définir la charge sur roue		Charge sur roue	PPP LAS
Choisir débit chutant ou débit constant		débit chutant ou débit constant	SDR
Définir la masse canalisation		masse canalisation	CANA
Définir la longueur des canalisations		longueur_des_canalisations	CANA
Définir le coefficient de dilatation des canalisations		coefficient_de_dilatation_des_canalisation	CANA
Définir le diamètre poulie moteur		diamètre poulie moteur	MOT
Définir le régime moteur maxi		Regime moteur ralenti	MOT
Définir le régime moteur ralenti		Regime moteur ralenti	MOT
Définir le debit_de_fuite_valve		debit_de_fuite_valve	PA
Définir delta_P		delta_P	PA
Définir le rendement hydraulique		rendement_hydraulique	PA
Définir le débit chutant		débit chutant	PA
Définir le diamètre poulie pompe		diamètre poulie pompe	PA
Définir q pompe mini		q pompe mini	PA
Définir la cylindree de la pompe du choix preliminaire		cylindree_pompe_du_choix_pr_eliminaire	PA
Définir la tolerance_debit_pompe		tolerance_debit_pompe	PA
Définir le regime_maxi_de_la_pompe_choisit		regime_maxi_de_la_pompe_choisit	PA
Définir le regime_mini_de_la_pompe_choisit		regime_mini_de_la_pompe_choisit	PA
Définir le q pompe mini		q pompe mini	PA
Définir la tolerance_debit_pompe		tolerance_debit_pompe	PA
Définir la cylindree_de_la_pompe_à_choisir		cylindree_de_la_pompe_à_choisir	PA
Définir la cylindree_de_la_pompe_à_choisir		cylindree_de_la_pompe_à_choisir	PA
Définir le debit_pompe_au_ralenti_requis		debit_pompe_au_ralenti_requis	PA
Définir la pression de vérin		Pression de vérin maxi requise	PA

maxi requise			
Définir la masse pompe et valve		Masse pompe et valve	PA
Définir la masse valve		masse valve	PA
Définir le temps_de_reponse_de_la_pompe		temps_de_reponse_de_la_pompe	PA
Définir la masse totale système avec GEP		Masse totale système avec GEP	GEP
Définir le temps de réponse total système avec GEP		temps de réponse total système avec GEP	GEP
Définir le prix de la solution avec GEP		prix solution avec GEP	GEP
Définir la masse totale de la DAE		masse totale de la DAE	DAE
Définir le temps de réponse total de la DAE		temps de réponse total de la DAE	DAE
Définir le prix de la solution avec DAE		prix solution avec DAE	DAE

Certaines conditions d'exécution ont des conditions d'exécution. Par exemple il ne faut pas définir la masse de la solution avec la DAE si le DAE n'a pas été étudié. De même, il ne faut pas définir la section de vérin si elle n'est pas connue (son attribut sur le projet est « non connu ») mais il faut la calculer, etc.

5. Extension du cas d'étude à la conception détaillée du mécanisme de direction

Le service d'étude des directions automobile doit, également, se doter d'un système informatique pour sa conception détaillée (voir l'exemple du mécanisme figure 151) d'assurer aux concepteurs :

- de pouvoir envoyer des données issues de la conception fonctionnelle vers la CAO et puis de récupérer les informations résultantes de cette CAO (modèle générique, modèle instancié sur chaque projet...)
- de pouvoir piloter la représentation géométrique du produit afin qu'ils disposent en début de conception d'un premier modèle sur lequel ils pourront faire des modifications. Cela leur permettra de ne pas repartir de la feuille blanche et leur assurera que leur produit respecte le cahier des charges en terme de fonctions de service, etc. Le modèle de tâches sera alors stocké dans MULTI et les règles seront associées à ses tâches, ce qui facilitera également leur maintenance
- d'être prévenu lorsqu'une modification issue du dimensionnement fonctionnel intervient et, s'ils utilisent un moteur de propagations de contraintes, de pouvoir propager automatiquement cette modification dans leurs modèles géométriques, etc. Ce sera alors aux concepteurs de créer les bonnes règles (localement et non forcément dans MULTI) au fur et à mesure qu'ils modifient le modèle générique.
- de pouvoir gérer les données de la maquette numérique, etc
- de pouvoir gérer les données du produit sur tout le cycle de vie du produit à partir des configurations physiques, etc

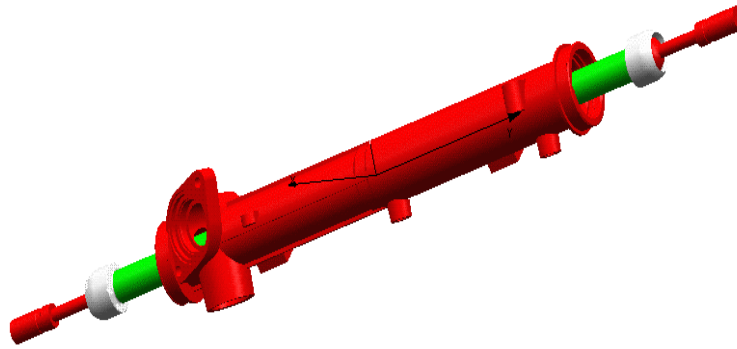


Figure 151 : Le modèle géométrique du mécanisme de direction assistée automobile

La conception détaillée du mécanisme (figure 151) de direction suit l'étape de définition fonctionnelle décrite précédemment (figure 152). La section de vérin est issue (imposées) par la conception fonctionnelle des systèmes de direction (voir figure 153). La conception détaillée consiste alors à faire « l'habillage de cette section de vérin ».

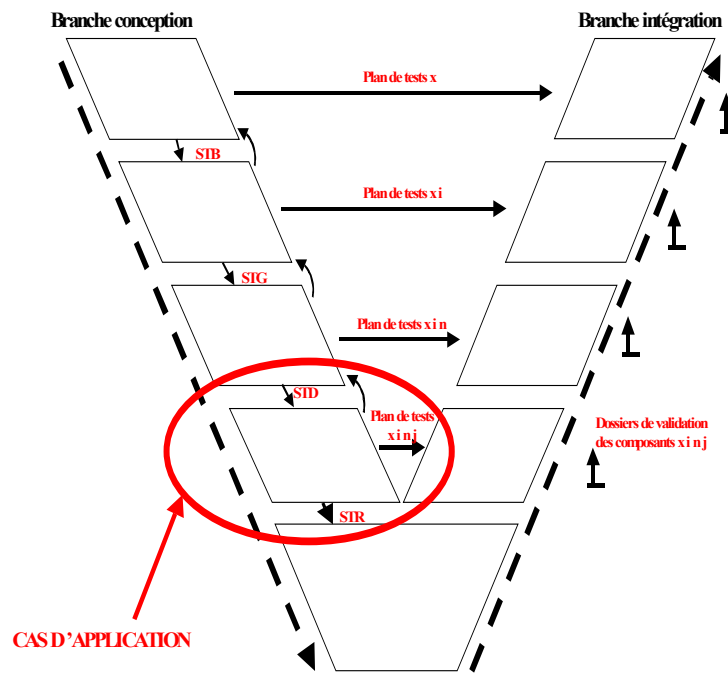


Figure 152 : La conception détaillée des mécanismes

La décomposition géométrique et générique du mécanisme pourrait être la suivante (figure 153) :

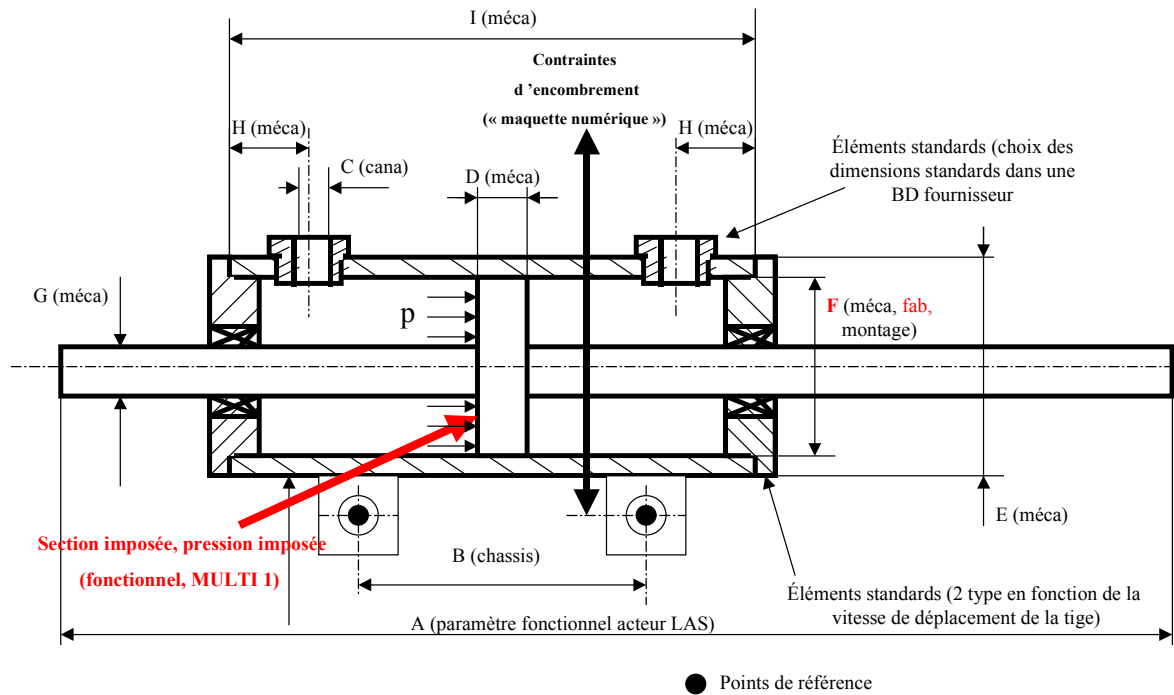


Figure 153 : La paramétrisation du modèle du mécanisme de direction et règles associées

6. Autres extensions

- ✓ Intégrer tout le cycle de vie des systèmes de direction
- ✓ Permettre de clarifier le processus de conception en vue de son optimisation (le dimensionnement et le choix des trains avant pourra à terme être intégré au dimensionnement et choix des systèmes de direction, idem pour la conception des moteurs thermiques et la fonction consommation, etc)

Les perspectives du logiciel MULTI sont :

- Déploiement à d'autres bureaux d'études pour leur conception fonctionnelle et physique
- Intégration à la maquette numérique (contribution méthodologique...)
- Validation de l'approche pour d'autres secteurs de l'entreprise, etc, jusqu'au niveau global véhicule.

Conclusions

Les résultats de l'étude et ses orientations de recherche ont permis à l'entreprise PSA Peugeot-Citroën de prendre conscience du besoin de formaliser le produit et son processus de conception qui est éminemment multi acteurs. La maîtrise du processus de conception et l'amélioration des flux d'information entre les acteurs du développement de produit ont suscité un vif intérêt dans l'entreprise.

L'idée d'agréger toutes les données, informations et connaissances aux tâches routinières et de distribuer ces dernières, avec tous les éléments qui y sont rattachés, au fur et à mesure du déroulement « informatisé » du processus de conception, a beaucoup intéressé les concepteurs. L'aspect déroulement informatisé a été jugé avant-gardiste dans une ère où les concepteurs deviennent juste matures sur le fait d'admettre que l'on peut formaliser leur activité. Cependant le caractère « non intrusif », par rapport à l'activité de conception, de l'outil informatique MULTI a permis de rassurer les concepteurs.

Ce travail a le mérite d'avoir su rapprocher plusieurs disciplines telles que la gestion des connaissances, la gestion des informations, la modélisation des processus, la gestion de projet, le re-engineering, les systèmes d'aide à la conception et les nouvelles méthodes de développement de produit. L'étude a permis d'architecturer, d'un point de vue fonctionnel, le système d'information et de connaissance pour la conception produit process de l'entreprise.

Conclusions

Perspectives

Les perspectives à cette étude sont d'appliquer les concepts proposés à d'autres conceptions de produits puis de mettre en usage l'outil informatique (nouvel outil développé selon les spécifications fonctionnelles proposées tout en respectant les contraintes d'architecture technique informatique de l'entreprise dans lequel il peut être intégré) afin d'enrichir et de valider notre approche sur plusieurs cas. L'idée est qu'à terme, chez PSA, toute la conception du véhicule soit supportée par MULTI.

La conception produit process est également un des concepts porteurs de l'entreprise. Il faudrait alors appliquer une approche similaire à celle de l'étude à la conception process. Les concepts de l'étude étant basés sur une approche systémique, il faudrait donc étudier ce qu'il faut rajouter à MULTI pour prendre en compte la conception du process puis enfin la coupler avec la conception du produit (on pourrait alors parler de conception imbriquée du produit et du process).

Les résultats de l'étude, de part leur approche systémique, peuvent être étendus à tout le développement de produit. L'idée est d'enrichir les concepts de l'étude afin que toutes les tâches « répétitives » de l'entreprise ainsi que les informations et connaissances associées, depuis les études marketing jusqu'à la livraison du produit, puissent être gérées par MULTI.

Bibliographie

(AFNOR 90) Afnor, « Analyse de la valeur, Analyse fonctionnelle », NF X50-150, 1990

(AFNOR 91) Afnor, « Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle », NF X 50-151, 1991

(Ackerman 95) Ackerman M.S. et Starr B., « Social Activity Indicators : Interfaces Components for SCCW Systems », Proceedings of ACM Symposium on User Interface and Technology, 1995

(Andreasen 91) Andreasen M.M., « The theory of domains, workshop on understanding function and function to form evolution », Cambridge University, 1991

(Barthes 96) Barthès J.-P., « ISMICK and Knowledge Management ». In J.F. Schreinemakers (éd.), « Knowledge Management : Organization, Competence and Methodology », Proc. Of ISMICK'96, Rotterdam, Wurzburg, Ergon Verlag, 1996

(Belloy 94) Belloy P., « Intégration des connaissances métiers dans la conception : un modèle pour les pièces mécaniques », Application à l'usinage et à l'estampage, thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 1994

(Bellut 90) Bellut S., « La compétitivité par la maîtrise des coûts CCO et analyse de la valeur », AFNOR/Gestion 1990.

(Bernard 99) Bernard A. « Modèles de produit et de processus » Université d'Automne PRIMECA. Nancy 20-22 octobre 1999.

(Blanco 99) Blanco E., « L'émergence du produit dans la conception distribuée, vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécanique » thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Spécialité Génie Industriel, Mention génie mécanique, 1999

(Bourdichon 94) Bourdichon P., « L'ingénierie simultanée et la gestion des informations », HERMES, 1994

(Bourne 97) Bourne C., « Catégorisation et formalisation des connaissances industrielles », In J.M. Fouet, Connaissances et savoir-faire en entreprise, Hermès, 1997, pp. 179-197.

(Buck 99) Buck J.Y., « Le management des connaissances », Editions d'Organisations, 1999.

(Chambolle 97) Chambolle F., Brochard B., GPI STEP – AP203 : Scénario automobile. Actes du MICAD'97, Paris, France, Mars 97

(Chambolle 99) Chambolle F., « Un modèle de produit piloté par les processus d'élaboration, Application au secteur de l'automobile dans l'environnement STEP », thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, 29 avril 1999

Bibliographie

- (Chapa 97)** Chapa Kasucky E.C., « Outil et structure pour la coopération formelle et informelle dans un contexte de conception holonique », Thèse de Doctorat de l'INPG, Spécialité mécanique, 1997
- (Charman 95)** Charman P., « Problèmes de conception à base de contraintes géométriques », Thèse de Doctorat de l'Université de Nice Sophia Antipolis, 1995
- (Chandrasekaran 90)** Chandrasekaran B., « Design problem solving : a task Analysis », AI Magazine , winter, pp. 349-370. 1990.
- (Clément 94)** Clément A., Rivière A., Termmerman M., « Cotation tridimensionnelle des systèmes mécaniques : théorie et pratique », PYC Edition, Paris 1994
- (Constant 96)** Constant D., « Contribution à la spécification d'un modèle fonctionnel de produits pour la conception intégrée de systèmes mécaniques », Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier – Grenoble 1, France 1996.
- (Crabowski 95)** Crabowski H., Lossack R.S., Weis C., « Supporting the design process by an integrated knowledge-based design system », Advances in formal design methods for CAD, IFIP International Conference, Mexico, 1995
- (Dieng 00)** Dieng R. et al., « Méthodes et outils pour la gestion des connaissances », DUNOD, 2000.
- (Doumeingts 84)** Doumeingts G., « Méthode GRAI : modélisation de conception des systèmes en productique », Thèse d'état de l'université Bordeaux 1, 1984
- (Dupinet 91)** Dupinet E., « Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produit mécanique », Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, Septembre 1991.
- (Durstewitz 94)** Durstewitz M., « Report on Workshop on Corporate Memory », Toulouse, 1994.
<http://www.dealb.sintef.no/MNEMOS/external-info/cm-eurisko.txt>
- (Ermine 96)** Ermine J.L., « Les systèmes de connaissances », Paris Hermes, 1996.
- (Ermine 98)** Ermine J.L., « Capter et créer le capital savoir », Annales des Mines. pp. 82-86, novembre 1998
- (Eynard 99)** Eynard B., « Modélisation du produit et des activités de conception – contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie », Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux A, 30 juin 1999
- (Faure 99)** Faure. A., Bisson G., « Modeling the expérience Feedback loop to umprove Knowledge Base reuse in industrial environment ».
- (Féru 98)** Féru F., Viel C., « Echanger avec le protocole d'application 203 de STEP – Ecange et partage de données CAO et GDT », Association GOSET, 1998, ISBN 2-9513382-0-1
- (Giboin 99)** Giboin A. – « Contextual divorces : towards a framework for identifying critical context issues in collaborative-argumentation system design ». In P. Bouquet, L. Serafini, P. Brézillon, M. Benerecetti et F. Castellani (éd), Modeling and Using Context, Springer Verlag, Berlin, 1999, pp.471-474
- (Girard 98)** Girard P., Eynard B., Doumeingts G., « Proposition pour la conduite du processus de conception de systèmes : application aux produits manufacturés », IDDME 1998

- (Grunstein 95)** Grundstein M., « La capitalisation des connaissances de l'entreprise, système de production de connaissances », L'entreprise apprenante et les sciences de la complexité, Aix-en-Provence, mai 1995
- (Grunstein 96)** Grundstein M. et Barthès J.P., « An Industrial View of the Process of Capitalizing Knowledge ». In J.F. Schrenemakers (éd) , Knowledge Management : Organization, Competence and Methodology, Proc. Of ISMICK'96, Rotterdam, 21-22 octobre 1996, Wurzburg, Ergon Verlag, pp. 258-264.
- (Hammer 93)** Hammer M., Champy D., «Le Reengineering», éditions DUNOD, 1993.
- (Harani 97)** Harani Y., « Une approche multi modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception », Thèse de Doctorat de l'INPG, 1997
- (Jacquet 98)** Jacquet L., « Contribution à l'élaboration d'une démarche de spécification fonctionnelle », Thèse de l'université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis, France, 1998
- (Johnson 83)** Johnson Laird, « Mental Models », Cambridge University Press, Cambridge, 1983
- (Kusiak 91)** Kusiak A., Wang J., « Concurrent Engineering : Simplification of the design process », CAPE'91 : Integration Aspects, Bordeaux, 1991, p.297-304.
- (Klemke 99)** Klemke R., « The notion of context in organizational memories », In P. Bouquet, L. Serafini, P. Brézillon, M. Benerecetti et F. Castellani (éd), Modeling and Using Context, Springer Verlag, Berlin, 1999, pp.483-486.
- (Leon 98)** Léon J.C., « Techniques de représentation géométrique, Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils », Hermès, Paris, 1998
- (Levan 00)** Levan S., « Le projet workflow », Edition Eyrolles, 2000
- (Marcotte 95)** Marcotte F., « Contribution à la modélisation des systèmes de production : extension du modèle GRAI, Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 1995
- (Matta, 99)** Matta N., Ribière M., Corby O., « Définition d'un modèle de mémoire de projet », rapport de recherche INRIA n°3720, juin 1999
- (Moka 99)** Moka user guide, deliverable du consortium MOKA <http://www.kbe.coventry.ac.uk/moka/>
- (Mony 92)** Mony C., « Un modèle d'intégration des fonctions Conception, Production dans l'ingénierie de produit », Définition d'un système mécanique en base de données objet, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de paris, 12 mai 1992
- (Nonaka 94)** Nonaka I., « Dynamic theory of operational Knowledge creation », Organizational Science, Vol. 5, n°1, février 1994, pp. 14-37
- (Nonaka 98)** Nonaka I., Takeuchi H., « The knowledge-creating company », Oxford University Press, 1998.
- (Ouazzani 98)** Ouazzani A., Bernard A., Bocquet J.C., « Process modeling : a design history capture perspective », 2nde International Conference Integrated design and Manufacturing in Mechanical Engineering , Compiègne, mai 1998.

Bibliographie

- (Ouazzani 99)** Ouazzani-Touhami M.A., « Représentation dynamique du processus de conception : une perspective de capitalisation de l'historique de conception – La méthode SAGEP », thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Paris, Nov 99.
- (Pahl 96)** Pahl G., Beitz W., Engineering design, « A systematic approach », Second Edition, Editions Springer, 1996
- (PDES 91)** PDES/STEP, process plan working group, Document number 4.1.3.2.1, version 3.2, janvier 1991
- (Polyani 66)** Polyani M., « The Tacit Dimension », Routledge & Kegan Paul, Londres, 1966
- (Pomian 96)** Pomian J., « Mémoire d'entreprise, techniques et outils de la gestion des savoirs », Editions Sapientia, 1996.
- (PSA 98)** Document interne PSA sur les plateaux projet
- (PSA 99)** CA 17314, « Guide ISA, démarche d'ingénierie système automobile », usage interne PSA, 20 décembre 99
- (Roques 01)** Rocques P., Vallée F., « UML en action : de l'analyse des besoins à la conception java », Edition Eyrolles, 2001
- (Saucier 97)** Saucier A., « Un modèle multi vues du produit pour le développement et l'utilisation de systèmes d'aide à la conception en ingénierie mécanique », Thèse de Doctorat de l'ENS de Cachan, 1997
- (Schreiber 93)** Schreiber G., Wielinga B., Breuker J., « KADS : A principle approach to knowledge-based system development », Academic Press, 1993
- (Sellini 99)** Sellini F., « Contribution à la représentation et à la vérification des modèles de connaissances produit en ingénierie d'ensembles mécaniques » Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, 1999.
- (Solhénus 92)** Solhénus, « Concurrent engineering », Keynote paper, Annals of the CIRP, Vol 41/2/92
- (STEP 92)** STEP, ISO DIS 10303-11 : product data representation and exchange, Part 11 : the EXPRESS language reference manual, ISO TC/184/SC4/N151, août 1992
- (STEP 00)** STEP, ISO/WD 10303-11, « Industrial automation system and integration – product data representation and exchange – Part 233 : Application protocol : System engineering data and representtion », ISO TC 184/SC 4 N, mars 2000, <http://www.nist.gov/sc4/step/parts/part233/wd3/>
- (Tassinari 95)** Tassinari R., « L'analyse fonctionnelle », Collection « A savoir », AFNOR, 1995
- (Thévenot 98)** Thévenot D., « Le partage des connaissances : Une mémoire interactive pour la compétitivité de l'entreprise », Lavoisier TEC&DOC, 1998
- (Tichkiewitch 95)** Tichkiewitch S., Chapa E., Belloy P., « Un modèle produit multi vues pour la conception intégrée », In Proc. Of International Industrial Engineering Conference of Montral, 1995.
- (Tisseyre 99)** Tisseyre R.C., « knowledge management », éditions hermès, 1999
- (Vargas 95)** VARGAS. C., « Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques – Mise en oeuvre basée sur la propagation de contraintes – Application à la conception d'une

Bibliographie

culasse automobile », Thèse de Doctorat Spécialité Mécanique. Ecole Normale Supérieure de Cachan, 1995.

(Vernadat 96) Vernadat F.B., « Enterprise Modelling and Integration : principes and applications », Chapman & Hall, London, 1996.

(Vinck 97) Vinck D., « la connaissance : ses objets et ses institutions », pp 55-91 dans « connaissances et savoir-faire en entreprise » de J.M. Fouet, Editions Hermes

(Vogel, 88) Vogel C., « Génie cognitif », Editions MASSON.

Bibliographie

RESUME en français

L'étude propose un référentiel métier qui rassemble et structure les données, informations et connaissances dont les acteurs de la conception ont besoin pour concevoir le produit. Ce référentiel permet aux concepteurs, dans un contexte de conception multi acteurs, de connaître la définition du produit ainsi que les contraintes à prendre en compte, au fur et à mesure de l'avancement d'un projet de conception. Le référentiel permet également aux concepteurs de pouvoir se remémorer rapidement le processus de conception du produit ainsi que les différents flux d'information entre acteurs utiles à la conception.

Le référentiel est implémenté dans un outil informatique afin de permettre son partage à des acteurs travaillant sur des sites distants et la prise en compte d'informations à jour. L'outil informatique distribue également, aux acteurs de la conception, des tâches (tâches de conception routinière) à réaliser, ainsi que les données, informations et connaissances associées à ces tâches. Cette distribution des tâches et leur réalisation permet d'accélérer la coordination « distante » entre les différents acteurs d'un projet de conception à des fins de réduction des temps de conception. L'outil informatique permet également d'assister les acteurs de la conception dans leur gestion des modifications pouvant intervenir en cours de projets pendant le déroulement d'un processus de conception.

L'outil informatique permet également, aux acteurs d'avoir un suivi de l'avancement des projets sur chaque processus de conception, d'assurer la traçabilité des exigences, de capturer les retours d'expérience et de capturer la traçabilité des choix de conception et l'historique des modifications.

Les résultats proposés sont illustrés sur un cas d'application qui est la conception des systèmes de direction automobile du groupe PSA Peugeot Citroën.

Title : modelisation for reuse of the collaborative design process of the industrial products

Abstract

Many design decisions are made before the availability of any CAD model of the product. This phase of the design process is usually called "conceptual design". It consists in the choice of principle solutions and in the correct dimensioning of design parameters. Though this phase does not require any geometric or CAD model, very important decisions are made and engage potential life cost and performances of the product. As a consequence, those activities should be executed by the best specialists of the product life cycle inside and outside the company.

Our contribution in this particular research area is that for each capitalisation cycle phase, it will propose some concepts leading to a generic methodology to help the designers to manage their knowledge in their co-operative functional design.

The study's results proposes a three level knowledge model: a meta model describes what functional design is and which concepts it uses (functions, lifecycle, parameters, actors, tasks...), while the second level uses those concepts to describe the knowledge of the technical domain; the third level stores the instances of projects handled by the designers.>

Engineering design must be at least supported by two related models : a product model embedding the design problem alternatives and results, and a design process model aiming at the capture of tasks, activities, roles and actors.

SPECIALITE : Génie Industriel

MOTS-CLES : conception fonctionnelle, coordination, connaissances, base de données, coopération, projet, modèles processus de conception, modèle produit, partages des informations, flux d'information

Laboratoire GILCO, ENSGI, INPG, 46, avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble, France.
