



HAL
open science

Co-évolution et processus de conception intégrée de produits: Modèle et support de l'activité de conception

Pierre Lonchamp

► To cite this version:

Pierre Lonchamp. Co-évolution et processus de conception intégrée de produits: Modèle et support de l'activité de conception: Modèle et support de l'activité de conception.. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2004. Français. NNT: . tel-00007313

HAL Id: tel-00007313

<https://theses.hal.science/tel-00007313>

Submitted on 7 Nov 2004

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

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

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque

/ / / / / / / / / / / / / / / /

THESE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'INPG

Spécialité : « Génie Industriel »

préparée au laboratoire : **Sols, Solides, Structures de Grenoble – France**

dans le cadre de l'**Ecole Doctorale :**

« Organisation Industrielle et Systèmes de Production »

par

Pierre LONCHAMPT

Le 29 Juin 2004

Co-évolution et processus de conception intégrée de produits :

Modèle et support de l'activité de conception.

Directeurs de thèse :

Daniel BRISSAUD et Guy PRUDHOMME

JURY

M. Améziane AOUSSAT,	ENSAM Paris,	Rapporteur
M. Daniel BRISSAUD,	INPG,	Directeur de thèse
Me. Françoise DARSES,	CNAM,	Examineur
M. Chris MC MAHON,	Université de Bath, UK,	Examineur
M. Guy PRUDHOMME,	IUFM Grenoble,	Directeur de thèse
M. Bernard YANNOU,	Ecole Centrale Paris,	Rapporteur

-

J'adresse mes remerciements à tous ceux qui par leurs conseils, encouragements, critiques ou discussions ont contribué à mon travail de thèse.

Guy Prudhomme et Daniel Brissaud m'ont donné la chance de pouvoir commencer un travail de recherche. Travailler sous leur supervision fut un réel plaisir pour moi. Je les remercie bien sûr pour l'excellence de leur encadrement scientifique (en recherche comme en enseignement), mais aussi pour la liberté qu'ils m'ont accordé dans ma planification opportuniste et la chaleur qu'ils ont mis dans nos échanges.

Je remercie Chris MacMahon, Améziane Aoussat, Bernard Yannou et Françoise Darses pour l'attention qu'ils ont portée à mon travail et pour avoir accepté de l'évaluer.

L'équipe Conception Intégrée a été un cadre de travail agréable et chaleureux. Je remercie ses membres, doctorants ou permanents, présents ou passés, pour leurs remarques et conseils autant que pour leur bonne humeur.

Outre mes collègues de CI, d'autres amis ont partagé mon intérêt pour l'activité de conception lors de ces dernières années. Je les en remercie, qu'ils soient enseignants à l'ENSHMG, participants ou organisateurs du Summer School on Engineering Design Research, participants au groupe Concevoir Propre, membres du laboratoire LICP à l'EPF de Lausanne ou de l'école doctorale OISP ou étudiants à l'école d'architecture de Grenoble.

Je remercie ma famille qui m'a soutenu, encouragé et remotivé depuis de nombreuses années.

Dans le désordre, spéciale dédicace à Twin Pixies, Les bluesmen de l'Astra et de Belmont, Moonsheep, Paléo, la Kbane, mes potes de PG et du Trièves.

Grosses bises à ma famille de Megève.

A Sand et Lili.

-

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières.....	5
Table des Illustrations.....	10
Figures.....	10
Tableaux.....	12
Introduction.....	13
Partie 1 : Introduction générale.....	17
Chapitre 1.Sujet de recherche : Le processus de conception.....	19
1LA CONCEPTION, RÉOLUTION DE PROBLÈME.....	20
1.1Un problème mal défini.....	20
1.2Un problème ouvert.....	20
1.3Un problème dont la résolution est collective.....	21
1.4Un problème complexe.....	21
2EVOLUTION DE LA CONCEPTION.....	22
2.1Modèles séquentiels.....	23
2.2Modèles simultanés.....	27
3DÉCRIRE LA CONCEPTION INTÉGRÉE.....	31
4L'ÉVALUATION ET L'EXPRESSION DU PROBLÈME.....	32
4.1Des aspects fondamentaux de la conception.....	32
4.2L'évaluation, l'expression du problème et leur support.....	32
5QUESTIONS DE RECHERCHE.....	32
Chapitre 2.Démarche de recherche.....	35
1ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES CONTRAINTES ET CRITÈRES DE VALEUR.....	36
2ÉTUDE DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'AIDE À LA DÉCISION MULTICRITÈRE.....	36
3PREMIÈRE PROPOSITION : UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION EN CONCEPTION.....	37
4ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE CENTRÉE SUR LA CONCEPTION CO-ÉVOLUTIVE.....	38
5UN NOUVEAU MODÈLE DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	38
6DU MODÈLE À L'OUTIL.....	38
7RÉSUMÉ.....	39
Partie 2 : Décrire le processus de conception.....	41
Chapitre 3.La modélisation du processus de conception et de l'évaluation.....	43
1LES DIFFICULTÉS DE LA MODÉLISATION D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION PARALLÈLE ET INTÉGRÉE.....	43
2LA CONCEPTION, UN PROCESSUS MULTIDIMENSIONNEL.....	45

3L'ÉVALUATION ET SA DYNAMIQUE DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION.....	48
3.1La notion de référent évaluatif.....	49
3.2La notion de critère.....	50
3.3Un contexte de conception intégrée.....	51
3.4La dynamique du processus de conception et l'évaluation.....	52
4VERS UN MODÈLE CO-ÉVOLUTIF DU PROCESSUS DE CONCEPTION DANS UN CADRE DE COOPÉRATION.....	53
Chapitre 4. Les modèles existants du processus de conception.....	55
1LES MODÈLES BASÉS SUR LA NOTION DE PHASE.....	55
1.1Les phases de Ulrich, Eppinger et Ullman.....	56
1.2L'Analyse de la Valeur et l'Analyse Fonctionnelle.....	57
1.3Total design.....	58
1.4Synthèse.....	59
1.4.1Des variantes de découpage de l'axe temporel plus que des modèles différents.....	59
1.4.2La place de l'évaluation.....	60
1.4.3Conclusion.....	61
2LES APPROCHES BASÉES SUR LA NOTION D'ACTIVITÉ.....	61
2.1Les activités de Purcell.....	62
2.2Les activités de Girod.....	63
2.3Les activités du laboratoire M3M.....	64
2.4Les activités de l'approche EVAD.....	64
2.5Synthèse.....	65
2.5.1L'activité, un constituant élémentaire du processus de conception.....	65
2.5.2L'activité d'évaluation.....	66
2.5.3Conclusion.....	67
3LES MODÈLES BASÉS SUR LES DOMAINES.....	67
3.1Axiomatic design.....	68
3.2Les approches d'Europe du Nord.....	69
3.3L'approche valorique.....	72
3.4L'approche FBS.....	74
3.5Les modèles du Design Rationale.....	75
3.6L'approche socio-technique.....	77
3.7Synthèse.....	78
3.7.1Des découpages selon des axes variés.....	78
3.7.2L'évaluation.....	79
3.7.3Conclusion.....	80
4QUE RETENIR DES MODÈLES EXISTANTS DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	80
Chapitre 5. Un modèle co-évolutif du processus de conception.....	83
1INTRODUCTION.....	83
1.1Une évolution plus qu'une révolution.....	83
1.2Les approches co-évolutives existantes.....	85
1.3Vers un nouveau modèle co-évolutif, basé sur les domaines et les activités.....	87
2NOTRE PROPOSITION DE MODÈLE CO-ÉVOLUTIF.....	87
2.1Les domaines.....	88
2.2Les activités.....	88
2.2.1Conjectures et définitions.....	89
2.2.2L'évaluation (E).....	90
2.2.3La reformulation (R).....	91
2.3Les mécanismes de mise en œuvre.....	91
2.4Conclusion.....	93
3VALIDATION.....	93

3.1	<i>Application de notre modèle à un instant de la conception-validation du codage adopté.....</i>	95
3.2	<i>Application de notre modèle à l'ensemble du processus étudié.....</i>	98
3.3	<i>Intéprétation.....</i>	100
3.3.1	<i>Un regard global sur un processus de conception.....</i>	100
3.3.2	<i>Du point de vue dynamique.....</i>	102
3.3.3	<i>Les activités non codées.....</i>	105
3.4	<i>Conclusion.....</i>	105
4	LES OBJETS IMPLIQUÉS DANS LA MISE EN OEUVRE DES ACTIVITÉS.....	106
4.1	<i>Décrire le produit de la mise en oeuvre des activités.....</i>	106
4.2	<i>Les quatre classes d'objets.....</i>	107
4.2.1	<i>La classe draft.....</i>	108
4.2.2	<i>La classe contrainte.....</i>	108
4.2.3	<i>La classe besoin.....</i>	109
4.2.4	<i>La classe critère d'évaluation.....</i>	111
4.3	<i>Conclusion.....</i>	112
5	CONCLUSION.....	112
5.1	<i>Un modèle co-évolutif du processus de conception.....</i>	112
5.2	<i>Vers le support des aspects évaluatifs du processus de conception.....</i>	112
Partie 3 : Supporter le processus de conception.....		115
Chapitre 6. Le support du processus de conception et de l'évaluation.....		117
1	LES CONCEPTS D'UN SUPPORT AU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	117
1.1	<i>Le concept de méthode de conception.....</i>	117
1.1.1	<i>Méthode prescriptive ou descriptive.....</i>	118
1.1.2	<i>Les modèles sur lesquels se basent les méthodes.....</i>	119
1.1.3	<i>Conclusion.....</i>	120
1.2	<i>Le concept d'outil.....</i>	120
1.2.1	<i>Un constituant d'une méthode.....</i>	120
1.2.2	<i>Un support à la navigation au sein du processus de conception.....</i>	121
1.2.3	<i>Outil : l'artefact et son usage.....</i>	122
2	QUE SUPPORTER DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION ?.....	122
2.1	<i>Un processus ou les processus.....</i>	122
2.2	<i>La coopération et la coordination.....</i>	123
2.3	<i>Quelles activités, domaines et phases ?.....</i>	123
3	LE SUPPORT SUR LA BASE D'UN MODÈLE CO-ÉVOLUTIF DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	124
3.1	<i>Support fonctionnel, coopération et aspects évaluatifs.....</i>	125
3.2	<i>Aide à la décision.....</i>	125
3.3	<i>Conclusion.....</i>	126
Chapitre 7. Les outils existants pour le support fonctionnel des aspects évaluatifs et coopératifs du processus de conception.....		127
1	OUTILS ISSUS DE MÉTHODES DE CONCEPTION.....	128
1.1	<i>Systematic design.....</i>	128
1.1.1	<i>Les outils proposés.....</i>	128
1.1.2	<i>La navigation supportée.....</i>	131
1.1.3	<i>Conclusion.....</i>	131
1.2	<i>Analyse de la valeur.....</i>	132
1.2.1	<i>Les outils de l'analyse fonctionnelle.....</i>	132

1.2.2	Variantes.....	137
1.2.3	La navigation supportée.....	139
1.2.4	Conclusion.....	140
1.3	QFD.....	141
1.3.1	La technique.....	141
1.3.2	La navigation supportée.....	143
1.3.3	Conclusion.....	145
1.4	Total design.....	145
1.4.1	Les outils.....	146
1.4.2	La navigation supportée.....	148
1.4.3	Conclusion.....	149
1.5	Conclusion.....	149
2	OUTILS D'ÉVALUATION MONO-DIMENSION.....	151
2.1	Les outils d'estimation des coûts.....	151
2.1.1	Les méthodes analogiques.....	152
2.1.2	Les méthodes paramétriques.....	152
2.1.3	Les méthodes analytiques.....	153
2.1.4	Synthèse.....	153
2.2	Les outils d'évaluation des performances environnementales.....	153
2.3	Conclusion.....	154
3	AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION.....	155
3.1	Les travaux étudiés.....	156
3.1.1	Agrégation totale.....	156
3.1.2	Les méthodes de comparaison par paires.....	156
3.1.3	Les méthodes de surclassement.....	157
3.1.4	Conclusion.....	157
3.2	Les activités supportées.....	157
3.2.1	Définition.....	157
3.2.2	Reformulation.....	158
3.2.3	Evaluation.....	158
3.3	Conclusion : Utilisation en conception ?.....	159
4	LA VALEUR, OUTIL DE CONCEPTION ?.....	160
4.1	Le concept de valeur.....	160
4.2	Valeur et évaluation dans un contexte de conception : l'approche Analyse de la Valeur.....	161
4.2.1	Les fondements de cette méthode.....	161
4.2.2	La mesure de la valeur selon la méthode.....	163
4.3	Valeur et décision multicritère.....	163
4.3.1	La méthode SPEC.....	163
4.3.2	Une première proposition : un outil hiérarchique d'aide à la décision orientée Valeur.....	164
4.4	Conclusion.....	166
5	CONCLUSION.....	166
Chapitre 8. Vers le support du processus de conception selon une démarche opportuniste.....		169
1	UNE STRUCTURE D'OBJETS CO-ÉVOLUTIVE.....	170
1.1	Le formalisme fonctionnel, un attribut s'appliquant aux objets.....	171
1.2	Des associations décrivant les navigations.....	172
1.2.1	Décomposition.....	173
1.2.2	Justification.....	174

1.2.3Influence(s).....	175
1.3 <i>De nouvelles classes</i>	176
1.3.1Caractéristique.....	176
1.3.2Appréciation.....	176
1.3.3Corrélation.....	177
1.3.4Pondération.....	178
1.4 <i>Le formalisme retenu</i>	178
2INTÉGRER L'OUTIL VALEUR.....	179
2.1 <i>Une définition plus large</i>	179
2.2 <i>Au sens de notre structure d'objets</i>	180
2.3 <i>Conclusion</i>	181
3DE LA STRUCTURE D'OBJETS À L'OUTIL.....	181
3.1 <i>Reformulations et évaluations</i>	181
3.2 <i>Un cadre pour intégrer l'usage des outils existants</i>	182
3.3 <i>La dynamique de mise en œuvre</i>	183
3.4 <i>Un outil pour quel(s) acteur</i>	184
3.5 <i>Intégrer la valeur dans l'usage</i>	185
3.6 <i>Synthèse</i>	186
4INTÉRÊTS DE CET OUTIL.....	189
4.1 <i>Le support de la coordination</i>	189
4.2 <i>Le support de l'activité méta fonctionnelle</i>	189
5CONCLUSION.....	191
Conclusions et perspectives Références bibliographiques Annexe.....	193
Chapitre 9.Conclusions et perspectives.....	195
1NOTRE CONTRIBUTION À LA CONCEPTION INTÉGRÉE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES.....	195
2DU POINT DE VUE MÉTHODOLOGIQUE.....	197
2.1 <i>Un cadre méthodologique appliqué de recherche en conception de produit</i>	197
2.2 <i>A Design Research Methodology</i>	199
3PERSPECTIVES.....	202
3.1 <i>Une validation du travail à poursuivre</i>	202
3.2 <i>Un objet de recherche à globaliser</i>	203
3.3 <i>De futures directions de recherche</i>	205
Références bibliographiques.....	207
Annexe : Enregistrement du corpus [DPW94] au sens des activités de notre modèle.....	217

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure -1.1 La complexité du problème de conception, [ISH90].....	22
Figure -1.2 Le modèle du processus de conception proposé dans [PAH96].....	24
Figure -1.3 "Over the wall design", tiré de [BOO94].....	26
Figure -1.4 Modélisation possible des réitérations d'un processus séquentiel.....	27
Figure -1.5 La roue du concurrent engineering, [PAR93].....	28
Figure -1.6 Conceptions parallèle et intégrée (en bas) ou séquentielle (en haut).....	29
Figure -2.1 La démarche de recherche suivie.....	39
Figure -3.1 Phases et résolutions de problème dans les modèles séquentiels (en haut) et simultanés (en bas).....	44
Figure -3.2 La communication entre phases dans les modèles séquentiels et simultanés.....	44
Figure -3.3 Les dimensions parcourues par le processus de conception.....	46
Figure -3.4 Modèles classique (en haut), et d'intégration des points de vue (en bas), tiré de [DAR97].....	47
Figure -3.5 Les critères de conception, liens entre problèmes et solutions [BLA98].....	51
Figure -4.1 Les six phases du processus de conception, [ULR00].....	56
Figure -4.2 Le modèle du processus de conception, [ULL02].....	57
Figure -4.3 Le noyau du processus de conception, [PUG90].....	58
Figure -4.4 Le noyau enveloppé des spécifications, [PUG90].....	59
Figure -4.5 Les micro stratégies, [PUR94].....	63
Figure -4.6 Les catégories d'activités de [GIR00].....	63
Figure -4.7 La typologie des actes de conception, [MIC02].....	64
Figure -4.8 Le nœud de décision, [AHM02].....	65
Figure -4.9 Transformation d'un espace fonctionnel en un espace physique, [SUH90].....	68
Figure -4.10 Les quatre domaines de la conception, [SUH01].....	69
Figure -4.11 La relation entre propriétés et qualités, [MOR93].....	70
Figure -4.12 Les domaines de la conception, [MAL93].....	71
Figure -4.13 Les deux cotés d'un produit, [HAN03].....	72
Figure -4.14 Les deux faces d'un produit, [PER01].....	72
Figure -4.15 Les domaines de la conception, [YAN02].....	73
Figure -4.16 Le modèle FBS, [GER90].....	74
Figure -4.17 Le modèle FBS situé, [GER02].....	75
Figure -4.18 Un exemple d'IBIS, [REG00].....	76
Figure -4.19 Le modèle DRL, [HU00].....	77
Figure .5.1 L'évolution des modèles du processus de conception, [BLE96].....	84
Figure .5.2 Le modèle de [CRO89].....	84
Figure .5.3 L'émergence du produit, conjectures et évaluations, [BLA98a].....	85

Figure .5.4 Espaces du problème et de la solution, [BRI03a].....	86
Figure .5.5 Le modèle co-évolutif, [MAH03].....	86
Figure .5.6 Notre représentation du processus de conception co-évolutif.....	88
Figure .5.7 Le carré de conception, [HAT03].....	89
Figure .5.8 Le cahier des charges de [DPW94].....	94
Figure .5.9 Le premier extrait du corpus, lecture d'un compte rendu d'essai d'un prototype.....	96
Figure .5.10 Le second extrait du corpus, considération de la configuration de la solution finale.....	96
Figure .5.11 Le processus de conception de [DPW94] selon les axes du temps et problème/solution (noté P et S). 99	
Figure .5.12 Les occurrences des différents types d'activité.....	100
Figure 5.13 Durée et proportion des activités mises en œuvre.....	100
Figure .5.14 La fréquence des différentes activités en fonction de leur durée.....	102
Figure 5.15 La proportion de temps cumulé passé à la mise en œuvre des quatre activités, en fonction de la progression dans le processus (en secondes).....	103
Figure 5.16 Occurrences des activités dans un plan instant/durée.....	104
Figure .7.1 La décomposition fonctionnelle, [PAH96].....	128
Figure .7.2 Une feuille de sélection, [PAH96].....	129
Figure .7.3 Un arbre de décision, [PAH96].....	130
Figure 7.4 Les navigations supportées par les outils de Pahl et Beitz.....	132
Figure .7.5 L'analyse fonctionnelle comme lien entre problème et solution, [PRU03].....	134
Figure .7.6 La méthode des milieux extérieurs pour un élément d'un système de remontée mécanique, [ZWO03].. 135	
Figure .7.7 Le FAST pour un élément d'un système de remontée mécanique, [ZWO03].....	136
Figure .7.8 Un arbre fonctions/moyens, [HAN97].....	138
Figure .7.9 Les navigations supportées par les outils de l'analyse fonctionnelle.....	140
Figure .7.10 Les navigations supportées par les arbres fonctions/moyens.....	141
Figure .7.11 La première maison de la qualité.....	142
Figure .7.12 Un outil similaire à la maison de la qualité dans une approche par domaines (de propriétés), [HUB96].....	144
Figure .7.13 Les navigations supportées par la maison de la qualité.....	145
Figure .7.14 Les éléments du PDS, [PUG90].....	146
Figure .7.15 Une matrice d'évaluation dans le cas d'un avertisseur sonore, et les différentes alternatives proposées, [PUG90].....	147
Figure .7.16 La convergence contrôlée, [PUG90].....	148
Figure .7.17 La navigation supportée par [PUG90].....	149
Figure .7.18 La hiérarchie proposée pour formaliser l'évaluation et la décision orientée «Valeur ».....	165
Figure 8.1 Diagramme des classes.....	170
Figure 8.2 Les arbres fonctions/moyens pour décrire l'axe de justification (à gauche) ou d'abstraction/détail (à droite).....	172
Figure .8.3 La structure d'objet enrichie.....	179
Figure .8.4. La classe d'objets ressource.....	181
Figure .8.5. L'outil dans le cas de l'utilisation d'outils existants.....	187
Figure .8.6. L'outil utilisé par un acteur dédié.....	187
Figure .8.7. Exemples de règles de traduction entre un outil et la structure d'objets.....	188
Figure .8.8. Exemple d'une vue sur la structure d'objets.....	188
Figure .9.1 La première partie de notre travail située dans l'approche de [BRI03].....	198

Figure .9.2 La démarche suivie lors de la seconde partie de notre travail de recherche, d'après [BRI03]..... 199
Figure .9.3 Méthode de recherche proposée dans [BLE02]..... 200
Figure .9.4 Le réseau des critères et facteurs influents de notre recherche..... 202

Tableaux

Tableau-4.1 Les phases du processus de conception proposées par Pahl et Beitz, Ulrich et Eppinger, Ullman, Pugh et les normes relatives à l'AV..... 59
Tableau-4.2 Les activités évaluatives des modèles descriptifs.....66
Tableau-4.3 Les catégories de domaines proposés par [voir tableau]..... 79
Tableau-4.4 Les trois modèles de base du processus de conception..... 81
Tableau.5.1 Quelques exemples d'objets de la classe draft, tirés de [DPW94]..... 108
Tableau.5.2 Quelques contraintes issues du corpus [DPW94]..... 109
Tableau.5.3 Quelques exemples de besoins exprimés tirés de [DPW94]..... 110
Tableau.5.4 Quelques exemples de critères d'évaluation..... 111
Tableau 7.1 Les phases du QFD.....142
Tableau 8.1 Les 4 classes d'objets proposées dans la partie précédente..... 169
Tableau-9.1 Les étapes de la première partie de notre recherche..... 201
Tableau 9.2 Les étapes de la seconde partie de notre recherche..... 201

INTRODUCTION

Ce mémoire présente les résultats de notre travail de thèse, mené au sein de l'équipe *Conception Intégrée* du laboratoire *Sols, Solides, Structures*. Les activités de recherche menées par cette équipe visent à améliorer la conception et le développement des produits et des systèmes mécaniques en proposant des méthodes, des modèles et des outils pour la conception concourante et la co-conception dans un contexte d'ingénierie simultanée.

La conception, activité humaine, a de tous temps impliqué la mise en oeuvre de modèles, méthodes et outils. L'histoire récente a vu l'attention portée à l'étude et au développement de ces modèles, outils et méthodes croître. Alors que les efforts dirigés vers le progrès industriel se sont longtemps adressés aux activités de production, l'importance de l'étape de conception sur la compétitivité des produits industriels en a fait un sujet d'étude privilégié, considéré comme le moteur de la réussite sur les trois plans {Qualité, Coûts et Délai de mise sur le marché}. Outre cette triple réussite, la conjoncture économique impose aux entreprises de toujours progresser, s'améliorer, pour au minimum suivre, au mieux devancer ses concurrents. L'innovation devient alors une stratégie nécessaire, qui permet à l'entreprise de s'ouvrir de nouvelles voies dans sa perpétuelle conquête du marché.

Les organisations industrielles ont changé afin de répondre à ces impératifs. Aux organisations séquentielles, cloisonnées par une hiérarchie professionnelle et culturelle, ont succédé les plateaux projets, la conception parallèle, l'ingénierie concourante ou simultanée et le travail collaboratif. Ces nouvelles organisations se destinent à mettre en oeuvre des processus de conception plus court par la parallélisation des tâches, aboutissant à des produits de meilleure qualité et moins chers en intégrant les acteurs de tout le cycle de conception et de fabrication au plus tôt dans le processus de conception.

Depuis quelques années (le rapport de la commission Brundtland date de 1987), les concepteurs doivent en outre faire face au défi du développement durable. Il s'agit maintenant d'intégrer les acteurs, actuels ou futurs de l'ensemble du cycle de vie du produit et les valeurs

de tous ses acteurs, environnement et monde social compris. Pour cela il faut résoudre un problème de conception de plus en plus :

- Complexe. Il faut intégrer les valeurs, les points de vues, les objectifs d'un nombre croissant d'acteurs. Cette intégration concerne aussi bien le produit (dont les performances sont techniques, économiques, environnementales...) ou le processus qui y mène (les tâches sont nombreuses, non indépendantes, les acteurs sont nombreux et doivent collaborer efficacement dans la résolution de ces tâches).
- Mal défini. La réactivité imposée par le marché, la rapidité de l'évolution du monde actuel font de la conception une activité nécessairement innovante. Il ne s'agit plus de répondre à un marché où la demande s'adapte à l'offre, mais de concevoir aussi bien le problème auquel le produit répond, le besoin qu'il remplit que la solution qui va être vendue. Les problématiques du développement durable ont de plus fait surgir la nécessité de répondre à des problèmes intrinsèquement inconnus (comment optimiser un produit pour sa fin de vie alors que les procédés de traitement des produits ne sont pas encore inventés ?).
- Ouvert. Les nouvelles technologies et matériaux visent des domaines de plus en plus larges. Les concepteurs, dans un élan d'innovation, doivent étendre au maximum leur inspiration, leur analyse, leur créativité. Il s'agit d'inventer des problèmes auxquels répondre autant que des solutions.

Offrir aux concepteurs des modèles, méthodes et outils qui supportent de façon efficace et efficiente leur travail dans un contexte de conception intégrée relève donc d'une problématique très large. Un travail de thèse ne saurait prétendre y répondre dans sa globalité, c'est pourquoi il convient de définir avec plus de précision, dans cette problématique, le sujet et les enjeux de notre travail de recherche. L'évolution soulevée plus haut (celle des organisations industrielles) pose la question de la représentation, la description, la modélisation des processus de conception dans un contexte d'ingénierie concurrente. Nous étudierons plus particulièrement les contributions de l'approche co-évolutive à cette problématique, et chercherons à rendre compte de la place de l'évaluation dans ce processus et de sa dynamique. D'autre part, nous envisagerons le support de la mise en oeuvre des activités de ce processus. Nous nous attacherons particulièrement à tenir compte de la nature opportuniste des mécanismes de sa planification.

Ce mémoire décrit les résultats de la recherche menée pour traiter ces questions dans une organisation en trois parties :

Dans le premier chapitre, nous définirons notre sujet d'étude en nous basant sur les caractéristiques des problèmes de conception, qui ont orienté nos investigations et constituent en ce sens les hypothèses de notre travail. Le second chapitre présente alors le processus qui a conduit à la réalisation de ce mémoire. Il offre ainsi un regard méthodologique sur la définition de notre problématique et sur la construction de notre proposition de réponse.

Dans la deuxième partie, le chapitre 3 étudie la nature du processus de conception et de sa représentation. Cette étude nous conduit à constater les limites des approches séquentielles pour représenter toutes les caractéristiques des processus réels, puis à proposer de décrire le processus de conception comme multidimensionnel. Un état de l'art nous permettra alors d'identifier, dans les travaux existants, plusieurs modes de représentations du processus qui décrivent autant de ses dimensions (Chapitre 4). Nous retiendrons de cette étude les concepts de domaine et d'activité, que nous associerons pour proposer, dans le chapitre 5, ***un modèle co-évolutif du processus de conception***. Une étude de protocole permet d'illustrer la capacité de ce modèle à traduire un processus de conception existant, tenant compte notamment de sa dynamique opportuniste.

La troisième partie répond à la question du support au processus de conception, et est construite selon le même schéma que la partie 2. Le chapitre 6 interroge ainsi la notion de support, en définissant les concepts de méthode et d'outil. Un état de l'art présente alors, dans le chapitre 7, les outils existants susceptibles de participer au support des activités d'évaluation et de représentation du problème. Le chapitre 8 définit finalement notre proposition de réponse à cette problématique, en envisageant ***le support du processus de conception selon une démarche opportuniste***. Cette proposition est illustrée par l'étude de protocole déjà citée.

Nous terminerons alors ce mémoire en tirant les conclusions de notre travail et en présentant ses perspectives.

PARTIE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans le premier chapitre, nous définirons notre sujet d'étude en nous basant sur les caractéristiques des problèmes de conception, qui ont orienté nos investigations et constituent en ce sens les hypothèses de notre travail. Le second chapitre présente alors le processus qui a conduit à la réalisation de ce mémoire. Il offre ainsi un regard méthodologique sur la définition de notre problématique et sur la construction de notre proposition de réponse.

Chapitre 1.	Sujet de recherche : Le processus de conception	19
1	La conception, résolution de problème	20
2	Evolution de la conception	22
3	Décrire la conception intégrée	31
4	L'évaluation et l'expression du problème	32
5	Questions de recherche	32
Chapitre 2.	Démarche de recherche	35
1	Etude bibliographique des contraintes et critères de valeur.	36
2	Etude de la problématique de l'aide à la décision multicritère	36
3	Première proposition : un outil d'aide à la décision en conception	37
4	Étude bibliographique centrée sur la conception co-évolutive.	38
5	Un nouveau modèle du processus de conception	38
6	Du modèle à l'outil	38
7	Résumé	39

La recherche, c'est ce que je fais quand je ne sais pas ce que je fais.

Werner Von Braun.

Partie 1.

CHAPITRE 1. SUJET DE RECHERCHE : LE PROCESSUS DE CONCEPTION

Notre travail de thèse a pour objet principal le processus de conception, et plus particulièrement le processus de conception de produits et de systèmes mécaniques. Nous accepterons une définition donnée dans [ULL02], qui considère ce processus comme aboutissant à la définition d'objets *physiques* (par opposition aux programmes informatiques par exemple), *discrets* (par opposition aux matières premières ou aux tissus par exemple) et issus de l'*ingénierie* (par opposition à la publication de périodiques par exemple).

Une opinion aujourd'hui partagée au sein de la communauté de chercheurs en conception considère que ce processus consiste d'un point de vue macroscopique à transformer un besoin en définition d'un produit, incluant éventuellement la définition de son processus de fabrication. Un débat existe quant aux limites aval de ce processus, certains y incluant par exemple la phase d'utilisation, l'usage d'un produit étant conçu par son utilisateur et cet usage pouvant conduire à une modification du produit (nous retiendrons le terme de solution pour désigner l'« objet » conçu, qu'il soit l'artefact seul ou l'artefact et son usage). Un autre débat existe quant à sa limite amont, à savoir selon que l'identification du besoin et son expression initiale soit une tâche incluse dans la conception, ou du ressort d'une autre phase. En effet l'identification du besoin et son expression résulteront en une interprétation, une modélisation du besoin réel [YAN02]. Nous situons notre travail, d'autre part, dans la société globale actuelle. Dans ce contexte nous remarquerons que la mise en œuvre des étapes aval du cycle de vie du produit passe par sa mise sur le marché, et sa réussite dans ce cadre, ce qui implique une décision d'achat.

Concevoir consiste donc à transformer un besoin, ou tout du moins un besoin exprimé, en définition d'une solution. Ce processus, cette activité humaine est une expression de la

créativité des hommes qui la mette en œuvre. Cette mise en œuvre permet de passer d'une situation initiale problématique, dans laquelle un besoin n'est pas satisfait, ou est considéré comme pouvant être mieux satisfait, à une situation dans laquelle il l'est, ou l'est mieux. D'un point de vue macroscopique, nous sommes donc en face d'une résolution de problème.

1 La conception, résolution de problème

Le déroulement du processus de conception consiste alors en un passage d'une situation initiale d'insatisfaction à une situation objective, dans laquelle cette insatisfaction est résolue par la définition du produit. Ce processus peut donc être considéré comme une résolution de problème [SIM73].

Dans le cas de la conception de produits, les problèmes traités présentent certaines caractéristiques particulières sur lesquelles nous allons revenir ci-après.

1.1 Un problème mal défini

Selon Simon [SIM73], il existe une distinction entre les problèmes *bien définis* et les problèmes *mal définis*, selon que l'état initial, l'état but et les opérateurs qui permettent de passer de l'un à l'autre soient ou non spécifiés de façon explicite ou conformément à certaines conventions formelles. Dans le cas d'un problème de conception (exception faite de certaines procédures de conception routinières très limitées, telles que des procédures d'optimisation par exemple), nous conviendrons que certains aspects sont initialement incomplets, ou non spécifiés formellement. Certaines données peuvent par exemple être déterminées durant le déroulement du processus, et modifier la connaissance que l'on a du problème ou de l'état final. De ce fait nous concluons avec Schön [SCH83] et Visser [VIS02] qu'un problème de conception est par nature *mal défini*.

1.2 Un problème ouvert

Selon Fustier [FUS89], il existe de plus une distinction entre les problèmes *fermés* et les problèmes *ouverts*. Dans le cas d'un problème fermé, la solution, ou l'état final, consiste en un réagencement des données du problème, ou de l'état initial, le réagencement étant soumis à des règles de transformation. Dans ce cas, la solution du problème est soit unique, soit appartient à un ensemble fini [ibid.]. Par opposition, les problèmes ouverts admettent plusieurs solutions, leur nombre n'étant ni prévisible ni fini. Nous considérerons donc qu'un

problème de conception (encore une fois à l'exception des certaines procédures limitées) est un **problème ouvert**.

1.3 Un problème dont la résolution est collective

Nous situons en effet notre travail dans un cadre de conception industrielle (par opposition à une conception artisanale, dans laquelle l'artisan est le seul acteur impliqué dans la conception du produit). Dans ce contexte, la conception est aujourd'hui l'œuvre de plusieurs acteurs différents, issus de différents métiers. Cette parcellisation, dans l'organisation industrielle, des acteurs de la conception est notamment expliquée par Midler dans son *modèle d'ingénierie* [MID97][MUN02]. La conception est donc bien un processus collectif.

Ces différents acteurs participent conjointement et de façon complémentaire à la résolution du problème de conception. Ils partagent un but commun, qui est celui d'aboutir à la définition du produit. Nous nous trouvons donc dans une situation de coopération [PRU03].

L'aspect collectif induit le besoin d'organiser les activités menées par chacun des acteurs, de les coordonner.

Le processus de conception est une œuvre **collective**, son achèvement nécessite une **coopération** de plusieurs acteurs, ainsi que la **coordination** du travail de ces acteurs.

1.4 Un problème complexe

Cette implication d'acteurs différents va de paire avec la prise en compte de nombreux aspects intervenants dans la résolution du problème (qualité, coût, délai, fiabilité, esthétique...). Ces aspects sont le plus souvent interdépendants, nous pouvons donc considérer le problème de conception comme compliqué [MAI03]. Ces interdépendances, ainsi que le nombre de ces aspects en interdit toute décomposition en sous-problèmes indépendants [VIS02], ainsi qu'une possible unicité [REI64].

Ces aspects correspondent à l'expression de certains points de vue, le plus souvent hétérogènes. Il est impossible de dégager un point de vue unique et global, qui constituerait un référentiel. Ainsi chaque solution proposée lors de la conception peut être appréciée différemment selon chacun des aspects. L'achèvement de la conception correspondra au choix d'une solution parmi l'ensemble des solutions acceptables, la solution finale n'étant pas optimale [BEG97]. Ishii [ISH90] donne une illustration très parlante de cette propriété du processus de conception (Fig. 1.1).

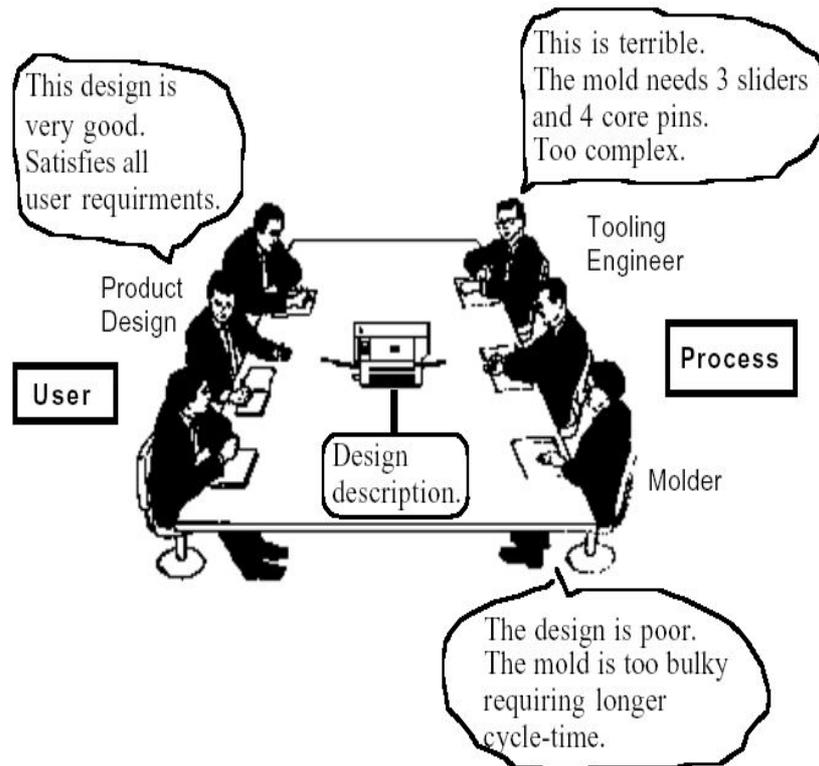


Figure -1.1 La complexité du problème de conception, [ISH90].

Ces deux caractéristiques nous font alors considérer le problème de conception comme un problème *complexe*.

Nous considérons donc que le processus de conception est un processus de résolution de problème, ce problème étant mal défini, ouvert, collectif et complexe. En outre, le contexte actuel est celui d'une conception en évolution rapide. Les organisations industrielles, comme les descriptions du processus de conception, ont effectivement été témoins des dernières décennies d'une évolution franche.

2 Evolution de la conception

Les dernières décennies ont vu se modifier profondément le déroulement des processus de conception industriels. Les organisations basées depuis la seconde guerre mondiale (à la suite du taylorisme) sur le modèle d'ingénierie puis sur le modèle de l'intégration des services [PRU99] ont dû s'adapter aux besoins grandissants en termes de délai de mise sur le marché et de coût de développement, alors que le marché n'est plus en expansion et que la concurrence est de plus en plus féroce.

Ainsi, inspirées notamment de l'organisation des industries japonaises et des modèles issus du toyotisme, les organisations industrielles occidentales ont adopté un modèle dit d'ingénierie concourante afin de répondre à ces nouveaux besoins.

Alors que le déroulement de la conception dans le premier cas peut être décrit et supporté en s'appuyant sur des modèles dits *séquentiels*, la conception dans l'ingénierie concourante s'appuie sur le modèle dit *simultané*.

2.1 Modèles séquentiels

Dans le modèle d'ingénierie [MID97], les différentes tâches qui constituent le processus de conception sont parcellisées, ce processus est alors considéré comme [PRU99]

Une juxtaposition d'activités coordonnées entre elles par des relations contractuelles.

Dans un contexte où il faut susciter une demande qui au départ n'existe pas [PRU99], ou n'est pas formulée explicitement, le modèle de l'intégration des services va proposer d'intégrer de nouvelles tâches amont au processus de conception, telles que le marketing. Ce modèle de l'intégration considère lui aussi la conception comme une juxtaposition des tâches qui la compose, et dont

Le principe de coordination est procédural, définissant l'intervention séquentielle des différents métiers selon un jalonnement linéaire type. [MID97]

Le déroulement de la conception, dans les organisations industrielles ainsi définies, peut alors être décrit par un modèle séquentiel du processus de conception. Ces modèles séquentiels sont aussi à la base de méthodes de conception, destinées à prescrire et supporter le déroulement du processus dans ce contexte.

Ces modèles sont basés sur une décomposition séquentielle du processus de conception, centrée autour de la notion de phase. Selon cette approche, le processus se compose d'une suite de phases enchaînées, qui partant d'une description du problème auquel les concepteurs vont avoir à faire face, aboutit à la définition complète de la solution. Son déroulement passe donc par la réalisation successive de plusieurs phases, le produit d'une phase donnée servant de point de départ pour la phase suivante. Chaque phase correspond à la mise en œuvre de certaines activités menées par les acteurs lors de son déroulement.

On peut par exemple présenter le modèle proposé par Pahl et Beitz [PAH84]. Celui-ci décrit le processus de conception comme composé de quatre phases successives, correspondant

chacune à un métier¹. Les auteurs recensent ainsi les phases de *clarification of the task*, de *conceptual design*, d'*embodiment design* et de *detail design*. Une phase ne commence qu'une fois la phase précédente terminée ; le produit d'une phase constitue alors la donnée d'entrée de la phase suivante (Fig. 1.2).

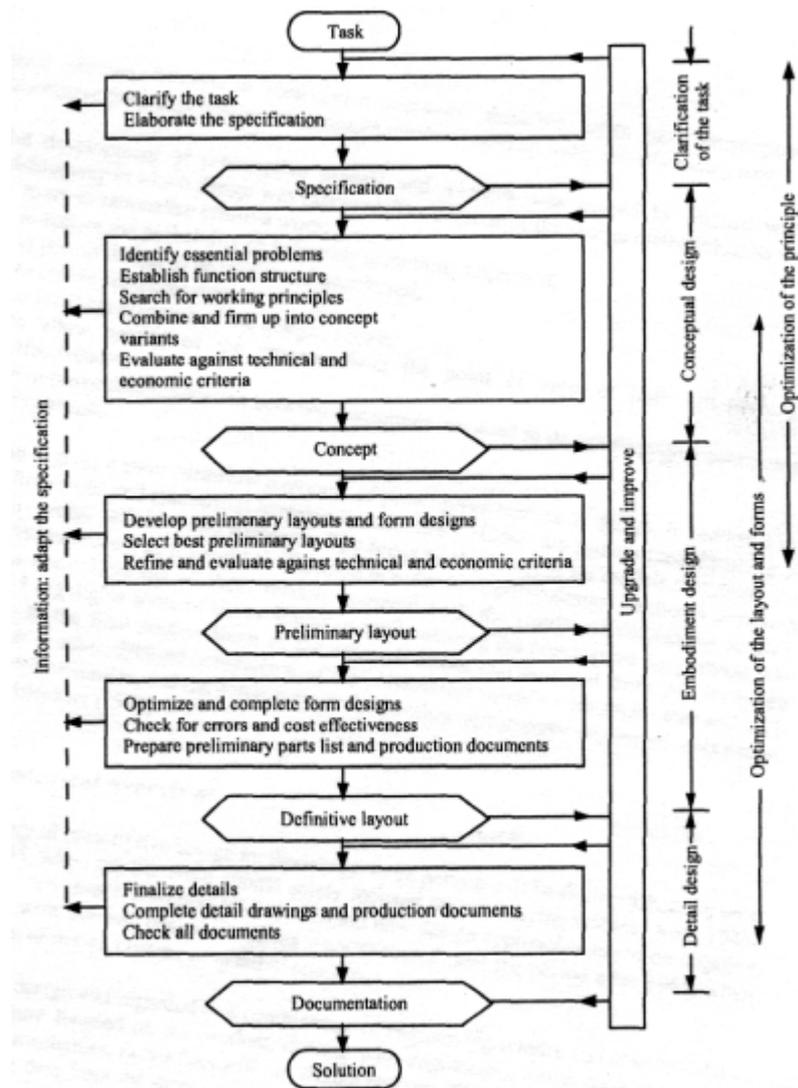


Figure -1.2 Le modèle du processus de conception proposé dans [PAH96]

Nous pouvons considérer le déroulement de chaque phase comme la résolution d'un problème qui lui est propre. L'ensemble de ces sous-problèmes correspond à une décomposition *a priori*, c'est à dire à une planification hiérarchique descendante du problème de conception global. Cette décomposition *a priori* suppose le problème défini initialement, ce qui est

¹ Ce modèle ne s'applique qu'à la partie du processus de conception aboutissant à la définition du produit, sans tenir compte de la définition de son processus de fabrication.

contraire aux caractéristiques constatées d'un problème de conception. Dans ce contexte, en considérant le problème de conception global, nous pouvons remarquer que :

- Au fur et à mesure du déroulement du processus global, le problème est de mieux en mieux défini. En effet chaque phase bénéficie du produit de la phase précédente, ce qui aide à mieux définir le problème auquel elle doit faire face, ainsi que le but qu'elle doit atteindre (par exemple, la phase d'*embodiment design*, dont le but est une structure adjointe d'une géométrie, commence en ayant connaissance d'un concept de solution issu de la phase de *conceptual design*. Ce concept en lui-même définit partiellement l'état final auquel la phase d'*embodiment design* doit parvenir).
- Pour sensiblement les mêmes raisons, le problème est de moins en moins ouvert. En effet l'achèvement d'une phase, en même temps qu'il définit plus précisément le problème que la phase suivante doit résoudre, limite le nombre de solutions possibles pour celle-ci (alors qu'il existe un grand nombre (potentiellement infini) de concepts susceptibles de remplir un besoin donné, un nombre moindre de formes peuvent correspondre à un concept donné). Nous sommes en effet face à une situation de prescription.
- Cette modélisation, si elle sert de base à une démarche opérationnelle, correspond à une planification hiérarchique du déroulement du processus de conception. Cette planification influe sur la façon dont se déroule la coopération lors du déroulement du processus. La coopération n'est supportée qu'au sein de chaque phase. La coordination de l'ensemble des phases étant strictement limitée à la planification de base du modèle [JEA98], la coopération entre les acteurs de phases différentes ne peut se faire que de façon informelle et limitée, et ne peut se passer qu'à partir de *volontés individuelles* [PRU99]. Cette planification agit donc à la fois sur l'aspect collectif du processus de conception, en prescrivant les modalités de coopération, et sur son aspect complexe. Cette modélisation impose en effet, en même temps que la planification du processus, la décomposition du problème global en sous-problèmes locaux, propres à chaque phase, et traités successivement.

Nous pouvons remarquer dans la figure 1.2 qu'au schéma de base proposé s'ajoute un ensemble de réitérations possibles et souvent nécessaires (l'ensemble de liens fléchés entre les différentes étapes pointées et ce que les auteurs nomment *Upgrade and improve* et *information : adapt specifications*). En effet, le déroulement effectif du processus de conception en suivant ce modèle soulève certains problèmes. En considérant chacune des

phases comme la résolution d'un problème, le déroulement linéaire et efficace d'une telle démarche présuppose que l'état final atteint à la fin d'une phase constitue, pour la phase suivante, un état initial à partir duquel il est possible d'atteindre le but espéré (par exemple il suppose qu'une structure proposée pourra, une fois dimensionnée, supporter la charge à laquelle elle est soumise, ou qu'une spécification sur une surface pourra être tenue lors de son usinage). Nous sommes donc en face d'une situation de prescription contractuelle d'une phase envers la suivante. Or ce modèle s'appuyant sur un cloisonnement des différentes phases, cette hypothèse n'est pas forcément vérifiée. Il est en effet possible, dans une organisation basée sur ce modèle, que la phase de conception de produit prescrive la phase de conception de process sans tenir compte de ses contraintes, comme l'illustre la figure 1.3.

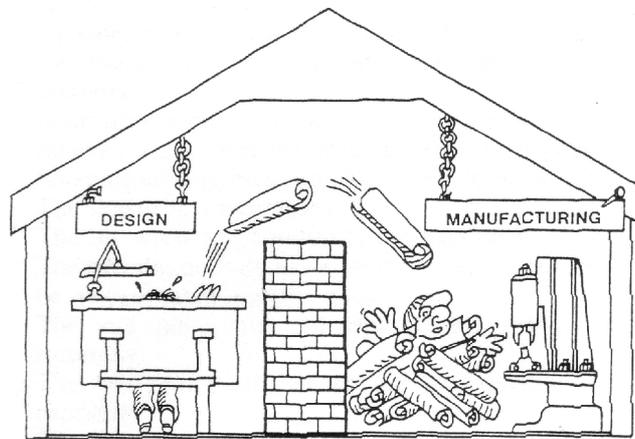


Figure -1.3 "Over the wall design", tiré de [BOO94]

Les re-itérations offrent donc aux acteurs d'une phase (n) n'ayant pu aboutir de façon satisfaisante, de « renvoyer la balle » à la phase précédente (n-1). Cette situation correspond à l'impossibilité pour la phase (n) de remplir ses propres contraintes, à la suite de la solution obtenue par la phase (n-1). Ceci va permettre aux acteurs de la phase (n-1) de tenir compte de cette nouvelle information² lors de la formulation du problème qu'il doit à nouveau résoudre, pour aboutir à une solution tenant compte de cette nouvelle contrainte (Figure 1.4).

² L'impossibilité pour la phase (n) d'aboutir à partir du résultat obtenu par la phase (n-1), en respectant ses propres contraintes.

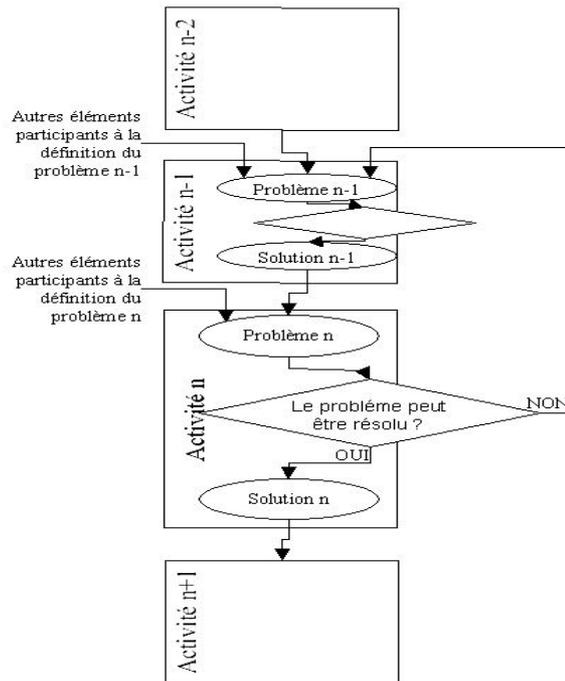


Figure -1.4 Modélisation possible des répétitions d'un processus séquentiel

Afin d'une part de réduire ces problèmes d'incompatibilités entre le produit d'une phase et le déroulement de la suivante, qui engendrent des répétitions et donc des coûts et des délais supplémentaires, et d'autre part de mieux répondre aux évolutions du marché économique, de nouvelles organisations industrielles sont apparues lors des dernières décennies. Le processus de conception au sein de ces organisations n'est plus basé un modèle séquentiel, mais simultané.

2.2 Modèles simultanés

Les dernières décennies ont vu se mettre en place dans de nombreuses entreprises des organisations dites d'ingénierie concurrente. Contrairement aux organisations basées sur le modèle séquentiel linéaire, la coordination en ingénierie concurrente³

cherche à permettre l'expression de tous les points de vue au plus tôt, d'anticiper [MID97].

Cette expression vise à la prise en compte en même temps des contraintes relatives à l'ensemble du cycle de vie du produit. Ces organisations sont basées sur un nouveau modèle du processus de conception, dit de conception simultanée [PAR93].

³ *Concurrent engineering* dans la littérature anglo-saxonne.

Les modèles construits sur cette notion sont toujours basés sur une décomposition du processus de conception en phases. Néanmoins, au lieu de considérer le déroulement des phases comme séquentiel, ce modèle se base sur l'hypothèse de leur déroulement en parallèle. Le produit mais aussi sa fabrication, le système de production, sa maintenance et tous les éléments de son cycle de vie sont pris en compte et définis simultanément (Fig. 1.5).

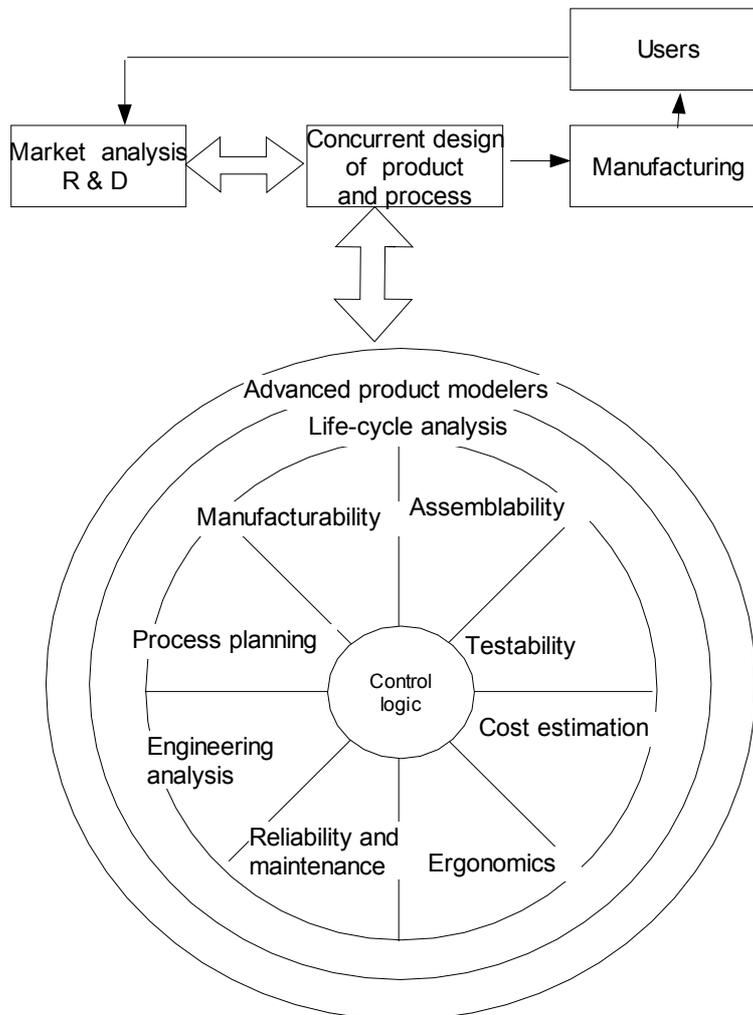


Figure -1.5 La roue du concurrent engineering, [PAR93].

La représentation du processus de conception, selon le modèle simultané, en décrivant le déroulement des phases, permet de constater le gain en terme de temps de développement (Fig. 1.6).

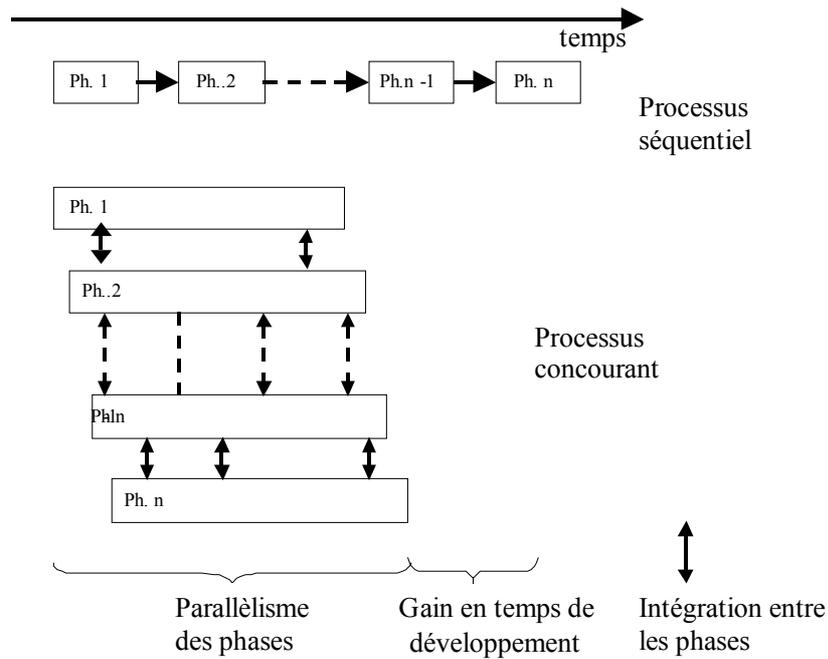


Figure -1.6 Conceptions parallèle et intégrée (en bas) ou séquentielle (en haut).

Néanmoins, ce gain de temps présuppose que chacune des phases aboutisse convenablement. En effet, en considérant encore une fois la réalisation d'une phase comme une résolution de problème, le problème que chaque phase doit résoudre est au moins partiellement défini par certains éléments d'autres phases (il est difficile de définir la gamme d'usinage d'une pièce sans avoir aucune idée de sa forme). L'aspect parallèle de la conception simultanée nécessite donc l'intégration, afin que chaque phase puisse tenir compte des éléments issus des autres phases. Nous rejoignons en ce sens Prudhomme [PRU99] :

- D'une part, les différents acteurs vont se partager la tâche globale et travailler en parallèle : la conception est *parallèle*.
- D'autre part, les différents aspects traités successivement dans les organisations séquentielles doivent désormais être pris en compte simultanément et conjointement : la conception est *intégrée*.

Cette problématique a d'abord été traitée dans la littérature en proposant une *intégration des connaissances*. Il s'agit de formaliser les connaissances propres aux métiers associés aux phases, afin que les acteurs de la conception soient à même d'intégrer ces connaissances dans l'exécution de leur tâche, et donc de tenir compte de contraintes issues d'autres phases.

Cette approche trouvant ses limites, du fait de la difficulté de formaliser les connaissances puis de les décontextualiser et de se les approprier [PRU99], l'intégration a évolué vers une **intégration des acteurs** de la conception [TIC95]. Les différents acteurs sont alors amenés à coopérer au sein d'une équipe de conception. Ceci implique que le déroulement des différentes phases soit coordonné. Cette coordination peut être le fait d'un contrôle extérieur au déroulement des phases, comme d'un contrôle interne mené par les acteurs eux-mêmes. Dans un cas comme dans l'autre, cette coordination doit elle-même naître de la coopération des acteurs impliqués (nous y incluons l'acteur attribué à cette tâche), **dont les modalités sont émergentes**, non figées, non prédéfinies [JEA98]. Les différents acteurs sont amenés par exemple à coopérer via des institutions organisationnelles nouvelles, telles que **les plateaux projets** [GAR94], dans lesquels le contrôle de la coordination est assurée par un acteur différencié, le **chef de projet**, ou les **groupes fonctions** [MOI92], dans lesquels les acteurs impliqués gèrent parallèlement leur tâche de conception, la coordination de leurs tâches et le contrôle de cette coordination.

En considérant le déroulement du processus de conception comme une résolution de problème, nous pouvons remarquer les points suivants :

- Etant face à un problème de conception, celui-ci est, comme nous l'avons vu, mal défini. Chacune des phases menée en parallèle va s'attacher à résoudre une partie de celui-ci, un sous-problème lui-même mal défini. Le déroulement de chaque phase va alors participer à la définition progressive du sous-problème qu'elle traite. Il se pose alors la question de la définition du problème global, et de la progression de cette définition.
- Chaque phase est face à un sous-problème ouvert. Néanmoins, le déroulement des autres phases restreint l'ensemble des solutions possibles à ce sous-problème. Il se pose alors la question de la connaissance, pour une phase, de cette restriction.
- La complexité du problème de conception est traitée, comme dans l'approche séquentielle, par une décomposition a priori du problème (pourtant mal défini). Cette décomposition est associée au découpage organisationnel par phases, chacune traitant un sous-problème qui lui est propre.
- L'aspect collectif du problème de conception est explicitement pris en compte dans le modèle de conception simultanée. Nous avons vu plus haut que la coopération

nécessaire à l'aboutissement réussi du processus de conception passe par une intégration des acteurs de conception.

C'est ce qui est devenu un processus de *conception intégrée* qui sera la thématique centrale de notre travail de thèse.

3 Décrire la conception intégrée

La réalisation d'un processus de conception dans un contexte d'ingénierie concurrente met en œuvre l'intégration d'acteurs différents, qui coopèrent pour atteindre un objectif commun. Cette intégration est assurée par le biais de nombreuses interactions entre ces acteurs. Ces interactions peuvent être le fait de communications formelles (diffusion de documents...) comme de communications informelles (conversations, appels téléphoniques...). Dans une organisation séquentielle, l'interaction supposée entre phases, de type prescriptive et unidirectionnelle, était majoritairement portée par des communications formelles, qui correspondent à une propagation de contraintes vers l'aval. Le modèle séquentiel sur lequel s'appuient ces organisations décrit explicitement et intrinsèquement ces interactions. Hors, le constat que les processus réels de conception ne suivaient que rarement ou ponctuellement ce modèle séquentiel idéal (du fait des itérations) comme la mutation des organisations industrielles vers l'ingénierie concurrente ont rendu ce modèle caduque.

Il est possible d'adopter un modèle simultané, basé sur une mise en parallèle des phases jusqu'alors successives. Cette approche conduit à considérer tacitement les réalisations de ces phases comme indépendantes, chacune traitant d'un sous-problème indépendant des autres. Du fait de la complexité du problème comme de l'aspect collectif du processus de conception, les interactions, moteur de l'intégration, ne sont pas explicitement décrites par ces modèles. De nombreux travaux de recherche sur la conception de produit ont d'ailleurs proposé d'autres notions sur lesquelles baser un modèle du processus de conception, telles que celle de domaine ou de monde [SUH90].

La première problématique traitée dans ce travail de thèse sera donc celle de la modélisation du processus de conception. Nous étudierons en ce sens dans la deuxième partie de ce mémoire comment offrir un modèle du processus de conception qui permette de décrire l'intégration, ainsi que les propriétés du problème de conception. Nous choisirons pour ce faire de partir d'une base la plus générique possible, que nous avons identifiée comme étant décrite à travers les modèles co-évolutifs.

4 L'évaluation et l'expression du problème

4.1 Des aspects fondamentaux de la conception

Voir le processus de conception comme une résolution de problème revient à considérer son achèvement comme l'atteinte d'une situation objective dans laquelle le problème est résolu, c'est à dire le besoin initiateur de la conception satisfait. Nous avons vu d'autre part dans l'introduction de ce chapitre que, dans le contexte choisi, une conception réussie passe par la réussite sur le marché du produit conçu, c'est à dire son achat volontaire. Cette décision d'achat est donc motivée par un jugement, une évaluation de la part de l'acheteur sur la solution proposée.

Ce point de vue révèle l'importance, pour les acteurs de la conception, de pouvoir évaluer cette satisfaction du besoin, et ce au plus tôt, afin de prévoir et de pouvoir viser la réussite sur le marché de la solution conçue. Cette évaluation et sa mise en œuvre sont intimement liées à l'expression qui est faite du besoin. Lors de la conception, activité humaine, les concepteurs doivent tenir compte, outre du besoin, des contraintes qui limitent l'espace des solutions possibles. Nous considérerons donc dans le cadre de cette thèse l'importance de l'expression du problème, et de l'évaluation possible de la solution sur la base de ce problème exprimé.

4.2 L'évaluation, l'expression du problème et leur support

Le processus de conception, du point de vue macroscopique, correspond à la définition d'une solution. Cet aspect synthétique, créatif et inventif est supporté par de nombreux outils, ancestraux (le croquis, le prototypage...) comme plus modernes (le dessin assisté par ordinateur...). Nous avons mis en évidence l'importance des aspects évaluatifs de ce même processus. La seconde problématique traitée dans ce travail de thèse sera donc celle du support à ces aspects évaluatifs.

5 Questions de recherche

Après avoir décrit l'objet de notre étude, c'est à dire le processus de conception intégrée, résolution de problème, nous avons soulevé deux problématiques que nous traiterons dans ce mémoire. Ces deux problématiques s'articulent autour des questions de recherche suivantes :

Q1. Les modèles co-évolutifs sont ils pertinents pour décrire un processus de conception intégrée ?

Q2. Comment supporter l'évaluation et l'expression du problème sur la base de ces modèles ?

Nous avons abordé en outre la question de la motivation de l'achat, qui marque la réussite de la mise sur la marché de la solution conçue. Cette motivation ne se base pas que sur la satisfaction du besoin, mais aussi sur des considérations économiques. Le concept de valeur offre de répondre à cette dualité, son étude sera donc intégrée à notre seconde problématique.

CHAPITRE 2. DÉMARCHE DE RECHERCHE

Dans ce chapitre nous dissertons sur la méthode de recherche que nous avons suivie lors de ce travail de thèse. Cet aspect de notre travail a en effet occupé une grande part de nos efforts. Par analogie avec le processus de conception, nous pourrions dire qu'il est du ressort de la coordination des activités menées lors de notre processus de recherche. Nous avons constaté que le schéma méthodologique suivi pour notre recherche, c'est à dire l'organisation des activités réellement menées, s'est écarté de la planification de nos activités adoptée a priori. Nous avons de même remarqué, toujours par analogie avec les processus de conception, l'aspect itératif de ce phénomène, se renouvelant après chaque réécriture d'un planning prévisionnel.

Alors que ce mémoire est la représentation de la solution adoptée et de la problématique traitée au terme de cette thèse, ce chapitre décrit le processus qui a conduit à cette solution.

Ce processus correspond à la résolution d'un problème de recherche qui vérifie toutes les propriétés d'un problème de conception tel que nous l'avons présenté dans le premier chapitre. Ce problème est en effet mal défini (le fait même d'écrire un sujet de thèse veut dire que ce sujet est mal connu), ouvert (il est pour nous utopique de penser pouvoir recenser ou même dénombrer, surtout a priori, l'ensemble des solutions possibles), relativement complexe (au moins de par la complexité du sujet étudié). Le travail de recherche est en outre collectif, et plus particulièrement selon nous par ses aspects évaluatifs. Bien que n'étant pas un processus de conception de produits et de systèmes mécaniques, le travail mené lors de cette thèse peut être mis en parallèle avec son sujet d'étude.

Ce mémoire explicite les problématiques que nous traitons et définit les solutions que nous proposons au terme de plus de trois ans de travail. En ce sens il ne constitue pas une image du

travail mené, mais de la situation objective à laquelle nous sommes parvenus. En effet le processus qui a conduit à ce mémoire vérifie ce que nous qualifierons de paradigme co-évolutif : Notre problème, exprimé initialement comme la

«modélisation des contraintes et des critères de valeur »,

est explicité dans ce mémoire comme traitant d'une part de la modélisation du processus de conception, d'autre part du support de ce processus. Ce constat nous permet d'illustrer la teneur d'un modèle co-évolutif. En effet, alors que notre proposition a évolué tout au long des ces années, la compréhension et l'expression du problème traité a évolué en parallèle. Nous décrivons dans ce qui suit les différentes étapes de cette co-évolution.

1 Etude bibliographique des contraintes et critères de valeur.

Cette étude s'est organisée autour de deux axes principaux :

- D'une part, l'étude du concept de valeur à travers de nombreux champs disciplinaires allant de l'économie et des finances jusqu'à la philosophie, en passant par les disciplines issues de l'analyse de la valeur, qui sont parfois associées dans la littérature [MIC01] au terme *Valorique*.
- D'autre part, l'étude, à travers les méthodes, outils et techniques de conception existants, du domaine de l'évaluation en conception de produits et systèmes mécaniques.

Ce travail nous a conduit à constater l'importance des aspects évaluatifs du processus de conception. Ces aspects sont d'autant plus importants dans un contexte d'ingénierie concurrente. Il a aussi fait surgir la nécessité de prendre en considération des critères non comparables, et la difficulté de cette tâche, ce qui nous a permis de faire émerger l'importance de disposer de méthodes et d'outils pour mener à bien cette tâche. Nous avons de plus retenu la philosophie de la définition de la valeur proposée dans la norme, mais étendu celle-ci afin de répondre aux impératifs du contexte actuel.

2 Etude de la problématique de l'aide à la décision multicritère

Afin de tendre vers une mesure de la valeur des produits, nous avons vu qu'il était nécessaire d'apprécier conjointement plusieurs critères non comparables (comme le sont, dans la définition de la valeur issue de la norme [NF, EN], la réponse au besoin et la dépense

afférente au produit). Cette notion d'appréciation conjointe de critères non comparables est le fondement des modèles, méthodes et outils d'aide à la décision multicritère. Nous avons dans ce sens effectué un travail ponctuel de recherche sur les méthodes d'aide à la décision multicritère, afin de comparer l'utilisation potentielle des méthodes AHP et ELECTREIII pour le choix de scénario de fin de vie de produits électriques et électroniques [LON02b]. Ce travail, bien que traitant d'un sujet opérationnel, nous a permis d'étudier de façon théorique ces deux méthodes. Il nous a notamment permis d'apprécier les qualités intrinsèques d'AHP pour la formalisation des problèmes de décision multicritère.

3 Première proposition : un outil d'aide à la décision en conception

Suite d'une part à l'étude bibliographique conduite sur la notion de valeur et la place de l'évaluation en conception, et d'autre part au travail effectué relatif à la prise de décision multicritère, nous avons construit un outil d'aide à la décision en conception.

Basé sur le formalisme hiérarchique d'AHP et sur les objets de l'analyse de la valeur, selon une optique « valeur et cycle de vie ». Cet outil était destiné à assister les concepteurs en :

- Mettant à leur disposition un formalisme d'expression de critères d'évaluation rigoureux.
- Offrir par ce formalisme une représentation commune de la conception, servant d'objet de médiation lors des négociations entre différents acteurs du processus de conception. Le même formalisme permet, une fois ces négociations abouties, l'expression des objectifs par le biais d'une pondération hiérarchique suivant les règles d'AHP.
- Supporter la prise de décision en conception selon les critères exprimés.

La mise en application expérimentale de cet outil, sur un cas d'étude industriel, a permis de faire apparaître ses limites. Il était en effet basé sur un modèle statique du processus de conception, selon lequel :

- L'étape de construction des critères précède la proposition de solutions.
- L'évaluation à proprement parler s'appuie sur l'analyse comparative des solutions proposées selon les critères exprimés.

Or l'utilisation de l'outil proposé nous a permis de constater :

- D'une part l'impossibilité de construire a priori l'ensemble des critères utilisés lors des évaluations.
- La réalisation d'évaluations dans un autre cadre que celui du choix comparatif. En effet la proposition d'une solution seule pouvait donner suite à une évaluation de celle-ci, et éventuellement à l'émergence de nouveaux critères.

Nous avons alors identifié la non-pertinence du modèle du processus de conception, basé sur une planification hiérarchique, comme cause des limites constatées. Nous nous sommes repenchés sur la littérature, afin d'identifier quelle autre approche permettrait de construire un nouveau modèle, plus en accord avec les processus réels.

4 Étude bibliographique centrée sur la conception co-évolutive.

Ayant constaté la non-pertinence du premier outil proposé, nous avons cherché à expliquer la non-adéquation avec les démarches de conception réelles. Ceci nous a conduit à prendre en considération les travaux menés dans le domaine de la psychologie cognitive, qui révèlent une mauvaise corrélation entre les cheminements décrits dans les modèles du processus de conception et la démarche cognitive des concepteurs. Notre démarche a alors consisté à trouver une alternative à la modélisation du processus de conception selon les modèles basés sur une planification hiérarchique. Nous avons ainsi identifié puis étudié certains travaux ayant trait à la modélisation co-évolutive du processus de conception. Cette modélisation co-évolutive du processus de conception a alors été considérée comme susceptible de constituer une base pour la construction d'un nouveau modèle du processus de conception.

5 Un nouveau modèle du processus de conception

Alors que la notion de phase constituait la base des modèles centrés sur une planification hiérarchiques, elle n'est pas prise en compte par les modèles co-évolutifs. Ceux ci traitent uniquement de l'évolution parallèle de domaines ou d'espaces. Nous avons alors proposé notre interprétation de la modélisation co-évolutive du processus de conception, et validé sa pertinence par une étude de corpus.

6 Du modèle à l'outil

La démarche suivie jusqu'ici nous a donc permis de proposer un modèle descriptif du processus de conception. En plus de cet aspect descriptif, une recherche menée dans le

domaine de la conception de produit se doit de considérer ce travail comme une base permettant de tendre vers une amélioration de l'objet étudié. En ce sens nous avons étudié ce que cette modélisation apportait au support du processus de conception, notamment en adoptant une vision originale des concept de méthode et d'outil de conception, sur la base de notre approche descriptive. Ceci nous a permis de finalement proposer un nouvel usage des outils existants, et de valider la pertinence de cette proposition encore une fois par l'étude d'un corpus.

7 Résumé

Nous pouvons résumer notre démarche de recherche à travers un schéma synthétique explicitement co-évolutif.

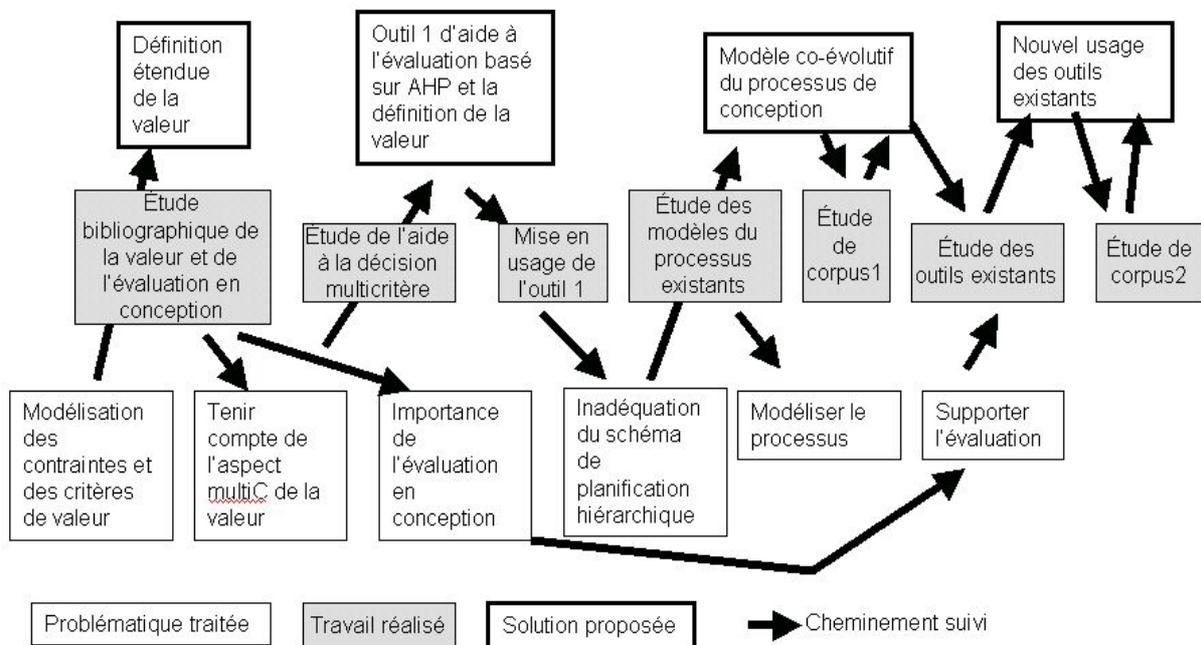


Figure -2.1 La démarche de recherche suivie

PARTIE 2 : DÉCRIRE LE PROCESSUS DE CONCEPTION

*Dans la deuxième partie, le chapitre 3 étudie la nature du processus de conception et de sa représentation. Cette étude nous conduit à constater les limites des approches séquentielles pour représenter toutes les caractéristiques des processus réels, puis à proposer de décrire le processus de conception comme multidimensionnel. Un état de l'art nous permettra alors d'identifier, dans les travaux existants, plusieurs modes de représentations du processus qui décrivent autant de ses dimensions (Chapitre 4). Nous retiendrons de cette étude les concepts de domaine et d'activité, que nous associerons pour proposer, dans le chapitre 5, **un modèle co-évolutif du processus de conception**. Une étude de protocole permet d'illustrer la capacité de ce modèle à traduire un processus de conception existant, tenant compte notamment de sa dynamique opportuniste.*

Chapitre 3. La modélisation du processus de conception et de l'évaluation	43
1 Les difficultés de la modélisation d'un processus de conception parallèle et intégrée	43
2 La conception, un processus multidimensionnel	45
3 L'évaluation et sa dynamique dans le processus de conception.	48
4 Vers un modèle co-évolutif du processus de conception dans un cadre de coopération	53
Chapitre 4. Les modèles existants du processus de conception	55
1 Les modèles basés sur la notion de phase	55
2 Les approches basées sur la notion d'activité.	61
3 Les modèles basés sur les domaines	67
4 Que retenir des modèles existants du processus de conception	80
Chapitre 5. Un modèle co-évolutif du processus de conception	83
1 Introduction	83
2 Notre proposition de modèle co-évolutif	88
3 Validation	94
4 Les objets impliqués dans la mise en oeuvre des activités	106
5 Conclusion	112

Si ton expérience contredit ma parole, crois ton expérience.

Tenzin Gatsyo, quatorzième Dalai Lama.

Traduction de M. Ricard.

Partie 2.

CHAPITRE 3. LA MODÉLISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION ET DE L'ÉVALUATION

1 Les difficultés de la modélisation d'un processus de conception parallèle et intégrée

Nous avons fait état, dans le premier chapitre de ce mémoire, d'une part des caractéristiques des problèmes de conception, d'autre part de l'évolution des organisations industrielles cadres des processus de conception, et subséquemment des modèles décrivant ces processus. Cette introduction nous a permis de constater la non pertinence du modèle séquentiel classique [PAH96] pour décrire à la fois les caractéristiques des problèmes de conception et la dynamique des processus réels. Cette difficulté vient en partie du modèle adopté pour décrire le processus de conception. Alors que les modèles séquentiels décrivent le processus de conception comme une succession de phases, le modèle simultanée le décrit comme une réalisation parallèle de ces phases. Chacune des phases peut être vue comme une résolution de problème (Fig. 3.1).

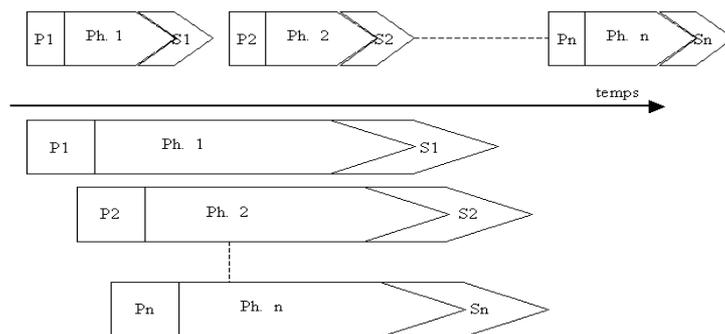


Figure -3.1 Phases et résolutions de problème dans les modèles séquentiels (en haut) et simultanés (en bas).

Il est possible de décrire les interactions formelles, par l'illustration de la communication prescriptive entre phases, dans le cas du modèle séquentiel, et par l'adjonction à ce schéma d'étapes de communication, correspondant par exemple à des revues de projets, dans le cas des modèles simultanés. Or, il est difficile de décrire les interactions informelles dans un schéma tel que celui de la Figure 3.1, comme nous l'illustrons dans la figure 3.2. Nous n'avons pas représenté les interactions à l'intérieur d'une phase.

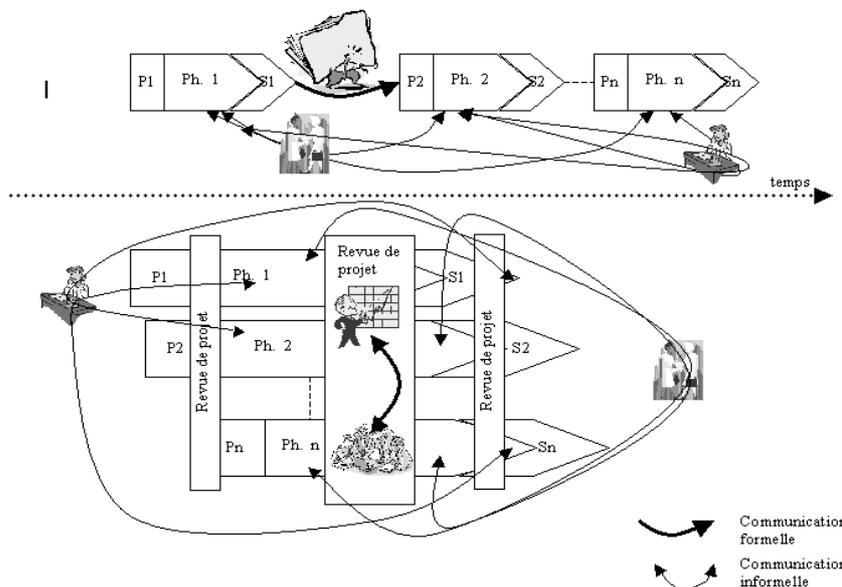


Figure -3.2 La communication entre phases dans les modèles séquentiels et simultanés

La représentation choisie dans la figure précédente questionne en elle-même la difficulté d'offrir un modèle du processus de conception. En effet, dans un contexte séquentiel, la modélisation classique, basée sur un amalgame intrinsèque de l'axe temporel, de l'axe des

phases, de l'axe des métiers associés aux phases et de l'axe de la résolution des problèmes associés aux phases permettait au modèle [PAH96] de représenter de façon homogène le processus de conception. Dans un contexte concourant, la mise en parallèle de ce qui étaient des phases dans les modèles séquentiels est un mode de représentation faussé. En effet, ce sont les tâches précédemment assimilées aux phases qui sont mises en parallèle. La notion de phase n'est pertinente que pour désigner une portion préalablement définie de l'axe temporel (par exemple le laps de temps qui sépare deux revues de projets dans la figure 3.2).

2 La conception, un processus multidimensionnel

Nous avons évoqué en outre qu'un problème de conception était ouvert et mal défini. Nous nous proposons donc de réfuter de plus l'hypothèse de l'amalgame entre l'axe temporel (et donc des phases) et l'axe de la résolution de problème.

En ce sens nous rejoignons les conclusions de Schön [SCH83] et Visser [VIS02] qui donnent au problème et à sa construction une importance capitale. De ce fait, le processus de conception, qui correspond d'un point de vue macroscopique au passage d'une situation problématique à une situation objective et donc à une résolution de problème, implique d'un point de vue plus fin la mise en oeuvre alternative d'activités de *problem solving* et de *problem setting/framing*. Nidamarthi [NID97] arrive à la même conclusion à partir d'une étude descriptive des activités menées indépendamment par deux concepteurs travaillant seuls, face à un problème donné identique. Il distingue les activités ayant trait à la résolution du problème de celles traitant de la définition du problème, et remarque ainsi que ces dernières sont menées tout au long du processus de conception, et donc ne sont pas naturellement préliminaires aux autres activités de conception.

La représentation du problème évolue alors tout au long du processus de conception. Il convient donc de distinguer outre les deux dimensions du temps (ou des phases) et des tâches associées à ces phases, la dimension distinguant l'expression du problème de la définition des solutions. De plus, nous pouvons assimiler aux tâches les différents métiers auxquels elles sont associées. Ce choix nous conduit à représenter le processus de conception dans un espace à trois dimensions (Fig. 3.3).

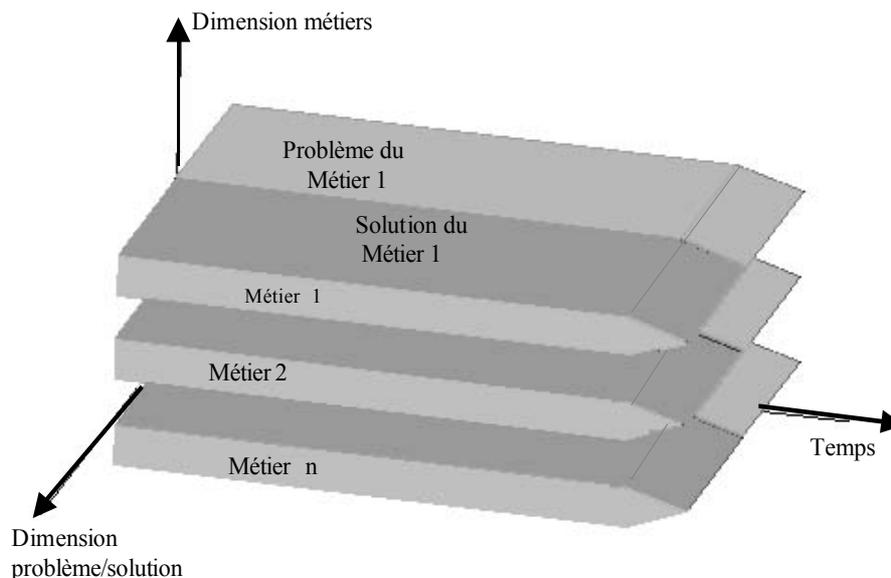


Figure -3.3 Les dimensions parcourues par le processus de conception.

Cette nouvelle représentation nous conduit alors à nous interroger sur les différents points de vue possibles sur le processus.

Il est en effet possible de décrire ce processus selon divers modes de représentation [PER99]. Alors que le modèle séquentiel classique le décrivait comme une suite de phases, c'est à dire un découpage préétabli de l'axe du temps (axe par rapport auquel d'autres dimensions étaient implicitement considérées parallèles), nous avons vu apparaître du fait de l'évolution des organisation industrielles un découpage du processus en métiers exerçant simultanément, ainsi qu'un découpage en problèmes et solutions découplés du découpage temporel.

L'ergonomie cognitive nous fait part d'un autre découpage possible du processus de conception. Ainsi Françoise Darses, en s'intéressant aux aspects cognitifs relatifs aux situations d'ingénierie concurrente, identifie trois axes nécessaires pour définir l'espace de conception [DAR97]. Alors que l'aspect temporel est supporté par l'axe «conduite du projet », ou « phasage », un axe des points de vue décrit le niveau d'abstraction sous lequel est vu l'objet conçu et un axe de détail correspond au raffinement de la solution. L'auteur met en opposition le modèle classique du processus de conception (que nous avons qualifié de séquentiel) et un modèle d'intégration des points de vue. Alors que dans le premier cas les trois axes sont confondus, Darses, dans le modèle d'intégration des points de vue, distingue les axes de phasage et de raffinement de l'axe des point de vue (Fig. 3.4).

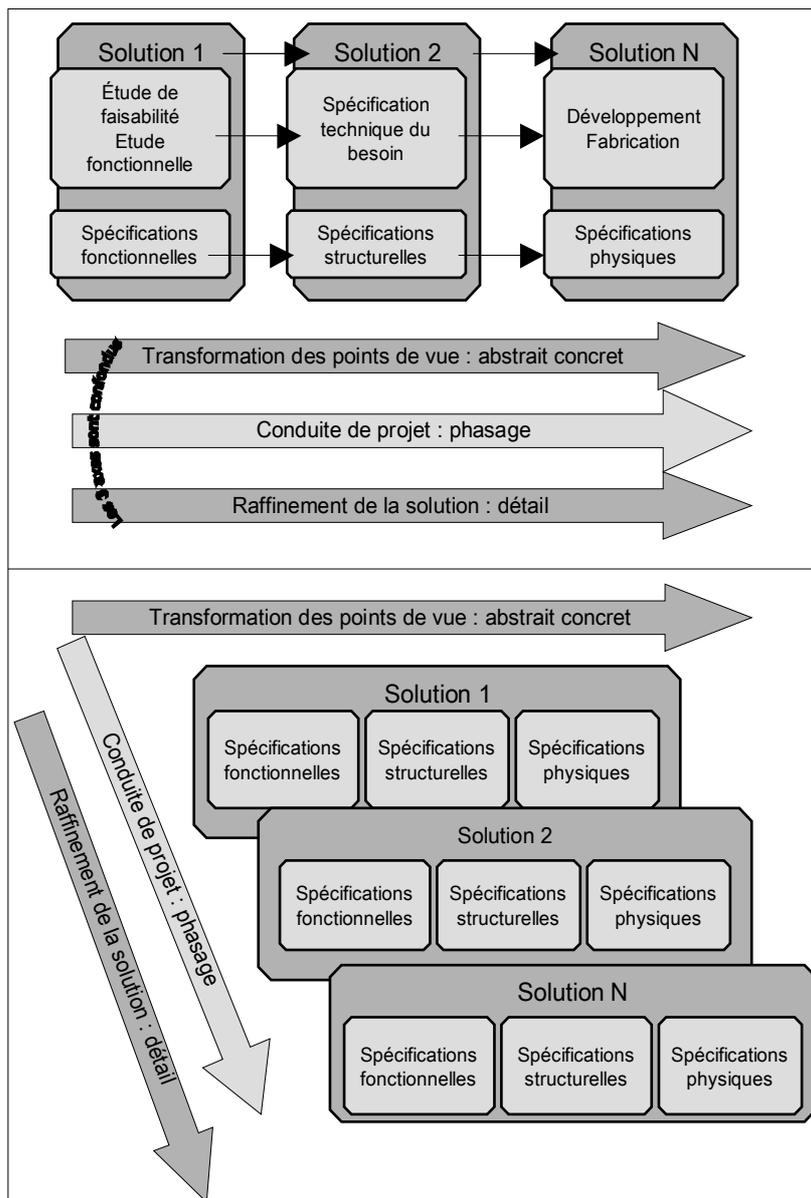


Figure -3.4 Modèles classique (en haut), et d'intégration des points de vue (en bas), tiré de [DAR97]

Là où le modèle classique, par l'assimilation des ces trois axes, prescrivait une nécessaire précedence des points de vue (de l'abstrait vers le concret), le modèle de Darses explicite la simultanéité des points de vue. Les concepteurs opèrent ainsi

en mêlant spontanément les points de vue sur l'objet, en entremêlant les différents niveaux d'abstraction.

Le schéma proposé par Darses nous permet de considérer, par le découpage qui est proposé le long de l'axe des points de vue, l'existence simultanée de trois domaines de spécifications, distincts par leur niveau d'abstraction. Cette considération nous montre la possibilité de

décrire le processus de conception par les domaines qui composent une dimension non parallèle à celle du temps.

Nous pouvons donc considérer que le processus de conception décrit un espace défini par au moins quatre dimensions. En effet, à la dimension temporelle s'ajoute au moins celle des métiers, ou des acteurs du processus, celle du point de vue qu'ont ces acteurs sur l'objet en cours de conception, et enfin celle qui distingue d'une part le problème de conception et de l'autre la solution. Nous avons identifié les notions de domaine, apte à décrire le découpage d'un axe non temporel, ainsi que de phase, apte à décrire le découpage (a priori) de l'axe temporel, comme base de la modélisation du processus de conception. Nous passerons en revue dans les travaux existants afin d'identifier, outre ces notions, celles proposées dans la littérature pour décrire l'ensemble des dimensions traversées par le processus de conception.

3 L'évaluation et sa dynamique dans le processus de conception.

L'évaluation, activité analytique, consiste à donner une valeur⁴, une appréciation, un jugement ou une importance à un objet. Dans le contexte de la conception, l'évaluation est l'action d'apprécier l'adéquation entre les solutions proposées et le problème auquel elles sont censées répondre. Ce processus constitue donc un lien entre le domaine des solutions et le domaine du problème.

L'évaluation peut aussi être comparative, et concerner le jugement d'une solution proposée par rapport à une autre. Néanmoins ce jugement se fait là encore selon l'adéquation des solutions avec le problème représenté.

Jones [JON63] constate à propos de l'évaluation dans ce contexte :

the traditional method of evaluation of engineering designs is by judgement, and by reference to the experience of engineers and draughtsmen, while the design is on the drawing board.

Apparaît ici la notion de référence, fondamentale à notre sens dans l'étude de l'évaluation.

Bonnardel [BON92] définit le processus⁵ d'évaluation comme dual, car il intègre deux traitements :

- La caractérisation de l'objet à évaluer, qui aboutit à la construction d'une représentation de cet objet.

⁴ Valeur a ici son sens générique, différent de celui donné dans les chapitres suivants.

⁵ Au sens cognitif.

- La comparaison de la représentation de l'objet à évaluer avec des référents évaluatifs, qui aboutit à un jugement de satisfaction (ou de non-satisfaction).

L'évaluation constitue donc un lien entre la représentation de la solution et la représentation du problème. Elle se fait en mobilisant aux moins deux éléments, que nous allons traiter maintenant.

3.1 La notion de référent évaluatif

Dans [POV98], les auteurs définissent la notion de *référence de l'évaluation* comme :

La représentation mentale et personnelle d'un optimum du produit à concevoir.

Cette notion a trait dans [POV98] à la connotation (positive ou négative) que les différents acteurs donnent aux critères qu'ils mobilisent. La notion de critère sera étudiée plus en détail dans le paragraphe suivant. La référence de l'évaluation est donc ce qui va, en fonction de ce que l'acteur de la conception se représente comme un idéal, impliquer la direction de son jugement.

Dans [BLA98], les auteurs introduisent la notion de *registre de référence*, par analogie avec les *échelles architecturologiques*⁶. Un registre de référence désigne l'ensemble des préférences et des échelles d'appréciation absolues d'un acteur selon une dimension, on parle par exemple de registre économique. Ces registres participent ainsi à la représentation du problème qu'ont les acteurs de la conception. Dans un contexte de conception, c'est l'activation de ces registres confrontés avec les solutions proposées qui fait naître l'évaluation.

Dans la suite de ce mémoire, et pour le contexte de notre étude, nous assimilerons les notions de *référence de l'évaluation* et de *registre de référence* à celui de **référent évaluatif**.

La notion de référent évaluatif décrit ainsi, entre autres, la part de subjectif et de personnel qui existe dans l'évaluation. Si ce phénomène est évident en ce qui concerne par exemple l'évaluation d'une oeuvre artistique, il l'est moins dans le contexte de la conception de produits et de systèmes mécaniques. Pourtant le jugement de chaque acteur du processus de conception dépend, en plus de déductions rationnelles basées sur les sciences de l'ingénieur, de son intuition, de son passé culturel ou de sa connaissance personnelle du contexte humain par exemple.

⁶ Boudon P., Desahyès P., Pousin F. et Schatz F., *Enseigner la conception architecturale*, cours d'architecturologie, éditions de la Vilette, 1994 cité dans [BLA98].

3.2 La notion de critère

(Du grec Kriterion, de Krinein, juger). Caractère, principe qui permet de distinguer une chose d'une autre, d'émettre un jugement, une estimation⁷.

La notion de critère, telle que définie dans le langage courant, est donc le moteur du jugement. Dans un contexte de conception, ce sens s'enrichit de nouvelles propriétés. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, pour [POV98], le critère est connoté (positivement ou négativement) par la comparaison à la référence de l'évaluation. Le critère est ainsi considéré comme

[...une entité qui n'est pas objective, mais qui dépend de l'acteur qui le mobilise.]

Ces travaux ([POV98], [BRI03a]) traitent de l'enregistrement de la *logique de conception*. Selon cette approche, le critère est un élément mobilisé pour évaluer partiellement une conjecture, c'est à dire une proposition de solution, l'hypothèse qu'une solution considérée est à même de résoudre le problème. Il apparaît pour la renforcer (connotation positive) ou pour l'affaiblir (connotation négative), selon que cette conjecture est, d'après le jugement de l'acteur qui mobilise le critère, meilleure ou moins bonne que celle (imaginaire) qui correspond à sa référence d'évaluation.

Selon l'approche présentée dans [BLA98], les critères de conception

Ne sont pas préexistants à la conception, ils sont construits et négociés en même temps que les caractéristiques du produit. En ce sens ils participent à la recomposition du problème de conception. [...ils sont] une prise sur l'objet à concevoir permettant à un acteur du processus de conception d'évaluer une solution.

Cette définition, qui place le critère à l'interface du problème et de la solution, est illustrée dans la figure 3.5.

⁷ *Petit Larousse Illustré*, Larousse, Paris, 1994.

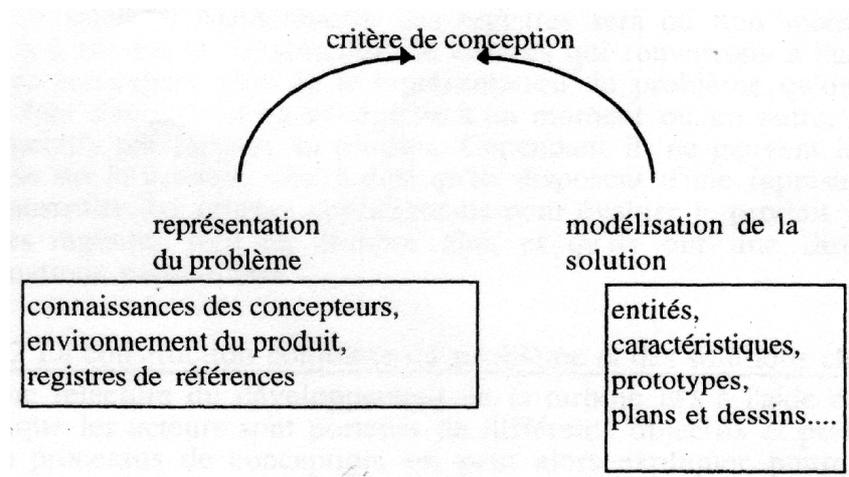


Figure -3.5 Les critères de conception, liens entre problèmes et solutions [BLA98].

De même que pour le référent évaluatif, nous assimilerons, pour le contexte d'étude, les notions de critère [POV98] et de critère de conception [BLA98] à celle de *critère d'évaluation*. Le critère d'évaluation est alors l'objet qui permet de lier comparativement la solution au référent évaluatif. De plus, il participe à la *recomposition du problème de conception* [ibid.], et en ce sens, dans la dynamique d'un processus de conception, participe à l'évolution de l'expression du problème.

3.3 Un contexte de conception intégrée

Les concepts de référent évaluatif et de critère que nous venons d'introduire constituent un modèle de l'activité d'évaluation, considérée comme activité individuelle.

Ce travail de thèse s'intéresse à la modélisation et au support du processus de conception, dans un contexte d'ingénierie concourante. Nous avons en ce sens défini le processus de conception comme collectif, impliquant la coopération des acteurs. Cette coopération passe nécessairement par une mise en commun et une convergence dans les buts des différents acteurs du processus de conception [BOU02]. Nous nous concentrons particulièrement, dans le cadre de ce travail, sur ces aspect coopératifs de mise en commun. En ce sens nous ne chercherons pas à modéliser ni les référents évaluatifs ni les critères réels, c'est à dire ceux propres à chaque acteur, mais l'expression de leur mise en commun dans un cadre collaboratif.

Néanmoins nous nous appuyons sur ces deux concepts pour définir l'objet de notre travail de modélisation. En effet, la distinction offerte par ces concepts entre « référence » et « vecteur » de l'évaluation reste pertinente et valide dans un cadre coopératif.

Nous nous servons donc de cette distinction comme base à une nouvelle définition, que nous conserverons pour la suite de ce travail, de ce que nous assimilons au référent évaluatif et aux critères d'évaluation.

Dans un contexte coopératif, nous tenterons de modéliser les objets de l'évaluation qui sont mis en commun. Nous discernons donc le référent évaluatif coopératif, constitué d'une expression commune et partagée du problème de conception, et les critères d'évaluation coopératifs, qui sont les vecteurs de la mise en commun des évaluations effectuées par les différents acteurs.

3.4 La dynamique du processus de conception et l'évaluation

Dans une organisation industrielle basée sur un modèle séquentiel, la dynamique du processus de conception est prescrite par le modèle même (car celui-ci est construit « sur » l'axe du temps), et se doit théoriquement de correspondre à la séquence de phases proposées, c'est à dire la planification proposée par le modèle. Les processus réels, nous l'avons vu, s'écartent de cette dynamique idéale du fait des réitérations qui surviennent lors de leur déroulement. Alors que selon un schéma idéal, le modèle associe la mise en œuvre d'activités d'évaluation à une planification hiérarchique [VIS87] (par exemple les évaluations qui résultent en le choix d'un concept à la fin de la phase de conceptual design), ce sont ces mêmes évaluations qui révèlent aux acteurs de la conception la nécessité d'une réitération (cf. ch.1).

Dans un contexte d'ingénierie concurrente, nous avons mis en évidence la non pertinence de la notion de phase pour la modélisation du processus de conception. Se pose alors la question de la représentation de sa dynamique. De même que les évaluations « initient » les itérations dans un schéma séquentiel, celles-ci ont une importance cruciale dans le contrôle du processus de conception. En effet, les acteurs coopèrent à atteindre un objectif commun. Or cet objectif n'étant pas connu a priori (problème mal défini et ouvert), il ne peut servir seul de guide pour la coopération. Nous considérons alors que l'évaluation, c'est à dire la « mesure » de l'adéquation des solutions avec le problème exprimé, peut servir de guide à la coopération.

4 *Vers un modèle co-évolutif du processus de conception dans un cadre de coopération*

Nous avons dans ce chapitre mis en évidence les difficultés de la modélisation des processus de conception. Cette conception est en effet aujourd'hui parallèle et intégrée, impliquant la coopération de plusieurs acteurs. Nous avons notamment expliqué la relative non-adéquation des modèles séquentiels avec les processus réels de conception à la fois par les caractéristiques des problèmes de conception [SIM81] et par l'aspect intrinsèquement multidimensionnel du processus de conception. Nous nous sommes alors concentré sur les aspects évaluatifs du processus de conception, que nous avons précédemment identifiés comme des aspects fondamentaux de la conception, de part la nature itérative de ce processus . Nous tenterons maintenant de répondre à la problématique ainsi définie, qui traite de la modélisation du processus de conception parallèle et intégrée et de ses aspects évaluatifs. Pour ce faire, dans le chapitre suivant nous passerons en revue les modèles du processus proposés dans la littérature, en étudiant plus particulièrement la place que ces modèles accordent à l'évaluation. En nous appuyant sur cet état de l'art, nous proposerons alors dans le chapitre cinq d'adopter un modèle co-évolutif du processus de conception pour répondre à la problématique définie.

CHAPITRE 4. LES MODÈLES EXISTANTS DU PROCESSUS DE CONCEPTION

De nombreux et divers modèles du processus de conception sont proposés dans la littérature. Cette diversité est, nous l'avons vu, due à la diversité des modes de représentation [PER99] possibles, ainsi qu'à l'aspect multidimensionnel de ce processus.

Nous avons notamment, dans le chapitre précédent, identifié les notions de phases et de domaines qui permettent de décrire certaines de ces dimensions. Nous rejoignons en ce sens Deneux [DEN02] qui, en comparant différentes méthodes de conception de la littérature, distingue les approches algorithmiques, qui selon nous sont basées sur les notions de phases, des approches axiomatiques, qui selon nous sont basées sur la notion de domaine. Nous avons en outre, lors de nos recherches bibliographiques, identifié le concept d'activité. Nous présenterons dans ce chapitre les résultats de cet état de l'art, orienté autour de l'identification, pour chacune des approches proposées d'une part des dimensions décrites, et d'autre part de la place donnée à l'évaluation dans ces modèles.

1 Les modèles basés sur la notion de phase

Nous avons présenté dans le premier chapitre de ce mémoire le modèle du processus de conception sur lequel s'appuie la méthode proposée dans [PAH84, 96]. D'autres méthodes proposées dans la littérature se basent sur un modèle du processus de conception lui aussi centré autour de la notion de phases.

1.1 Les phases de Ulrich, Eppinger et Ullman

Ainsi par exemple, Ulrich et Eppinger, dans [ULR00], décrivent le processus de conception comme la succession de six phases, les membres de l'équipe de conception menant certaines activités durant chacune de celles-ci. Ce modèle est illustré par la figure 4.1.

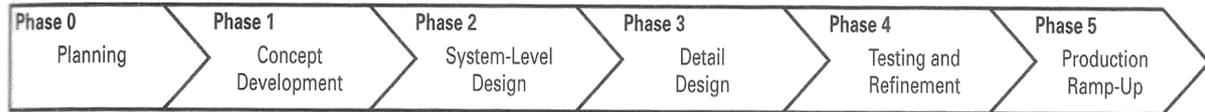


Figure -4.1 Les six phases du processus de conception, [ULR00]

Selon cette approche, à chaque phase correspond un état de la définition du produit. Cette évolution correspond à une évolution en parallèle de la définition des processus de production. Chaque phase correspond à la réalisation d'activités qui y sont associées par des membres de l'équipe de conception, issus des différentes fonctions⁸ impliquées dans la conception (Fabrication, Bureau d'Etudes par exemple).

Le modèle du processus de conception mécanique proposé par Ullman [ULL02] considère le déroulement successif de cinq phases (Fig. 4.2). Chacune de ces phases implique la mise en œuvre de tâches génériques, et la réussite du déroulement d'une phase est approuvée par une revue de conception, qui marque son achèvement.

⁸ Au sens de composante de l'organisation industrielle

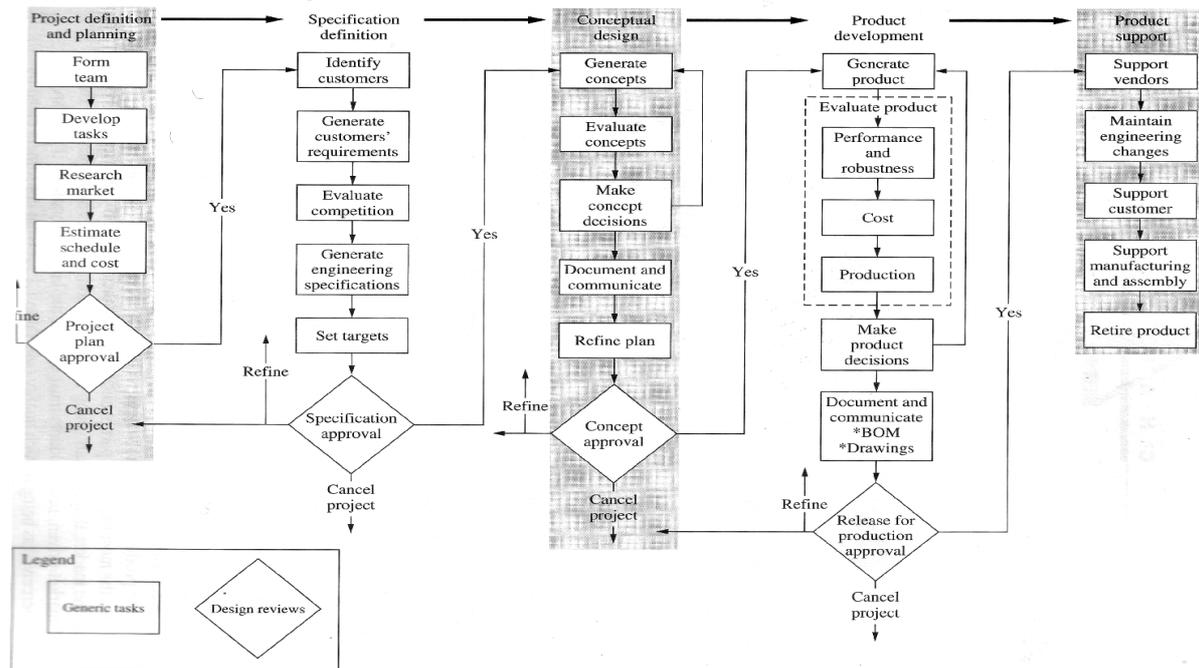


Figure -4.2 Le modèle du processus de conception, [ULL02]

Ces revues correspondent chacune à un niveau de définition du produit ou d'expression du problème. Ainsi, à un plan du projet puis à des spécifications succèdent un concept, une définition du produit (documents et dessins) et de son procédé de fabrication, et enfin de documentation relative aux phases de vie du produit.

1.2 L'Analyse de la Valeur et l'Analyse Fonctionnelle

L'analyse de la valeur est une méthode de conception, normalisée [NF, EN, YAN98], qui préconise un plan de travail en 7 phases :

- Orientation de l'action (1)
- Recherche de l'information (2)
- Analyse des fonctions et coûts (3)
- Recherche des idées et de voies de solutions (4)
- Étude et évaluation des solutions (5)
- Bilan prévisionnel et proposition de choix (6)
- Suivi de la réalisation (7)

Ce plan de travail est suivi par une équipe pluridisciplinaire, constituée d'acteurs issus de tous les métiers de la conception et concernés par toutes les phases de la vie du produit (marketing, fabrication, bureau d'études, utilisateur...). La méthode préconise la mise en place d'une démarche fonctionnelle lors des étapes centrales (phases (3) à (5)) par l'expression fonctionnelle du besoin et l'analyse fonctionnelle des solutions.

Ainsi, il est possible de considérer que l'analyse fonctionnelle, bien que basée sur un modèle du processus de conception vu comme une démarche planifiée en phases successives, révèle l'existence parallèle d'un monde physique, dans lequel existera la solution adoptée, et d'un monde fonctionnel, qui permet à la fois de spécifier et d'analyser les solutions. Nous verrons plus loin qu'il est possible de baser la modélisation du processus sur cette notion de coexistence de mondes parallèles.

1.3 Total design

Dans [PUG90], l'auteur considère le processus de conception comme organisé autour d'un noyau central⁹ de phases, qui s'enchaînent de façon itérative (Fig. 4.3).

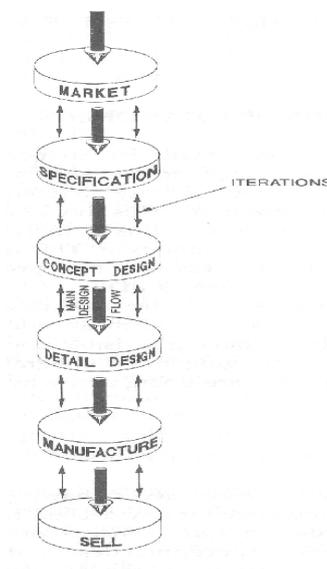


Figure -4.3 Le noyau du processus de conception, [PUG90]

Bien que centrée autour de la notion de phase, l'approche proposée par [PUG90] prend partiellement en compte, comme l'analyse fonctionnelle, la notion de domaines coexistants.

⁹ « Design core »

En effet, l'auteur considère que ce noyau de conception est enveloppé par les *spécifications de conception du produit*, qui en ce sens contrôlent le déroulement des activités (Fig. 4.4).

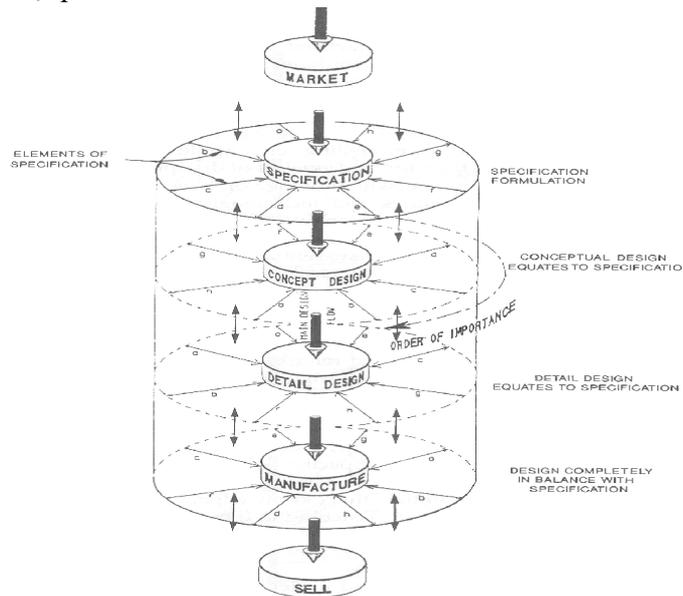


Figure -4.4 Le noyau enveloppé des spécifications, [PUG90].

Nous voyons apparaître, à travers le schéma de la figure 4.4, la représentation d'un processus impliquant la co-évolution de deux domaines distincts, d'une part le noyau de conception et d'autre part les spécifications.

1.4 Synthèse

1.4.1 Des variantes de découpage de l'axe temporel plus que des modèles différents.

Toutes ces approches se basent sur un découpage en phases très proche de celui proposé dans [PAH84, 96], qui décrit le processus de conception selon la dimension temporelle. En ce sens ces différents modèles sont représentatif d'un même point de vue sur le processus de conception, et se distinguent plus par leur terminologie que par leur logique. Nous pouvons remarquer certaines différences dans les décompositions proposées, présentées dans le tableau suivant. Nous noterons notamment que l'étendue temporelle traitée, de même que l'importance relative accordée à chaque étape, ne sont pas les mêmes selon les approches.

[PAH84, 96]	[ULR00]	[ULL03]	[AF/AV]	[PUG90]
Clarification of the task	Planning	Project definition and planning	Orientation de l'action-Recherche de l'information	Market
	Concept development	Specifications definition	Analyse des fonctions et coûts	Specifications
Conceptual design		Conceptual design	Recherche des idées et de voies de solutions	Concept design
Embodiment design	System-level design	Product development	Étude et évaluation des solutions	Detail design
Detail design	Detail design			
	Testing and refinement		Bilan prévisionnel et proposition de choix	
	Production ramp-up	Product support	Suivi de la réalisation	Manufacture
				Sell

Tableau-4.1 Les phases du processus de conception proposées par Pahl et Beitz, Ulrich et Eppinger, Ullman, Pugh et les normes relatives à l'AV.

Nous retiendrons de même l'hypothèse adoptée (plus ou moins explicitement) par ces modèles, qui est de corrélérer totalement :

- La décomposition du problème de conception.
- La planification du produit, i.e. le découpage de sa définition en différents niveaux de détails et/ou d'abstraction (du plus conceptuel au plus physique).
- La planification du processus de conception qui aboutit à sa définition totale.

En ce sens ces modèles sont intrinsèquement unidimensionnels, et ainsi échouent à décrire pertinemment, à notre sens, à la fois la structure même des processus de conception réels (d'autant plus si ceux ci sont basés sur une organisation concurrente), et les caractéristiques des problèmes de conception.

1.4.2 La place de l'évaluation

Selon ces modèles, l'évaluation lors de la conception peut intervenir de plusieurs façons. Nous pouvons ainsi identifier trois modes récurrents, qui sont :

- La construction d'un ensemble de spécifications, dans les toutes premières¹⁰ phases du processus de conception.
- L'évaluation des solutions proposées (selon différents niveaux de définition) face aux spécifications *préalablement* établies, de façon itérative à l'intérieur d'une phase.
- L'évaluation plus formelle qui intervient lors des «revues» qui marquent la fin de chaque phase.

¹⁰ Une ou deux premières phases selon les modèles

Les modèles séquentiels se basent donc sur une démarche prescriptive de l'évaluation. Nous entendons par démarche prescriptive la mise en œuvre d'une méthode de conception s'appuyant sur ces modèles. La construction des spécifications est en effet considérée comme une phase préliminaire, indépendante des évaluations menées lors des phases suivantes. En ce sens ces spécifications prescrivent les évaluations ultérieures. De même chaque évaluation formelle, qui intervient selon un schéma de planification établi a priori, constitue une décision non négociable (ou au prix de réitérations coûteuses) qui prescrit l'ensemble des phases ultérieures du processus de conception.

1.4.3 Conclusion

Nous avons noté que l'analyse fonctionnelle, comme le modèle de [PUG90], basés principalement sur la description du processus de conception comme une suite de phases, font néanmoins état de l'évolution parallèle de deux domaines différents. Nous verrons plus loin que d'autres modèles se basent plus explicitement sur cette notion de domaines.

Nous avons constaté la non pertinence des modèles séquentiels pour modéliser la dynamique réelle qui sous-tend la non linéarité des processus de conception. Parmi ceux-ci, certains évoquent l'existence d'entités plus « fines » que les phases, comme les activités ou les tâches. Il est possible de décrire le processus de conception en considérant le déroulement de ces entités, que nous qualifierons d'activités.

2 Les approches basées sur la notion d'activité.

Plus « fine » que la notion de phase, la notion d'activité, qui semble proche a priori, s'attache à décrire autrement le processus de conception. Alors que la notion de phase décrit une étape du processus de conception, clairement jalonnée temporellement, et définie par une planification hiérarchique et a priori, la notion d'activité rend compte de l'accomplissement des tâches que les acteurs du processus se fixent. Cette notion est présente de façon plus ou moins explicite, comme nous l'avons vu, dans les modèles présentés dans la section précédente, en tant que « sous-phase ». Bien que corrélant avec cette approche la finesse, en terme de découpage temporel, de la notion d'activité devant celle de phase, nous la réfuterons en ce que la notion d'activité, telle que nous l'adoptons, ne fait pas état d'une planification établie a priori.

Un parallèle est possible avec la notion d'activité proposée par les gestionnaires et économistes [LOR97]. En effet, celle-ci se démarque, dans ces travaux, de la notion de

« centre de coût¹¹ », qui est définie par un découpage hiérarchique et fonctionnel¹², en définissant :

Les activités c'est tout ce que les hommes de l'entreprise font, heure après heure et jours après jours : en définitive, tout ce qui fait la substance de l'entreprise, tous ces travaux accomplis par les salariés parce qu'ils savent les accomplir et parce qu'ils pensent devoir les accomplir, tous ces "faire" qui font appel à des "savoir-faire" spécifiques, aussi simples soient-ils [LOR97].

Bien qu'elle s'applique à un contexte différent du nôtre (la gestion et la comptabilité), nous apprécierons la généralité de cette définition et nous la retiendrons pour la suite.

Plusieurs études ont été menées pour identifier quelles étaient les activités menées par les acteurs de la conception, afin d'en déduire la structure réelle du processus de conception et d'en offrir un modèle. Ces études se basent sur autant de démarches d'analyses différentes, qui se distinguent selon de multiples facteurs [PUR94].

Sans être exhaustifs ici, nous présenterons plusieurs de ces approches, qui se basent sur ce que nous considérons être des activités telle que nous les avons définies.

2.1 Les activités de Purcell

Purcell et al. [PUR94] proposent une classification des *micro-stratégies* suivies par un concepteur individuel lors d'une expérience de conception mécanique. Les entités ainsi qualifiées sont pour nous des activités. Leur analyse leur permet d'identifier vingt types de micro-stratégies classés en quatre catégories (Figure 4.5), chaque micro-stratégie pouvant s'appliquer à un niveau d'abstraction donné (Système, sous-système ou détail). Ce modèle montre clairement la différence entre les notions de phase et d'activité. En effet, aux activités proposées dans la figure 4.5 n'est associée aucune planification du processus, qui décrive ni prescrive la séquence d'enchaînement de ces activités.

¹¹ Ou section homogène, centre d'analyse...

¹² Au sens de fonction comme composante de l'organisation industrielle

Analysing Problem
Ap - Analysing the Problem "What is the system going to need to do...."
Cp - Consulting Information about the Problem "The brief says it has to be light and..."
Ep - Evaluating the Problem "That's an important requirement...."
Pp - Postponing Analysis of the Problem "I can find that out later"

Proposing Solution
Ps - Proposing a Solution "The way to solve that is...."
Cl - Clarifying a Solution "I'll do that a bit neater...."
Re - Retracting a Previous Solution "That approach is no good what if I...."
Dd - Making a Design Decision "OK. We'll go for that one...."
Co - Consulting External Information "What are my options...."
Pp - Postponing a Design Action "I need to do later"
La - Looking Ahead "These things will be trivial to do."
Lb - Looking Back "Can I improve this solution?"

Analysing Solution
An - Analysing a Proposed Solution "That will work like this...."
Ju - Justifying a Proposed Solution "This is the way to go because...."
Ca - Calculating on a Proposed Solution As above but using Calculator.
Pa - Postponing Analysis of a Proposed Solution "I'll need to do work that out later"
Ev - Evaluating a Proposed Solution "This is faster, cheaper etc...."

Explicit Strategies
Ka - Referring to Application Knowledge "In this environment it will need to be...."
Kd - Referring to Domain Knowledge "I know that these components are...."
Ds - Referring to Design Strategy "I'm doing this the hard way"

Figure -4.5 Les micro stratégies, [PUR94].

2.2 Les activités de Girod

Girod et al. [GIR00] ont étudié plusieurs équipes de conception (de 3 à 5 membres), et transcrit les dialogues échangés par les membres des groupes étudiés. En s'appuyant initialement sur la littérature existante, les auteurs ont alors mené plusieurs itérations d'une démarche de proposition/validation d'un modèle. Ce travail a abouti à l'identification de douze catégories d'activités.

Discuter de l'approche du processus (Générale ou spécifique)
Identifier les critères
Définir les critères
Pondérer les critères (Formellement ou informellement)
Clarifier des principes de fonctionnement
Clarifier l'environnement du produit (Identifier ou supposer)
Délibérer de sous-problèmes ¹³ (Discuter de, ou accepter des hypothèses à propos de leurs solutions)
Obtenir des informations extérieures
Avancer une preuve, une justification (Sur un performance restreinte, ou globale d'un concept, ou sur la pondération des critères)
Déterminer ou évaluer des performances (Restreintes ou globales, formellement ou informellement)
Traduire l'intuition en classement ¹⁴
Contrôler le processus

Figure -4.6 Les catégories d'activités de [GIR00].

¹³ Traduction choisie pour « issue »

¹⁴ Id., « mapping intuition onto rankins »

Les auteurs définissent de plus des sous-catégories pour six d'entre elles (entre parenthèses dans la figure 4.6). L'analyse des transcriptions étudiées leur permet alors de dégager certaines conclusions sur la relation entre le temps passé à mener les activités des différentes catégories et d'autres facteurs que nous ne décriront pas ici.

2.3 Les activités du laboratoire M3M

L'équipe du laboratoire M3M [MIC02] propose une typologie des *actes de conception*, basée sur l'étude d'une expérience de conception impliquant plusieurs acteurs. Leur analyse s'appuie sur l'étude des échanges verbaux, enregistrés et filmés. Les auteurs définissent un acte de conception comme.

une interaction d'un concepteur dans – ou vers- un groupe de conception.

La typologie proposée considère alors que chaque acte de conception est constitué

d'une action qui porte sur un sujet, éventuellement précisé par un sous-sujet.

La figure 4.7 illustre cette typologie.

Code	Action	Type	Sujet	Sous sujets
P1	Production (P) (proposition, affirmation, négation)	Information	Projet (Pj) (global, ressource, temps, etc.)	Ressources
P2		Solution		Décisions
P3 [+/-]		Évaluation		Environnement
P4		Organisation		
P5 [+/-]		(Dés-) Accord		
P6		Décision		
D1	Demande (D)	Information	Produit (Pd)	Structurel ²
D2		Solution ¹		Fonctionnel
D3		Évaluation		Fabrication
D4		Organisation		
D5		Accord		
D6		Décision		

¹ et / ou proposition de problème

² global, sous-ensembles, composants, etc.

Figure -4.7 La typologie des actes de conception, [MIC02].

L'analyse du corpus étudié en utilisant cette méthodologie permet alors aux auteurs d'identifier des mécanismes et des structures d'action, sur lesquels nous ne nous étendrons pas.

2.4 Les activités de l'approche EVAD

Ahmed et Hansen [AHM02] se sont attachés à modéliser les prises de décision intervenant lors du processus de conception (Evaluation and Decision in design, EVAD). Pour ce faire, ils

proposent la notion de *nœud de décision*, modèle de l'activité générique de décision, et impliquant six sous-activités (Fig. 4.8).

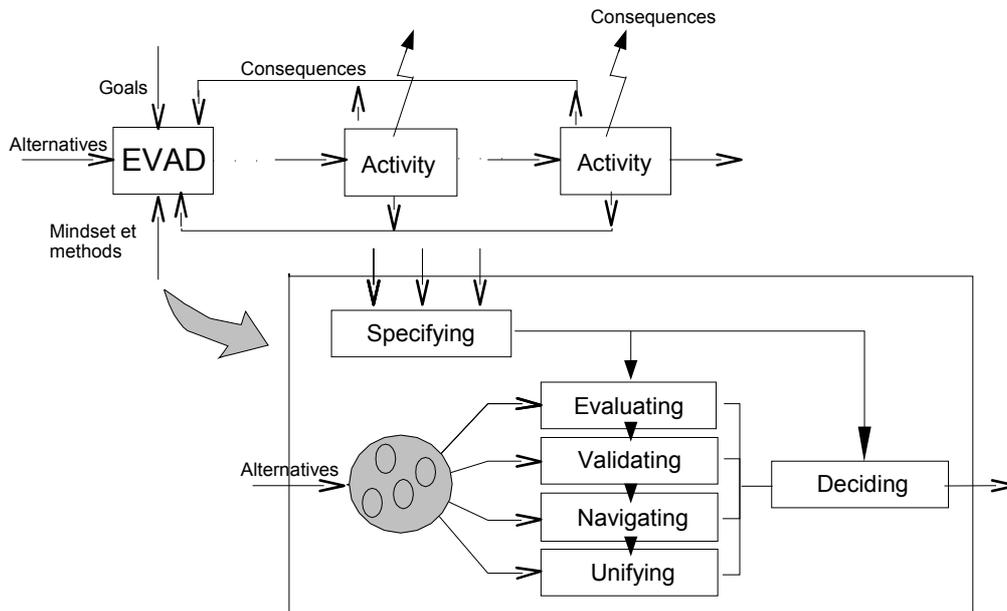


Figure -4.8 Le nœud de décision, [AHM02].

Ainsi, selon ce modèle, une prise de décision dans un cadre de conception implique la mise en œuvre d'activités de *spécification*, *d'évaluation* des alternatives proposées selon les spécification établies, *de validation* de ces évaluations, *de navigation*, c'est à dire de considération de l'évolution de l'activité, *d'unification*, c'est à dire de formalisation des sous-activités précédemment menées, et enfin de *décision*.

Dans une étude descriptive de plusieurs processus de conception, les auteurs se basent alors sur ce modèle pour identifier les stratégies suivies par des concepteurs expérimentés pour mettre en œuvre chacune de ces sous-activités. Nous ne reviendrons pas plus en détail sur ces stratégies dans le cadre de cette thèse.

2.5 Synthèse

2.5.1 L'activité, un constituant élémentaire du processus de conception

Les études que nous avons qualifiées de descriptives du processus de conception ont identifié de multiples classifications possibles des activités menées par ses acteurs de la conception. Elles conduisent donc à modéliser le processus de conception comme le déroulement successif d'un ensemble d'activités. Ces modèles sont en ce sens aptes à décrire la dynamique d'un processus de conception, au moins selon le point de vue des activités qui y sont menées.

La notion d'activité telle qu'elle est proposée dans ces différentes approches, c'est à dire catégorisée en un ensemble d'activités génériques, offre donc un schéma de découpage de l'axe temporel différent de celui associé à la notion de phase. Nous sommes en effet face à un concept qui décrit les actions génériques nécessairement menées par les acteurs de la conception. Celles-ci ne sont pas issues d'une planification hiérarchique adoptée a priori pour la réalisation du processus de conception¹⁵, mais de la volonté des concepteurs et de l'interprétation que ceux-ci font de leurs tâches. Les différents travaux présentés nous donnent donc, selon des approches et des niveaux de granularités différents (selon le nombre de catégories du modèle) un modèle des constituants élémentaires (selon un découpage de l'axe temporel) du processus de conception.

2.5.2 L'activité d'évaluation

Nous avons fait état de différents concepts associés à la notion d'évaluation, tels que ceux de critère d'évaluation et de registre de référence. En ce sens, l'évaluation, l'action d'évaluer implique à la fois l'activation du registre concerné et la mobilisation du critère d'évaluation émergent. Conséquemment, décrire l'évaluation en termes d'activité, selon le niveau de granularité adopté, conduit à y associer plusieurs activités. Les approches vues plus haut considèrent ainsi l'évaluation comme différents ensembles d'activités, qui sont présentés dans le tableau suivant.

[PUR94]	[GIR00]	[MIC02]	[AHM02]
Les activités des catégories <i>analysing problem</i> et <i>analysing solution</i> sont à notre sens relatives à l'évaluation	Les activités <i>Identifier les critères, Définir les critères, Pondérer les critères, Déterminer ou évaluer des performances,</i> ont trait à l'évaluation telle que nous l'avons définie.	Les auteurs proposent des activités de <i>demande ou de proposition d'évaluation.</i>	Selon cette approche, <i>l'évaluation</i> est explicitement une des six activités génériques, bien que les cinq autres soient intimement liées à l'évaluation..

Tableau-4.2 Les activités évaluatives des modèles descriptifs.

Tous ces travaux considèrent donc l'évaluation, à travers une ou plusieurs activités génériques, comme un constituant élémentaire du processus de conception.

¹⁵ Ces modèles traitent la problématique de la planification par la définition d'activités relatives à la stratégies [PUR94], à l'approche et au contrôle du processus [GIR00], au projet [MIC02], à la navigation [AHM02].

2.5.3 Conclusion

Alors que la notion de phase présentée dans la première partie de ce chapitre offre une représentation du processus de conception basée sur une planification hiérarchique et a priori, le concept d'activité permet de représenter, toujours selon l'axe du temps, les tâches traitées naturellement, i.e. indépendamment de toute planification établie précédemment, par les acteurs de la conception. Cet autre mode de représentation ne traite donc lui aussi que de la dimension temporelle du processus de conception. Certains travaux font néanmoins mention d'une ou plusieurs autres dimensions parcourues lors de la mise en œuvre des activités, en évoquant le niveau d'abstraction [PUR94] ou le sujet [MIC02] auxquels s'appliquent les activités. Il est ainsi possible de compléter la représentation de l'axe temporel par une représentation d'une autre dimension non parallèle (les découpages en niveaux d'abstraction [PUR94] et en sujet/sous-sujet [MIC02] sont indépendants), à travers un découpage que nous qualifierons de basé sur les domaines.

3 *Les modèles basés sur les domaines*

Par opposition aux modèles dits algorithmique, i.e. basés sur une planification hiérarchique, et complémentairement aux modèles basés sur les activités, certains modèles du processus de conception sont basés sur une description du processus de conception en un ensemble de domaines. Ces domaines décrivent un découpage d'un ou de plusieurs axes non parallèles à l'axe temporel, qui en ce sens participent à la description d'un processus de conception multidimensionnel. Cet aspect était déjà apparu avec les modèles de l'analyse fonctionnelle et de Pugh [PUG90].

D'autres travaux, basés sur la notion de domaine ou de dimension, traitent explicitement de la modélisation du produit. Notre volonté de faire figurer ces travaux dans cet état de l'art est due à notre objectif d'identification des dimensions qui composent le processus. Nous estimons notre démarche pertinente au sens où ces modèles du produit, destinés à être implémentés dans des méthodes ou des outils de conception, peuvent être vus dans ce contexte comme le modèle d'un (ou plusieurs) axe(s) des points de vue adoptés sur le produit lors de la réalisation du processus de conception.

3.1 Axiomatic design

L'approche axiomatique de la conception est issue des travaux de Suh, au MIT. Cette approche considère le processus de conception comme la transformation du besoin, exprimé en termes d'éléments appartenant à l'espace fonctionnel (*Functional Requirements*), en la définition d'un produit décrit par des éléments appartenant à l'espace physique (*Design Parameters*). La figure 4.9 décrit ce processus de transformation.

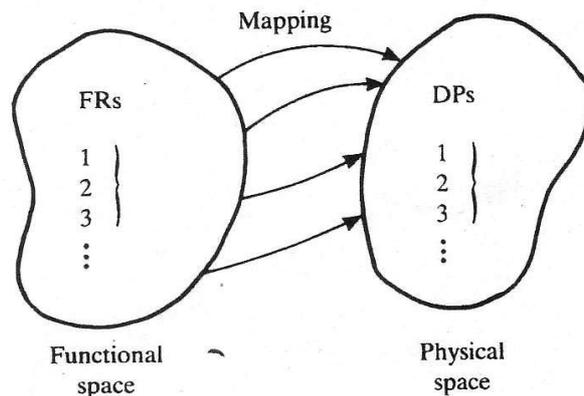


Figure -4.9 Transformation d'un espace fonctionnel en un espace physique, [SUH90].

Les évolutions de cette approche ont conduit à modifier le modèle précédent [SUH01]. Les deux espaces initiaux sont devenus des domaines, et ont été adjoints des domaines du client et des procédés. La conception consiste alors à traduire les besoins du client (*Customer Needs*) en spécifications fonctionnelles (*Functional Requirements*), à transformer celles-ci en paramètres de conception (*Design Parameters*) et ceux-ci en variables du procédés (*Process variables*). Dans le nouveau modèle, ce processus de transformation (*mapping*) n'est plus unidirectionnel, car son déroulement correspond à une succession de zigzags entre les quatre domaines. En ce sens, les différents domaines sont susceptibles de se construire parallèlement et les éléments qui les constituent s'organisent alors hiérarchiquement au sein de leur domaine (Fig. 4.10).

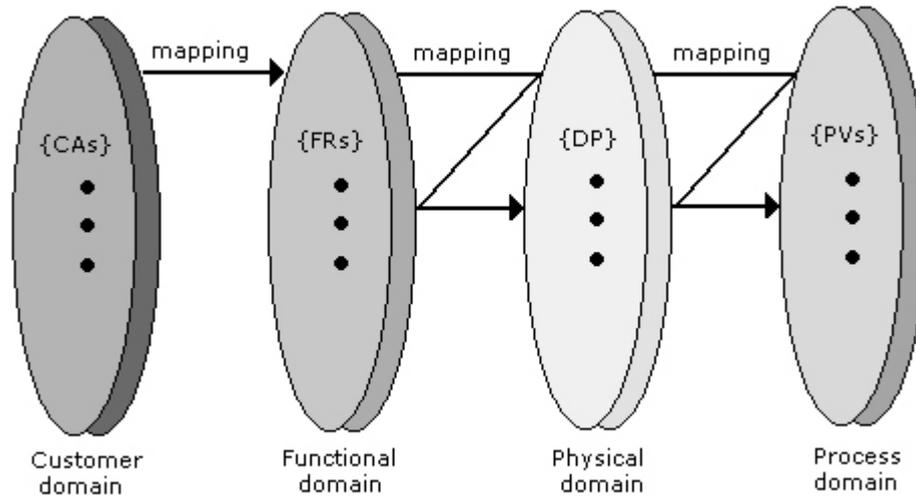


Figure -4.10 Les quatre domaines de la conception, [SUH01].

Cette approche nous propose donc de distinguer :

- Le besoin auquel la conception doit répondre.
- La représentation de ce besoin en termes de spécifications fonctionnelles.
- L'objet physique qui permet de répondre à ce besoin, le produit.
- Le moyen d'obtenir ce produit, le procédé de fabrication.

Nous voyons apparaître un découpage qui correspond à celui d'un axe *des points de vue sur le produit*, tel que l'exprimait Darses (*cf.* Ch3).

L'approche axiomatique, outre ce modèle, propose une méthode de conception basée sur la notion d'axiome et sur le modèle présenté. Nous ne revendrons pas dans ce mémoire sur l'aspect prescriptif présenté par cette méthode à travers ces axiomes.

3.2 Les approches d'Europe du Nord

De nombreuses publications, issues d'Europe du nord, traitent d'une approche de la conception basée sur les travaux de Hubka et Eder [HUB88, 92]. De notre point de vue, cette approche tend à considérer la conception comme une interaction entre les acteurs du processus de conception et des attributs de conception. En effet concevoir consiste pour les concepteurs à agir sur certains attributs qu'ils manipulent (spécifier, dimensionner...), comme d'autres attributs influent leur raisonnement et leurs activités (performance...).

Plusieurs classifications de ces attributs sont proposées dans la littérature. Chacune de ces classifications nous amène à considérer que cette approche corrèle la notion de domaine.

Ainsi, dans [HUB88], [MOR99], les auteurs distinguent, parmi les attributs manipulés par les concepteurs, les *caractéristiques*, les *propriétés* et les *qualités*.

Les caractéristiques sont les attributs qui sont directement déterminés par les acteurs de la conception. Elle désignent les paramètres physiques intrinsèques du produit. Hubka considère cinq classes de caractéristiques : structure, forme, dimension, état de surface et matériau.

Les propriétés sont les attributs qui décrivent les comportements du produit conçu. Certains distinguent les propriétés intrinsèques des propriétés relationnelles.

Les premières sont dues à l'interaction des caractéristiques et de l'environnement existant. Nous pouvons considérer par exemple comme une propriété intrinsèque la vitesse maximale d'un véhicule automobile, qui dépend de ses caractéristiques ainsi que de celles de son environnement, c'est à dire la route, l'atmosphère et le carburant.

Les secondes sont dues à l'interaction des caractéristiques et des phases du cycle de vie, elles aussi conçues. Par exemple le coût de revient d'un produit dépendra de l'interaction entre ses caractéristiques et le procédé de fabrication choisi et défini.

Ainsi, la conception peut être vue comme «contrôlée par les propriétés», en ce sens que l'objectif des concepteurs est de déterminer les caractéristiques qui permettront au produit de présenter les propriétés voulues [WEB02].

Les qualités désignent l'appréciation des propriétés d'un produit par les acteurs de son cycle de vie. En ce sens les qualités sont la mesure de la satisfaction du besoin. La figure 4.11 illustre la relation entre certaines qualités (Q) et propriétés (QPr), dans le cas d'un rasoir électrique.

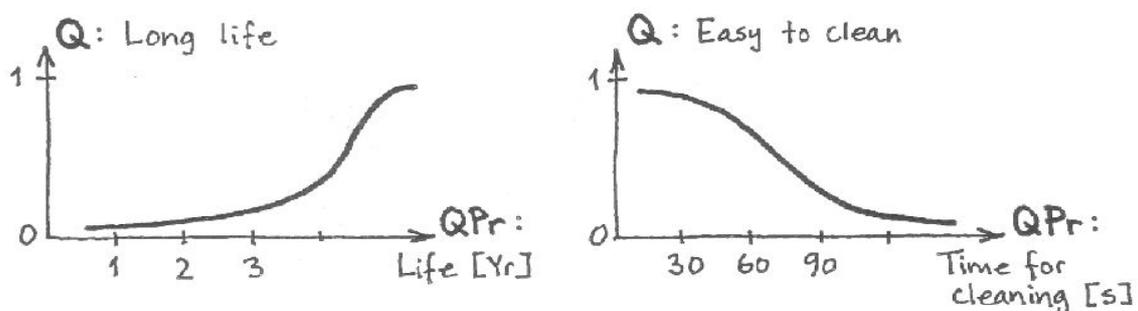


Figure -4.11 La relation entre propriétés et qualités, [MOR93].

Il est possible selon nous d'interpréter dans cette approche la même distinction que celle faite dans l'approche axiomatique. Ainsi, alors que les caractéristiques désignent le moyen (choisi et proposé par les concepteurs) de remplir le besoin auquel le produit conçu doit répondre, ce besoin est exprimé en termes de qualités, déterminées par les propriétés du produit conçu. Le processus de conception peut alors être vu comme la construction en parallèle des domaines des propriétés, des qualités et des caractéristiques.

Andreasen, cité par [MAL93], considère que la synthèse d'une machine consiste à établir successivement quatre systèmes, correspondants à quatre domaines de travail du concepteur. Ces systèmes représentent différents aspects de la machine: le *systeme procédés* décrit la transformation de matière, d'énergie et d'information réalisée par la machine; le *systeme fonctions* décrit la structure de fonctions adoptée par la machine pour réaliser ces transformations. Le *systeme organes* décrit la structure d'organes choisie pour remplir ces fonctions; et le *systeme composants* (ou système assemblage, ou construction), qui décrit les composants ou groupes de composants qui constituent les organes.

Il relate en outre que chacun des domaines qu'il considère est (au moins) bidimensionnel, et décrit par un axe d'abstraction et un axe de niveau de détail. (Fig. 4.12).

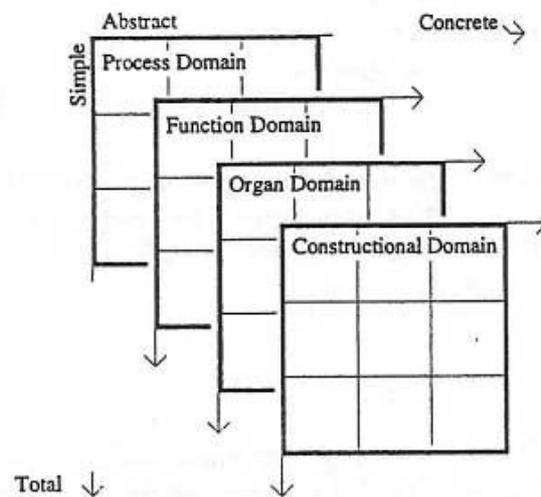


Figure -4.12 Les domaines de la conception, [MAL93].

Hansen et Andreasen [HAN03] proposent d'améliorer la compréhension de la nature d'un concept de conception en distinguant deux cotés sur celui-ci (Fig. 4.13). Ils discernent d'une part l'idée avec le produit, qui désigne son interaction avec l'environnement de son contexte

d'usage, de l'idée dans le produit, qui désigne les résultats de l'interaction du produit avec son contexte de conception.

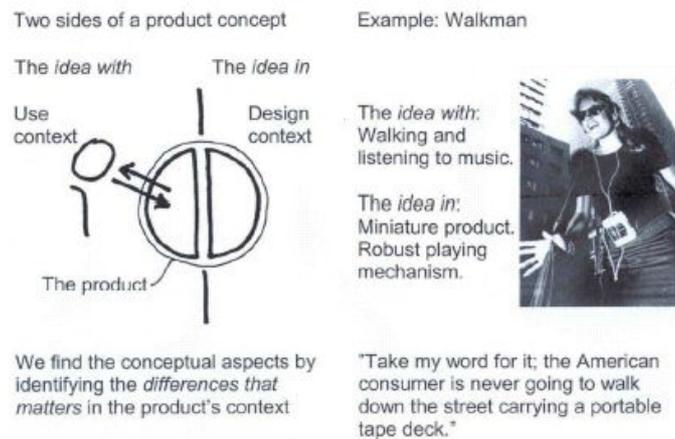


Figure -4.13 Les deux cotés d'un produit, [HAN03].

3.3 L'approche valorique

Les travaux relatifs à l'analyse de la valeur et à l'analyse fonctionnelle tendent à considérer que la conception consiste, pour remplir le besoin, à s'abstraire du domaine physique en traduisant le besoin en termes fonctionnels et à remplir ce besoin grâce à des solutions fonctionnelles, puis à retraduire ces solutions fonctionnelles en termes de principes physiques (*penser fonction avant de penser solution*). De nombreuses publications relatives à l'analyse de la valeur traitent de cette coexistence des deux domaines, fonctionnel et physique.

Ainsi Perrin [PER01] décrit un produit par deux faces distinctes (Fig. 4.14). Alors que la face dite *fonctions/valeurs* décrit l'appréciation du produit en terme de service rendu, la face *artefact/coûts* désigne l'objet physique réalisé pour rendre ce service. Nous remarquerons au passage le parallèle avec les travaux de Hansen et Andreasen.

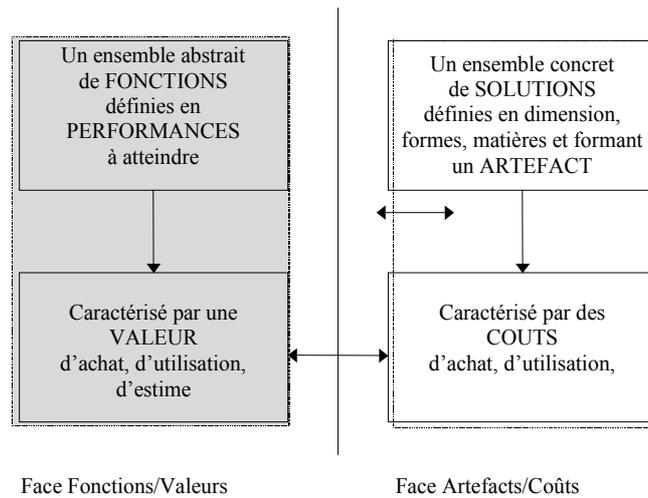


Figure -4.14 Les deux faces d'un produit, [PER01].

Yannou, en s'intéressant à ces domaines parcourus lors du processus de conception, fait état de deux domaines supplémentaires [YAN02], (Fig. 4.15).

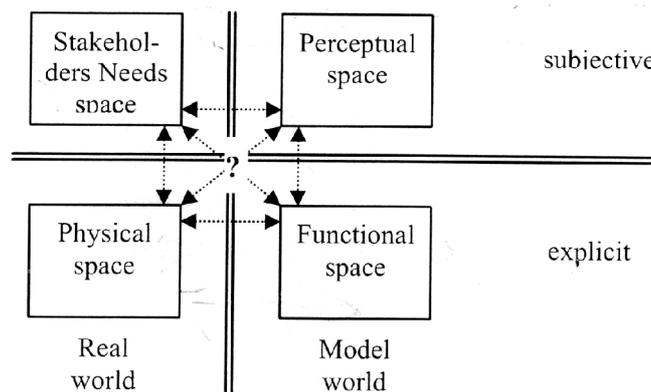


Figure -4.15 Les domaines de la conception, [YAN02].

En effet, selon cette approche, à l'intérieur du monde réel, l'espace physique, explicite, dans lequel se définit le produit, est distinct de l'espace des besoins, subjectif. De même, l'espace fonctionnel, explicite, se distingue de l'espace perceptif, subjectif, dans lequel les besoins des acteurs du cycle de vie sont exprimés. Cette approche, associée à la méthode de conception dite de l'analyse de la valeur, propose d'utiliser le monde fonctionnel à la fois pour la spécification, par l'expression fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe), pour la description des solutions (analyse fonctionnelle interne) et pour l'évaluation (en comparant, par le biais de critères d'appréciations, les performances des solutions avec les performances

attendues, exprimées dans un cahier des charges fonctionnel). Nous reviendrons plus en détail sur ce sujet dans la troisième partie de ce document.

3.4 L'approche FBS

Le modèle FBS (Function Behavior Structure), [UME90],[GER90] décrit le processus de conception, dans sa transformation d'un besoin en définition d'un produit, comme une navigation entre des domaines fonctionnel, structurel et comportemental. Les domaines comportement E et S sont distingués, en ce que le comportements E désigne ce qui est attendu de la structure, et le comportement S ce qui en est constaté. Ces domaines sont constitués de variables, et sont reliés par des activités¹⁶ de transformation (flèches simples) ou de comparaison (flèche double). La figure 4.16 illustre cette approche.

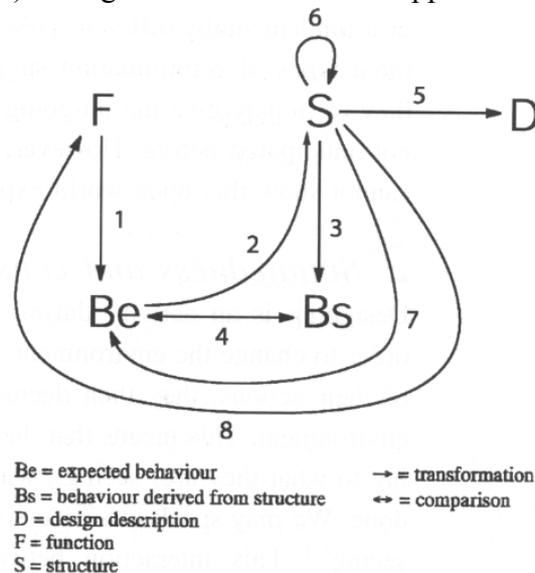


Figure -4.16 Le modèle FBS, [GER90].

Les auteurs identifient, grâce à ce modèle de quatre domaines, 8 activités. Ainsi sont identifiées :

- (1) La formulation du problème, c'est à dire exprimer les fonctions attendues en terme de comportement E du produit.
- (2) La synthèse d'une structure pour répondre à ce problème
- (3) L'analyse du comportement S de cette structure
- (4) L'évaluation, par comparaison des deux comportements

¹⁶ Les auteurs parlent de « processus ». De notre point de vue la définition choisie dans le paragraphe précédent s'applique ici.

- (5) La documentation du produit conçu
- (6) La reformulation de certaines variables de la structure, ou du comportement attendu
- (7) ou des fonctions visées (8)

Dans une évolution de ces travaux [GER02], les auteurs mettent aussi en avant l'existence simultanée de trois environnements différents dans lesquels les concepteurs évoluent et construisent leur mémoire. Ils distinguent ainsi le *monde externe* aux concepteurs, le *monde interprété* et le *monde attendu*. Cette nouvelle distinction leur permet de situer et de préciser le déroulement des activités présentées plus haut (Fig. 4.17).

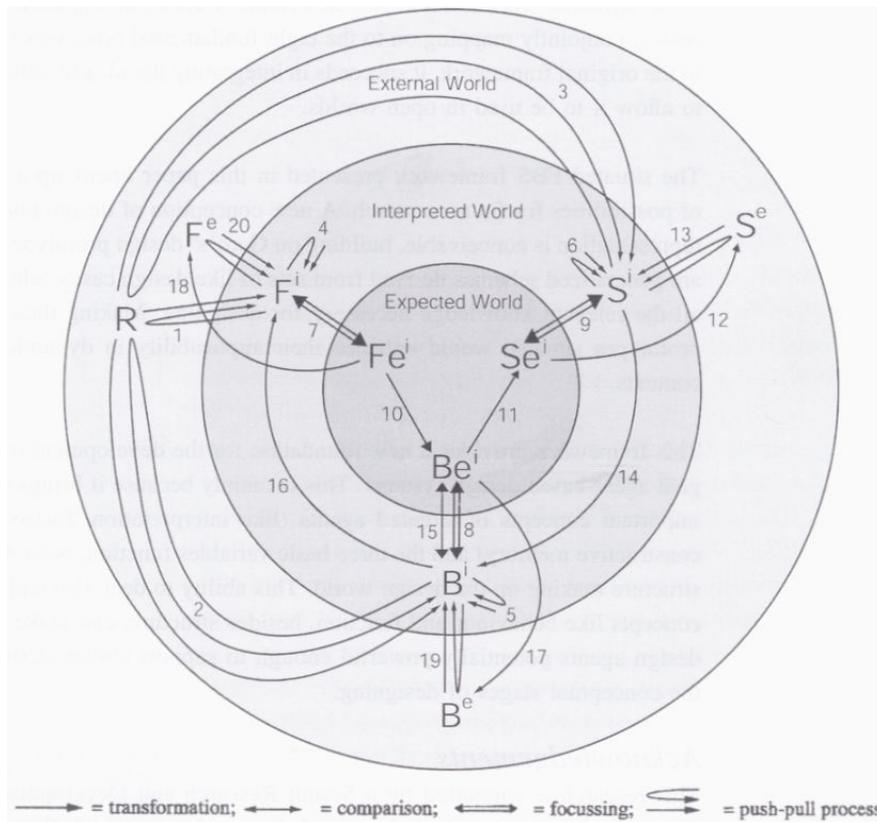


Figure -4.17 Le modèle FBS situé, [GER02]

Ainsi par exemple, sans détailler l'ensemble des activités, nous pouvons repréciser l'activité d'analyse identifiée plus haut. Il s'agit d'interpréter une structure explicitée (13), et de comparer celle-ci à l'interprétation qui est faite du comportement attendu (14).

3.5 Les modèles du Design Rationale

Plusieurs modèles existent dans la littérature, destinés à décrire la logique et le raisonnement qui sous-tendent le déroulement du processus de conception, les justifications qui expliquent

les décisions prises, les choix implicites faits. Ces modèles sont basés chacun sur un ensemble d'éléments, catégorisés. Au sein de chacune de ces catégorisations les différents types d'éléments sont reliés par des liens particuliers.

La saisie des éléments impliqués dans le processus de conception, ainsi que des liens qui les unissent, constitue un modèle de la logique suivie lors du déroulement du processus. Ce modèle peut être sauvegardé dans une base de données et constituer ainsi la matière première d'un outil destiné à capturer et idéalement restituer la logique de conception [REG00]. Nous n'entrerons pas en détail ici dans l'étude de ces outils et présenterons les modèles, bien établis dans la littérature, qui leur servent de base dans un contexte d'ingénierie de produits¹⁷.

- IBIS, PHI et QOC

IBIS (*Issue-Based Information System*) est un système d'information qui cherche à enregistrer en direct l'historique du processus de conception, se basant sur l'argumentation suivie [REG00]. Pour ce faire, ce modèle propose de décrire les éléments impliqués dans l'argumentation par trois types d'objets : Aux problèmes (issue), sont proposés des solutions (positions), et des arguments supportent ou s'opposent à ces positions (Fig. 4.18).

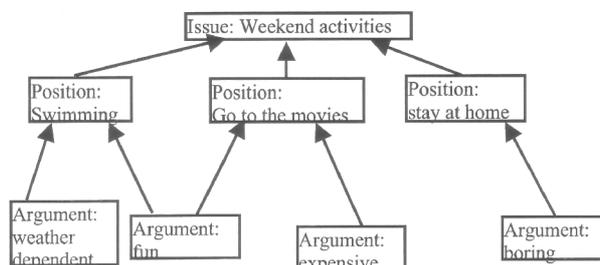


Figure -4.18 Un exemple d'IBIS, [REG00]

PHI (Procedural Hierarchy of Issues) est une évolution d'IBIS. Les positions sont appelées dans PHI *réponses*, et les problèmes comme les positions peuvent être décrits hiérarchiquement, par la décomposition en *sous-problèmes* et *sous-réponses*.

QOC est basé sur le même principe, mais propose comme ensemble d'objets les *questions*, les *options* et les *critères*. QOC associe de plus formellement au lien qui unie un critère à une option une connotation négative ou positive (« *supporte* » ou « *s'oppose* »).

- DRL

¹⁷ Ces modèles sont dits « argument-based », car construits sur des objets décrivant les arguments, les justifications des choix faits, par opposition aux modèles « feature-based », utilisés en compléments des premiers en conception logicielle.

DRL (Design Rationale Language), plus compliqué et de ce fait présenté comme plus fin que les modèles vus dans le paragraphe précédent, est destiné à modéliser a posteriori l'ensemble des objets impliqués dans le raisonnement d'un ou des acteurs de la conception [HU00]. Pour ce faire, six catégories d'objets sont proposées pour décrire le problème, les buts poursuivis, les alternatives proposées, les questions, les revendications (claim) et les procédures.

Hormis les alternatives et les questions, les objets peuvent être hiérarchisés. Certaines relations sont identifiées et codifiées entre plusieurs objets, d'une même catégorie ou non. La figure 4.19 offre une vue globale de ces possibilités.

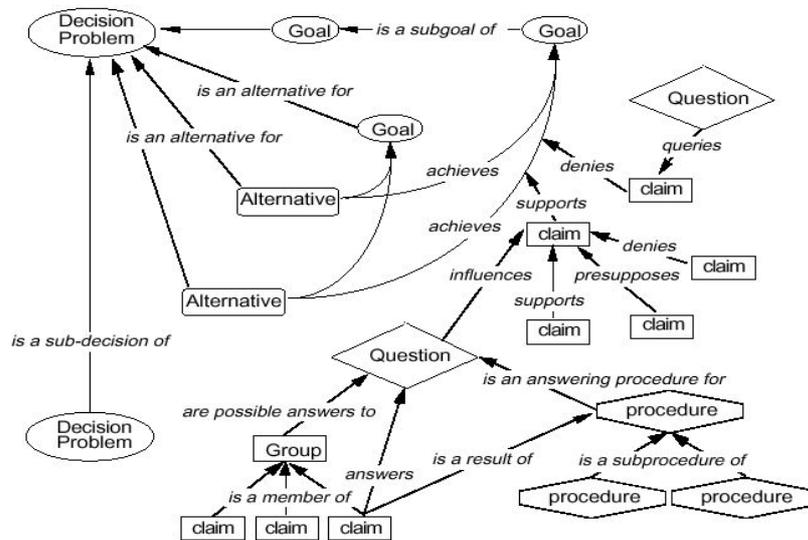


Figure -4.19 Le modèle DRL, [HU00].

Nous avons passés en revue les principaux modèles de capture de la logique de conception établis dans la littérature. De nombreux outils sont construits sur d'aussi nombreuses évolutions et adaptations de ces modèles.

3.6 L'approche socio-technique

Des travaux menés en collaboration entre le laboratoire 3S et le Centre de Recherche Innovation Socio-Technique et Organisations industrielles (CRISTO) ont conduit à la formalisation d'une approche socio-technique de la conception de produit [MER98]. Cette approche, qui traite de la conception collaborative, se base sur le concept de *monde*. Cette notion désigne un ensemble hétérogène d'entités (humains, outils et objets) qui partagent les mêmes logiques d'action, échelles de grandeur et connaissances collectives. La conception de produits, dans un contexte d'ingénierie concurrente, implique alors la participation de

plusieurs mondes. En ce sens, le processus de conception intégrée est vu comme la mise en œuvre d'une coopération entre les différents mondes de la conception.

3.7 Synthèse

3.7.1 Des découpages selon des axes variés

Les modèles présentés dans ce paragraphe offrent plusieurs découpages possibles des axes décrivant des dimensions non parallèles à l'axe du temps. Ainsi, la plupart des approches décrivent, à travers les domaines, mondes, ou espaces proposés, un découpage de l'axe des "points de vue" sur le produit, des "niveaux d'abstraction" de sa représentation¹⁸. En ce sens, le processus de conception est vu comme une évolution parallèle et/ou itérative¹⁹ de ses différents domaines, correspondant à l'évolution des représentations du produit associées. Nous noterons l'opposition entre l'approche qui considère la simultanéité des points de vue [DAR97] et celle qui les considère comme itératifs. Nous remarquerons, dans presque tous les travaux qui adoptent un tel découpage²⁰, l'existence d'un domaine fonctionnel. Nous reviendrons sur ce point dans la troisième partie de ce document.

Ce découpage en niveaux d'abstraction peut être décomposé [YAN02], en tenant compte du niveau de modélisation et du niveau d'objectivité. D'autre part, les points de vue peuvent être associés aux mondes (au sens socio-technique) dont ils sont issus. Ces deux derniers points révèlent la non trivialité de ce découpage. Dans le cadre de cette thèse nous associerons néanmoins les différents découpages présentés à un seul et même axe.

Outre cet axe, les modèles présentés offrent des découpage selon les axes :

- Du niveau de détail ([MAL93] et implicitement [SUH01] par la décomposition hiérarchique au sein d'un domaine).
- De la justification, de la logique, de la relation de causalité qui existe entre les constituants des domaines (Design Rationale).

D'une façon synthétique, ces découpages sont illustrés par la tableau suivant.

¹⁸ Nous y incluons les travaux de Darses vus au chapitre précédent.

¹⁹ Cet aspect est inégalement explicité dans les approches étudiées.

²⁰ Seul le Design Rationale fait exception

Axe des niveaux d'abstraction	[SUH01]	Monde des clients	Monde fonctionnel		Monde physique	Monde du process	
	[Eur. N.]	Process domain	Function domain		Organ domain	Constructional domain	
		L'idée avec le produit		L'idée dans le produit			
		Qualités		Propriétés		Caractéristiques	
	Valorique	Face fonctions/valeurs			Face artefact/coûts		
		Monde des besoins	Monde perceptue l	Monde fonctionnel		Monde physique	
Axe de justification	FBS	Problem	Fonction	Comportement E	Comportement S	Solution	
	DR	Question		Critère		Option	
		Issue		Argument		Position (Réponse)	
		Problem	But	Question	Claim	Alternative	Procedure
+ axes des mondes [MER98] et de détail							

Tableau-4.3 Les catégorie de domaines proposés par [voir tableau].

La mise en parallèle, dans le tableau 4.3, des axes des niveaux d'abstraction et de la justification nous permet de constater que ceux ci ne sont pas, dans les modèles étudiés, indépendants. En effet, bien que l'aspect "justification" ne soit explicitement présent que dans le Design Rationale, les approches qui traitent de niveau d'abstraction en tiennent compte dans l'ordre, la directionnalité qui régit les différents domaines. Ainsi les éléments du monde physique par exemple [SUH01] doivent répondre aux éléments du monde fonctionnel, ou l'idée dans le produit doit permettre de réaliser l'idée avec le produit [HAN03]. Cette directionnalité est à comparer au niveau macroscopique avec le déroulement temporel du processus de conception. En effet son achèvement correspond à la définition du produit et éventuellement de son processus de fabrication, associé par l'atteinte, pour le domaine le plus abouti de chaque modèle, de son état final (il faut définir une solution pour remplir un besoin ; une contrainte peut être la cause d'un élément de la solution). Néanmoins, d'un point de vue plus fin, ces axes ne sont pas confondus. En effet, un élément d'une solution peut être la cause d'un nouvel élément du problème [LIN99].

3.7.2 L'évaluation

Nous avons qualifié, dans le chapitre précédent, l'évaluation d'activité. La mise en œuvre de cette activité est décrite différemment, le plus souvent implicitement, dans les différentes approches présentées dans cette section. Ainsi, l'évaluation peut être vue comme :

- La confrontation de deux domaines (l'évaluation de la définition physique d'une solution face à des spécifications fonctionnelles [PER01], ou de la définition d'un procédé face aux caractéristiques du produit conçu [SUH01] ; la comparaison de Be et Bs [GER90]). En ce sens nous retrouvons la directionnalité sus-citée entre les domaines considérés.
- L'émergence d'un élément d'un domaine (argument, critère [REG00] ou claim [HU00]).
- La mobilisation des éléments d'un domaine (les échelles de valeur du monde concerné, [MER98]).

Ces trois schémas sont à mettre en parallèle avec les caractéristiques cognitives de l'évaluation, vues dans le chapitre précédent. Ainsi, nous retrouvons dans la confrontation la rencontre entre problème et solution [BLA98], dans l'émergence la notion de critère d'évaluation et dans la mobilisation des échelles de valeur le concept de référent évaluatif.

3.7.3 Conclusion

Le concept de domaine permet de rendre compte du découpage d'un axe non parallèle à l'axe du temps. La description du processus de conception en termes de domaines en offre donc un cliché pris "dans la direction" de l'axe du temps. Nous voyons apparaître les niveaux d'abstraction, ou de détail, ou de raisonnement (Design Rationale) considérés à l'instant t. En ce sens, il est complémentaire de la notion d'activité [TAT96]. En effet, il offre cet axe d'analyse comme complément à celui du temps pour décrire le processus de conception selon une approche multidimensionnelle (plane). Ainsi, la mise en œuvre conjointe de ces deux approches de modélisation du processus de conception permet de décrire le processus à la fois en termes de dynamique suivie (le schéma de mise en œuvre des activités) et de domaine impliqué par chacune des activités lors de la mise en œuvre de cette dynamique. Gero propose d'ailleurs cette démarche pour décrire les liens existants entre les différents domaines de son modèle.

4 Que retenir des modèles existants du processus de conception

Nous avons passé en revue de nombreux modèles du processus de conception proposés dans la littérature. Ceux ci sont basés d'après notre étude sur les notions de phase, d'activité ou de domaine. Nous avons vu que selon la notion sur laquelle s'appuie principalement un modèle,

celui-ci ne se prêtera pas à décrire le même aspect du processus de conception. Ce processus parcourt en effet un espace multidimensionnel, et chaque modèle n'est apte à décrire que certaines des dimensions qui le composent. Ces trois démarches de modélisation présentent en outre une prise en compte de l'évaluation et de sa dynamique de mise en oeuvre très différentes. Le tableau suivant résume ces aspects.

Modèles	Dimension du processus de conception décrite	Place de l'évaluation
Phases	La dimension temporelle de conduite du projet de conception est décrite (et prescrite) par une succession de phases. La dimension de transformation des points de vue est prescrite et confondue avec la précédente [DAR97].	Planifiée a priori. Située et définie par sa place dans le modèle du processus. Prescriptive pour les phases avalées, et prescrite par les phases amont.
Activités	La dimension temporelle de conduite de projet est uniquement décrite, de façon plus fine qu'avec des phases, et en meilleure adéquation avec les processus réels (itérations...)	Considérée comme une ou plusieurs activités, sans tenir compte de la planification.
Domaines	La dimension de transformation des points de vue est décrite par un ensemble de domaines. La dimension temporelle peut être décrite via la mise en oeuvre conjointe d'une modélisation par activités.	Mise en oeuvre d'une activité d'évaluation située par les domaines auxquels elle s'applique

Tableau-4.4 Les trois modèles des base du processus de conception

Ainsi, alors que la notion de phase ne nous paraît pas pertinente pour décrire l'aspect multidimensionnel du processus de conception, les concepts d'activités et de domaines offrent de remplir cette tâche en décrivant respectivement le déroulement suivi et les points de vue, niveaux d'abstraction, justifications adoptés et mondes mobilisés. Ces deux notions mises en oeuvre de façon complémentaire promettent ainsi de corrélérer l'aspect multidimensionnel du processus de conception. De plus, ces deux types d'approche permettent de décrire l'activité d'évaluation en accord avec ses caractéristiques cognitives.

Nous retiendrons donc les notions de domaine et d'activité comme pertinentes pour modéliser le processus de conception parallèle et intégré. Nous remarquons, dans l'état de l'art présenté dans ce chapitre, que les travaux existants basés sur ces notions ont résulté en de multiples modèles du processus. Les modèles basés sur les domaines notamment décrivent plusieurs axes différents, voire plusieurs découpages du même axe. Nous chercherons donc, au vu d'un objectif de généralité, à construire dans le prochain chapitre un modèle du processus de conception simple, qui permette de décrire la mise en oeuvre des activités du processus de conception et les domaines concernés par cette mise en oeuvre.

CHAPITRE 5. UN MODÈLE CO-ÉVOLUTIF DU PROCESSUS DE CONCEPTION

1 Introduction

1.1 Une évolution plus qu'une révolution

Nous avons disserté dans le premier chapitre de ce mémoire de l'évolution des modèles du processus de conception, évoquant les modèles séquentiels puis simultanés. Cette évolution s'inscrit dans les changements des organisations industrielles, qui, en s'orientant vers l'ingénierie concourante, ont donné lieu à la mise en œuvre de processus de conception parallèles et intégrés. Nous proposerons dans ce chapitre de décrire de tels processus de conception en adoptant un modèle dit co-évolutif.

Ce modèle se justifie par la logique qui sous-tend l'évolution déjà évoquée, d'une part entre les modèles séquentiels et simultanés, et d'autre part entre les modèles basés sur la notion de phases, et ceux basés sur les notions d'activités et de domaines.

Alors que les méthodes basées sur les modèles séquentiels prescrivent pour le processus de conception une suite de phases enchaînées strictement, ce schéma n'est que très rarement respecté, du fait des réitérations rendues nécessaires, entre autres, par les difficultés éprouvées par les acteurs d'une phase à prendre en considération les contraintes inhérentes à une autre phase.

Dans les modèles simultanés, ces réitérations disparaissent et les processus réels qu'elles décrivaient sont modélisés d'une part par le parallélisme des activités menées, et d'autre part par l'intégration qui se met en place entre les différentes activités.

Blessing propose une interprétation de ce phénomène par le passage d'une modélisation basée sur un flux sériel d'étapes (a), puis à un flux cyclique d'étapes (b) et enfin à un flux répétitif à la fois des étapes et des activités (c)[BLE96]. L'étape suivante, selon cette interprétation, consiste en une convergence du flux des activités et des étapes suivant la convergence de l'espace des solutions développées [...lors de la conception...]. Cette interprétation est illustrée dans la figure 5.1.

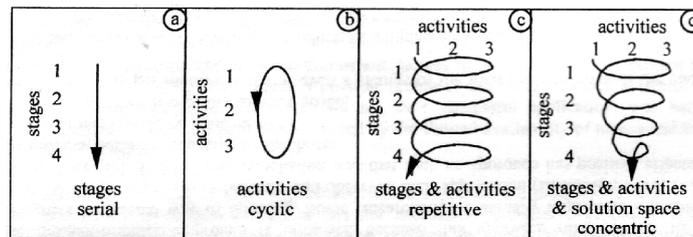


Figure .5.1 L'évolution des modèles du processus de conception, [BLE96].

Il est intéressant de remarquer les similitudes qui existent entre les deux derniers modèles proposés (*ibid.*) et d'autres approches que nous allons maintenant passer en revue.

Ainsi, dans [CRO89], les auteurs proposent un modèle du processus de conception qui, bien que partiellement basé sur la notion de phases, fait apparaître la notion de co-évolution (Fig. 5.2).

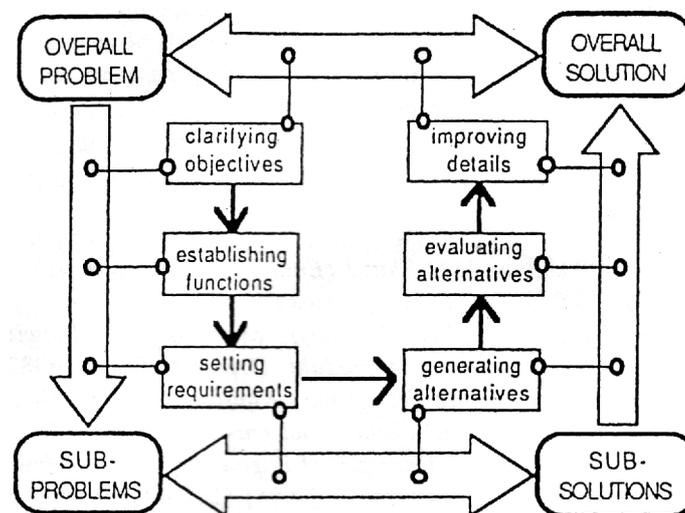


Figure .5.2 Le modèle de [CRO89].

Dans ce modèle, la représentation adoptée est centrée autour d'une succession d'activités qui composent le processus de conception. Il existe de plus, d'après ce modèle, une symétrie (matérialisée par les doubles flèches horizontales) entre d'une part problème et solution, et

d'autre part sous-problèmes et sous-solutions, ce qui contredit les approches séquentielles, qui prônent une relation unidirectionnelle, et donc non-symétrique, entre le problème et la solution.

Les grandes flèches verticales extérieures, sur ce schéma, indiquent que le raisonnement suivi par les concepteurs est composé d'une part d'une décomposition du problème en sous-problèmes, et d'autre part d'une recomposition des sous-solutions en solutions.²¹

Ce schéma fait apparaître l'existence de deux domaines distincts, d'une part le problème et d'autre part la solution. Les activités proposées s'attachent à un domaine exclusif, mais les processus suivis par les concepteurs se basent sur la co-existence de ces deux domaines (*ibid.*).

1.2 Les approches co-évolutives existantes

Dans [BLA98], les auteurs, suite à une expérience de conception menée afin d'identifier les mécanismes d'émergence du produit dans un contexte de conception distribuée, ont constaté :

Les critères ne sont pas préexistants à la conception, ils sont construits et négociés en même temps que les caractéristiques du produit. En ce sens ils participent à la recomposition du problème de conception.

Dans [BLA98a], l'auteur propose alors d'expliquer l'émergence du produit dans le processus de conception par une suite de conjectures et d'évaluations, qui vont participer à l'élaboration conjointe du projet et de la solution (Fig. 5.3).

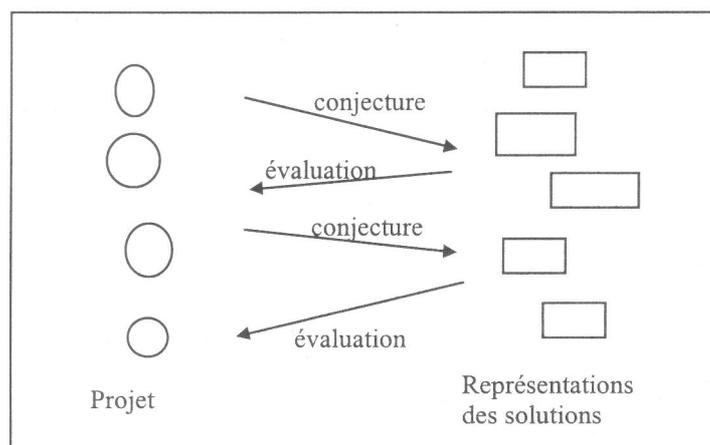


Figure 5.3 L'émergence du produit, conjectures et évaluations, [BLA98a].

²¹ On retrouve ici le classique cycle en V.

Dans [BRI03a], les auteurs proposent un modèle du processus de conception destiné à représenter les zigzags suivis par le raisonnement des concepteurs lors d'une expérience de conception (Figure 5.4). Suivant ce modèle, deux espaces distincts cohabitent, d'une part l'espace du problème et d'autre part l'espace de la solution. Les concepteurs passent alternativement de l'un à l'autre par le biais de conjectures proposant un apport à la solution, et d'expressions de critères appliqués (négativement ou positivement) à cette conjecture et redéfinissant le problème.

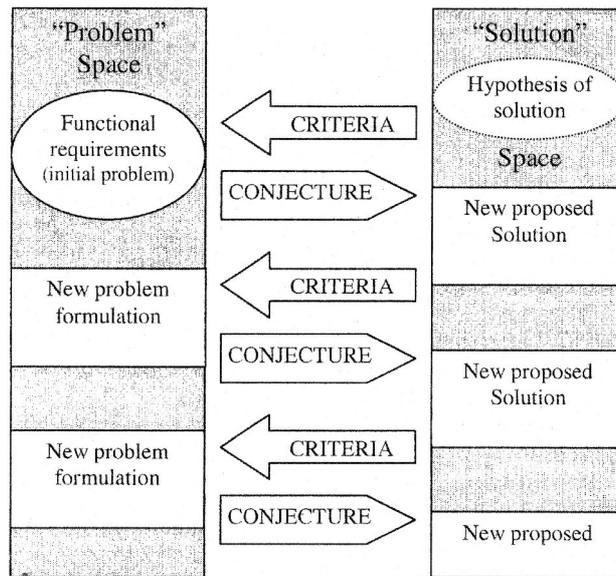


Figure .5.4 Espaces du problème et de la solution, [BRI03a].

Dorst et Cross [DOR01] décrivent la créativité dans le processus de conception à travers la co-évolution du problème et de la solution. Dans [MAH03], les auteurs proposent un modèle explicitement qualifié de co-évolutif du processus de conception (Figure 5.5).

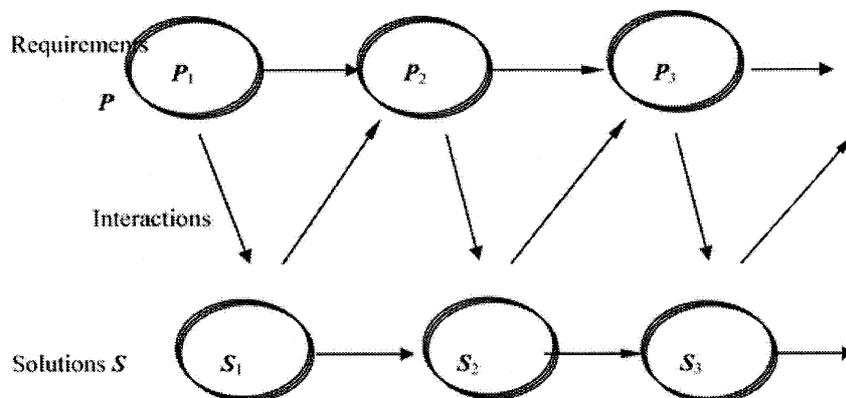


Figure .5.5 Le modèle co-évolutif, [MAH03].

Ce modèle a été développé initialement [MAH96] dans le domaine de l'architecture et du génie civil en tant que modèle computationnel²², afin de servir de base pour le développement d'algorithmes effectuant parallèlement une recherche de solutions et une recherche de spécifications.

1.3 Vers un nouveau modèle co-évolutif, basé sur les domaines et les activités

La revue de la littérature présentée dans le chapitre précédent nous a permis de retenir les notions de domaines et d'activités pour leur complémentarité et leur pertinence à décrire l'aspect multidimensionnel du processus de conception. Nous avons d'autre part identifié l'approche co-évolutive, qui peut être vue comme une approche par domaine très simple, et apprécié son intérêt intrinsèque pour d'une part décrire les caractéristiques d'ouverture et de « mauvaise définition » d'un problème de conception, d'autre part pour son choix de représenter le processus de conception selon les dimension temporelle et problème/solution. En effet, les axes choisis par les autres modèles par domaines sont liés, plus ou moins explicitement, au mode de représentation du produit (axe des points de vue, d'abstraction...). Cet axe problème/solution offre donc une genericité vis à vis des processus décrits, étant totalement indépendant du produit.

Nous proposerons donc dans la suite de ce chapitre de construire un modèle du processus de conception sur la base de cette approche co-évolutive, en nous appuyant sur la complémentarité entre les notions de domaines et d'activités.

2 Notre proposition de modèle co-évolutif

Nous avons choisi de baser notre approche sur un modèle co-évolutif du processus de conception. En ce sens, celui-ci est vu comme la co-évolution d'une part de la représentation du problème, et d'autre part de la définition de la solution. Nous avons en outre retenu les notions de domaines et d'activités. Nous considérerons donc ici le processus de conception comme la co-évolution du domaine de la représentation du problème et du domaine de la définition de la solution, ainsi que des activités qui décrivent les tâches menées par les concepteurs lors de la navigation dans et entre ces domaines. Dans un premier temps, nous nous contenterons de ces concepts pour construire un modèle de base du processus de conception, avant de détailler celui-ci.

²² Traduction libre de *computational*.

Notre travail de modélisation s'est basé sur une démarche double, que nous avons déjà évoquée lors de l'étude des modèles descriptifs du processus de conception. En effet, le processus qui nous a conduit à la construction du modèle présenté ci-après a consisté en une suite itérative d'étapes de formalisation d'un modèle, et d'étapes de confrontation de ce modèle à un corpus de conception écrit [DPW94]. Dans la partie qui suit, nous nous contenterons de décrire le résultat de ce processus sans expliciter ses itérations, sujet abordé dans le deuxième chapitre de ce mémoire.

2.1 Les domaines

Nous avons décidé d'aborder une approche par domaines du processus de conception. Le modèle co-évolutif du processus de conception tel qu'il apparaît dans la littérature [MAH03] corréle cette approche, en considérant les domaines de la représentation du problème et de la définition de la solution. Nous nous contenterons dans un premier temps de suivre cette démarche, sans pousser notre description plus en détail. Le processus de conception est donc considéré comme la co-évolution des domaines de représentation du problème et de définition de la solution.

2.2 Les activités

Sur la base de cette vision du processus de conception comme co-évolution de deux domaines, nous pouvons identifier les activités qui décrivent la navigation dans et entre ces domaines (Fig. 5.6).

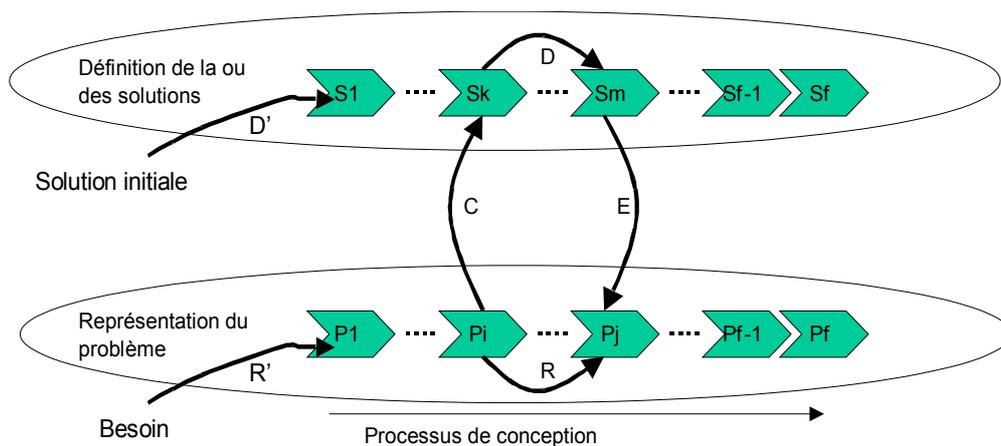


Figure .5.6 Notre représentation du processus de conception co-évolutif.

Partant d'un besoin identifié, une représentation initiale du problème (P1) est établie, celle-ci va évoluer via un certain nombre d'états intermédiaires (Pi et Pj) pour parvenir à la représentation finale du problème, lorsque la conception est considérée comme terminée (Pf). De même, suite à une première proposition de solution (S1), la définition de la ou des solutions va évoluer via certaines définitions intermédiaires (Sn, Sm) jusqu'à parvenir à la définition de la solution finalement acceptée (Sf), qui marque la fin du processus de conception.

Nous pouvons identifier quatre processus ou activités élémentaires, menées par les acteurs, qui permettent de passer :

- D'une représentation du problème à la suivante, nous l'appellerons alors une **reformulations du problème** (R). Nous distinguons le cas particulier de la formulation de la première représentation du besoin (R'), qui est plus un processus d'identification que de reformulation.
- De la représentation du problème à une nouvelle définition de la ou des solutions, ce qui correspond à la proposition d'une ou plusieurs solutions pour répondre au problème formulé, nous l'appellerons alors une **conjecture** (C).
- D'une définition de la ou des solutions à la suivante, nous l'appellerons alors une **définition** (D). Nous distinguons le cas de la définition de la première solution envisagée (D').
- D'une ou des solutions définies au problème formulé, nous l'appellerons alors une **évaluation** (E).

Nous pouvons noter le parallèle avec le *carré de conception* proposé par Hatchuel [HAT03]. En effet celui représente la *structure élémentaire du processus de conception* en terme de raisonnement, par l'implémentation des quatre *opérateurs* agissant sur les domaines des *connaissances* (K) et des *concepts* (C) (Fig 5.7).

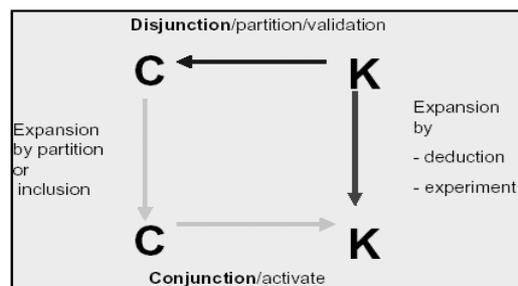


Figure 5.7 Le carré de conception, [HAT03].

2.2.1 Conjectures et définitions

Nous retrouvons la description classique de la conception en trois activités {spécification, génération de solutions et évaluation des solutions générées}. Nous distinguons néanmoins, au sein de la génération des solutions, les conjectures (C) des définitions (D). En effet, selon nous (C) correspond à l'acte de création, d'imagination, de génération d'idées, à l'aspect inventif de la conception, mené généralement de façon individuelle [BLA98, PUG90], alors que (D) correspond à l'acte d'expression (schéma, discours, dessin à la main ou via un outil de CAO) qui permet de formaliser, de communiquer ou d'archiver la solution imaginée. En ce sens nous incluons dans les définitions, du fait de l'aspect collectif de la conception, les activités d'analyse des solutions proposées, réalisées dans un but de communication, d'explications entre acteurs. A notre sens ces activités participent en effet à la définition d'une représentation commune de la solution.

Les conjectures (C) sont des actes difficiles à étudier. En effet, le raisonnement suivi par un acteur de la conception pour proposer une conjecture est difficilement identifiable.

Les définitions (D), comme nous l'avons évoqué, correspondent à la création d'un objet intermédiaire. De nombreux travaux traitent de cet acte de création et de son instrumentalisation [MER95, POV98, BOU03, ECK03].

Les conjectures et les définitions sont ce que nous appelons les aspects synthétiques du processus de conception. Nous avons décidé de concentrer notre étude sur les deux autres processus élémentaires, que nous appelons aspects évaluatifs du processus de conception. En effet, de nombreux travaux, nous l'avons vu, tendent à prouver l'importance de ces aspects dans la conception. C'est notamment leur présence qui distingue, selon nous, la conception de produit de la création artistique et de l'invention pure.

2.2.2 L'évaluation (E)

Nous définissons l'évaluation comme l'activité qui consiste à émettre un jugement sur une solution envisagée au regard du problème considéré. Notre problématique traitant de la conception collaborative et donc collective, nous entendons par évaluation l'émission de ce jugement, mais aussi sa communication, son partage au sein de l'équipe de conception. D'après Bonnardel [BON92], l'évaluation est susceptible d'intervenir en deux moments distincts :

- Lors de la génération de solution. L'auteur critique alors la vision classique qui situe l'évaluation de solutions consécutivement à la proposition de celles-ci.
- Avant la réalisation d'action. Elle est alors du rôle d'une instance de contrôle et porte sur des *décisions d'action* plutôt que sur des solutions.

Nous considérons, contrairement à Bonnardel, que l'évaluation de solutions peut effectivement être consécutive à leur proposition. En effet, nous avons qualifié les propositions de processus synthétiques individuels. Lorsqu'un acteur propose une solution, s'il l'évalue conjointement, ce processus sera entièrement implicite et du ressort de son raisonnement. Il ne sera donc ni explicité ni communiqué aux autres acteurs du processus de conception, ou en tout cas pas simultanément à la proposition.

Nous intéressant au processus de conception intégrée, impliquant plusieurs acteurs, nous nous concentrerons sur les évaluations de solutions formalisées en tant que processus collectifs, impliquant une communication entre les acteurs du processus de conception. Celle-ci n'est cependant pas obligatoirement directement consécutive à une proposition. En effet, elle peut faire suite à une reformulation du problème, et avoir pour objet les solutions précédemment proposées. En outre, nous traiterons des évaluations et des décisions portant sur les solutions, en occultant leurs conséquences en terme de décision d'action.

2.2.3 La reformulation (R)

L'adoption du terme reformulation, au lieu du classique spécification du triplet {spécification, génération de solutions et évaluation des solutions générées} n'est pas fortuit. Il dénote en effet de la réfutation de l'hypothèse de la précedence de la spécification sur l'évaluation adoptée dans les modèles classiques. En ce sens, l'expression du problème n'est pas une entité figée, résultat des premières phases de la conception et prescripteur absolu des phases ultérieures, mais un objet en évolution dynamique, comme l'est la définition de la solution.

Au regard des aspects cognitifs de l'évaluation vus dans le chapitre 3, nous pouvons considérer que la reformulation est une formalisation partagée d'un référent évaluatif commun. En effet le concept de référent évaluatif décrit quelque chose d'intrinsèquement personnel et propre à chaque acteur. Cherchant à construire un modèle du processus de conception collaborative, nous éluderons la modélisation des référents individuels, et assimilerons donc l'expression du problème à un référent évaluatif commun.

2.3 Les mécanismes de mise en œuvre

Nous avons réfuté l'hypothèse de l'existence d'un ordre préétabli dans la mise en œuvre des activités considérées, par opposition au classique triplet {spécification, génération de solutions et évaluation des solutions générées}. En ce sens les mécanismes de mise en œuvre des activités d'évaluation, de reformulation et de conjecture/définition sont nombreux. Nous pouvons notamment envisager la mise en œuvre de l'activité d'évaluation dans les cas suivants :

- Suite à une évaluation négative d'une ou plusieurs solutions proposées, les acteurs du processus de conception peuvent abandonner, du moins temporairement, celle(s)-ci comme solution possible au problème, et alors proposer de nouvelles solutions. Les acteurs peuvent aussi reformuler le problème, car cette évaluation les a convaincus de l'impossibilité de répondre au problème précédemment formulé.
- Suite à une évaluation positive d'une solution proposée, les acteurs acceptent celle-ci comme solution au problème. Dans ce cas, deux options s'ouvrent : soit la solution est totalement définie et le processus est considéré comme terminé ; soit la solution doit être affinée. Une reformulation du problème peut alors précéder une nouvelle définition de la solution qui est susceptible d'être à nouveau évaluée.
- Suite à l'évaluation ambiguë²³ d'une ou plusieurs solutions, qui ne permet pas de conclure à un jugement positif ou négatif, une reformulation du problème peut permettre d'éliminer l'ambiguïté.
- L'évaluation de plusieurs solutions avec comme objectif une sélection parmi ces solutions.

De même l'activité de reformulation peut survenir :

- Lorsque la ou les solutions proposées ont été évaluées négativement, et si les acteurs considèrent que cette évaluation négative était due à une formulation du problème non résoluble.
- Afin d'affiner la représentation du problème, soit pour affiner une solution acceptée, soit lorsque la représentation du problème n'était pas suffisante pour évaluer sans ambiguïté la ou les solutions proposées. Nous pouvons évoquer par exemple la

²³ Par exemple si les acteurs du processus de conception ne parviennent pas à établir un consensus quant à leurs différents jugements.

reformulation du problème en problème de sélection, afin de choisir parmi les solutions sources d'ambiguïté. Lui fait alors suite une nouvelle évaluation.

- Afin d'adapter la représentation du problème à une situation de sélection parmi les solutions proposées.
- La reformulation peut ne concerner que la forme d'expression du problème sans en modifier le contenu. Nous pouvons évoquer plus particulièrement le cas de l'appropriation de la première formulation du problème par les concepteurs, celle-ci n'étant que rarement de leur ressort.
- La reformulation peut avoir trait au contenu même de l'expression du problème. Ainsi les concepteurs sont susceptibles d'une part d'ajouter comme d'éliminer un ou plusieurs éléments au problème ou d'autre part d'augmenter ou de diminuer le niveau de difficulté d'un ou plusieurs de ces éléments.

Ces deux derniers mécanismes consistent alors en une adaptation de l'expression du problème aux référents évaluatifs propres à chaque acteur.

2.4 Conclusion

Nous avons proposé un modèle du processus de conception basé sur un mode de représentation associé aux notions de domaine et d'activité. Les choix faits dans un but de généralité ont conduit à l'adoption d'un modèle très simple basé sur deux domaines et quatre activités génériques. Il convient de valider la pertinence de cette approche en démontrant la capacité d'un tel modèle à décrire un processus de conception réel.

3 Validation

La construction de ce modèle s'est appuyée sur l'étude d'un corpus de conception écrit, issu d'une expérience de conception collective menée en 1994 [DPW94]. Cette expérience consistait à enregistrer (vidéo, audio, objets intermédiaires) et à retranscrire par écrit les dialogues échangés et les résultats produits par une équipe de trois concepteurs (Ivan, John et Kevin). Ces trois concepteurs professionnels, issus d'une entreprise de conseil en conception de produits, sont invités à répondre à un cahier des charges donné. Les concepteurs devaient proposer, après un temps imposé, un principe de solution, sa structure et sa forme générale²⁴ (Fig. 5.8).

²⁴ Traduction de « the layout of the product »

Assignment

HiAdventure Inc. is a fairly large US firm (some 2000 employees) making backpacks and other hiking gear. They have been very successful over the last ten years, and are well known nationwide for making some of the best external-frame backpacks around. Their best selling backpack, the midrange HiStar, is also sold in Europe. In the last one and a half years, this European activity has suffered some setbacks in the market; in Europe internal-frame backpacks are gaining a larger and larger market share.

As a response, HiAdventure has hired a marketing firm to look for new trends and opportunities for the European market. On the basis of this marketing report, HiAdventure has decided to develop an accessory for the HiStar:

- A special carrying / fastening device that would enable you to fasten and carry the backpack on mountain bikes.
- The device would have to fit on most touring- and mountainbikes, and should fold down, or at any rate be stacked away easily.
- A quick survey has shown that there is nothing like this on the European market.

This idea is particularly interesting for HiAdventure, because the director, Mr Christiansen, has a long-standing private association with one of the chief product managers at the Batavus bicycle company (one of the larger bicycle manufacturers in northern Europe, based in Holland). Mr Christiansen sees this as a good opportunity to strike up a cooperation and profit from the European marketing capacities of Batavus.

The Batavus product manager, Mr Lemmens, is very enthusiastic about putting a combination-product on the market, a mountainbike and a backpack that can be fastened to it. The idea is to base the combination-product on the Batavus Buster (a midrange mountainbike), and to sell it under the name Batavus HikeStar. The design department at Batavus has made a preliminary design for the carrying / fastening device, but both Mr Christiansen and Mr Lemmens are not very content with it. The user's test performed on a prototype also showed some serious shortcomings.

That is why they have hired you as a consultant to make a different proposal. Tomorrow there is going to be a meeting between Mr Christiansen and Mr Lemmens, scheduled as the last one before presenting the idea to the board of Batavus. Before then, they need to have a clearer idea of the kind of product it is going to be, its feasibility and price.

You are hired by HiAdventure to make a concept design for the device, determining the layout of the product, concentrating on

- ease of use
- a sporty, appealing form
- demonstrate the technical feasibility of the design
- make sure to stay within a reasonable price range

You are asked to produce annotated sketches explaining your concept design.

Good Luck!

Figure .5.8 Le cahier des charges de [DPW94].

Lors des itérations nécessaires à la construction de notre modèle, nous avons tenté d'utiliser ce modèle comme mode de représentation du processus de conception explicite à travers le corpus. Nous présenterons dans cette partie les résultats de cette démarche, c'est à dire le modèle qui nous a semblé satisfaisant lors des dernières itérations. Nous avons jugé de cette satisfaction à travers sa capacité à enregistrer le corpus considéré sans ambiguïté, et avec le plus d'exhaustivité possible. Ces deux éléments constituent la formalisation, la représentation explicite que nous avons choisie pour le problème auquel ce modèle se destine à répondre. Le jugement de cette satisfaction a probablement activé d'autres éléments de notre référent évaluatif. Nous ne chercherons pas, dans le cadre de cette thèse, à identifier ces éléments. Dans un premier temps, nous illustrerons cette démarche avec la représentation détaillée,

selon ce modèle, de plusieurs extraits de ce corpus. Nous présenterons ensuite, de façon plus générale, le résultat de cette démarche pour la représentation de l'ensemble du corpus.

3.1 Application de notre modèle à un instant de la conception-validation du codage adopté

Nous avons identifié et proposé plusieurs activités décrivant la navigation dans les domaines de représentation du problème et de définition de la solution. Nous avons enregistré plusieurs extraits du corpus [DPW94] en associant chaque extrait de dialogue à une de ces activités. Cette démarche est bien sûr subjective. Il serait intéressant de disposer de plusieurs enregistrements, réalisés par plusieurs personnes selon ce modèle. Nous ne prétendons donc pas avoir prouvé la justesse de notre modèle par les extraits d'enregistrement que nous présentons ici, mais à en illustrer la teneur et à valider la pertinence de l'approche suivie. Les deux figures suivantes présentent cet enregistrement pour deux extraits du corpus, à deux instants différents, le premier correspondant au début du temps imparti, le second aux derniers instants (14 min. de la fin). Les deux figures montrent en colonnes respectivement l'instant de l'énonciation de la proposition, son auteur (identifié par son initiale I, J ou K), le texte intégral de la proposition, l'activité de notre modèle associée à la proposition identifiée par nous même (E pour évaluation, C pour conjecture, D pour définition ou R pour reformulation) et un commentaire que nous avons ajouté pour suivre plus facilement le déroulement de la conception.

[...] Les concepteurs lisent le compte rendu de test du prototype				
00:15:19	J	pack is firmly attached to the bike	E	J et I (citant le compte rendu) évaluent la solution testée
00:15:21	J	positioning of the backpack was alright		
00:15:28	J	fact that the centre of gravity of the backpack is placed rather far to the back of the bike (inaudible)		
00:15:30	I	do we have any em		
00:15:47	J	there's a problem with potholes ... the backpack tends to slide up and down which adversely influences stability I guess when you hit bumps		
00:15:48	I	isn't that in the negative	C-D	J propose une hypothèse à l'évaluation négative précédente.
00:15:51	J	mm yeah well the product was considered ugly		
00:15:57	J	well that's solvable (laughter) we can fix that one if nothing else ...	E	J évalue la solution testée
00:16:00	J	it takes a while		
00:16:03	J	to get used to cycling with this weight		
00:16:06	J	mistakes are made attaching the fastening device to the bike	R	J exprime un nouvel aspect du problème. Les autres le suivent dans cette activité
00:16:08	J	so it has to be easy to attach		
00:16:14	K	with only one yeah gotta be fool proof so that's part of our		
00:16:15	J	yeah that should be in our spec		
00:16:16	K	functional spec		
00:16:18	I	what is? idiot proof?		
00:16:21	K	idiot proof (laugh) one way to install or one way to attach		
00:16:23	K	and make it obvious too		
00:16:26	J	slash obvious	R	I évoque un point du problème (le volume de vente visé)
00:16:35	I	do we have a em uh sales projections or anything like that? so we know how many units per year so that		
00:16:39	J	so we can determine whether or not we can tool something up or from a cost stand point	R	J évoque la fabncabilité
00:16:40	K	injection mould it	C-D	k propose un procédé de fabrication

Figure .5.9 Le premier extrait du corpus, lecture d'un compte rendu d'essai d'un prototype.

01:48:16	J	why why do we need any screws?	R	I et J interrogent la formulation du problème
01:48:19	I	er for these things that attach to here		
01:48:20	J	mm mm	?	
01:48:21	K	what are those called again those rear things?	D	K et I décrivent la solution considérée
01:48:24	I	stays topstays		
01:48:29	J	ugh I don't like screws	E	J évalue négativement celle-ci
01:48:32	I	I know because you'll need foot plugs too	R	I établit un nouvel élément du problème
01:48:39	J	no we could we could wing that into the plastic you get little wing nuts that go into em insert into the plastic	C-D	J propose une nouvelle solution
01:48:39	K	y'don't need to remove those	R	K trouve le problème exprimé non pertinent et en conséquence évalue négativement la solution de J
01:48:41	K	they're a part we don't ever need to once those are installed we never	E	
01:48:43	K	we could insert mould them	C-D	L'équipe définit ensemble la solution proposée par K
01:48:45	I	well there you go	?	
01:48:46	J	insert mould what?	D	
01:48:48	K	insert mould these into the		
01:48:49	J	yeah OK we'll insert mould them		
01:48:50	I	insert mould		Qui est évaluée positivement
01:48:51	J	cheaper (laugh)	E	
01:48:52	K	so that		
01:48:54	I	that gets rid of four screws		
01:48:55	I	no screws		
01:48:56	J	no screws		Mais la reformulation du problème...
01:49:00	I	but see that was where our adjustability came from	R	
01:49:01	I	in the different frame size		
01:49:02	I	so now the height's gonna be		
01:49:02	K	that's true		
01:49:05	J	no then we need it you're right you're right you're right		...les amène à reproposer une solution passée
01:49:06	K	put the screws back	C-D	
01:49:07	I	where were they?	D	

Figure .5.10 Le second extrait du corpus, considération de la configuration de la solution finale.

L'analyse des deux enregistrements présentés ci-dessus nous permet de dégager les points suivants :

- Le codage proposé pour les activités menées par les concepteurs, constitué de quatre activités génériques (E, C, R et D) permet de saisir, à deux exceptions près (01:48:20 et 01:48:45 dans le second extrait, Fig. 5.10) l'intégralité des dialogues échangés dans ces deux extraits.
- L'interprétation des activités synthétiques, c.-à.-d. les conjectures et les définitions, est moins triviale que celle des activités liées à l'évaluation. Nous avons déjà discuté de la difficulté de saisir et d'identifier l'activité de conjecture, du fait de son aspect personnel et non exprimé. En ce sens, dans l'enregistrement réalisé, nous avons associé une activité de définition à chaque activité de conjecture (C-D), car l'identification d'une conjecture passe, dans le contexte considéré²⁵, par l'identification de l'activité de définition qui permet à l'auteur de la conjecture de la communiquer au reste de l'équipe.
- Alors que les activités de conjecture²⁶ sont menées de façon individuelle, les activités de reformulation, d'évaluation et de définition peuvent impliquer plusieurs acteurs.
- Le passage d'une activité à la suivante n'implique pas un changement d'acteur (exemple de John, de 15:57 à 16:08 qui enchaîne conjecture-définition, évaluation et reformulation).
- Nous avons identifié, dans le premier extrait, plusieurs activités de reformulation enchaînées sans alterner avec d'autres activités (de 16:08 à 16:39). Nous avons en effet considéré que lors de ce passage les concepteurs traitaient de plusieurs (3) aspects différents de l'expression du problème.

Les deux extraits présentés nous ont permis d'illustrer la teneur du codage proposé, ainsi que sa pertinence à décrire certains instants d'un processus de conception. L'enregistrement réalisé par nos soins est une interprétation personnelle, sur la base des propositions énoncées par les concepteurs, de la nature en termes d'activités et de domaines du processus de conception étudié. Il convient d'expliquer quels sont les éléments qui régissent cette interprétation, c.-à.-d.. « quelles sont les raisons qui nous font considérer tel extrait comme telle activité ». Nous avons notamment évoqué, dans le dernier point, que le contenu des

²⁵ D'autres configurations expérimentales auraient permis de prendre en compte les conjectures indépendamment des définitions, par exemple en incitant les concepteurs à « raconter » leurs activités.

²⁶ Enregistrées sous la forme de couples C-D, qui prend alors le sens du classique « generate »

propositions faites entre 16:08 et 16:39 nous a amené à identifier trois reformulations différentes. Il convient donc de s'interroger sur le lien entre le contenu de chaque proposition et sa considération en tant qu'activité du modèle. Cet aspect sera traité dans la quatrième partie de ce chapitre.

3.2 Application de notre modèle à l'ensemble du processus étudié

Les extraits précédents nous ont permis d'illustrer la teneur de notre modèle en termes d'activités. La démarche d'enregistrement suivie, appliquée à l'ensemble du corpus étudié²⁷, nous permet d'expliquer l'évolution de ce processus de conception, en termes d'activités. Cette évolution se rapporte alors à une navigation dans (reformulation et définition) et entre (évaluation et conjecture) les domaines de l'expression du problème et de définition de la solution. Pour la représentation du processus complet en termes d'activités, nous avons utilisé un niveau de granularité moins fin que pour les parties précédentes. Ainsi chaque succession d'activités du même type a été considérée, pour cette tâche, comme une seule et même activité (par exemples les instants 16:08 à 16:40 dans la figure 5.9 correspondent, selon la granularité adoptée, à la mise en oeuvre d'une activité de reformulation unique). Ce niveau de granularité permet :

- En termes de saisie et d'enregistrement du corpus, à une économie d'interprétation. En effet, ce codage permet d'éviter l'interprétation, difficile, des aspects traités à chaque instant pour définir l'étalement temporel des activités.
- En terme de représentation, de décrire les passages dans et entre les domaines de la représentation du domaine et de la solution de façon plus visible. En effet, avec le mode de représentation choisi, l'enchaînement de plusieurs activités du même type est difficilement représentable.

Cette hypothèse, ce choix fait sur le codage n'est bien sûr pas gratuit. En effet, la saisie du corpus avec un tel niveau de granularité nous fait perdre de l'information sur les activités réellement menées par les concepteurs. La description en terme d'activités du processus étudié est faussée. Sa représentation en domaines reste néanmoins valable, et nous permet de décrire, dans la figure suivante, le cheminement du processus de conception suivi par les acteurs de l'expérience.

²⁷ La transcription complète de l'enregistrement est en annexe

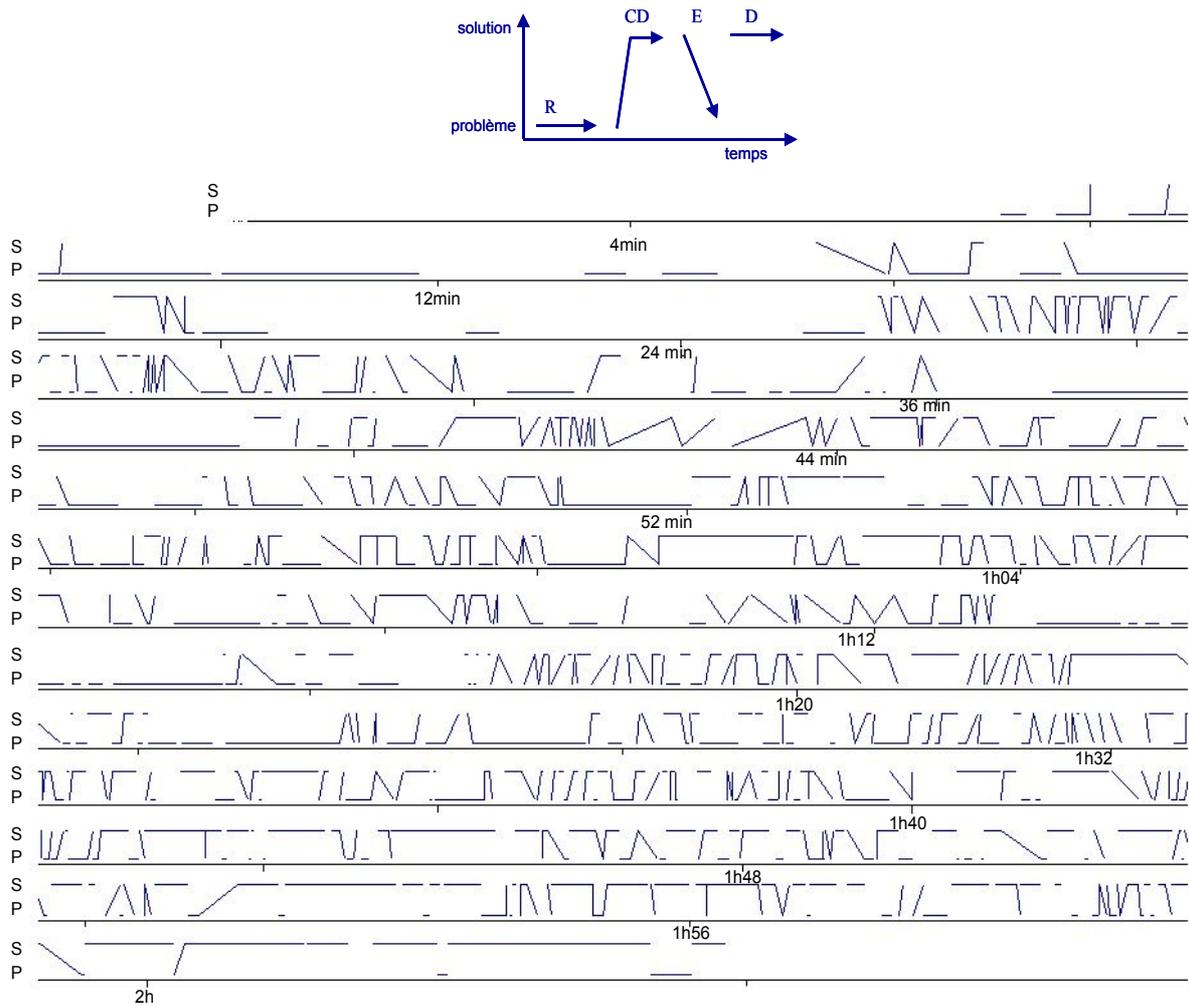


Figure 5.11 Le processus de conception de [DPW94] selon les axes du temps et problème/solution (noté P et S).

Ce résultat permet de valider les hypothèses sur lesquelles nous nous étions appuyés pour construire notre approche co-évolutive. La figure 5.11 nous permet en effet de constater le non parallélisme entre l'axe du phasage et l'axe problème/solution. En effet l'évolution globale du processus de conception se fait en impliquant de nombreuses itérations entre les deux domaines proposés. L'expression du problème est questionnée, remise en cause, modifiée tout au long du processus. Nous avons de même évoqué les résultats de Nidamarthi [NID97], qui avait remarqué que les concepteurs se consacraient tout au long du processus de conception à des activités de compréhension du problème comme de résolution du problème. Nous sommes bien face à un problème de conception mal défini et ouvert, dont l'expression a évolué au cours du processus.

3.3 Intéprétation

De nombreux résultats peuvent être tirés de l'enregistrement réalisé. Nous avons ainsi notamment pu étudier le nombre d'occurrences des quatre types d'activité. Nous rappelons toutefois que par le codage adopté, les résultats obtenus sont plus représentatifs, en terme de temps, des domaines concernés par la mise en œuvre des activités, que des activités elles-mêmes, telles que nous les avons définies²⁸. Nous continuerons néanmoins à parler, pour l'interprétation des résultats obtenus, d'occurrences d'activités. Nous scinderons notre interprétation en deux points. Dans un premier temps nous tirerons de notre analyse quelques résultats sur la composition globale du processus enregistré, au sens du modèle proposé plus haut. Nous étudierons alors les aspects dynamiques de cette analyse.

3.3.1 Un regard global sur un processus de conception

Nous avons ainsi constaté la mise en oeuvre, durant les deux heures de conception du corpus, d'un nombre d'occurrence de chaque type d'activité présenté dans le tableau suivant :

Type d'activité	Occurrences
R	209
D	224
E	179
CD	181

Figure .5.12 Les occurrences des différents types d'activité.

Il est en outre possible de mesurer la proportion, en terme de temps passé, des différentes activités menées. Complémentairement à cette proportion, nous avons fait la moyenne, pour chaque activité, du temps pris par sa mise en œuvre (Tableau suivant).

Activité	Durée moyenne de la mise en œuvre d'une activité.	Proportion du temps passé à la mise en œuvre de cette activité.
Reformulation	10,2 s.	29,6 %
Définition	8,7 s.	27,2 %
Evaluation	5,1 s.	12,6 %
Conjecture	3,1 s.	7,8 %
Activité non codée	9,4 s.	22,8 %

Figure 5.13 Durée et proportion des activités mises en œuvre.

Ce tableau nous permet de remarquer :

²⁸Deux évaluations *successives* de 3s., par exemple, sont considérées comme une évaluation de 6s.

- Que 22,76 % du temps de l'expérience n'a pu être codée avec le modèle donné. Nous reviendrons sur ce point plus loin.
- Que 56,82% du temps total (soit 73,6% du temps codé par les activités de notre modèle) est passé à mettre en oeuvre des activités internes à un domaine, c'est à dire définition de la solution ou reformulation du problème. La mise en oeuvre des activités inter-domaines (évaluation et conjecture) ne correspond qu'à 20,4% du temps total (soit 26,4% du temps interprété par notre modèle).
- Il est intéressant de noter que les activités internes à un domaine, c'est à dire reformulations et définitions, ont une durée moyenne plus longue (resp. 10,2s et 8,7s) que les activités inter-domaines, c'est à dire les évaluations (5,1s) et les conjectures²⁹ (3,1s).
- Que ce soit en terme de temps total ou de durée, les activités relatives à la représentation de la solution et du problème sont comparables. Nous pouvons ainsi valider l'hypothèse que nous devons à Schön de considérer que la conception impliquait, outre le problem solving, des activités de problem setting. Nous avons de plus quantifié ce parallèle, et pouvons ainsi compléter l'assertion de Schön, en avançant que la conception implique à la fois des activités de problem solving et, en proportions similaires, de problem setting.
- Nous retiendrons de ces résultats que les acteurs du processus de conception étudié passent plus de temps dans un domaine du modèle qu'entre ces domaines, à la fois du point de vue cumulatif (avec un ratio d'environ trois-quarts du temps dans / un quart entre) et instantané (8,7s et 10,2s dans un domaine, 3,1s et 5,1s secondes entre domaines).

Nous noterons, pour faire le parallèle avec les constats de [DAR97] que le schéma adopté propose de décrire une situation où les points de vue sont alternativement simultanés³⁰, lors des évaluations et des conjectures, ou uniques³¹, lors des reformulations et des définitions.

Il est possible d'étudier plus précisément, outre sa moyenne, ce paramètre de durée des différentes activités. Ainsi, en traçant la fréquence des différentes activités en fonction de leur durée, nous décrirons la répartition des occurrences de différentes durées.

²⁹ Nous rappellerons que nous avons associé la conjecture à l'activité de définition qui permet à son auteur de la communiquer à ses partenaires

³⁰ Sur le problème ET sur la solution

³¹ Sur le problème OU sur la solution

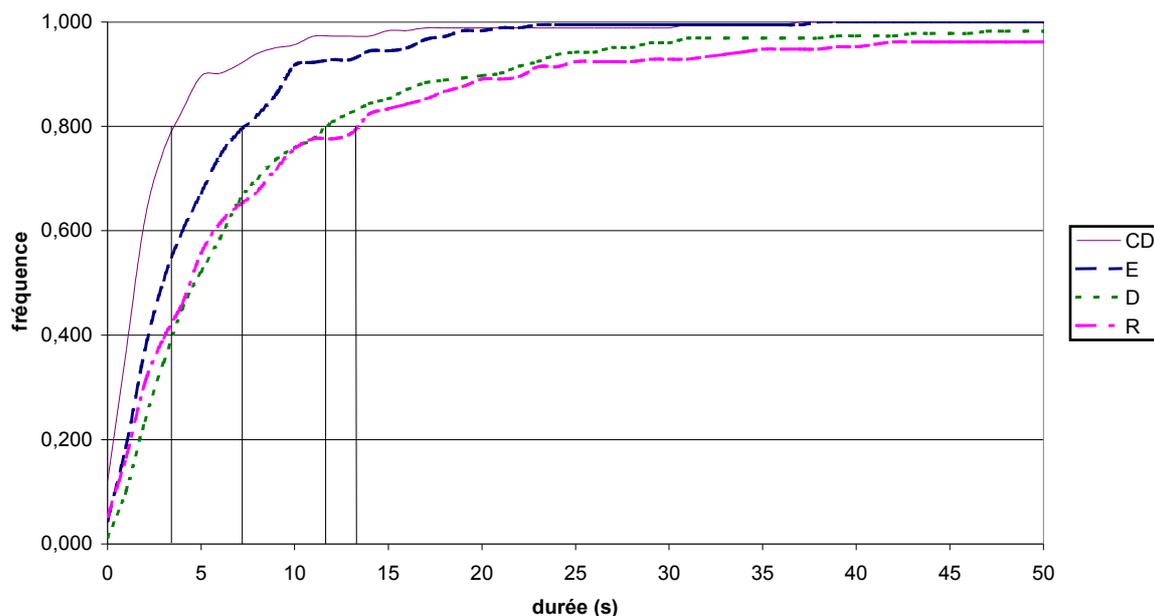


Figure .5.14 La fréquence des différentes activités en fonction de leur durée.

Nous remarquerons qu'ainsi, 80% des occurrences de chaque type d'activité ont une durée inférieure à 4 et 7 secondes, respectivement pour les conjecture et évaluation, contre 12 et 13 secondes pour les définition et reformulation.

3.3.2 Du point de vue dynamique

Nous avons déduit du codage de corpus réalisé de nombreuses propriétés du processus relaté dans ce corpus. Ces propriétés sont relatives à la constitution globale du processus considéré au sens des activités et domaines proposés. Nous avons, dans notre étude bibliographique des modèles du processus de conception, considéré le concept d'activité comme apte à décrire la dimension temporelle, le déroulement du processus. En ce sens, sur la base du codage réalisé, nous pouvons décrire la dynamique de la mise en œuvre du processus enregistré. Nous avons choisi pour cela de représenter dans un premier temps l'évolution, au long du processus, de la proportion des différentes activités. Le graphique suivant représente donc la proportion du temps cumulé passé à la mise en œuvre des quatre activités du modèle. Nous n'avons pas représenté les activités non codées pour des raisons de clarté, et car c'est la proportion relative des quatre activités de notre modèle que nous cherchons à représenter.

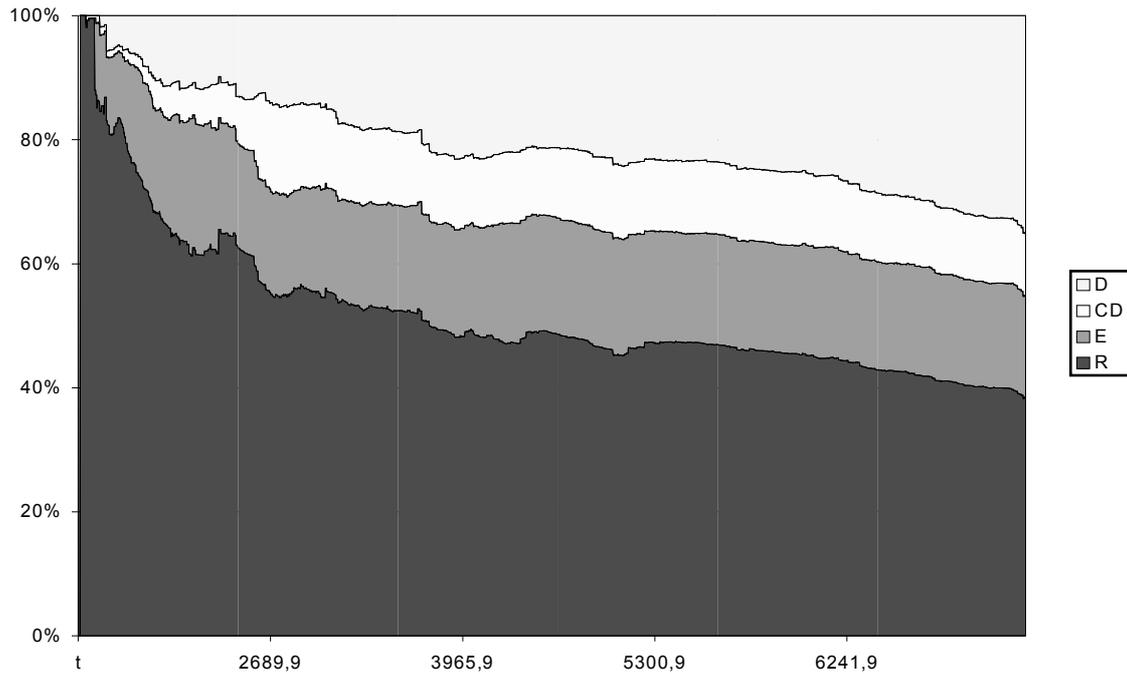


Figure 5.15 La proportion de temps cumulé passé à la mise en œuvre des quatre activités, en fonction de la progression dans le processus (en secondes).

Cette figure nous permet de valider l'hypothèse qui a servi de base à la construction de notre modèle. En effet, tout au long du processus enregistré les quatre types d'activités sont menées. Nous remarquerons que la proportion de ces activités varie. En effet, alors que les premiers instants sont presque entièrement consacrés à la formulation initiale du problème, peu à peu les activités d'évaluation et de conjecture/définition apparaissent, pour occuper rapidement la proportion globale. Les activités de définition occupent une proportion croissante du temps de conception, par opposition aux reformulations dont la proportion diminue tout au long du processus.

Nous pouvons en outre nous intéresser à l'évolution dans le temps de la durée moyenne de la mise en œuvre des activités. Pour ce faire, nous avons représenté, dans le graphique suivant :

- Toutes les occurrences des quatre activités, selon leur instant (en abscisse) et leur durée (en ordonnée). Nous avons tronqué (dans la représentation) les durées supérieures à 30 s. pour des raisons de clarté, bien que certaines occurrences aient duré jusqu'à 2 min.

- La droite de régression linéaire correspondant à chacune des quatre activités. Bien que les données qui servent de base à la construction de cette droite n'aient aucune raison de suivre une relation de linéarité entre durée et instant³², cet outil a été utilisé pour représenter l'évolution dans le temps, considérée comme linéaire, de la moyenne de la durée de chaque activité.

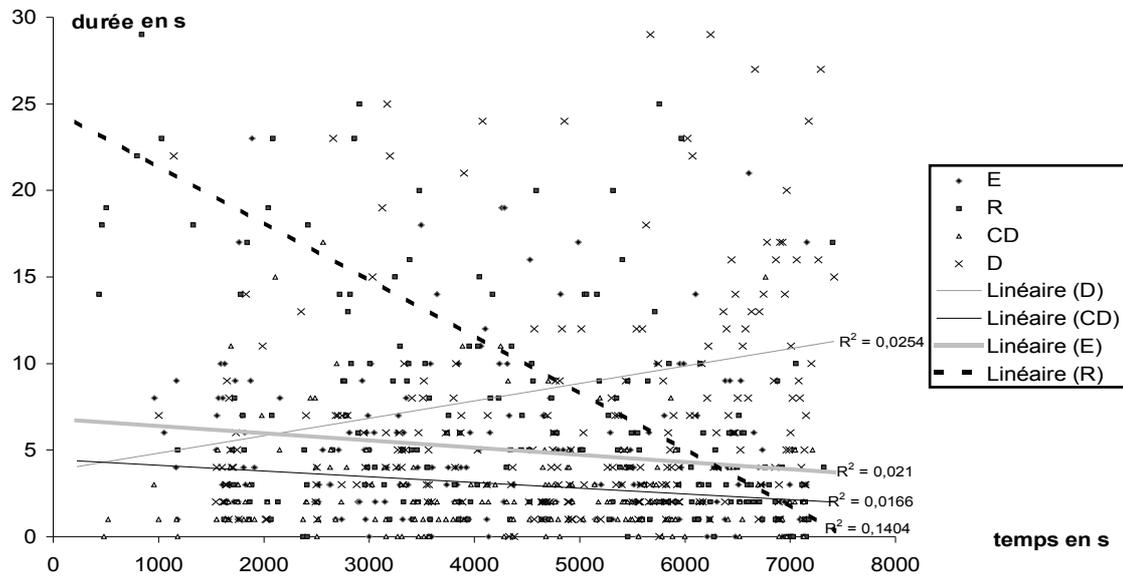


Figure 5.16 Occurrences des activités dans un plan instant/durée.

Cette figure nous permet de constater que :

- Les activités qui concernent deux domaines, c'est à dire évaluations et conjecture/définitions, ont une durée qui varie peu (+/- 1 s) autour de sa valeur moyenne, faible. Cette variation, légère, est décroissante.
- Les activités qui mobilisent un domaine, c'est à dire définitions et reformulations, varient beaucoup plus en durée. Ainsi, la durée moyenne des activités de reformulation décroît, passant du double de sa valeur globale à une durée minime, alors que celle des activités de définition croît, passant de 4 à 13 s.

Cette interprétation de la dynamique du processus étudié, toujours en accord avec le paradigme co-évolutif choisi, montre toutefois que l'équilibre entre problem solving et problem setting se déplace, à mesure du déroulement du processus, vers le probleme solving.

³² Les coefficients de régression, lisibles sur la figure, le montrent d'ailleurs clairement.

3.3.3 Les activités non codées

Nous avons fait état plus haut de n'avoir pas pu coder, avec le modèle proposé, une partie non négligeable des dialogues du corpus (23% en terme de temps). Il convient de s'interroger sur la nature des activités non codées.

Les dialogues ignorés sont de plusieurs types. Nous avons ainsi des «blancs», qui selon la démarche adoptée n'ont pas été saisis. Certaines phrases n'ont pas été comprises, et de ce fait non saisies («*the uh all the stuff that (inaudible)*», 0:24:03). Enfin, et cette catégorie est de loin celle qui décrit le plus de discussions ignorées par notre codage, de nombreux dialogues traitent de l'organisation du travail des concepteurs ou de l'identification des tâches à mener.

OK you you were talking about schedule stuff before do you wanna - yeah I think we should uh just figure out - just set some time limits for ourselves - how how much we wanna spend on each thing yeah so we can just move on (0:20:25).

Le modèle choisi, qui s'attache à décrire les activités menées par les concepteurs dans et entre les domaines de représentation du problème et de la solution, n'est pas apte à décrire de telles activités. Celles-ci relèvent en effet de la *coordination*, par les concepteurs, des activités qu'ils pensent avoir à mener. Cette problématique sort du cadre choisi pour notre thèse, c'est pourquoi nous nous contenterons ici d'ignorer ces activités.

3.4 Conclusion

Le modèle proposé, construit sur la base des notions de domaine et d'activité, permet, au vu de son application à un corpus de conception, de décrire un processus de conception en terme de dynamique de réalisation (par la séquence d'activités mises en œuvre), ainsi qu'en terme de co-évolution de l'expression du problème et de la définition de la solution (par la considération alternative des deux domaines). En ce sens cette approche permet de situer les activités menées en terme de domaine concerné. Nous avons ainsi pu décrire l'ensemble du processus étudié et en tirer plusieurs résultats intéressants, validant notamment les hypothèses adoptées quant à la dynamique des processus réels, représentée par le paradigme co-évolutif.

Néanmoins, nous avons vu que cette notions de domaines, qui permet de définir les activités proposées, n'est pas suffisant pour délimiter, borner l'étendue de la mise en oeuvre d'une activité. Nous avons en effet naturellement identifié, lors du codage d'instantanés choisis, plusieurs activités successives de même type. En ce cas c'est le changement de contenu,

d'objet auquel l'activité s'adresse qui nous a conduit à discerner plusieurs activités distinctes. Il convient alors de s'interroger sur la nature de ces objets.

4 Les objets impliqués dans la mise en oeuvre des activités

La problématique traitée dans cette thèse est, nous l'avons dit, double. Il convient en effet non seulement de décrire le sujet traité, c'est à dire le processus de conception, mais aussi de contribuer à son support.

En ce sens, ce modèle doit servir de base à la construction d'outils, de méthodes ou de techniques de conception. Pour ce faire, nous nous proposons d'offrir un formalisme structuré, là encore avec un objectif de généralité, des objets constitutifs des domaines ou impliqués dans la mise en oeuvre des activités. L'intérêt de ce formalisme structuré étant le support de la conception, nous ne prétendons pas atteindre un niveau de généralité qui permette de modéliser l'ensemble des objets exprimés lors d'un processus réel de conception. De plus, alors que l'enregistrement du corpus en terme d'activités et de domaines s'est révélé être d'une difficulté toute relative, l'interprétation du sens des objets discutés est beaucoup moins évidente. De ce fait, le corpus sera là encore utilisé mais cette fois dans une optique purement illustrative.

4.1 Décrire le produit de la mise en oeuvre des activités

Nous avons vu dans la partie 3.1 de ce chapitre que le contenu des propositions verbalisées par les concepteurs nous incitait à considérer par exemple un instant de la conception comme la mise en oeuvre de plusieurs activités de reformulation successives. En effet nous avons identifié, dans cet instant de la conception, trois passages relatifs à des éléments distincts de l'expression du problème³³. En ce sens, une activité telle que nous l'avons définie est caractérisée et située à la fois par sa situation vis à vis des deux domaines considérés³⁴, et par son étalement temporel³⁵. Cette seconde caractéristique est déterminée, dans l'approche proposée, par la considération d'un aspect unique, d'un sujet traité. (Dans l'exemple précédent, nous avons ainsi discerné trois activités de reformulation, associées à chacun des trois aspects traités successivement, c'est à dire la facilité de montage, le volume de vente visé et la possibilité d'un investissement d'outillage).

³³ Successivement la *facilité d'attache*, le *volume de vente annuel* et la *faisabilité des moyens de fabrication*. (cf. Fig. 5.9)

³⁴ Dans la dimension non-parallèle à l'axe du temps, c.a.d. un axe problème/solution.

³⁵ La mise en oeuvre d'une activité est limitée dans le temps.

Au sein des quatre activités proposées, nous pouvons identifier deux statuts différents : alors que les activités de reformulation et de définition sont propres à un domaine, les activités de conjecture et d'évaluation sont inter-domaines. En ce sens, la mise en oeuvre d'une des deux premières activités a pour produit l'établissement, la détermination d'un élément constitutif du domaine considéré. Le produit de la mise en oeuvre d'une des deux autres activités est moins explicite. Ainsi une activité de conjecture est du ressort de l'esprit, de l'imaginaire de son auteur. Son produit, la solution imaginée, est explicité et exprimé lors de l'activité de définition qui permet de faire part de cette solution au reste de l'équipe³⁶. L'activité d'évaluation, que nous avons située entre les deux domaines considérés, est elle explicitée. En ce sens, il est possible d'identifier son produit, qui n'appartient à aucun des deux domaines.

4.2 Les quatre classes d'objets

La démarche adoptée ici consiste à définir des classes d'objets. Ce concept de classe est celui proposé par le champ thématique de la programmation objet. Une classe est définie par l'ensemble des propriétés partagées par les objets qui en sont les instances. Nous ne nous étendrons pas ici sur cette notion de classe, ni sur le formalisme complet qui lui est associé, mais noterons son intérêt en vue d'une implémentation informatique future des résultats de ce travail.

Nous nous contenterons donc ici de définir quatre classes, qui se définissent par des propriétés simples, issues du modèle présenté dans la section précédente. Du fait de l'aspect intrinsèquement personnel et implicite de l'activité de conjecture, nous n'avons dans ce travail retenu qu'une seule classe pour décrire les objets issus des conjectures et/ou des définitions qui permettent d'exprimer ces conjectures, la classe *draft*. Nous avons a contrario choisi de définir deux classes différentes pour les objets impliqués dans la mise en oeuvre des reformulations, et donc qui participent à l'expression du problème. En effet, il s'agit d'une part de définir les objectifs, la finalité, le besoin, la raison d'être qui justifient le projet de conception. D'autre part, la liberté des concepteurs n'est pas infinie. En effet de nombreuses contraintes limitent l'espace de travail possible. Nous avons choisi en ce sens de représenter le problème à travers deux classes d'objets : d'une part les objets de la classe *contrainte* expriment des éléments du problème qui limitent les possibilités des concepteurs, d'autre part les objets de la classe *besoin* expriment les finalités du produit à concevoir. Nous définirons

³⁶ Dans la section précédente nous associons les conjectures à des définitions dans des couples C-D.

alors la classe *critère d'évaluation*, dont les instances sont les objets issus de la mise en oeuvre des activités d'évaluation.

4.2.1 La classe draft

Nous concentrant sur les aspects évaluatifs, et du fait du caractère personnel, individuel et non exprimé de l'activité de conjecture, nous n'avons retenu qu'une classe pour décrire les objets dont l'instanciation résulte d'une activité de conjecture et/ou de définition. Les objets de la classe draft sont alors les constituants de la définition de la solution. Le tableau suivant présente quelques exemples d'objets de la classe draft.

Instant	Act.	Dialogue	Commentaire
00:16:40	K	injection mould it	Kevin propose un procédé de fabrication, Ivan identifie le matériau comme une caractéristique de la solution.
00:16:41	I	yeah materials	
00:19:04	K	now this looks like a a snap-in feature	Kevin et Ivan décrivent la solution considérée en terme de principe de fonctionnement et de montage, de géométrie, procédant notamment par analogie.
00:19:08	I	so it hooks on the front and then you think that hooks so this snaps in?	
00:19:12	K	it looks like there's a little hole there so k-chung(sneeze)	
00:19:17	K	and then em this goes down into the wing-nuts and then you tighten it down	
00:19:19	I	tighten it with the wing-nuts yeah	
00:27:45	J	oh yeah like a motorcycle gas tank	John propose une position, comparée à d'autres produits par analogie
00:27:47	I	oh yeah the gas tank there we go	
00:27:52	J	you know like on your on your Harley (laugh)	
00:27:55	K	except on a Harley you don't pedal so you don't get your knees cranking	E
00:27:58	J	maybe they're gonna have to redesign the top of their backpack	Nouvelle proposition de principe de solution pour résoudre le problème soulevé par l'évaluation qui précède.
00:28:02	J	(laugh) so so so it clears your knees	
00:28:03	I	(laugh) under your crotch yeah	
00:28:05	J	the knee killer	
00:28:07	I	what about hanging it down in the front	Nouveau principe, nouvelle position
00:28:13	I	try that upside down sort of... that thing could hook the handlebars through there	
00:28:18	J	yeah I think what there doing right now is most similar to the sorta child seat kind of idea	

Tableau.5.1 Quelques exemples d'objets de la classe draft, tirés de [DPW94].

4.2.2 La classe contrainte

Nous donnons dans le tableau suivant quelques exemples, tirés du corpus [DPW94], de ce que nous définissons comme étant des contraintes. Ces contraintes sont associées à la mise en oeuvre d'activités que nous avons identifiées précédemment comme étant des reformulations.

Instant	Acteur	Dialogue	Commentaire
00:09:32	K	but they wanna use it with this external frame backpack it looks like	Les concepteurs formalisent le fait que leur produit doit s'adapter au sac existant comme une contrainte.
00:09:37	I	right with this well let's see	
00:09:38	K	because the HiStar this this is a best-selling backpack the mid-range HiStar	
00:16:35	I	do we have a em uh sales projections or anything like that? so we know how many units per year so that	Les concepteurs formalisent comme contrainte les volumes de vente annoncés
00:16:39	J	so we can determine whether or not we can tool something up or from a cost stand point	
		
00:17:07	J	that's the target group does it say how many they'd sell per year?	
00:17:15	K	twenty percent penetration	
00:17:16	K	so that's not very many	
00:17:19	I	OK twenty percent of two hundred and fifty thousand	
00:17:20	J	so that's fifty thousand right?	
00:17:21	I	yeah	
00:17:27	J	fifty thousand fifty thousand units a year products	
00:19:54	J	the constraints are	Les concepteurs reviennent sur le sac existant, et formalisent de plus une nouvelle contrainte, al géométrie des vélos existants.
00:19:55	J	we know what the backpack is	
00:20:00	I	yeah and I think that rear diamond business is pretty much set the relationship between	
00:20:03	I	the seat and the rear wheel	
00:20:14	J	so bicycle geometry will definitely be given ... bi...cy...cle engineers can't spell (laugh) geometry	
00:30:00	J	I mean is there any real problem with keeping it as one big bulky	Ils reviennent encore une fois sur la contrainte de s'adapter au sac existant.
00:30:02	J	() it seems like we keep we're already trying to split it up	
00:30:04	K	no I don't think we have to split it up	
00:45:21	J	(inaudible) can you get around the brake cable that's always the problem	John exprime une nouvelle contrainte due à la géométrie des vélos existants.
00:50:08	J	yeah I guess d- like well given the width of the pack	De même avec le sac existant.

Tableau.5.2 Quelques contraintes issues du corpus [DPW94]

Nous pouvons tirer quelques observations du tableau précédent :

- La classe proposée permet de rendre compte des éléments constitutifs du problème, verbalisés et communiqués au sein de l'équipe de conception, qui désignent une limitation à leur créativité, un aspect auquel ils doivent se tenir, des contraintes à respecter. Ainsi sont par exemple mis à plat les caractéristiques de l'environnement physique auquel le produit conçu devra s'adapter (le sac et le vélo), le projet industriel global et le marché dans lesquels ce produit doit s'inscrire (le volume de vente).
- L'instanciation d'un objet de la classe contrainte peut impliquer plusieurs acteurs, et être réitérée en plusieurs étapes, séparées par d'autres considérations (exemple du volume de vente, entre les instants 16:39 et 17:07).

4.2.3 La classe besoin

Outre des éléments décrivant les limites au sein desquelles le produit doit être conçu, l'expression du problème est selon nous constituée d'éléments décrivant les objectifs, la finalité du produit à concevoir. Nous avons en effet défini le processus de conception comme

consistant en la transformation d'un besoin exprimé en définition d'un produit. Nous définirons donc des objets comme appartenant à la classe besoin. Ces objets sont eux aussi liés aux activités de reformulation de l'expression du problème. Le tableau suivant en donne quelques exemples.

Instant	Acteur	Dialogue	Commentaire
00:18:38	K	and it's an off-road bike	évoquent le besoin d'assurer un attachement solide
00:18:42	K	so you'd need a real rugged rugged attachment or a rigid attachment	
00:18:42	I	mm mm	Les concepteurs évoquent le besoin d'assurer un démontage rapide
	J		
00:18:46		so what's a reasonable time to like allow somebody to take this off their bike	
00:18:48	J	should it take like under five seconds	
00:18:50	J	or under thirty seconds	
00:18:50	I	yeah	
00:18:51	J	to get the backpack off I mean	
00:18:52	I	yeah	
00:18:55	K	thirty seconds?	
00:18:55	I	yeah I would say thirty seconds as well	
00:18:56	J	OK	
00:32:18	K	it'd be cool	Les concepteurs évoquent la possibilité de remplir un besoin supplémentaire à celui exprimé initialement
00:32:24	K	if em this rack was used for something else like you take your backpack off and then this rack you can still put stuff on it but	
00:32:24	I	yeah	
00:32:28	K	maybe if you could flip it out and it becomes a bike lock	
00:32:30	K	cos you know lock up your bike while you go on a hike	
00:32:32	K	that'd be kinda a neat feature	
00:32:35	K	so you could justify some extra cost maybe	
00:32:35	I	right right	
00:32:37	J	kick stand alternative (laugh)	
00:32:39	K	if you (inaudible)	
00:32:41	I	pull it around your tyre and now you can stand the bike up	
00:32:42	J	it's better	
00:32:43	K	umm put it underneath here goes round here	
00:32:44	I	lower	
00:32:51	J	maybe that could get us around the er around the target price if we can only come up with a more expensive solution but it does more stuff	
00:32:52	K	mm mm	
00:38:55	J	and er this fold away feature I'm not sure how they wanta address that	Les concepteurs discutent de l'importance d'un besoin exprimé initialement
00:38:59	J	I mean I don't think it doesn't seem important to me to have it fold away like on the bike	
00:39:00	J	when it's not being used seems it's	
00:39:02	J	like for storage maybe	
01:05:47	I	so the rack doesn't have to be all that strong	Les concepteurs évoquent le besoin d'être solide
01:05:49	I	just strong enough to	
01:05:50	K	that's true	

Tableau.5.3 Quelques exemples de besoins exprimés tirés de [DPW94]

- Par opposition aux contraintes, les objets de la classe besoin participent à l'expression de ce qui est attendu du produit, de sa finalité. Ainsi sont reformulés des besoins issus du cahier des charges initial (assurer un attachement, un démontage) ou exprimés d'autres besoins (faire béquille et anti-vol).
- Comme les contraintes, les objets de la classe besoin peuvent être instanciés par la mise en oeuvre d'un activité collective.

4.2.4 La classe critère d'évaluation

Nous avons vu que les évaluations, d'un point de vue cognitif, impliquaient l'émergence d'un critère d'évaluation, par comparaison des solutions évaluées avec le référent évaluatif de l'auteur de l'évaluation [BON92, POV98, BLA98]. Il est intéressant, dans un contexte de conception collaborative, de mettre en parallèle le statut du référent évaluatif avec celui de l'expression du problème. Ainsi l'évaluation, collective, est vue comme la comparaison d'une solution partagée (définition de la solution) avec un «réfèrent commun» (l'expression du problème). En ce sens, le critère d'évaluation est un objet appartenant à un domaine autre que ceux de l'expression du problème et de la définition de la solution. Ces objets appartiennent donc à une quatrième classe, distincte des classes relatives à la définition de la solution et à l'expression du problème, que nous définissons comme étant la classe *critère d'évaluation*.

Nous présentons quelques exemples d'objets appartenant à la classe critère d'évaluation ainsi définie dans le tableau suivant.

Instant	Acteur	Dialogue	Commentaire
00:26:51	I	can can you un	Ivan et John évaluent positivement la démontabilité de la solution considérée
00:26:52	J	un-?	
00:26:55	I	there's a way to un-.. tongue it	
00:26:57	J	oh to unhook it right there so you can	
00:26:59	I	I guess we don't need to (inaudible)	
00:27:00	J	that's OK so	
00:27:39	K	heavy to steer tends to	Kevin et John évaluent la capacité à assurer une manœuvre aisée du guidon
00:27:40	J	you could turn it long ways	
00:29:28	I	a saddlebag yeah that's uh like a	Ivan et John évaluent positivement le bon équilibre d'une solution
00:29:30	J	it would be a good way to balance the weight	
00:54:34	K	and so somehow like clip it on to there and then take advantage of this braze-on most	Kevin et Ivan évaluent positivement la bonne adaptation d'une solution aux vélos existants.
00:54:38	K	I mean this is getting its pretty standard on mountain bikes to have a rack braze-on	
00:54:39	I	right	

Tableau.5.4 Quelques exemples de critères d'évaluation.

- Les instances de la classe critère d'évaluation émergent de la rencontre d'objets appartenant aux deux autres domaines. Nous pouvons noter le parallèle avec le concept de propriétés [HUB88, MOR99, WEB02], puisque dans ce cas une propriété naît de la rencontre des caractéristiques du produit avec son environnement. Ainsi nous avons illustré dans le tableau précédent l'évaluation d'une solution considérée en terme de démontabilité (identification/validation, pour la solution considérée, d'un moyen de remplir ce qui est attendu : être démontable), d'opérabilité (l'influence de la forme de la solution considérée sur l'utilisation du produit) etc...
- La mise en œuvre d'une activité d'évaluation peut être collective.

- Elle peut impliquer l'activation d'un élément du problème déjà exprimé (la démontabilité) ou pas encore (l'opérabilité en terme de rotation du guidon).

4.3 Conclusion

Nous avons complété le modèle initial, construit sur la base des notions de domaine et d'activité, en y adjoignant quatre classes d'objets qui décrivent la nature des objets impliqués par la mise en oeuvre des activités dans et entre les domaines. En effet c'est cette notion d'objet, outre les domaines concernés, qui permet, de délimiter, borner l'étendue de la mise en oeuvre d'une activité. Ce complément permet alors de décrire le processus de conception en terme de domaines, d'activités et d'objets. La classe des critères d'évaluation, qui décrit la nature cognitive de l'évaluation, adjoint en outre aux domaines initiaux un espace distinct, mobilisé par la mise en oeuvre de ces activités.

5 Conclusion

5.1 Un modèle co-évolutif du processus de conception

Le modèle proposé permet de décrire les processus de conception sur la base des notions d'activité, de domaine et d'objet. Nous disposons ainsi d'un moyen de représentation du processus selon les axes du temps et problème/solution. Nous avons choisi, dans l'état de l'art du chapitre précédent, de retenir les notions de domaine et d'activité notamment pour leur complémentarité. L'approche suivie nous a en effet permis de combiner ces deux notions dans un modèle qui les situe réciproquement.

En ce sens, notre contribution à la modélisation du processus de conception de produit aura conduit à compléter l'ensemble des modèles étudiés, et à situer cette contribution dans un cadre global..

5.2 Vers le support des aspects évaluatifs du processus de conception

Nous avons présenté dans ce chapitre notre contribution à l'étude et à la modélisation du processus de conception. Cette contribution propose un modèle du processus de conception intégrée et parallèle, en décrivant :

- Son cheminement entre et dans les domaines de l'expression du problème et de la définition de la solution.

- Sa dynamique comme un ensemble de mise en oeuvre d'activités de quatre types génériques.
- L'évolution d'un ensemble d'objets, décrits par quatre classes, qui sont produits ou modifiés par la mise en oeuvre des activités et participent à la constitution des deux domaines considérés.

Ce travail de modélisation s'inscrit dans une démarche de recherche qui vise non seulement la compréhension de l'objet qu'est la conception, mais aussi son support. Nous envisagerons donc maintenant, dans une troisième partie, d'utiliser les résultats présentés dans ce chapitre pour construire un support au processus de conception.

PARTIE 3 : SUPPORTER LE PROCESSUS DE CONCEPTION

*La troisième partie répond à la question du support au processus de conception, et est construite selon le même schéma que la partie 2. Le chapitre 6 interroge ainsi la notion de support, en définissant les concepts de méthode et d'outil. Un état de l'art présente alors, dans le chapitre 7, les outils existants susceptibles de participer au support des activités d'évaluation et de représentation du problème. Le chapitre 8 définit finalement notre proposition de réponse à cette problématique, en envisageant **le support du processus de conception selon une démarche opportuniste**. Cette proposition est illustrée par l'étude de protocole déjà citée.*

Chapitre 6.	Le support du processus de conception et de l'évaluation	117
1	Les concepts d'un support au processus de conception	117
2	Que supporter dans le processus de conception ?	122
3	Le support sur la base d'un modèle co-évolutif.	124
Chapitre 7.	Les outils existants	127
1	Outils issus de méthodes de conception	128
2	Outils d'évaluation mono-dimension	152
3	Aide multicritère à la décision	156
4	La Valeur, outil de conception ?	160
5	Conclusion	167
Chapitre 8.	Vers le support du processus de conception selon une démarche opportuniste	169
1	Une structure d'objets co-évolutive	170
2	Intégrer l'outil valeur	178
3	De la structure d'objets à l'outil	181
4	Intérêts de cet outil	188
5	Conclusion	191

Apprenez à vivre entre le désenchantement et la désillusion. C'est le prix qu'il faut payer le petit peu d'efficacité qui nous fait parfois croire utiles.

Jean Rousselot³⁷.

³⁷François Bourgeon, *Les passagers du Vent, tome 5 : le Bois d'ébène*, Glénat, 1984.

CHAPITRE 6. LE SUPPORT DU PROCESSUS DE CONCEPTION ET DE L'ÉVALUATION

La seconde partie de ce mémoire traitait de la modélisation du processus de conception, selon une démarche descriptive. Il s'agit maintenant, dans la troisième partie, d'aborder notre sujet d'étude, c'est à dire le processus de conception, d'un point de vue prescriptif. En ce sens, après nous être demandé *comment décrire le processus de conception*, nous chercherons à répondre à la question *comment supporter la mise en oeuvre du processus de conception*.

Cette nouvelle problématique sera traitée en nous appuyant sur les concepts descriptifs étudiés et proposés dans la partie précédente. Pour ce faire, nous interrogerons dans un premier temps les concepts de méthode et d'outil, en nous référant à l'approche descriptive co-évolutive proposée dans la partie précédente. Nous verrons alors que plusieurs aspects du processus de conception sont susceptibles d'être l'objet d'un support. Nous concluons ce chapitre en définissant et précisant, à la lumière des points précédents, la problématique traitée dans cette partie.

1 Les concepts d'un support au processus de conception

1.1 Le concept de méthode de conception

Le terme de *design method*, très répandu dans la littérature, se réfère de façon globale à l'idée d'un support réfléchi et structuré du processus de conception. Cross [CRO00] parle ainsi de

Systematic techniques that attempt to bring rationale procedures into the design process

Ces méthodes de conception sont en effet nées de la volonté propre au vingtième siècle [CRO01, TAT95, GRE02], d'apporter à la conception de produit les contributions de la science, par le biais d'une part du point de vue descriptif, d'une explication, d'une théorisation du processus de conception, d'autre part, du point de vue prescriptif, d'une structuration du processus de conception et d'une mise à disposition des concepteurs d'un support à sa réalisation. Dans ce contexte, la notion de méthode de conception peut prendre un sens très large, puisque se côtoient et s'entremêlent des aspects descriptifs et prescriptifs. Nous verrons alors qu'une méthode de conception est associée à un modèle du processus de conception.

1.1.1 Méthode prescriptive ou descriptive

Certains auteurs définissent les méthodes de conception par leur aspect le plus prescriptif. Ainsi pour [TAT95], la méthode est

A tool to help with an activity

ou pour [GRE02]

Any procedures, techniques, aids or tools that contribute to the design process.

Du fait de la dualité entre les aspects prescriptifs et descriptifs sous-entendue par le terme de méthode, ces définitions sont trop restrictives, car ne considérant la méthode que du point de vue des moyens qu'elle propose, et en négligeant son aspect descriptif. Il convient donc de définir le concept de méthode en tenant compte de cette dualité. Une méthode est alors vue comme répondant à la problématique ***comment devrait être mis en oeuvre le processus de conception*** en offrant un ensemble de ***moyens*** permettant de supporter le déroulement du processus de conception ***selon un modèle donné***. Ainsi par exemple, pour [PUL02],

It is often discussed if methods prescribe a special procedure or describe a recommended or logical way of problem solving, while actually these differentiation between description and prescription must not be seen too narrow. The intention of describing phenomena in engineering design implies some kind of prescription by showing best – or worse – practices. Vice versa, the way to prescribe processes, methods, etc. is done by the description of an exemplary proceeding.

Nous retiendrons donc, pour notre thèse, les termes de méthode pour désigner la prescription, et de modèle pour désigner la description du processus, qu'il soit réel ou visé. La méthode s'appuie alors sur l'hypothèse que le modèle sur lequel elle se base, qui décrit le processus

visé par l'application de la méthode, désigne ainsi un processus de conception meilleur (...que ce qu'il serait sans l'application de la méthode). Il conviendrait de s'interroger sur cette notion de « meilleur » ainsi soulevée, mais nous ne traiterons pas cette problématique dans le cadre de cette thèse. Nous étudierons donc d'une part les modèles sur lesquels se basent les méthodes de conception, et d'autre part les moyens qu'elles proposent.

1.1.2 Les modèles sur lesquels se basent les méthodes

Le concept de méthode renvoie simultanément à un modèle du processus de conception et à des moyens proposés au concepteur. Ainsi, toute méthode est associée à un modèle du processus. Cette association est plus ou moins explicite dans la littérature. En effet, certains modèles du processus de conception présentés dans le chapitre 4 sont intimement liés à une méthode associée. Nous retiendrons principalement :

- Toutes les approches par phases (travaux de Pahl et Beitz, Ullman, Ulrich et Eppinger, Pugh ainsi que l'Analyse de la Valeur) sont présentés comme des méthodes de conception.
- Des modèles basés sur la notion de domaines sont eux aussi associés à une méthode. Axiomatic Design, le DFX³⁸ et le PDD³⁹ associés aux modèles issus d'Europe du Nord et l'Analyse de la Valeur⁴⁰ sont explicitement présentés comme des méthodes de conception.

Nous voyons donc que les méthodes de conception de la littérature s'appuient sur des modèles construits sur les notions de phase et de domaine. Nous noterons de plus que les méthodes basées sur les modèles par domaines sont associés parallèlement à une description procédurale, donc basée sur la notion de phase, de leur mise en oeuvre [VAD95].

D'autres modèles du processus de conception se basent sur le concept d'activité. Les activités de ces modèles n'étant pas associées à un schéma de mise en œuvre préétabli, le support de l'ensemble d'un processus de conception sur la base de tels modèles n'est pas envisagé dans la littérature.

³⁸ Design for X, X désignant un aspect (performance, qualité, coût, fiabilité...) du produit.

³⁹ Property-Driven Development/Design

⁴⁰ Nous avons vu que l'AV considérait en effet à la fois des phases et des domaines.

1.1.3 Conclusion

La méthode est une notion duale, combinant un aspect prescriptif avec l'ensemble de moyens qu'elle propose pour supporter le processus de conception, et un aspect descriptif avec le modèle sur lequel elle se base. Ces modèles ont été étudiés dans la partie précédente. Il convient donc maintenant de s'interroger sur les moyens proposés. En ce sens nous étudierons la notion d'*outil*.

1.2 Le concept d'outil

Outre le terme d'outil, la littérature fait référence aux termes de procédure ou de technique. Nous retiendrons dans le cadre de cette thèse le terme d'outil pour désigner les moyens proposés par les méthodes de conception, de même que les moyens indépendants d'une méthode.

Il conviendra d'étudier en quoi un outil peut être vu comme le constituant d'une méthode. Nous verrons alors, à la lumière de l'approche descriptive proposée dans la partie précédente, qu'un outil peut être caractérisé par sa place dans un processus de conception multidimensionnel.

1.2.1 Un constituant d'une méthode

Les méthodes existantes sont associées en effet à des «boîtes à outils», contenant plusieurs outils destinés chacun à un rôle particulier. Ce rôle est défini par le modèle de base de la méthode, donc en terme de phases ou de domaines (Ainsi [PAH96] propose des outils pour chacune des phases du modèle, [SUH01] propose la mise en oeuvre d'outils pour lier les constituants de différents mondes, à l'Analyse de la Valeur sont associés plusieurs outils correspondant aux différentes étapes...). Cette pluralité des outils proposés (à chaque méthode correspondent plusieurs outils) fait surgir la question du lien constitutif qui lie ces outils et la méthode. En effet, alors que la méthode est vue comme le support de l'ensemble du processus de conception⁴¹, il convient de s'interroger sur ce qui est supporté par la mise en oeuvre d'un outil. C'est ainsi cette notion de rôle, introduite plus haut, qui est questionnée. Le modèle sur lequel la méthode est basée propose un découpage du processus de conception, selon l'axe du temps ou des domaines.

Le découpage, dans la méthode, de l'aspect prescriptif en plusieurs outils est alors associé au découpage descriptif. Le support du processus de conception est vu comme la somme des

⁴¹ Selon le modèle associé à la méthode.

supports aux différents constituants du processus de conception, au sens du modèle associé. Il existe alors un niveau de granularité qui décrit la finesse de ce découpage. Dans le cas d'un modèle par phases du processus de conception, un découpage fin aboutit à la considération d'entités qui se rapprochent de ce que nous avons identifié et défini comme des activités. Les outils associés à ce niveau de granularité deviennent support à la mise en œuvre de ces activités.

D'autres points de vue sont possibles sur le lien constitutif qui unit les concepts de méthodes, d'outils, et plus généralement tous les concepts de support à la mise en œuvre du processus de conception [PUL02], [MAR01], [THO02]. Nous ne débattons pas ici de la nature de ce lien, et nous contenterons du point de vue défendu plus haut, qui nous permet de situer le support au processus de conception dans le modèle proposé pour ce processus, construit sur les notions d'activité et de domaine.

1.2.2 Un support à la navigation au sein du processus de conception

La mise en œuvre d'un outil, dans le cadre de l'application d'une méthode de conception, doit supporter un aspect de la réalisation de tout le processus. Cette réalisation totale, nous l'avons vu, consiste d'un point de vue global en la transformation de l'expression d'un besoin en définition d'un produit. Cette transformation se réalise au sein d'un espace que nous avons décrit multidimensionnel. Entre deux instants de la conception, la description du processus au sens des dimensions non-parallèles à l'axe du temps, découpées en domaines, évolue. Cette évolution peut correspondre par exemple à la construction d'un domaine, à la traduction d'une partie d'un domaine en élément d'un autre domaine ou à la construction d'une relation entre plusieurs domaines.

La méthode supporte la transformation, au sens du modèle sur lequel elle s'appuie, de l'expression du besoin en définition de la solution. L'outil est un constituant de la méthode, il doit donc supporter un constituant de cette transformation. Selon le modèle avec lequel est décrit la transformation, ces constituants peuvent être décrits en terme des domaines qui décrivent les dimensions non-parallèle à l'axe du temps, ou en phases qui décrivent l'évolution parallèle.

Ainsi la mise en œuvre d'un outil supporte une évolution du processus de conception. Ce support est intrinsèquement décrit selon la dimension de base du modèle. Le processus de conception étant multidimensionnel, il convient d'étudier les évolutions, selon les autres

dimensions du processus de conception, supportés par la mise en oeuvre des outils. Le chapitre suivant interrogera en ce sens la littérature.

1.2.3 Outil : l'artefact et son usage

Nous avons défini un outil comme étant un constituant, prescriptif, d'une méthode de conception. Il est en ce sens caractérisé et défini formellement par rapport à la description du processus (le modèle) associé à la méthode.

L'outil proposé est alors constitué d'une part de ce que nous appellerons un artefact, d'autre part de son usage. Le premier terme désigne « l'objet » outil, le formalisme, les règles, les concepts proposés à travers cet outil (Ainsi le FAST est un outil dont l'artefact est un arbre de fonctions). Nous avons évoqué, dans les parties précédentes, les inévitables itérations apparaissant dans les descriptions par phases des processus réels. De même que la réalité s'écarte du modèle, la mise en oeuvre réelle des outils peut s'écarter de celle décrite et prévue (de même qu'il est possible de se servir d'un briquet jetable pour ôter la capsule d'une bouteille). En ce sens, l'outil prescrit et l'outil utilisé peuvent différer par leur usage. Nous serons particulièrement attentif à cette distinction dans la suite de notre travail.

2 Que supporter dans le processus de conception ?

2.1 Un processus ou les processus

Un processus de conception peut être vu selon de nombreux points de vue différents. Il est notamment possible de le considérer d'une part comme un processus dont l'issue est la définition d'un produit ou système, et d'autre part comme un processus collaboratif au cours duquel une mémoire organisationnelle se construit [FAL97] ; les auteurs dissertent de la construction d'une mémoire organisationnelle, et concluent que cette mémoire est

[...] le résultat d'une activité métafonctionnelle, temporellement entremêlée avec l'activité fonctionnelle ou distincte d'elle, mais toujours nourrie par elle.

Cet aparté nous permet de faire surgir la dualité intrinsèque qui existe dans la réalisation d'un processus de conception. En effet, la réalisation de ce processus permet, et c'est là son objectif premier, d'aboutir par *l'activité fonctionnelle* à la définition d'un produit. Mais cette réalisation offre en même temps aux acteurs du processus l'occasion de coopérer, de communiquer, d'apprendre et de partager leurs connaissances et leurs savoirs. Cet aspect, que Falzon et al. qualifient d'activité métafonctionnelle, est selon nous d'une très grande

importance. La réalisation de cette activité aura en effet des implications fortes lors des processus de conception futurs. Elle offre aux acteurs de la conception l'opportunité d'acquérir des connaissances sur l'objet de la conception, c'est à dire à la fois le produit conçu et le problème auquel il répond ; sur le processus qui permet d'aboutir à la définition de ce produit ; sur l'organisation humaine, c'est à dire l'organisation adoptée par l'ensemble des acteurs comme institutionnelle, c'est à dire l'ensemble des procédures et des règles prescrites par l'organisation industrielle ; et enfin sur les outils impliqués et utilisés dans le processus de conception [FAL97].

S'interroger sur le support de l'activité de conception implique de tenir compte de cette distinction entre fonctionnel et métafonctionnel. Il est en effet possible de supporter l'activité fonctionnelle menée lors du processus de conception, mais aussi de supporter l'activité métafonctionnelle. Alors que dans le premier cas il s'agit de supporter *un* processus de conception, dans le second cas il s'agit de supporter cet aspect apprentissage présenté par les activités métafonctionnelles, ce qui permet d'améliorer la réalisation des activités fonctionnelles futures, lors de l'ensemble *des* processus de conception.

2.2 La coopération et la coordination

Cette thèse traite du processus de conception intégrée, incluant plusieurs acteurs. La mise en oeuvre de ce processus, collectif, nécessite donc la coopération entre les différents acteurs. Il est possible de supporter cette coopération, c'est à dire d'offrir aux concepteurs des outils qui leur permettent d'agir conjointement ou parallèlement à la réalisation du but commun, c'est à dire la définition complète du produit. Un tel support s'applique donc aux tâches que les acteurs de la conception pensent avoir à réaliser pour atteindre l'objectif visé.

Nous avons vu que la réalisation de ces tâches devait en outre être coordonnée. Il est alors possible d'envisager le support de cette coordination, qui s'adresse par exemple à l'identification, l'attribution ou la planification de ces tâches. La littérature montre à ce sujet l'intérêt de disposer d'un modèle du processus de conception pour supporter la coordination [ALM03], [GAU95].

2.3 Quelles activités, domaines et phases ?

Selon le modèle sur lequel s'appuie la méthode, celle-ci est vue comme un support au processus décrit en terme de phases ou de domaines. Nous avons dans un chapitre précédent considéré cette variété de notions comme nécessaire à décrire l'aspect multidimensionnel du

processus de conception. Ainsi, le support du processus de conception peut être pensé selon plusieurs directions d'observation du processus. Le support apporté par un outil peut être considéré selon les autres dimensions du processus de conception que celle(s) prise(s) en compte par le modèle de base de la méthode.

Nous avons choisi dans la partie précédente d'adopter comme mode de représentation du processus la combinaison d'un découpage de l'axe problème/solution en deux domaines, et d'un découpage de l'axe du temps selon quatre activités génériques. En ce sens, penser le support sur la base du travail descriptif réalisé revient à le définir en terme d'activité (reformulation, conjecture, définition ou évaluation) et de domaine (représentation du problème ou représentation de la solution). Ce choix, de ce fait, revient à caractériser le support au processus de conception sur la base du modèle proposé comme :

- Apte à supporter la navigation selon les deux dimensions du modèle, i.e. l'axe du temps, par les activités mises en œuvre, et l'axe problème/solution, en s'adressant à la mise en œuvre d'activités relatives à un domaine (définition et reformulation) comme relatives au passage d'un domaine à l'autre (conjecture et évaluation).
- Découplé d'un modèle du processus construit sur la notion de phase. En effet, le modèle proposé du processus de conception ignore le découpage de l'axe du temps par une planification. En ce sens le modèle décrit l'évolution, tout au long du processus, des deux domaines considérés et de la mise en œuvre des activités qui régissent la navigation dans et entre ces domaines.

3 *Le support sur la base d'un modèle co-évolutif du processus de conception.*

La problématique traitée dans cette partie est celle du support au processus de conception. Nos travaux relatifs à la modélisation du processus de conception nous ont permis de caractériser l'outil comme constituant d'une méthode de conception et comme support à la navigation dans un processus de conception. Nous avons de plus identifié plusieurs supports possibles au processus de conception. Nous définirons ici la problématique à laquelle nous tenterons de répondre dans les chapitres suivants.

3.1 Support fonctionnel, coopération et aspects évaluatifs

Nous avons identifié plusieurs caractéristiques des différents supports envisageables au processus de conception. Par opposition au support métafonctionnel, la problématique traitée dans cette partie sera celle du support fonctionnel, c'est à dire destiné à améliorer la mise en oeuvre d'*un* processus de conception. En outre, nous appuyant sur le modèle du processus de conception proposé dans la partie précédente, nous avons choisi de traiter du support à la coopération. Le modèle choisi n'est en effet pas adapté à décrire la planification du processus de conception, et donc à construire un support à la coordination⁴². En combinant les notions de domaine et d'activité, le modèle co-évolutif permet de représenter un processus de conception bidimensionnel et de distinguer quatre activités génériques et deux domaines. Dans le cadre de cette thèse, nous avons concentré notre étude sur les aspects qualifiés d'évaluatifs. En ce sens, le support envisagé est celui des activités d'évaluation et de reformulation.

3.2 Aide à la décision

Outre les aspects évaluatifs du processus de conception, au sens de notre modèle, c'est à dire évaluation et reformulation, nous traiterons de l'aide à la décision. Nous avons, dans la partie précédente, étudié les schémas de mise en oeuvre possibles des activités proposées. En ce sens, nous avons considéré la situation de choix, de sélection parmi un ensemble de solutions proposées. Cette situation, selon le modèle proposé, concerne plusieurs activités :

- La reformulation du problème de conception en problème de choix, de sélection.
- L'évaluation (comparative) des solutions considérés.
- La définition de la solution, car l'ensemble des solutions envisagées est modifié (réduit) suite à la décision.

Une situation de décision, de choix, de sélection n'est donc pas purement évaluative. La problématique de l'aide à la décision est abondamment traitée dans la littérature relative au support du processus de conception. Nous traiterons donc de cette problématique, nous concentrant plus particulièrement sur ses aspects évaluatifs.

⁴² Le modèle proposé ne décrit pas les activités relatives à l'organisation des tâches suivies par les concepteurs de l'expérience étudiée.

3.3 Conclusion

Le support du processus de conception est associé aux notions de méthode et d'outil. Nous avons interrogé ces notions, et choisi de définir la méthode comme le support du processus de conception, selon un modèle donné, et l'outil comme le constituant, prescriptif, de cette méthode. L'outil peut alors être vu comme supportant l'évolution du processus de conception non seulement selon une direction décrite par le modèle de base de la méthode, mais aussi selon les autres dimensions. En ce sens, nous nous intéresserons au support des aspects évaluatifs du processus de conception, définis par le modèle proposé dans la partie précédente. De même, nous avons choisi de nous concentrer sur le support fonctionnel de la coopération. Pour traiter cette problématique, le chapitre 7 interroge les outils et méthodes de conception existants. Cet état de l'art nous permettra alors de proposer, dans le chapitre 8, un support du processus de conception basé sur une approche co-évolutive, ainsi que sur la considération de la notion de valeur.

CHAPITRE 7. LES OUTILS EXISTANTS POUR LE SUPPORT FONCTIONNEL DES ASPECTS ÉVALUATIFS ET COOPÉRATIFS DU PROCESSUS DE CONCEPTION

Nous avons choisi dans cette partie de traiter du support au processus de conception. Nous limitons notre étude aux aspects que nous avons définis comme

- Évaluatifs, c'est à dire relatifs aux activités de reformulation et d'évaluation proposées dans notre modèle co-évolutif du processus de conception.
- Coopératifs, c'est à dire relatifs à la mise en oeuvre conjointe du travail des différents acteurs impliqués dans le processus de conception en vue de l'atteinte d'un objectif commun.
- Fonctionnels, c'est à dire directement relatifs à la réalisation, en direct, du processus de conception.

Pour traiter cette problématique, nous interrogerons dans ce chapitre la littérature quant aux outils existants pour ce support. Cet état de l'art est construit autour de quatre points. Dans un premier temps, nous passerons en revue les outils proposés par les méthodes de conception étudiées. Nous étudierons alors quelques outils proposés indépendamment des méthodes de conception, et propres à supporter l'évaluation qualifiée de mono-dimension. Les problématiques de l'aide multicritère à la décision et de la prise en compte de critères de Valeur seront finalement traitées.

1 Outils issus de méthodes de conception

1.1 Systematic design

Pahl et Beitz [PAH84, 96] proposent, associés à la méthode de conception systématique basée sur le modèle vu dans le premier chapitre de ce mémoire, un ensemble d'outils, de techniques et de préconisations pour supporter certains aspects du processus de conception.

1.1.1 Les outils proposés

S'appuyant sur la théorie des systèmes techniques [HUB88], qui considère tout système technique comme une entité agissant, dans un environnement donné, sur la matière, l'énergie et l'information, les auteurs proposent de formuler le problème de conception en termes d'objectifs et de contraintes.

Ils préconisent l'écriture des objectifs sous la forme de fonctions à assurer par le système technique à concevoir. Ces fonctions réalisent la conversion des matières, énergies et informations nécessaires à la satisfaction du besoin pour lequel ce système technique est conçu. Des guides sont proposés, pour permettre l'identification et le recensement des contraintes. Ceux ci font état de contraintes relatives à la sécurité, l'ergonomie, la production, le contrôle qualité, l'assemblage, le transport, l'usage, la maintenance, le recyclage et les dépenses⁴³.

Cette écriture fonctionnelle des objectifs du produit est ensuite décomposée en une structure de sous-fonctions (Fig. 7.1), de complexité moindre. Pour remplir ces sous-fonctions des principes de fonctionnement sont recherchés, avec l'aide des check-lists proposées par la méthode. La recombinaison combinatoire des différents principes de fonctionnement envisagés permet alors d'obtenir plusieurs concepts de solutions⁴⁴.

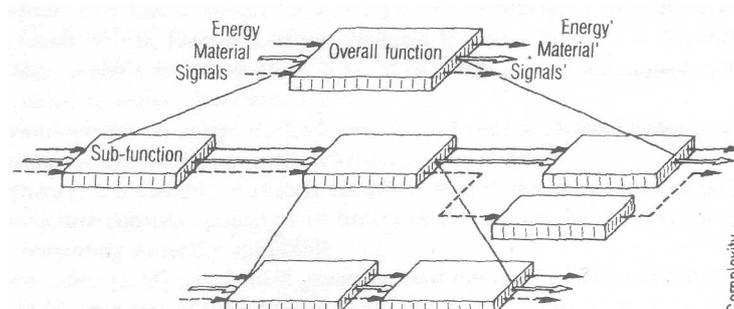


Figure .7.1 La décomposition fonctionnelle, [PAH96].

⁴³ Coûts et délais

⁴⁴ Ce mécanisme peut être vu comme un "cycle en V"

Nous ne traiterons pas ici cette démarche de décomposition fonctionnelle, qui sera expliquée plus en détail dans la partie relative à l'analyse fonctionnelle; ni de la recombinaison de la solution, qui sort du cadre choisi pour notre recherche. Les auteurs proposent de sélectionner alors parmi les concepts de solutions proposés. Il s'agit d'éliminer les candidats qui ne répondent pas au problème. Pour ce faire, l'utilisation d'une feuille de sélection est recommandée (Fig. 7.2), dans laquelle un tableau permet d'évaluer les alternatives proposées face à un ensemble de *critères*. Cette démarche permet de supporter la sélection non pas selon un aspect particulier, mais selon l'ensemble des aspects identifiés comme participants à l'objectif.

No.	Evaluation criteria		Parameters		Variant V_1 (e.g. Eng.1)			Variant V_2 (e.g. Eng.2)			Variant V_j			Variant V_m				
		Wt.		Unit	Magn. m_{11}	Value v_{11}	Weighted value wv_{11}	Magn. m_{12}	Value v_{12}	Weighted value wv_{12}	Magn. m_{ij}	Value v_{ij}	Weighted value wv_{ij}	Magn. m_{im}	Value v_{im}	Weighted value wv_{im}		
1	Low fuel consumption	0.3	Fuel consumption	$\frac{g}{kWh}$	240	8	2.4	300	5	1.5	...	m_{1j}	v_{1j}	wv_{1j}	...	m_{1m}	v_{1m}	wv_{1m}
2	Lightweight construction	0.15	Mass per unit power	$\frac{kg}{kW}$	1.7	9	1.35	2.7	4	0.6	...	m_{2j}	v_{2j}	wv_{2j}	...	m_{2m}	v_{2m}	wv_{2m}
3	Simple production	0.1	Simplicity of components	-	complicated	2	0.2	average	5	0.5	...	m_{3j}	v_{3j}	wv_{3j}	...	m_{3m}	v_{3m}	wv_{3m}
4	Long service life	0.2	Service life	km	80 000	4	0.8	150 000	7	1.4	...	m_{4j}	v_{4j}	wv_{4j}	...	m_{4m}	v_{4m}	wv_{4m}
...
i		w_i			m_{i1}	v_{i1}	wv_{i1}	m_{i2}	v_{i2}	wv_{i2}	...	m_{ij}	v_{ij}	wv_{ij}	...	m_{im}	v_{im}	wv_{im}
...
n		w_n			m_{n1}	v_{n1}	wv_{n1}	m_{n2}	v_{n2}	wv_{n2}	...	m_{nj}	v_{nj}	wv_{nj}	...	m_{nm}	v_{nm}	wv_{nm}
		$\sum_{i=1}^n w_i = 1$				OV_1 R_1	OWV_1 WR_1		OV_2 R_2	OWV_2 WR_2		OV_j R_j	OWV_j WR_j		OV_m R_m	OWV_m WR_m		

Figure 7.2 Une feuille de sélection, [PAH96].

Ces critères sont définis comme des éléments d'évaluation, mesurables (quantitativement ou qualitativement) et connotés selon une expression positive (*peu bruyant*, et non pas *niveau de bruit*), et dérivés des objectifs et des contraintes établies. La méthode préconise le maintien d'un maximum d'indépendance entre les critères. Il est possible pour ce faire d'utiliser une décomposition hiérarchique, pour obtenir ce que les auteurs nomment un arbre d'objectifs (Fig. 7.3). Cet arbre offre de plus un formalisme qui permet d'établir une pondération, vecteur de l'importance relative des différents sous-objectifs pour répondre à l'objectif principal.

L'évaluation des candidats consiste alors à estimer la réponse de chaque alternative face à chaque critère. Il s'agit d'identifier les paramètres, mesurables sur les propositions faites, dont l'amplitude décrit la performance selon chaque critère considéré. Plusieurs modèles mathématiques permettent ensuite de traduire la magnitude des paramètres en valeurs, puis d'agrèger ces valeurs en une mesure unique pour chaque alternative proposée, et ainsi

permettre aux concepteurs de choisir le (ou les) concept de solution le plus prometteur pour la suite du processus de conception⁴⁵.

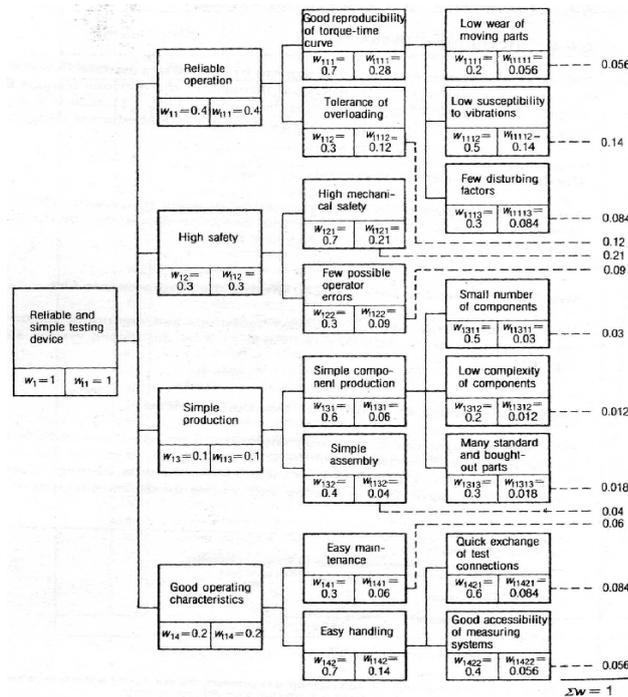


Figure 7.3 Un arbre de décision, [PAH96].

Outre cette démarche générale d'évaluation et de sélection, les auteurs proposent quelques méthodes destinées à supporter l'estimation des performances des solutions selon un critère de coût. Ces méthodes sont basées sur des approches analytiques et paramétriques, qui seront présentées plus loin dans ce document.

La mise en œuvre des outils associés aux aspects évaluatifs du processus de conception proposés par Pahl et Beitz est intimement liée au modèle du processus de conception sur lequel se base la méthode. Nous avons déjà vu dans le chapitre précédent que le modèle séquentiel adopté considérait l'évaluation selon un schéma lui aussi séquentiel, et prescriptif. En ce sens, les auteurs considèrent d'une part l'établissement et la formalisation des objectifs et des contraintes, lors de la phase de *product planning*⁴⁶ and *clarification of the task* puis la sélection parmi un certain nombre de concepts de solutions proposés à l'aide des outils d'évaluation présentés ci-dessus lors de la phase de *conceptual design*. Les outils d'évaluation peuvent ensuite être réutilisés, selon une démarche identique mais en s'appuyant sur des critères redéfinis en fonction du concept choisi, pour la phase d'*embodiment design*. Cette

⁴⁵ Ces problématiques d'agrégation, de décomposition hiérarchique et de pondération seront traitées plus en détail dans la partie relative à l'aide à la décision multicritère.

⁴⁶ Ce terme en lui-même dénonce le parallélisme implicitement supposé entre décomposition du problème, du produit et planification de la conception.

démarche de mise en œuvre correspond donc à une évolution séquentielle traduite en terme de niveau d'abstraction. A l'établissement de spécifications fonctionnelles succède l'évaluation de combinaisons de principes de fonctionnement, ou concepts de solutions, puis de solutions physiques implémentant ces concepts et de recombinaisons de ces solutions.

1.1.2 La navigation supportée

Hormis l'évolution temporelle correspondant à la mise en œuvre de ces outils, ceux-ci supportent une évolution de la conception selon d'autres axes. Ainsi,

- L'écriture des objectifs en terme de fonctions correspond à une avancée le long d'un axe d'abstraction, passant du réel au fonctionnel.
- La décomposition de ces fonctions correspond à un déplacement le long de l'axe du niveau de détail. Ces deux préconisations supportent ainsi l'activité de reformulation.
- L'attribution de principes physiques aux fonctions élémentaires constitue un retour le long de l'axe d'abstraction considéré au premier point; ainsi qu'un déplacement le long de l'axe problème/solution.
- La recomposition de la solution physique est, elle, le retour le long de l'axe du niveau de détail. Ces deux préconisations proposent de supporter les activités de conjecture et de définition.
- L'arbre des objectifs permet de traduire sous forme hiérarchique la transition d'un niveau fonctionnel et global de la représentation du problème (les objectifs principaux) à un niveau physique et global de la représentation de la solution, en passant ainsi par un niveau de détail plus élevé (les sous-objectifs, d'une part, et les paramètres des solutions d'autre part). Cet arbre supporte ainsi l'activité d'évaluation.

1.1.3 Conclusion

Nous avons présenté différents outils et techniques préconisés par Pahl et Beitz pour instrumenter les aspects évaluatifs du processus de conception. Ce support est pensé au sens du modèle associé, et ainsi prescrit la planification de leurs mises en œuvre. Sans considérer cet aspect planification, et donc en négligeant l'axe du temps, il est possible de schématiser les évolutions, selon les autres dimensions du processus de conception, supportées par ces outils. (Fig. 7.4).

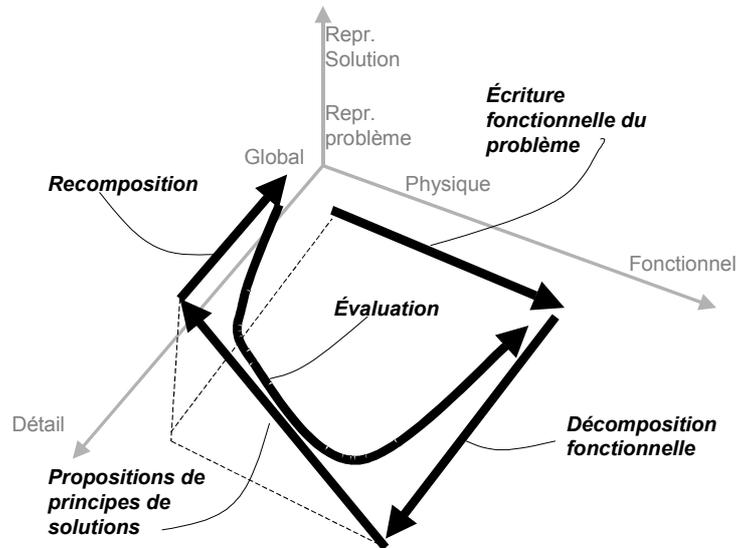


Figure 7.4 Les navigations supportées par les outils de Pahl et Beitz.

1.2 Analyse de la valeur

Nous avons présenté dans la partie précédente le modèle qui sert de base à cette méthode de conception aujourd'hui normalisée [NF, EN]. A une démarche planifiée au sein d'une équipe pluridisciplinaire, elle associe la mise en œuvre d'une analyse fonctionnelle selon un schéma déjà évoqué précédemment. Nous étudierons certains des outils existants destinés à supporter cette analyse fonctionnelle et plus particulièrement ses aspects évaluatifs. L'analyse de la valeur implique aussi une philosophie de travail orientée vers le concept de valeur. Nous nous intéresserons plus en détail à cette notion plus loin dans ce chapitre.

Nous avons vu que l'analyse fonctionnelle, dans le cadre d'une démarche d'analyse de la valeur, intervenait principalement lors des étapes d'*analyse des fonctions et des coûts*, de *recherche des idées et des voies de solutions*, et d'*étude et d'évaluation des solutions*. Nous passerons en revue dans un premier temps les outils et formalismes proposés par cette méthode pour supporter la réalisation de ces étapes, avant d'étudier d'autres outils basés sur cette notion de fonction (déjà évoquée dans le paragraphe précédent).

1.2.1 Les outils de l'analyse fonctionnelle

La norme préconise ainsi :

- La construction d'un *cahier des charges fonctionnel*. Ce cahier des charges constitue l'expression du problème auquel le produit conçu devra répondre, *l'expression*

fonctionnelle du besoin. Ce cahier des charges⁴⁷, est composé d'un ensemble hiérarchisé de **fonctions externes**, ou **de service**. Cette hiérarchie correspond à une pondération, c'est à dire à une mesure⁴⁸ de l'importance relative accordée à chacune de ces fonctions par l'utilisateur auquel le produit est destiné. L'analyse fonctionnelle décrit en outre l'existence de **contraintes**, auxquelles le produit conçu doit se plier, et qui doivent être explicitées dans l'expression fonctionnelle du besoin.

- Une fonction est exprimée sous la forme d'un verbe, dont le sujet est le produit à concevoir. Ainsi une fonction externe désigne une action attendue du produit sur son environnement extérieur, sans considération de sa nature, de sa structure interne ou de ses principes de fonctionnement⁴⁹. La norme distingue, au sein de ces fonctions externes, les **fonctions d'interactions**, qui désignent la mise en relation attendue, par le produit, de deux éléments de son environnement extérieur, des **fonctions d'adaptation**, qui désignent l'action attendue du produit sur un seul de ces éléments extérieurs⁵⁰.
- A chacune de ces fonctions est associé un ou plusieurs triplets {**critère d'appréciation, niveau, flexibilité**}. Un critère d'appréciation (en ce cas externe) est une entité destinée à quantifier la performance attendue pour la fonction considérée. Le niveau désigne alors la « valeur » attendue pour cette quantification. La notion de flexibilité cherche à décrire le taux d'« impérativité », d'obligation du niveau associé. Cette notion peut être formalisée en tant que :
 - Limites d'acceptations. Une (ou deux) bornes délimite le ou les niveaux au-delà, au deçà ou entre lesquels le besoin est considéré comme satisfait.
 - Classe de flexibilité. La classe F0 correspond à un niveau impératif, non révisable, qui doit être atteint à tout prix et les classes F1, F2 et F3 qui désignent des niveaux de plus en plus négociables, révisables, qui peuvent être remis en question.
 - Taux d'échange. C'est alors une formalisation d'un compromis portant sur le niveau négociable du critère d'appréciation, et le niveau

⁴⁷ Qui peut être traduit d'un cahier des charges initial, non fonctionnel

⁴⁸ Cette mesure est bien sûr une tâche non triviale. Nous n'entrerons néanmoins pas plus en détail sur cet aspect de la conception dans le cadre de ce travail.

⁴⁹ Une fonction externe est assurée par le produit vu comme une « boîte noire ».

⁵⁰ Il existe un débat, sur lequel nous ne nous étendrons pas, relatif à la distinction entre contraintes et fonctions d'adaptation.

négociable d'un autre critère d'appréciation. Il s'agit en quelque sorte de décrire une flexibilité conditionnelle, une perte de performance étant acceptée pour un critère d'appréciation à la condition d'un gain selon un autre aspect.

- Les **fonctions internes, ou techniques**, sont les actions qui, accomplies par le produit, sont susceptibles de remplir les fonctions externes attendues. Ces fonctions sont soumises au même formalisme que les fonctions externes et caractérisées par les triplets évoqués. Les critères d'appréciation internes, leur niveau et flexibilité décrivent alors le niveau de performance attendu pour ces fonctions techniques, afin d'assurer les fonctions externes avec les niveaux attendus.

L'analyse fonctionnelle, nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre précédent, considère donc la coexistence du domaine physique, environnement dans lequel le produit doit évoluer, et dans lequel il existera à travers ses pièces, décrites en terme de paramètre, et du domaine fonctionnel, dans lequel le problème est exprimé, et qui permet de s'abstraire du monde physique pour décrire une solution par les fonctions techniques qu'elle remplit. La figure 7.5 illustre cette coexistence, et situe le domaine fonctionnel à l'interface du domaine physique dans lequel existe le problème (les besoins du client et des professionnels dans cette figure) et du domaine physique dans lequel le produit existera, décrit en terme de paramètres de solutions [PRU03].

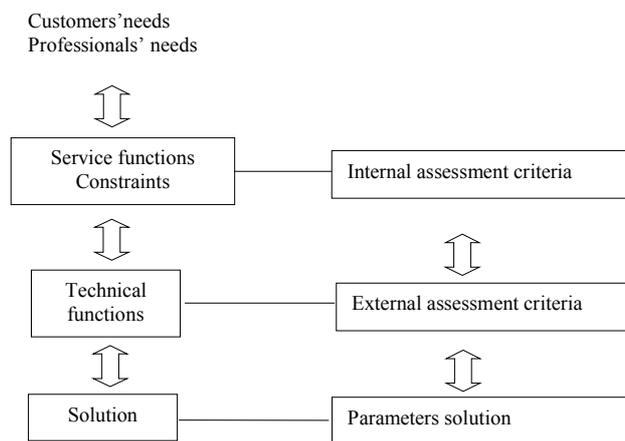


Figure .7.5 L'analyse fonctionnelle comme lien entre problème et solution, [PRU03].

Outre la norme, plusieurs outils existent, destinés à supporter la démarche d'analyse fonctionnelle illustrée ci-dessus. Nous pouvons notamment citer, sans prétendre être exhaustif :

- La **méthode des milieux extérieurs**, parfois appelée outil-pieuvre ou graphe des interacteurs, permet de supporter la construction de l'expression fonctionnelle du besoin, en assistant les acteurs du processus de conception dans le recensement des fonctions externes et des contraintes. Cet outil consiste à recenser, pour chaque phase du cycle de vie du produit à concevoir, les éléments du milieu extérieur avec lesquels le produit interagit. La figure 7.6 illustre la mise en œuvre de cet outil, pour la phase de vie d'usage d'un système technique (DSWW) destiné à ralentir ou à accélérer les éléments d'une remontée mécanique [ZWO03]. Cet outil permet d'identifier la fonction de service, ou externe, attendu du produit : de transmettre les efforts, entre une courroie (élément externe au système conçu), et l'élément ralenti ou accéléré. Cette fonction d'interaction est la finalité même du produit, c'est une expression du besoin qui justifie son existence. L'outil pieuvre nous permet d'identifier en outre une fonction d'adaptation, qui décrit le besoin, pour les opérateurs de maintenance, de pouvoir assurer cette maintenance, ainsi qu'une contrainte, qui est de résister aux conditions atmosphériques.

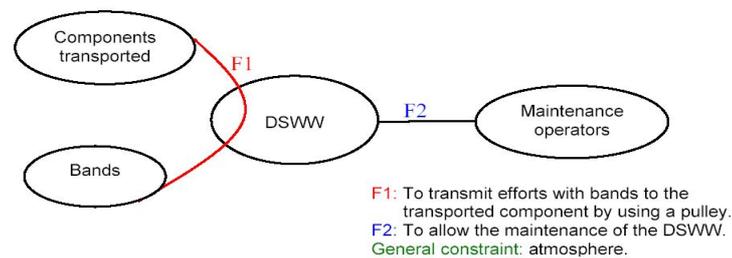


Figure .7.6 La méthode des milieux extérieurs pour un élément d'un système de remontée mécanique, [ZWO03]

- Le **tableau d'appréciation**, ou **de caractérisation des fonctions**, offre alors d'associer à chaque fonction identifiée les critères d'appréciation, niveaux, et flexibilité qui quantifient la performance attendue pour chacune de ces fonctions.
- Le **FAST** (Function Analysis System Technic) permet de structurer les fonctions techniques envisagées pour remplir chaque fonction de service identifiée. Cette structuration se fait en décomposant la fonction de service en fonctions techniques de plus en plus élémentaires, en répondant à la question «comment assurer cette fonction ? ». La figure 7.7 illustre ce FAST pour la fonction transmettre les efforts, dans le cas du système évoqué plus haut. La démarche de mise en œuvre du FAST est double. En effet, cet outil structure et formalise les réponses à

- « Comment remplir cette fonction ? », en se déplaçant vers la droite dans le FAST, et en synthétisant une combinaison de fonctions techniques.
- « Pourquoi remplir cette fonction ? », en se déplaçant vers la gauche dans le FAST, suite à l'analyse d'une solution (proposée ou existante, dans un cadre de reconception par exemple).

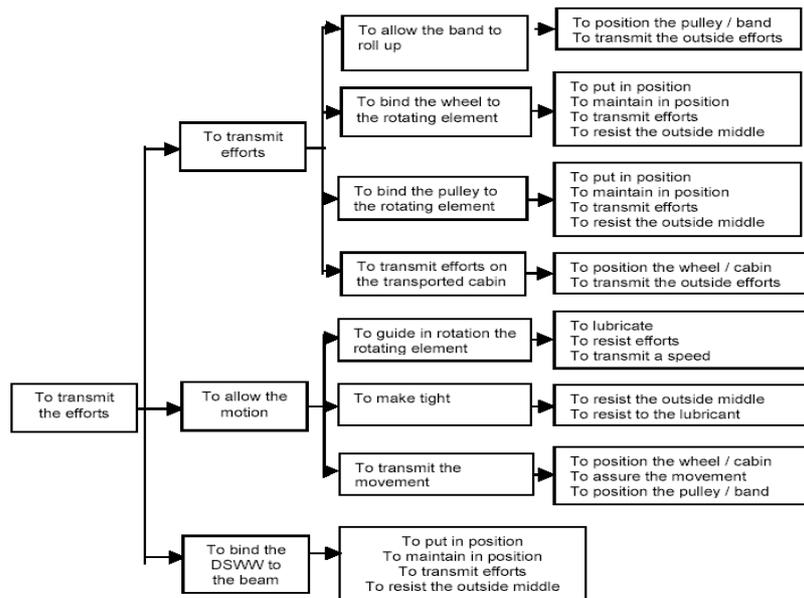


Figure 7.7 Le FAST pour un élément d'un système de remontée mécanique, [ZWO03]

- Le **Bloc Diagramme Fonctionnel** permet d'analyser la participation des différentes pièces constituant une solution au remplissage, via les fonctions techniques, des fonctions de service. Cet outil, en recensant les « flux fonctionnels » qui traversent les pièces qui composent le produit, permet d'identifier leur participation à une fonction externe donnée, ou, à travers les boucles de conception, à un choix de conception qui justifie leur existence pour remplir une fonction technique [ZWO03].
- A un niveau encore plus fin, le **tableau d'analyse des coûts** offre alors d'étudier, pour chaque pièce, le coût de fabrication de chacune des **surfaces fonctionnelles** qui participent au remplissage des fonctions identifiées grâce au bloc diagramme fonctionnel.
- La méthode préconise en outre le calcul du **rendement de conception**, qui compare la valeur de la solution considérée à un "optimum", ainsi qu'une comparaison de la hiérarchie des fonctions attendues à la hiérarchie des coûts nécessaires à la solution

considérée pour remplir ces fonctions. Cette thématique, la prise en compte de la valeur des produits en cours de conception, est celle qui a initié ce travail de thèse, et largement contribué à nos vues actuelles.

1.2.2 Variantes

Nous avons présenté dans les paragraphes précédents l'analyse fonctionnelle telle que les normes françaises [NF] et européenne [EN] la définissent, ainsi que des outils destinés à la supporter. Nous avons aussi noté que Pahl et Beitz préconisaient la mise en œuvre d'une analyse fonctionnelle. Ce concept est largement répandu à travers la littérature, et de nombreuses variantes proposent d'autres formes de formalismes basés sur la notion de fonction, ainsi que d'autres outils basés sur ces concepts [STO00, SUM01].

Ainsi Buur par exemple propose comme outil de conception *l'arbre fonctions/moyens* [BUU90] [HAN97] [RIN97]. Ce formalisme, qui passe lui aussi par l'écriture du besoin en termes fonctionnels [HUB88], associe à la décomposition fonctionnelle une décomposition du produit conçu en terme de solutions proposées. Plus le niveau de décomposition devient fin, plus les fonctions deviennent élémentaires, et plus les solutions proposées deviennent détaillées (Fig. 7.9). Cette représentation offre donc la possibilité d'associer la décomposition fonctionnelle aux solutions proposées. Ce formalisme diffère de celui proposé par l'analyse fonctionnelle telle qu'elle est présentée ci-dessus, et selon nous corrèle mieux les aspects cognitifs évoqués dans le chapitre trois, en ce que le domaine fonctionnel et le domaine physique (celui dans lequel sont décrites les solutions proposées) s'interpénètrent, comme le font les points de vue de l'acteur de conception. Ce formalisme permet alors de décrire à la fois un modèle fonctionnel du produit et du besoin, mais aussi les choix réalisés, qui justifient l'existence des fonctions de niveau inférieur.

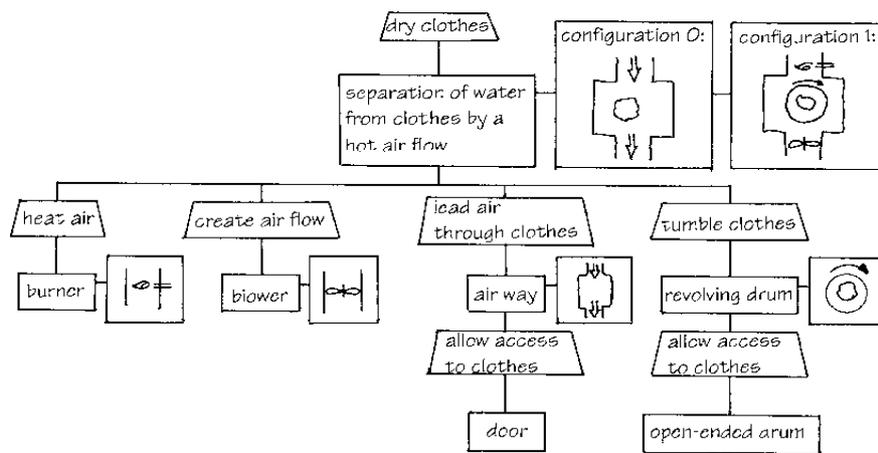


Figure 7.8 Un arbre fonctions/moyens, [HAN97].

[RIN97] fait notamment état du parallèle possible entre les arbres fonctions/moyens et la décomposition proposée dans [SUH01] des éléments des mondes fonctionnels et physiques.

Shimomura et al. [SHI96] proposent une représentation fonctionnelle, basée sur le modèle FBS décrit dans la seconde partie de ce mémoire. Les notions de fonction et de comportement décrivent dans ce modèle respectivement *ce* que doit faire le produit, et *comment* il le fait. La fonction est alors exprimée par un verbe d'action. Nous noterons donc la similarité avec la notion de fonction externe proposée plus haut. Le comportement décrit les transitions d'états du produit, qui permettent d'assurer les fonctions attendues [SUM01]. Nous noterons la similitude entre cette notion de comportement et celle de fonction interne, ou technique, vue plus haut. Le formalisme de [SHI96] propose alors de définir plus précisément une **fonction** (exprimée par un verbe d'action : *transporter*) en lui adjoignant une **entité objective** (*un passager*), qui désigne l'objet auquel s'applique la fonction, un **modificateur** (*confortablement*), exprimé généralement par un adverbe et qui décrit une caractéristique d'appréciation de cette fonction, et enfin un **contenu de fonction**⁵¹. Cette dernière notion désigne une quantification de la satisfaction de la fonction selon l'échelle du modificateur considéré. Les auteurs considèrent la notion de fonction comme subjective, et en ce sens proposent de définir le contenu fonctionnel à partir de la distribution de la satisfaction de la fonction selon la valeur d'un paramètre physique (*amplitude de vibration, niveau sonore...*). Nous n'entrerons pas ici en détail dans le formalisme mathématique qui sous-tend cette définition, en nous contentant de noter la similitude entre cette notion et celle de {critère niveau flexibilité} présentée plus haut. Nous retiendrons aussi la notion de relation entre

⁵¹ Function content

fonctions proposée dans ce travail. Ainsi les auteurs définissent des relations de *décomposition* entre fonctions, *d'implication*⁵² (la satisfaction d'une fonction nécessite qu'une autre soit satisfaite), de *mise en valeur* (la satisfaction d'une fonction est meilleure, via un modificateur, si une autre fonction est assurée), et de *description* (qui est en fait une décomposition entre modificateur). Nous noterons encore une fois les similitudes entre cette approche et l'analyse fonctionnelle présentée plus haut.

Nous citerons finalement la méthode TRIZ [BER01], [CHO00]. Bien qu'étant une méthode de créativité, et en ce sens destinée principalement à supporter l'activité de conjecture, cette méthode propose elle aussi d'utiliser la notion de fonction. Elle préconise ainsi l'écriture fonctionnelle du besoin, permettant par l'abstraction de franchir les barrières psychologiques qui, au niveau concret, physique, limitent la créativité.

1.2.3 La navigation supportée

Nous avons vu dans le chapitre trois de ce mémoire, que l'analyse de la valeur était basée sur un modèle séquentiel du processus de conception. En effet, elle préconise une mise en œuvre rigoureuse des outils proposés, chacun étant destiné à supporter une des phases du processus de conception. Ce schéma est à corrélérer avec le niveau d'abstraction et de détail qui décrit le produit. Alors que la phase d'expression fonctionnelle du besoin considère le produit comme une boîte noire, et explicite ses fonctions externes, le FAST le décrit en terme de fonctions techniques, le Bloc Diagramme Fonctionnel se base alors sur sa structure, et le tableau d'analyse des coûts considère des surfaces fonctionnelles.

Tous ces outils se construisent autour du concept de fonction. Nous ne décrirons pas ici les dimensions qui décrivent la caractérisation des fonctions (critères ou contenus de fonction). Nous noterons que les mise en œuvre des outils cités correspond :

- A une abstraction et une augmentation du niveau de détail par l'expression fonctionnelle du besoin, d'une part, et par l'analyse des solutions en terme fonctionnel par le bloc diagramme fonctionnel et l'analyse des coûts, d'autre part.
- A une transition d'un niveau abstrait et global de la représentation du problème à un niveau détaillé, physique de la représentation de la solution, par l'intermédiaire du FAST. Cette transition, bidirectionnelle, correspond alors aux questionnements {pourquoi, comment ?}.

⁵² La relation est définie par « is conditioned to... »

- L'évaluation est alors supportée en comparant les fonctions réalisées par le produit (via ses fonctions techniques) et son coût (via les surfaces fonctionnelles) à la hiérarchie fonctionnelle qui décrit le problème.

1.2.4 Conclusion

Plusieurs outils et techniques se basent sur la notion de fonction. Nous avons étudié plusieurs approches qui définissent cette notion. L'analyse fonctionnelle est proposée dans une démarche d'analyse de la valeur, qui en prescrit la mise en œuvre selon un schéma séquentiel. Les outils et techniques associés peuvent être vus, de façon découplée de ce schéma de mise en œuvre, selon la représentation adoptée précédemment. Les figures suivantes illustrent cette vision. La figure 7.9 illustre la mise en œuvre des outils de l'analyse fonctionnelle, selon une démarche d'analyse de la valeur.

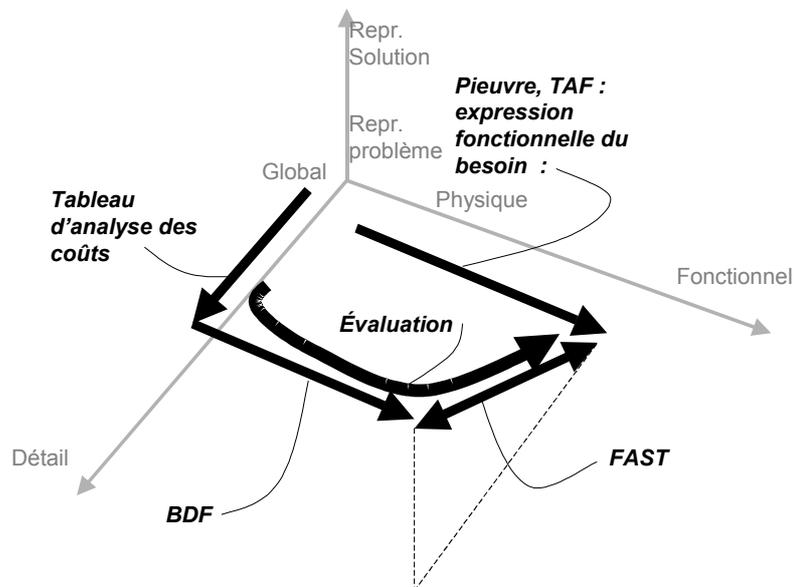


Figure .7.9 Les navigations supportées par les outils de l'analyse fonctionnelle.

La figure 7.10 illustre la navigation supportée par un arbre fonctions/moyens, correspondant à une décomposition, parallèle et itérative de la solution et de la représentation fonctionnelle du besoin.

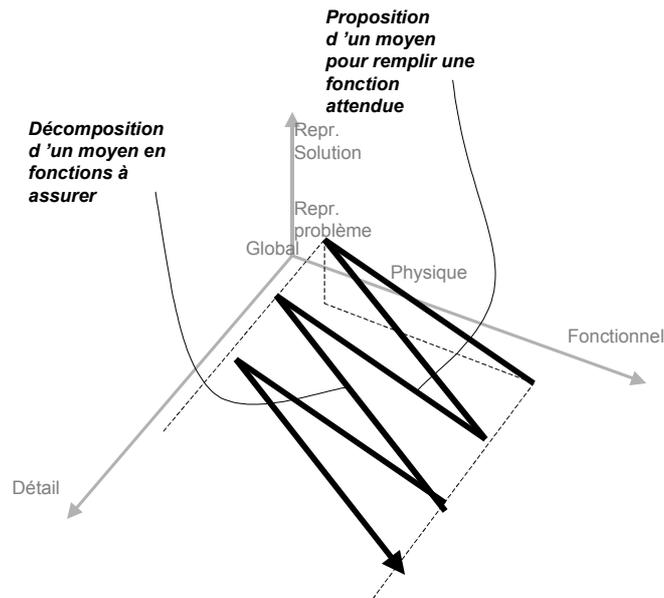


Figure .7.10 Les navigations supportées par les arbres fonctions/moyens.

1.3 QFD

1.3.1 La technique

Le Quality Function Deployment, ou déploiement de la fonction qualité, est une méthode de conception développée au Japon, souvent citée en tant qu'acteur du succès des firmes japonaises lors des dernières décennies [SIV97]. Considérant que la qualité, c'est à dire l'adéquation aux besoins du client, se conçoit au moins autant qu'elle ne se fabrique, cette technique offre de supporter l'expression et le déploiement du besoin du client, appelée *voix du client* tout au long du développement du produit [AKA93].

La méthode préconise quatre⁵³ phases, qui supportent successivement la planification du produit, de ses composants, de son procédé de fabrication et du contrôle de sa production⁵⁴. Cette technique se base sur l'hypothèse que la satisfaction du besoin du client est assurée par la qualité du produit, qui doit être assurée par la qualité de ses composants, qui est assurée par celle de son procédé de fabrication, qui est assurée par celle du contrôle de ce procédé.

Chaque phase correspond à la mise en œuvre de l'outil *maison de la qualité* au sein d'une équipe multidisciplinaire de conception. Cet outil offre un formalisme pour exprimer la conversion d'une demande, appelée *QUOI*, en un ensemble de caractéristiques, appelé

⁵³ Généralement

⁵⁴ Cette méthode se base ainsi sur un modèle par phases. Nous n'avons pas jugé nécessaire de dissenter de ce modèle dans la partie précédente.

COMMENT. A chaque transition entre phases, le COMMENT devient le QUOI (Tableau suivant).

Phase	Product planning	Parts planning	Process planning	Production planning
QUOI	Voix du client : spécifications clients	Spécifications du produit	Spécifications des composants	Spécifications des procédés
COMMENT	Caractéristiques du produit	Caractéristiques des composants	Paramètres des procédés	Paramètres de contrôle de la production

Tableau 7.1 Les phases du QFD⁵⁵

La relation transitive entre QUOI et COMMENT assure ainsi, par itération de l’outil maison de la qualité, le déploiement de la voix du client. Cet outil est basé sur un formalisme matriciel, qui permet d’identifier, d’expliciter et de quantifier les relations entre les demandes (les QUOI) et les caractéristiques (les COMMENT). Il s’agit par exemple pour la première maison de la qualité :

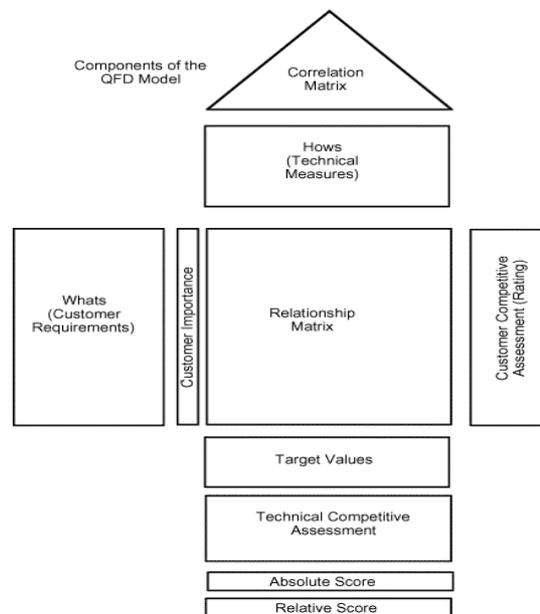


Figure .7.11 La première maison de la qualité.

- D’établir la liste des demandes, hiérarchisées et pondérées en fonction de leur importance au yeux du clients.
- D’établir la liste des caractéristiques du produit.
- D’identifier les relations entre les demandes et les caractéristiques, quantifiées en termes de niveau d’influence.

⁵⁵ Nous noterons que dans la transition d’une phase à l’autre, ce qui était un ensemble de caractéristiques (les comment) devient un ensemble de spécifications (les quoi).

- De situer les performances de concurrents en terme de demandes client, comme en termes de caractéristiques du produit.
- De fixer des valeurs cibles pour les caractéristiques du produit.
- D'identifier d'éventuelles corrélations entre ces caractéristiques.
- Enfin, par un déploiement mathématique des pondérations et des niveaux d'influence, de pondérer et de hiérarchiser les caractéristiques du produit (Fig. 7.11).

Cette hiérarchisation offre comme intérêt principal de supporter l'identification des caractéristiques (du produit, dans le cas de la première maison) les plus importantes, cette importance étant quantifiée par le produit de leur influence sur les demandes clients et de l'importance des ces demandes. Ainsi lorsque ces caractéristiques deviennent des spécifications, avec la mise en œuvre de la maison suivante, la technique permet de concentrer les efforts de conception sur les aspects les plus importants au yeux du client. Ce déploiement permet finalement d'identifier les paramètres de contrôle de la production qui auront le plus d'influence sur la qualité réelle du produit, c'est à dire son adéquation au besoin de son utilisateur.

Nous noterons que cet outil, ou un formalisme similaire, est utilisé, indépendamment de la méthode QFD, dans le cadre de méthodes par domaines. Ainsi Hubka et Eider [HUB96] proposent d'utiliser un formalisme matriciel pour identifier et expliciter les relations entre les propriétés issues des différents domaines (Fig. 7.12). Suh recommande l'utilisation de la maison de la qualité pour le même usage [SUH01, CHE02].

1.3.2 La navigation supportée

La méthode QFD, telle qu'elle est présentée dans la littérature, propose de supporter la conception en considérant quatre phases successives, au cours desquelles sont déterminées certaines caractéristiques, pour répondre à des spécifications précédemment établies. Outre l'aspect de planification de l'axe du temps décrit par la méthode, nous pouvons décrire la mise en œuvre de l'outil associé à la méthode, c'est à dire la maison de la qualité, selon une approche multidimensionnelle. En effet, cet outil est intrinsèquement destiné à construire et formalisé le réseau de relations qui lient les constituants de deux ou plusieurs⁵⁶ domaines. Il est ainsi utilisé pour :

⁵⁶ Par la notion de déploiement, c'est à dire de transitivité des relations identifiées.

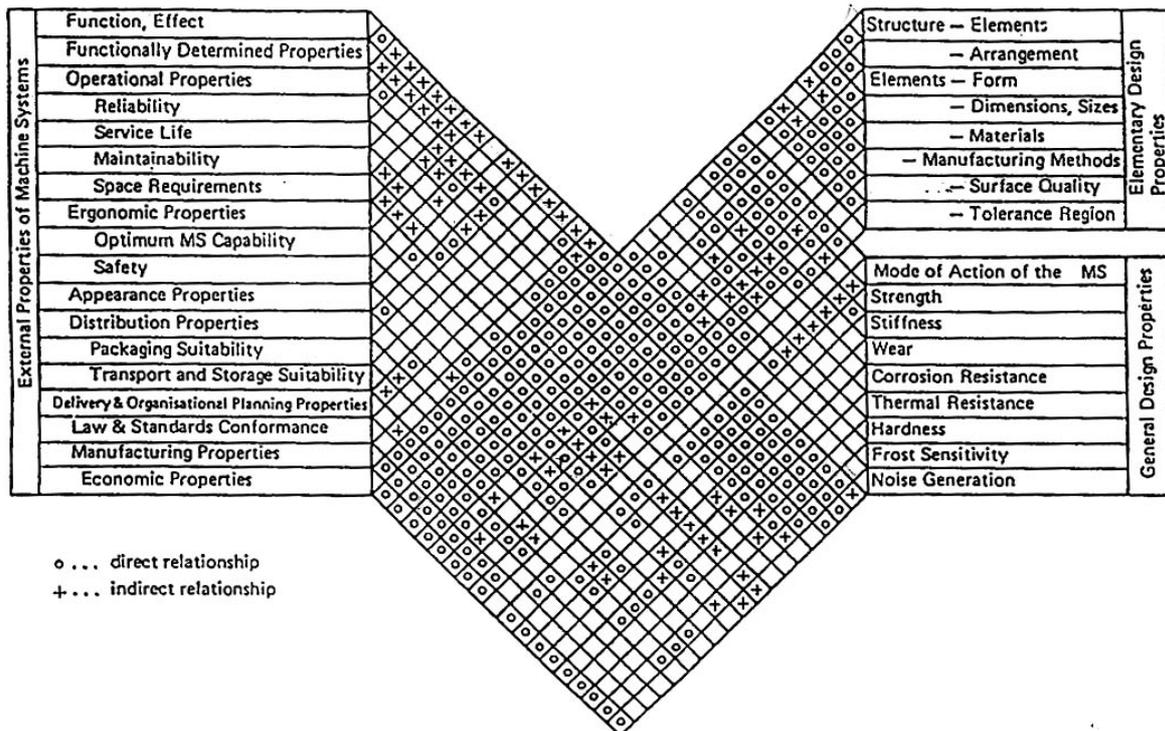


Figure .7.12 Un outil similaire à la maison de la qualité dans une approche par domaines (de propriétés), [HUB96].

- Relier, dans la méthode QFD, les spécifications, c'est à dire les éléments de l'expression du problème d'une phase, avec les caractéristiques de la solution de ce problème. La mise en œuvre de la maison de la qualité correspond alors à une navigation le long d'un axe problème (QUOI) – solution (COMMENT).
- Toujours selon la méthode QFD, les itérations de la mise en œuvre correspondent alors à une navigation séquentielle les long des axes, confondus, du temps et aspects⁵⁷ traités (client, produit, pièce, process, production).
- De par le modèle séquentiel sur lequel se base la méthode, la transition entre caractéristiques de la solution d'une phase et spécifications de la phase suivante correspond à l'identité, autrement dit une prescription pure, mécanisme que nous avons décrit dans la première partie.
- En terme d'activités, la maison de la qualité est un outil très complet. En effet,
 - Sa mise en œuvre permet de définir, au regard de problème exprimé (les quoi), les caractéristiques (les comment) du produit et ainsi de supporter conjecture et définition.

⁵⁷ Nous noterons la similitude avec les concepts de monde ou de métier de la partie précédente.

- Il offre de plus la possibilité d'identifier les relations d'influence entre les éléments des représentations de la solution et du problème, et ainsi d'offrir un formalisme pour supporter l'évaluation. En ce sens la matrice centrale de la maison de la qualité peut être vue comme un critère d'évaluation.

1.3.3 Conclusion

Le QFD est largement cité à travers la littérature, et reconnue pour sa pertinence [BEI99, DUR98, LIU01, OMA97]. Cette technique offre en effet un formalisme rigoureux et précis pour identifier et quantifier les influences entre spécifications et caractéristiques, et ainsi déployer la conception de la qualité tout au long du processus de conception, des spécifications clients jusqu'au paramètres de contrôle de la production.

Le QFD est en outre reconnu pour sa capacité à supporter de nombreux aspects de la conception, tels que l'enregistrement de la logique de conception [REI00], la prise de décision [HAL95], [CHU01], la hiérarchisation de règles de conception [LEE01], et la prise en compte simultanée de critères environnementaux et économiques [ZHA99, MEH01].

Selon la méthode de mise en œuvre de l'outil maison de la qualité, celui-ci peut supporter diverses navigations dans un processus de conception multidimensionnel. Sans représenter l'aspect temporel de cette navigation, nous illustrons ces navigations dans la figure suivante.

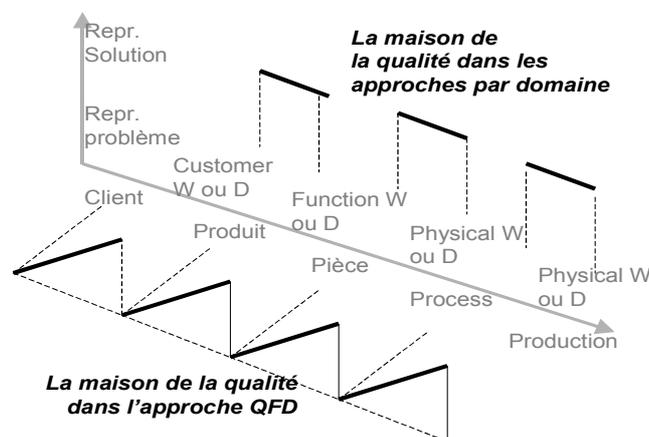


Figure .7.13 Les navigations supportées par la maison de la qualité.

1.4 Total design

Nous avons évoqué plus haut les travaux de Pugh [PUG90], dont le modèle du processus de conception fait apparaître la co-évolution des spécifications et de la définition du produit. Cette approche offre donc une place d'importance aux aspects évaluatifs, les spécifications

contrôlant le noyau de conception. L'auteur propose de nombreux outils dont il préconise la mise en œuvre selon une approche par phases.

1.4.1 Les outils

Ainsi, Pugh recommande, pour identifier et exprimer les besoins des clients, au sein d'une équipe pluridisciplinaire, de se baser sur une analyse paramétrique, ou matricielle des produits existants ou sur une analyse des besoins via des questionnaires. La construction des *spécifications du produit (PDS)* est alors supportée par la mise à disposition d'une check-list, qui permet de recenser tous les aspects possibles qui peuvent composer ce PDS (Fig. 7.14).

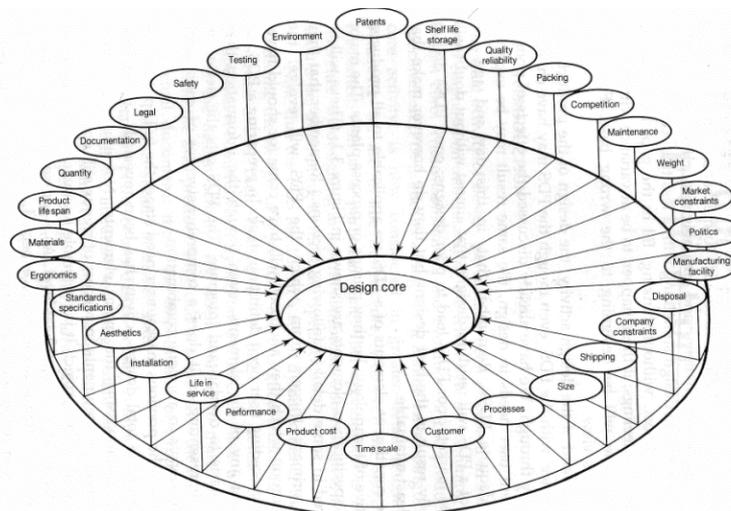


Figure .7.14 Les éléments du PDS, [PUG90].

D'après l'auteur, il convient d'écrire un PDS le plus exhaustif possible, en définissant des critères qui quantifient la performance selon tous les aspects présentés dans la figure ci-dessus. Ce PDS évolue au cours du processus de conception, suivant le développement du produit selon un axe de niveau de détail, se transformant alors en *SSDS* puis en *CDS* (resp. *sub-system* et *component design specifications*). Cette transition peut se faire en considérant chaque sous-système puis composant comme un produit, dont les autres sous-systèmes et composants constituent l'environnement extérieur. D'autres check-lists propres aux SSDS et CDS sont en outre proposées.

Un formalisme matriciel est proposé pour supporter les phases d'évaluation. Ces phases interviennent lors des étapes de convergence contrôlée. Il s'agit, à chaque fois⁵⁸, de tirer du PDS (ou du SSDS ou du CDS) les critères les plus pertinents⁵⁹ pour l'évaluation des solutions

⁵⁸ Pugh considère que l'évaluation intervient itérativement tout au long du processus.

⁵⁹ Les plus adaptés au niveau de détail correspondant

proposées. Ceux-ci doivent être non ambigus, partagés et acceptés par tous les membres de l'équipe de conception, c'est pourquoi l'auteur recommande de mener cette tâche en groupe. Une solution⁶⁰ est alors choisie comme référence, et la mise en place d'une matrice d'évaluation permet d'évaluer toutes les alternatives comparativement à cette référence.

La figure suivante illustre cet outil dans le cas du choix d'un concept d'avertisseur sonore. A chaque couple solution-critère, les membres de l'équipe, là encore collectivement, sont amenés à comparer la performance de l'alternative selon ce critère avec celle de la référence, et selon une échelle simple : L'alternative peut être meilleure (+) , moins bonne (-) ou équivalente (S comme same) à la référence. L'alternative dont la somme des évaluations présente le meilleur différentiel est alors considérée comme la meilleure.

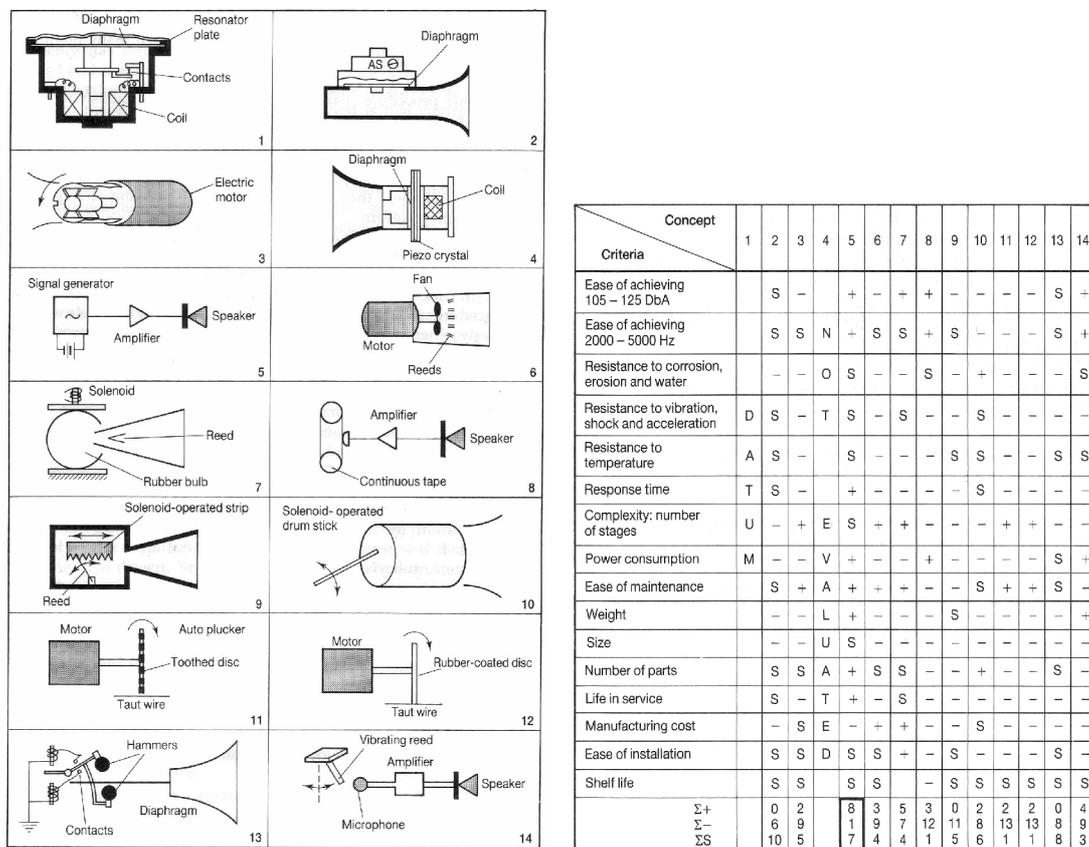


Figure 7.15 Une matrice d'évaluation dans le cas d'un avertisseur sonore, et les différentes alternatives proposées, [PUG90]

L'auteur insiste sur le fait que cet outil ne doit pas décider, mais permettre de représenter et de mettre à disposition des concepteurs tous les éléments nécessaires à *leur* décision. Plusieurs variantes de cette matrice sont proposées, incluant par exemple des pondérations et des évaluations chiffrées, lorsque les critères définis l'autorisent.

⁶⁰ Le plus souvent existante

1.4.2 La navigation supportée

Les travaux de Pugh sont considérés comme une référence sur le thème de l'évaluation et de la sélection en conception. Cette approche se base sur un modèle du processus de conception des plus pertinents, car il considère explicitement d'une part le fait que ce qui est appelé spécification évolue tout au long du processus de conception, et d'autre part que c'est cette représentation du problème, le PDS, qui contrôle l'évolution du cœur du processus. Pour Pugh, cette évolution du processus, en terme de représentation de la ou des solutions considérées décrit ce qu'il appelle la convergence contrôlée (Fig. 7.16).

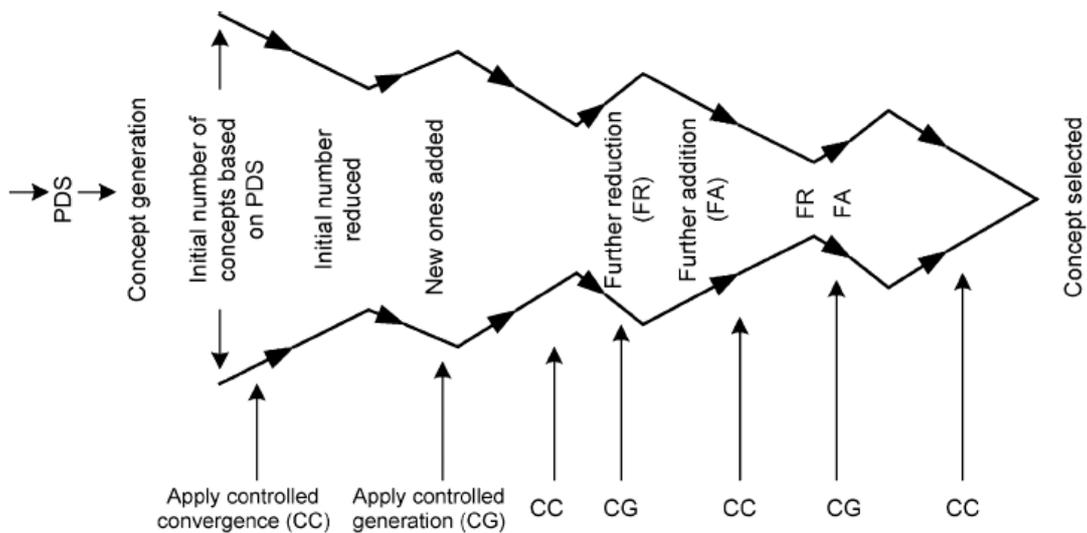


Figure .7.16 La convergence contrôlée, [PUG90]

Ainsi le nombre de solutions considérées augmente et diminue alternativement, au fur et à mesure de la mise en œuvre des phases de génération et de sélection. Au sens du modèle proposé dans la partie précédente de ce mémoire, nous pouvons alors considérer que Pugh offre de supporter les reformulations, les évaluations et l'évaluation. Selon cette approche, les décisions de sélection associées aux évaluations menées ont alors pour conséquence la mise en œuvre d'une activité de définition, consistant à réduire la taille de l'espace de la représentation de la solution. Nous reviendrons sur ce point plus loin dans ce chapitre.

Outre cet aspect décisionnel, les outils proposés permettent de formaliser, de structurer et de détailler d'une part l'expression du problème, autrement dit les spécifications, et d'autre part l'évaluation, par les matrices de décision. Ces matrices en effet structurent et détaillent les solutions considérées, afin de les évaluer face aux éléments de l'expression du problème.

1.4.3 Conclusion

Pugh propose des outils simples et pratiques pour supporter la réalisation du processus de conception. Cette méthode accorde une grande importance aux aspects relatifs à l'expression du problème et à l'évaluation. La figure suivante illustre, en terme de navigation au sein d'un processus de conception multidimensionnel, les évolutions supportées par la mise en œuvre des outils proposés.

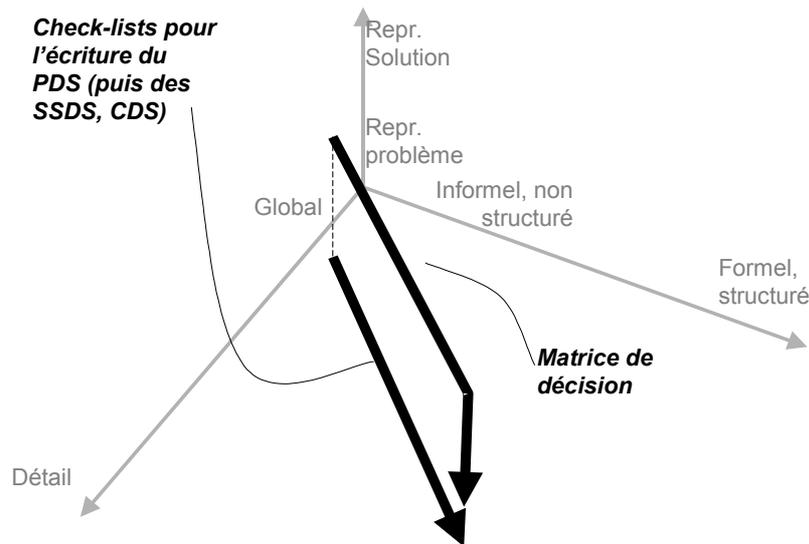


Figure .7.17 La navigation supportée par [PUG90]

1.5 Conclusion

Outre ces quatre méthodes, dont nous avons présenté les outils, la littérature est riche de travaux répondant à cette problématique. Sans les étudier ici plus en détail, nous pouvons citer brièvement :

- La méthode TRIZ [CHO00]. Cette méthode, destinée à supporter la créativité et la résolution de problème, se base sur une navigation le long d'un axe d'abstraction. Elle consiste en effet à modéliser le problème de façon abstraite⁶¹, afin de résoudre ce problème par des principes physiques qui seront alors implémentés en solutions.
- La méthode DFMA⁶² (Design For Manufacturing and Assembly) [BOO94, 01]. Cette méthode propose, sur la base d'un modèle séquentiel du processus de conception, de supporter successivement les phases de *conception pour l'assemblage*, de *choix de*

⁶¹ Notamment par l'adoption d'un formalisme fonctionnel.

⁶² Les méthodes DFE (Environment) et DFS (Serviceability) sont construites sur un schéma similaire, et sont destinées à être mises en oeuvre complémentaires.

procédés et de matériaux et de conception pour la fabrication. Elle offre notamment, pour chacune de ces phases, des outils permettant d'évaluer respectivement la structure du produit en termes d'assemblabilité, les matériaux et procédés choisis et donc la capacité process, et l'influence des paramètres de la solution sur la fabricabilité. L'accent est plus particulièrement mis, pour ces évaluations, sur les aspects économiques.

- La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité). Cette méthode se destine à supporter la conception d'un produit performant en terme de fiabilité et de maintenabilité, sur la base d'une évaluation prévisionnelle des risques de défaillances.

Nous avons passé en revue plusieurs méthodes de conception, qui, sur la base d'un modèle du processus de conception construit sur les notions de phases et/ou de domaines, offrent des outils destinés à supporter la mise en œuvre du processus. Nous avons identifié, dans un processus de conception considéré comme multidimensionnel, quelles navigations, selon des dimensions autres que l'axe du temps, étaient supportées par ces outils. Cette étude, orientée autour des aspects évaluatifs du processus de conception, nous a permis de recenser des outils destinés à :

- Supporter l'expression du problème, en offrant un formalisme et/ou des guides (check-lists) pour son écriture. La mise en œuvre de tels outils supporte alors une navigation, dans le domaine de la représentation du problème, selon des axes d'abstraction (éventuellement par une écriture fonctionnelle), de détail et/ou de monde⁶³ considéré.
- Supporter l'évaluation des solutions considérées face au problème exprimé. Cette assistance est proposée à travers des formalismes (arbres hiérarchiques, matrices) et éventuellement une décomposition ou représentation particulière du produit qui permettent de supporter la navigation de la représentation de la solution à la représentation du problème.

Nous retiendrons de cet état de l'art deux points que nous avons jugés nécessaires d'approfondir. D'une part, nous remarquerons que l'évaluation est ponctuellement considérée comme relative à un aspect particulier, tel que le coût, la fabricabilité ou la fiabilité. En ce sens nous étudierons plus en détail les outils associés à de telles évaluations, que nous pouvons qualifier de mono-dimension. Complémentairement, cette idée d'évaluation mono-dimension renvoie à la notion de multicritère. En effet, nous l'avions vu dans le premier

⁶³ Dans les approches par domaines, ceux-ci étant associés à des phases dans QFD.

chapitre de ce mémoire, un problème de conception est par essence complexe. L'évaluation d'une solution face à un tel problème ne peut donc être menée selon un seul critère. Nous étudierons en ce sens la problématique de l'aide à la décision multicritère. Cette problématique, à laquelle font référence les quatre méthodes vues plus haut, est en effet une discipline propre, traitée dans la littérature indépendamment du processus de conception.

2 Outils d'évaluation mono-dimension

Le processus de conception implique la mise en œuvre d'évaluations des solutions proposées face à un problème complexe. Elles ne peuvent donc se réduire à une évaluation selon un seul critère. Nous avons vu toutefois que certaines méthodes de conception offrent un support à l'évaluation associée à un critère particulier, tel que la fabricabilité ou la fiabilité. Dans le cadre de cette thèse, deux aspects ont été étudiés plus en détail [LON02, DAV03]. D'une part, le critère économique, c'est à dire le coût du produit, a historiquement joué un rôle d'importance dans les décisions en conception. Nous étudierons donc les outils d'estimation des coûts. D'autre part, les dernières années ont vu émerger la notion de développement durable, et avec elle le concept de performance environnementale. En ce sens nous étudierons les outils destinés à l'évaluation des performances environnementales de produits.

2.1 Les outils d'estimation des coûts

Parmi tous les critères d'évaluation qui peuvent être appliqués à un produit en cours de conception, le coût occupe une place privilégiée dans le monde industriel. En effet, dans le contexte économique concurrentiel actuel, le prix de vente maximum d'un produit est imposé par le marché auquel il est destiné, et il n'est donc plus viable pour les entreprises de concevoir puis fabriquer et mettre sur le marché un produit sans connaître ou tout du moins estimer précisément son coût dès la conception⁶⁴. Ceci consiste donc à réaliser une conception à coût objectif, ou coût cible. Plusieurs outils d'estimation du coût en conception existent pour répondre à cette tâche. Ces outils sont basés sur trois grandes familles de méthodes⁶⁵ [ASI98].

⁶⁴ Sauf en cas de monopole.

⁶⁵ Le terme méthode ne désigne pas ici une méthode de conception.

2.1.1 Les méthodes analogiques

Ces méthodes sont basés sur l’assertion suivante : « *Deux produits ayant des fonctionnalités similaires ont des coûts similaires* ». Le coût d’un produit est donc estimé par analogie avec le coût d’un produit existant présentant les mêmes fonctionnalités⁶⁶.

Les méthodes basées sur de tels modèles requièrent un savoir-faire certain de la part de l’auteur de l’estimation, ainsi que les informations nécessaires, qu’elles soient formalisées sous la forme d’une base de données de produits existants et de leurs coûts ou non formalisées ni explicitées mais possédées par un expert⁶⁷. Elles présentent l’avantage d’être aptes à une utilisation dès les premiers stades de la conception, ainsi que d’être peu gourmandes en termes de ressources. La précision et la fiabilité de leurs résultats sont par contre très dépendantes de nombreux facteurs non identifiés, et difficiles à estimer.

2.1.2 Les méthodes paramétriques

Ces modèles sont basés sur l’existence de relations mathématiques⁶⁸ entre le coût d’un produit et différents paramètres qui le décrivent [FAR01]. En architecture par exemple, une estimation possible du coût d’un bâtiment est une fonction de sa surface au sol et de sa hauteur.

La mise en application de ces modèles est duale :

- Il s’agit d’une part d’établir ces relations, tâche complexe, basée sur une analyse statistique de produits existants. Cette tâche requiert donc d’importants moyens ainsi que certaines compétences particulières.
- L’utilisation de ces relations est ensuite simple et rapide, ne requiert pas de compétence particulière, et est possible dès que les paramètres impliqués dans la relation sont déterminés par les concepteurs.

La validité et la précision des résultats obtenus en s’appuyant sur ce modèle dépendent entièrement de celles des relations utilisées. Celles-ci ont un domaine de validité restreint, propre à l’entreprise au sein de laquelle elles ont été établies ou à la technologie utilisé⁶⁹ par exemple.

⁶⁶ La littérature n’est pas plus précise quant au sens du terme *fonctionnalités*.

⁶⁷ La littérature distingue parfois les méthodes analogiques des méthodes basées sur le *savoir d’expert*.

⁶⁸ *Cost Estimating Relationships*, ou *CERs*, dans la littérature anglo-saxonne.

⁶⁹ En effet, un changement de technologie adoptée rend caduque la relation établie sur la base de produits construits avec une autre technologie.

2.1.3 Les méthodes analytiques⁷⁰

Les méthodes d'estimation basées sur un modèle analytique consistent à assimiler le coût de produit à celui des opérations nécessaires à son obtention. Ceci revient donc, lors de la conception du produit, à décrire précisément les processus aval, et à recenser les sources de coûts intervenant lors de leur déroulement. Des outils informatiques et/ou de représentation (IDEF0, SADT) permettent de mettre plus facilement ces méthodes en application, et des ajustements sont possibles pour tenir compte des coûts indirects.

Ces méthodes, appliquées rigoureusement, sont extrêmement précises et donnent des résultats avec une certitude élevée, puisqu'elles prévoient plus qu'elles n'estiment. Elles nécessitent néanmoins beaucoup de ressources, non seulement pour les appliquer, puisqu'il est nécessaire de définir précisément les processus de fabrication, d'assemblage et les autres étapes du cycle de vie, de calculer pour chaque étape les consommations de main d'œuvre, de matière, d'énergie et d'équipement, mais aussi de renseigner les paramètres nécessaires à ces calculs, tels que les coûts horaires ou l'amortissement des équipements par exemple.

Elles ne sont pas applicables au début de la conception, car il est nécessaire d'avoir déjà déterminé précisément les processus aval.

2.1.4 Synthèse

Les méthodes et outils d'estimation de coût en conception sont basés sur ces trois grandes familles. Nous avons vu qu'elles présentaient des caractéristiques très différentes en terme de précision et de validité, de précocité d'utilisation possible et de ressources nécessaires, ce qui est dû au moins en partie au fait qu'elles soient basées sur des modèles entièrement différents. En effet, dans le premier cas ce sont les connaissances capitalisées qui permettent d'attribuer une estimation de prix à un produit, dans le second ce sont des relations établies grâce aux statistiques, et dans la troisième c'est une anticipation des dépenses réelles.

2.2 Les outils d'évaluation des performances environnementales

Problématique plus récente que celle de l'évaluation économique, l'évaluation des produits en terme de performance environnementale est un thème traité actuellement par de nombreux travaux de recherche. Nous étudierons les approches existantes en utilisant la catégorisation adoptée dans le paragraphe précédent.

⁷⁰ Appelés aussi *detailed* ou *top-down models*

- Le terme récurrent relatif à l'évaluation des performances environnementales des produits est *Life Cycle Analysis*⁷¹. La mise en œuvre du LCA est similaire à celle d'une estimation analytique des coûts. Il s'agit en effet, après avoir défini les objectifs, de décrire en détail l'ensemble du cycle de vie du produit, et de recenser, pour chaque étape, les impacts de leur réalisation sur l'environnement, en terme de consommation et d'utilisation de ressources (matériaux, énergie, espace...) et d'émissions de déchets et d'énergies [MUE99, ISH95].
- L'estimation paramétrique des performances environnementales est moins établie et plus difficile à mettre en œuvre. En effet, de par la prise en compte plus tardive de cette dimension dans le processus de conception, les données nécessaires à la construction des relations entre paramètres du produit et performance environnementale ne sont pas encore capitalisées, voire définies. Se pose en effet la question de la définition même des critères environnementaux [HUI02, LYE02].
- L'évaluation par analogie⁷² des performances environnementale d'un produit en cours de conception n'est pas traitée dans la littérature.

2.3 Conclusion

Des outils existent pour évaluer les performances d'un produit selon un aspect particulier. Nous avons étudié en ce sens ceux associés aux critères économiques et environnementaux. Nous retiendrons de ces travaux :

- L'évaluation en terme de coûts peut être réalisée selon plusieurs approches, qui se distinguent par leur précision, les ressources nécessaires à leur mise en oeuvre, et le niveau de définition du produit requis. La même distinction est possible pour l'aspect environnemental, bien que seule l'approche analytique soit répandue.

⁷¹ Quelquefois *assessment*

⁷² L'évaluation par savoir d'expert est possible, mais non explicitée.

- Les évaluations selon les approches analytiques nécessitent une définition très aboutie de la solution, incluant l'ensemble de son cycle de vie. Cette condition rend cette approche difficilement envisageable pour l'évaluation en cours de conception. Il est néanmoins possible de supporter la transition de l'approche analytique vers l'approche paramétrique. Cette transition est par exemple supportée, en termes économiques, pour les phases de fabrication et d'assemblage par les outils associés à DFMA. De même des travaux récents [LOP03, ROS98] s'attachent à identifier l'influence des paramètres d'un produit en cours de conception sur sa performance environnementale.
- Que ce soit en termes de coût comme de performance environnementale, le critère utilisé est dans les faits rarement unique et simple. En effet, le coût d'un produit n'est pas quelque chose de trivial. Quel coût doit être pris en compte? Le coût de fabrication, de maintenance, de recyclage? Le coût supporté par l'entreprise, le client, la société? De même la performance environnementale est décrite par plusieurs facteurs, associés par exemple à la consommation d'énergie, de matière, à l'émission de polluants. En ce sens, l'évaluation, même si elle est réduite à un aspect particulier, implique la prise en compte de plusieurs critères, parfois non comparables.
- En regardant ces outils au sens du modèle du processus de conception proposé dans la partie précédente, ceux ci supportent la mise en oeuvre :
 - d'activités de reformulation, en proposant un support à l'écriture du problème pour le LCA.
 - d'activités d'évaluation, en proposant d'évaluer le coût ou la performance environnementale du produit face au problème exprimé.

3 Aide multicritère à la décision

L'aide à la décision multicritère est apparue suite au constat de l'impossibilité, pour un cerveau humain, de gérer sans assistance et simultanément toutes les informations nécessaires à une décision impliquant un grand nombre de critères et d'alternatives.

Nous prendrons le soin de distinguer ici la décision multicritère de l'optimisation multicritère. Alors que la première est associée à une activité évaluative, qui consiste à classer ou à choisir parmi un ensemble d'alternatives, la seconde est associée à une activité de définition, qui consiste à déterminer un ensemble de caractéristiques pour définir une solution optimale.

Nous avons vu dans le chapitre 6 que l'aide à la décision relevait à la fois d'activités de reformulation, d'évaluation et de définition. En effet, leur mise en oeuvre supporte l'expression du problème, l'évaluation des solutions considérées par rapport à ce problème, et a pour conséquence une modification de la définition de la solution. Nous présenterons ici plusieurs travaux existants relatifs à la problématique de l'aide à la décision, que nous distinguerons selon le schéma proposé pour chacune de ces activités.

3.1 Les travaux étudiés

Nous avons étudié lors de cette thèse plusieurs outils et méthodes d'aide multicritère à la décision [LON02b]. Sans prétendre à l'exhaustivité, la littérature regorgeant de travaux relatifs à cette problématique, nous présenterons ici trois grandes familles d'outils.

3.1.1 Agrégation totale

Ces méthodes consistent à agréger les performances des alternatives en une seule performance globale. Proches par leur formalisme de l'optimisation, ces méthodes proposent d'écrire une fonction objective, expression mathématique qui associe la performance globale aux performances locales.

La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT), exemple le plus répandu de méthode d'agrégation totale, considère que les préférences du décideur, au regard d'un critère, sont modélisables par une *fonction d'utilité* [THU01, SCO98, MAT00]. Cette fonction attribue une utilité, quantifiée sur une échelle normalisée ([0..1] par exemple), qui modélise la préférence du décideur, selon un critère mesurable directement, appelé attribut⁷³. Le modèle de préférence globale consiste alors en une agrégation des fonctions d'utilité locale en une fonction d'utilité globale, selon un formalisme mathématique variable (additif, multiplicatif, mixte ou autres).

3.1.2 Les méthodes de comparaison par paires

Alors que les méthodes d'agrégation totale modélisent la préférence par une fonction d'utilité, qui dépend de la valeur d'un attribut, les méthodes de comparaison par paire modélisent cette préférence à travers une comparaison [YAN02a]. Ces méthodes sont diverses, autant du point de vue de la démarche que du formalisme mathématique employé. Nous ne rentrerons pas ici

⁷³ La similitude avec la notion de qualité présentée dans le chapitre 3 [MOR93] est intéressante.

dans un inventaire, et inviterons le lecteur à se référer à la littérature [LIM01]. Nous présenterons toutefois quelques concepts génériques, pertinents pour la suite de notre travail.

Ces méthodes proposent, selon le même formalisme souvent matriciel, de modéliser les préférences du décideur à la fois par l'établissement d'une pondération, lorsqu'il s'agit de comparer les critères, et un classement lorsqu'il s'agit de comparer des alternatives.

Une agrégation partielle offre alors de construire le classement qui modélise les préférences globales du décideur. Nous retiendrons parmi ces méthodes AHP (Analytical Hierarchical Process) [SAA80], qui offre un support à la construction hiérarchique des critères, ainsi qu'à l'établissement de la pondération selon une démarche rigoureuse.

3.1.3 Les méthodes de surclassement

Nous avons identifié les méthodes de la famille d'ELECTRE (ELimination et Choix Traduisant la REalité) [ROY91] comme troisième alternative aux méthodes de comparaison par paire et d'agrégation totale. Ces méthodes se basent sur une modélisation des préférences du décideur par la notion de pseudo-critère. Un pseudo-critère définit, pour un critère donné, une relation de surclassement en fonction du différentiel de performance selon ce critère. La construction des préférences globales du décideur est alors proposée par la mise en œuvre d'un algorithme de distillation, qui permet d'obtenir un pré-ordre complet, classement non quantifié des alternatives, pouvant inclure de l'incomparabilité.

3.1.4 Conclusion

La classification proposée ci-dessus n'est pas unique. Elle permet de décrire la plupart des outils et méthodes d'aide à la décision existants. Nous ne traiterons pas ici des problématiques plus fines traitées par les travaux de recherche récents sur ce sujet [LIM01].

Une voie particulière d'utilisation des outils d'aide à la décision multicritère a été étudiée lors de ce travail de thèse, qui consiste à les associer à l'Analyse de la Valeur.

3.2 Les activités supportées

3.2.1 Définition

L'aide multicritère à la décision, en tant que discipline, distingue les *problématiques* de choix (connaître la ou les meilleures solutions), de classement (ranger les solutions) et de tri (répartition des solutions en groupes) [MAI94]. Au sens de notre modèle, cette notion de

problématique renvoie alors à différents supports possibles de l'activité de définition, puisque la représentation de la solution se trouve modifiée différemment, c'est à dire réduite, rangée ou divisée.

3.2.2 Reformulation

Indépendamment de la notion de problématique, plusieurs écoles se distinguent en terme d'expression du problème. Nous noterons ainsi :

- Le concept de pondération. Déjà évoqué dans ce chapitre, ce concept renvoie à l'importance relative des différents critères, les éléments du problème, pour l'objectif global de la décision. Nous noterons que ce concept est absent de certains outils (Electre IV). La construction de la pondération peut être supportée (Comparaisons par paire, AHP) ou non (Electre, MAUT).
- L'organisation des critères. Ils peuvent ainsi être considérés comme «de même niveau» (Electre, MAUT) ou hiérarchisés (AHP).
- L'écriture des critères. Les éléments de l'expression du problème peuvent être écrits indépendamment de tout formalisme (AHP), formalisés sous la forme d'une fonction d'utilité⁷⁴ (MAUT) ou d'un pseudo-critère⁷⁵ (Electre).

3.2.3 Evaluation

L'évaluation telle que nous l'avons définie consiste à exprimer un jugement sur la ou les solutions considérées au regard du problème exprimé. Cette problématique, pour l'aide à la décision multicritère, est appelée modélisation des préférences du décideur. Les outils existants, qui visent à supporter cette évaluation pour plusieurs solutions et critères se distinguent pour cette tâche selon :

- L'évaluation possible, pour chaque critère, des solutions quantitativement, et/ou (AHP, comparaisons par paires) qualitativement.
- La préférence selon un critère donné peut être modélisée indépendamment des autres solutions (MAUT), ou comparativement à elles, que cette comparaison soit réalisée par traduction automatique des performances individuelles (Electre) ou par le décideur (comparaison par paires, AHP).

⁷⁴ Qui attribue une utilité fonction de la valeur de chaque critère.

⁷⁵ Qui définit une relation de surclassement en fonction du différentiel de performance selon un critère.

- Le schéma suivi pour traduire l'ensemble des préférences modélisées en une préférence globale⁷⁶. Se distinguent alors les méthodes dites d'agrégation (MAUT, AHP) ou de distillation (Electre).

L'outil proposé au paragraphe 3.2.2 permet alors une évaluation selon des critères de valeur. Le jugement, la modélisation des préférences de l'évaluateur n'est pas prescrit par la proposition, et en ce sens permet d'adopter indifféremment le formalisme de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse de la valeur (comparaison de la hiérarchie des coûts et des fonctions, à travers les pondérations des éléments de la branche besoin et de la branche dépenses).

3.3 Conclusion : Utilisation en conception ?

Nous ne présenterons pas plus en détail ces méthodes d'aide à la décision ici. Nous noterons que leur utilisation doit être menée avec prudence, et que ces méthodes servent à assister la décision, pas à décider. Nous rejoignons en ce sens les conclusions de Pugh. Nous pouvons d'ailleurs noter que la matrice d'évaluation qu'il propose est une version très simple d'agrégation totale. C'est cette simplicité qui en fait un réel outil de conception, la mise en œuvre des méthodes citées ci-dessus étant trop contraignante pour envisager leur usage selon une approche opportuniste dans un contexte de conception [LON02a].

Ces méthodes se destinent au support de l'activité de prise de décision, hypothèse étant faite que tous les critères nécessaires pour modéliser la préférence globale du décideur sont identifiés, et que l'ensemble des alternatives est établi et qu'elles sont évaluables selon chaque critère. Cette hypothèse revient à considérer, dans un contexte de conception, une activité de sélection/évaluation intervenant de façon statique. Or cette hypothèse peut concerner une décision intervenant selon une démarche planifiée a priori, séquentielle. Nous cherchons dans cette thèse à supporter les décisions qui interviennent selon une démarche opportuniste lors du processus de conception. Il convient donc d'étudier les travaux portant sur l'application de ces méthodes à la conception [ALL01]. Ainsi, de nombreux auteurs répondent à la dynamique du processus de conception en adaptant les méthodes d'aide à la décision pour modéliser l'incertitude que présente les évaluations faites. Ceci leur permet de faire évoluer les modèles de préférence construits avec l'évolution de la conception. Cette démarche est adoptée avec des méthodes d'agrégation totale [CAL00, DAN01, MAR97, MIS97, OLE01, SCO98-99-00, THU01, ULL97, WAS01], ou avec des méthodes de comparaison par paire [WAN99] comme

⁷⁶ La forme de celle-ci dépend de la problématique traitée.

AHP [MAR93]. Nous verrons maintenant qu'un concept, complémentaire à ceux proposés par l'aide multicritère à la décision, est proposé par la littérature pour supporter les activités traitées dans notre recherche, le concept de valeur.

4 La Valeur, outil de conception ?

La notion de valeur, polysémique, réceptacle, émancipatoire et transversale [BEN01], renvoie, ne serait-ce qu'étymologiquement, directement à l'évaluation. Nous étudierons les sens prêtés à ce concept, qui le distinguent du coût, puis étudierons sa place dans le processus de conception, notamment à travers l'Analyse de la Valeur. Nous verrons finalement que les concepts de l'aide à la décision multicritère complètent sa prise en compte dans un contexte de conception.

4.1 Le concept de valeur

Le terme de valeur renvoie à de multiples définitions, issues de nombreuses disciplines et associées à d'aussi nombreuses explications et versions. Nous passerons en revue, brièvement, ces approches qui pour la plupart lui accordent un sens différent de celui lié à la notion de coût.

La valeur adopte de nombreuses définitions, relatives chacune à la discipline et en son sein à l'école qui défend cette définition face à d'autres. Ainsi, en philosophie, la valeur peut être considérée comme génératrice du désir, selon une approche absolutiste, ou au contraire créée par lui, dans une approche relativiste. D'autres débats, dans cette discipline, comparent ce concept à ceux de vérité, de fin ou d'intérêt [BEN01]. Le terme de valeurs, utilisé au pluriel, peut aussi renvoyer à ce que l'individu croit désirable pour lui-même [AUR98]. Cette définition rejoint celle communément acceptée en sociologie [BEN01], qui met alors l'accent sur l'aspect subjectif de la valeur, dû notamment à l'influence de la culture sur le jugement. Nous n'entrerons pas plus dans les débats sur l'interprétation de ce concept en philosophie et sociologie, et nous concentrerons sur le sens qui lui est donné dans les disciplines plus formellement associées à la conception et au monde industriel. Ainsi en économie et en gestion, le débat entre considération objective et subjective de la valeur issu de la philosophie a été transposé. A la vision classique, objective et absolutiste, dans laquelle la valeur est intrinsèque au bien échangé, correspondant au travail nécessaire à son obtention (valeur-travail) s'oppose une approche plus récente, subjective, qui complète la théorie de la valeur-

utilité par le concept de rareté, et pour laquelle la valeur est relative, dépendante du sujet et du contexte de l'échange [LOR97, CHA01, BEN01, PER01].

Cette vision relativiste de la valeur, qui la place à la rencontre des deux entités produit et client [LOR97], est donc associée à la notion de jugement, de la part du sujet, incluant ces aspects les plus subjectifs (estime, rareté, désir...). C'est donc cette valeur qui motive et va créer les conditions favorables à l'échange.

Cet échange nécessite une autre condition, que le sujet accepte la dépense associée. Le concept de valeur désigne donc un objet radicalement différent du coût, bien que non indépendant de lui. Elle est le but de toute activité économique [CHA01], alors que les coûts en sont la contrepartie. En ce sens le coût devient l'un des attributs du produit, et participe avec eux au jugement de valeur porté sur le produit par le sujet [DEA91].

Cette approche relativiste de la valeur, qui la considère comme un indicateur du succès de l'échange économique, et donc lié au coût mais radicalement différent, est celle qui est communément utilisée dans un contexte de conception.

4.2 Valeur et évaluation dans un contexte de conception : l'approche Analyse de la Valeur

Parmi tous les champs disciplinaires qui traitent de ce concept, et les définitions qui le décrivent, nous retiendrons celui de sa prise en compte en conception, à travers la valeur des produits. Ce contexte considère la valeur comme relative au jugement du produit par un sujet (la valeur est alors une propriété du produit [WEB02]). Une méthode de conception, basée sur un modèle vu dans le chapitre 4 de ce mémoire, propose de supporter sa prise en compte dans le processus de conception.

4.2.1 Les fondements de cette méthode

Cette méthode de conception est née des travaux de Miles [MIL72] qui s'est trouvé confronté, après la seconde Guerre Mondiale, à des situations de conception dans lesquelles, du fait de la conjoncture économique, les solutions traditionnelles ne sont plus considérées comme acceptables car utilisant des matériaux devenus trop chers. La stratégie choisie par Miles pour contrecarrer ces difficultés fut de proposer un regard sur le produit non plus en terme de matériau, de géométrie ou de dimension mais de service rendu. Nous avons déjà évoqué ce double point de vue sur le produit, que nous avons associé à un découpage d'une dimension du processus de conception (Ch. 4). La démarche proposée par Miles consiste alors à

concevoir un produit qui remplit le même service que le produit traditionnel, devenu trop cher, sans chercher à en reproduire les caractéristiques physiques, à dessiner le même artefact. Cette démarche s'est alors formalisée pour devenir la méthode déjà évoquée et s'est répandue, géographiquement comme en terme de domaines d'application, et structurée, notamment par un ensemble de normes [NF, EN]. Une large communauté scientifique s'est bâtie sur cette méthode et ses concepts de base, que certains associent à la discipline générique de la valorique [MIC01]. Les concepts proposés, comme la méthode, s'appliquent alors à la conception de service ou de procédés comme à la conception de produit.

Toutes ces approches se basent sur la définition normalisée du concept de valeur. La valeur y est définie par la norme NF X 50-150-1 (Analyse de la Valeur) comme

Le jugement porté sur le produit, sur la base des attentes et des motivations de l'utilisateur, exprimé par un rapport qui grandit lorsque, toutes choses étant par ailleurs égales, la satisfaction de besoin de l'utilisateur augmente et/ou la dépense afférente au produit diminue » [NF].

Nous retrouvons dans cette définition la dualité explicitée par Miles, le produit étant à la fois défini par le service rendu et par l'artefact qui le matérialise. Cette notion peut être mise en parallèle avec celle de qualité. La valeur peut alors être vue comme le rapport entre qualité du produit et dépense⁷⁷. L'analyse de la valeur, en tant que méthode, va préconiser de décrire, de spécifier, d'exprimer cette réponse au besoin en termes fonctionnel, ce dont nous avons disserté plus haut.

Perrin propose, en complément de cette définition et afin d'insister sur l'importance de la réponse au besoin, de qualifier la valeur par opposition au coût [PER01] (Fig. 4.14).

Ce schéma est à mettre en parallèle avec celui qui décrit le processus de conception comme transformant un besoin en la définition d'une solution. Alors que la face valeur du produit est définie par sa réponse au besoin, c'est sa définition complète qui fixe son coût. A travers cette définition, l'analyse de la valeur propose donc un support à la mise en œuvre des activités d'évaluation. Sa prise en compte émerge en effet d'une comparaison, d'un ratio entre la face fonctions/valeur du produit, qui représente le besoin qu'il remplit, une partie du problème auquel il répond, et sa face artefact/coût, qui est un point de vue sur la solution évaluée, le produit conçu.

⁷⁷ En effet la norme ISO 8402 de 1994 définit la qualité comme *L'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites.*

4.2.2 La mesure de la valeur selon la méthode

Défini et normalisé, le concept de valeur fait référence à l'évaluation conjointe des produits selon deux échelles non comparables (satisfaction et dépense). La mesure ou l'estimation de la valeur d'un produit n'est néanmoins pas explicitée ni définie formellement. L'analyse de la Valeur, en utilisant les résultats de l'analyse fonctionnelle, propose de juger de cette valeur en comparant les hiérarchies respectives des fonctions externes et des coûts de ces fonctions. Le coût d'une fonction est défini comme la somme des coûts, directs ou indirects, imputables aux surfaces fonctionnelles participant à cette fonction [YAN98]. Cette démarche répond à cette problématique d'évaluation conjointe par une comparaison de deux éléments (les hiérarchies) représentant les deux faces de la valeur. En ce sens les décisions prises sur cette base peuvent être qualifiées de bi-critères.

4.3 Valeur et décision multicritère

Dans le cadre de cette thèse, la thématique associée à la Valeur, et notamment l'Analyse de la Valeur, méthode de conception, a été particulièrement étudiée. De cette étude, le caractère multicritère du concept de Valeur a été identifié comme expliquant en partie les difficultés de mise en oeuvre des évaluations basées sur ce concept [LON01, 02]. En ce sens, nous nous sommes concentrés sur l'utilisation des méthodes d'aide à la décision multicritère comme support à l'évaluation orientée Valeur. Cette problématique a été traitée dans la littérature à travers la méthode SPEC, que nous présenterons ici, et a donné lieu à la proposition d'un outil d'aide à l'évaluation.

4.3.1 La méthode SPEC

La méthode SPEC [YAN00] se destine à supporter la mise en oeuvre d'un processus de conception de produit en assistant les prises de décision au regard à la fois des variables du projet et du produit. Elle s'appuie sur une analyse fonctionnelle externe du produit, qui exprime ce besoin sous la forme d'un arbre fonctionnel. Les auteurs proposent alors plusieurs concepts qui permettent d'utiliser cet arbre comme outil de conception :

- La quantification des objectifs fonctionnels par le biais de critères d'appréciation, comme le préconise l'Analyse de la Valeur [NF], est proposée. Les auteurs offrent une alternative au formalisme de la norme pour expliciter les notions de niveau et de flexibilité. Ils proposent ainsi d'écrire le niveau d'un critère sous la forme d'une *courbe de satisfaction*.

Cette courbe linéaire paramétrable attribue une satisfaction variable entre 0 et 1 en fonction du niveau atteint par le critère⁷⁸.

- *L'estimation des performances d'une alternative* est exprimée sous la forme d'une courbe de densité de probabilité, qui permet d'exprimer à la fois la performance estimée d'une alternative et l'incertitude qui entache cette estimation.
- La courbe de *probabilité de satisfaction d'une performance* est alors construite pour exprimer la satisfaction potentielle d'une performance par une alternative.
- La probabilité de *satisfaction de l'objectif global* (la fonction mère de l'arbre fonctionnel) est alors obtenue par propagation, agrégation des performances vers le haut de l'arbre fonctionnel. Deux approches sont proposées pour déterminer la participation de la satisfaction des fonctions filles (ou des performances) à la satisfaction d'une fonction mère :
- La moyenne pondérée par des poids entachés d'imprécision
- Des bases de règles floues.
- La méthode propose en outre un indicateur de risque, basé sur la prise en compte d'un seuil d'acceptation pour le niveau de chaque fonction externe au regard de l'objectif global (permettant de distinguer ainsi les fonctions indispensables et optionnelles).

Cette méthode permet ainsi :

- D'évaluer la probabilité de réussite de la solution considérée.
- De comparer plusieurs solutions sur la base de leur probabilité de satisfaction, et de déterminer en outre, pour chaque alternative, quelle(s) performance(s) permet(tent) d'améliorer la satisfaction globale.

Il est par ailleurs possible pour chaque client du projet de paramétrer sa courbe de satisfaction, afin de rendre compte de ses objectifs propres.

4.3.2 Une première proposition : un outil hiérarchique d'aide à la décision orientée Valeur.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons pu profiter du savoir-faire du laboratoire LICP, de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en terme d'outils d'aide à la décision multicritère pour nous investir avec eux dans une étude comparative de ces outils, dans un contexte d'aide

⁷⁸ Nous noterons les similitudes avec les fonctions d'utilité.

au choix des scénarii de fin de vie pour les produits électriques et électroniques. Cette problématique, qui est celle du projet AEOLOS [AEOLOS], implique de supporter des décisions au regard de critères exprimant les performances économiques, environnementales et sociales des alternatives de scénarii. Les réflexions sur la mise en œuvre de telles méthodes dans un contexte de conception nous ont conduit à envisager l'utilisation du formalisme associé à la méthode AHP pour supporter une évaluation selon des **critères de valeur**.

En terme d'instrument, ou d'artefact, nous avons ainsi proposé d'utiliser une structure hiérarchique dont l'ossature est construite pour rendre compte du caractère intrinsèquement multicritère de la valeur. Cet arbre hiérarchique adopte pour premier embranchement une distinction entre les critères qui rendent compte de la réponse au besoin et ceux qui décrivent les dépenses afférentes au produit. Ces dépenses sont nommées ressources, en référence à la définition de la valeur différente de celle de la norme. Nous reviendrons plus loin sur cette définition, qui fait partie de la proposition défendue dans cette thèse. Comme pour la méthode SPEC, le formalisme associé à l'analyse fonctionnelle permet alors de décrire la réponse au besoin, alors qu'une analyse du cycle de vie peut être associée selon des niveaux de détail associés à la hiérarchie des dépenses afférentes au produit. La figure suivante présente cette hiérarchie.

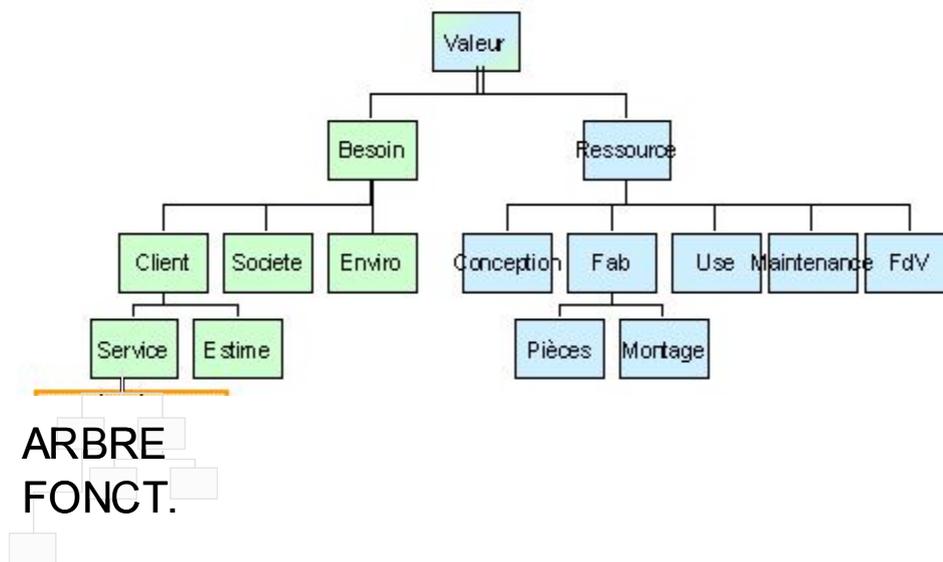


Figure .7.18 La hiérarchie proposée pour formaliser l'évaluation et la décision orientée « Valeur ».

En terme d'usage, l'outil proposé offre ainsi un cadre qui permet :

- De supporter l'évaluation en terme de valeur en associant au cahier des charges fonctionnel (la branche besoin) une écriture précise des spécifications en terme de dépenses, dans un contexte d'analyse de la valeur.
- Une incitation à une prise en compte exhaustive des critères de décision. Cet outil permet en effet d'inventorier les aspects traités et à traiter.
- Outre les critères, qui modélisent les objectifs du problème, l'intégration de l'analyse du cycle de vie dans la mise en œuvre des méthodes de conception, ici plus particulièrement l'analyse de la valeur, permet d'aider à l'inventaire des contraintes relatives à chacune des étapes du cycle de vie.
- Une mise en œuvre intégrée des outils d'analyse du cycle de vie, de l'analyse fonctionnelle, d'estimation analytique des coûts. Cette intégration permet de paralléliser les évaluations environnementales et économiques.

Outre ces aspects, que nous qualifions de relatifs au support fonctionnel, la mise en œuvre de cet outil selon une perspective plus longue offre au niveau méta-fonctionnel de supporter la construction de relations entre les éléments des deux branches de la hiérarchie. La quantification de ces relations permet d'envisager des estimations de coût paramétriques. Celles ci, moins gourmandes en ressources, peuvent progressivement compléter l'approche analytique suivie pour écrire la branche dépenses.

4.4 Conclusion

Concept polysémique, la valeur peut être utilisée dans un cadre de conception, notamment à travers l'analyse de la valeur. Sa définition dans ce contexte en fait un véritable outil de conception, qui supporte et prescrit l'évaluation des produits. Sa prise en compte nécessite une approche multicritère pour cerner sa dualité, liée à la considération combinée des services rendus par le produit, et des dépenses nécessaires pour en bénéficier. Nous proposerons dans le chapitre suivant d'étendre la définition de ce concept, et d'utiliser la valeur comme outil support au processus de conception dans une démarche opportuniste.

5 Conclusion

Nous avons, dans ce chapitre, passé en revue divers travaux existants, que nous avons jugés pertinents pour leur capacité à supporter les aspects évaluatifs du processus de conception. Dans un premier temps, nous avons recensé de nombreux outils associés à des méthodes de

conception reconnues, et identifié les navigations, au sein d'un processus de conception multidimensionnel, que ces outils supportent. Nous avons ensuite présenté les outils répondant à deux problématiques d'évaluation mono-dimension particulières, l'estimation des coûts et l'analyse du cycle de vie, puis traité des prises de décision multicritère. Nous avons notamment étudié l'usage des outils d'aide à la décision multicritère dans une démarche d'analyse de la valeur.

Cette étude nous a permis de mettre en valeur les points suivants :

- L'utilisation des outils associés aux méthodes de conception est envisagée dans une démarche séquentielle, de part la construction des méthodes de conception sur un modèle séquentiel du processus de conception. De ce fait, les navigations supportées par ces différents outils sont, dans un tel contexte, couplées à d'autres navigations, selon les axes confondus par les modèles (le temps, le niveau de définition du produit...).
- Des outils existent pour formaliser, supporter, guider, structurer l'évaluation d'un produit selon un aspect particulier, par exemple le coût. Ces outils peuvent se baser sur plusieurs démarches, dont la précision et les ressources nécessaires augmentent avec l'état de définition du produit et de son cycle de vie.
- Des outils existent pour supporter l'évaluation comparative, et les décisions associées, de plusieurs alternatives selon plusieurs critères. La mise en œuvre de tels outils dans un contexte de conception questionne le schéma dynamique sur lequel la décision supportée se base. Ces outils s'appliquent en effet à des produits dont le niveau de définition permet l'évaluation face aux critères préalablement exprimés, indépendamment des solutions proposées. Les composantes du triplet {spécifier, générer, évaluer} sont considérées comme des phases indépendantes du processus.
- L'utilisation combinée de plusieurs outils est envisagée dans la littérature. Cette combinaison permet par exemple d'orienter les activités de reformulation et/ou d'évaluation vers une prise en compte de la valeur des solutions proposées.

Nous nous attachons dans la suite de cette thèse à proposer un support au processus de conception. Pour ce faire, nous envisagerons la mise en œuvre d'outils existants non plus selon un modèle séquentiel du processus de conception, mais selon le modèle co-évolutif proposé dans la partie 2. Les différentes navigations supportées peuvent ainsi être considérées indépendamment des autres axes descriptifs d'un processus de conception multidimensionnel.

CHAPITRE 8. VERS LE SUPPORT DU PROCESSUS DE CONCEPTION SELON UNE DÉMARCHE OPPORTUNISTE

La problématique à laquelle nous nous attacherons à répondre dans ce chapitre est celle du support à la réalisation du processus de conception. Dans la partie descriptive de ce travail de thèse, nous avons proposé de modéliser le processus de conception par quatre activités, vues comme des navigations dans et entre les domaines de la représentation du problème et de la solution, impliquant la mobilisation d'objets appartenant à quatre classes (Tableau suivant).

Classe	Besoin	Contrainte	Critère d'évaluation	Draft
Activité associée	Reformulation		Evaluation	Définition
Domaine décrit	Représentation du problème		Le critère émerge de la comparaison d'éléments des deux domaines	Représentation de la solution

Tableau 8.1 Les 4 classes d'objets proposées dans la partie précédente.

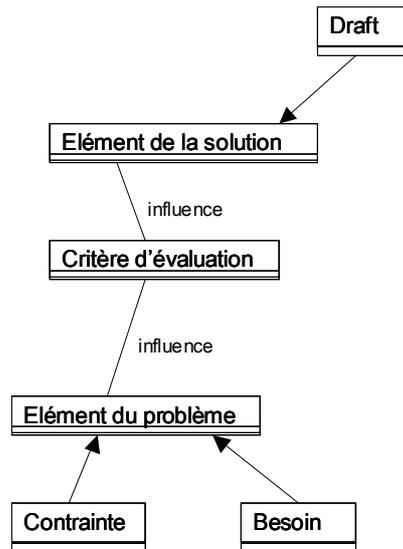


Figure 8.1 Diagramme des classes.

Ces classes sont reliés par des associations qui reflètent la nature de l'évaluation. La figure 8.1 illustre cette structure dans un diagramme des classes [FAV03]. Alors que cette structure est la proposition d'un modèle descriptif des objets impliqués dans le processus de conception, nous proposerons dans ce chapitre de compléter cette structure afin de construire l'artefact de notre outil support au processus de conception. Pour ce faire, dans un premier temps nous réinterpréterons plusieurs concepts existants proposés à travers ces outils, qui décrivent les navigations que ces outil supportent. Dans un second point nous nous concentrerons sur le concept de valeur.

1 Une structure d'objets co-évolutive

Le chapitre précédent nous a permis d'étudier de nombreux outils existants s'attachant à supporter des aspects évaluatifs du processus de conception. Nous présenterons les concepts dont nous avons jugé la mise en œuvre dans un cadre co-évolutif pertinente, les analyserons à la lumière du modèle co-évolutif du processus de conception et les traduirons au sens de la structure d'objets proposée dans la partie précédente de ce mémoire.

Nous retiendrons ainsi le concept de fonction, présent dans de nombreux outils et méthodes de conception, que nous traduirons comme un attribut s'appliquant aux objets impliqués dans ce processus de conception. En outre, nous avons décrit les outils selon les directions supportées par leur mise en oeuvre au sein d'un processus de conception défini par plusieurs dimensions. Parmi ces directions, nous avons retenu celles décrites par les concepts de décomposition, de justification, d'influence, d'appréciation, de corrélation et de pondération. Nous proposerons

our décrire ces concepts des associations liant les classes proposées, ainsi que de nouvelles classes.

1.1 Le formalisme fonctionnel, un attribut s'appliquant aux objets

Pahl et Beitz [PAH84, 96], ou Hubka [HUB88] considèrent qu'une fonction réalisée par un système technique, consiste en la conversion d'un flux (d'énergie, de matière ou de signal) en un autre (de même nature ou non), impliquant nécessairement d'autres conversions parasites.

L'analyse fonctionnelle [NF] définit trois types de fonctions : Les fonctions externes, qui peuvent être d'interaction ou d'adaptation, et les fonctions techniques, ou internes. Ces fonctions sont exprimées comme des verbes dont le sujet est le produit à concevoir (pour les fonctions externes) ou un composant de ce produit (pour les fonctions internes).

Le modèle FBS [GER90, UME90] décrit le problème de conception sous forme de fonction, et définit le concept de comportement qui décrit le fonctionnement des solutions.

La notion de fonction peut être interprétée selon de nombreux points de vue. Prescrite, dans l'analyse de la valeur, comme outil pour l'expression fonctionnelle du besoin (Analyse fonctionnelle externe), ce concept est alors une formalisation d'un élément de la représentation du problème. Utilisée comme outil d'analyse, elle décrit le fonctionnement de la solution considérée (fonction technique) et donc participe à sa représentation. En ce sens la fonction peut être vue comme un support à la mise en œuvre des activités de reformulation (spécification), de définition (analyse) et d'évaluation (en comparant spécifications et performances estimées déduites de l'analyse⁷⁹). Ces activités sont alors associées à une navigation selon l'axe concret/abstrait.

Nous noterons de même la distinction, dans le modèle FBS vu dans la partie précédente [GER90, UME90], entre les fonctions, qui désignent le but à atteindre, et les comportements, qui décrivent la solution (Bs) ou la prescrivent, la spécifient (Be). L'évaluation implique alors la comparaison de ces deux éléments [GER02].

Les arbres fonctions/moyens formalisent différemment cette dualité. Ainsi une fonction peut être à la fois (Figure suivante) :

- La représentation d'un besoin, induit par la solution au dessus d'elle, et rempli par la solution en dessous. En ce sens elle est liée par une relation de justification aux moyens qui l'encadrent.

⁷⁹ Plus précisément les niveaux atteints par les critères et les performances estimées [YAN00].

- La représentation d'une solution en terme fonctionnel, que ce soit de façon externe (le moyen est «sous» la fonction) ou interne (le moyen est «sur» la fonction). La fonction est alors liée par une relation de niveau d'abstraction, associée à une relation de détail (analyse des fonctions internes).

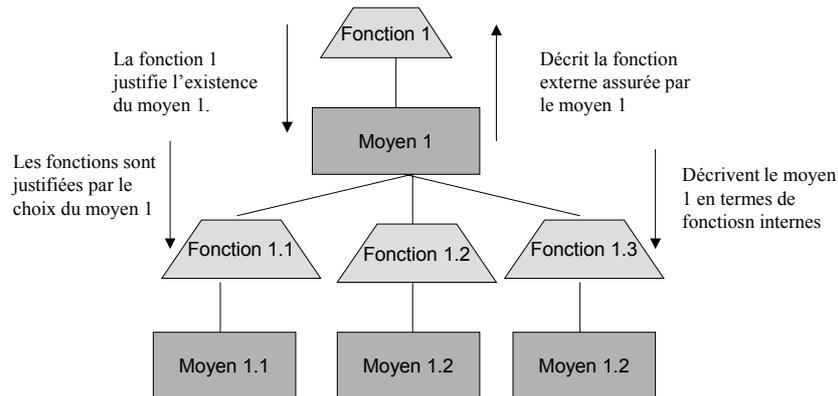


Figure 8.2 Les arbres fonctions/moyens pour décrire l'axe de justification (à gauche) ou d'abstraction/détail (à droite).

La notion de fonction permet de décrire à la fois les domaines de représentation du problème, de la solution et éventuellement de l'évaluation. Au sens de la structure d'objets proposée, cette assertion implique qu'un objet, qu'il soit constitutif du domaine de la représentation du problème ou de la solution peut être exprimé sous forme fonctionnelle. Nous proposons donc d'adjoindre aux trois classes considérées, c'est à dire **draft**, **besoin** et **contrainte** un attribut booléen *formalisme fonctionnel*, qui décrit la nature, fonctionnelle ou non, des objets instanciant ces classes.

1.2 Des associations décrivant les navigations

Nous avons décrit, dans le chapitre précédent, les outils étudiés comme supportant la navigation selon une direction donnée au sein d'un processus de conception multidimensionnel. Nous reprendrons les concepts proposés pour décrire ces navigations, et les assimilerons à des associations qui s'appliquent entre les classes proposées, et s'instancient en associations d'objets.

1.2.1 Décomposition

La notion de décomposition est présente dans de nombreux travaux. Elle s'applique à autant d'objets. Nous pouvons ainsi recenser :

- La décomposition de fonction en sous-fonctions (Pahl et Beitz et toutes les approches fonctionnelles).
- La décomposition d'objectifs (QFD⁸⁰, AHP et la théorie de l'utilité, Pahl et Beitz, Pugh).
- La décomposition du cycle de vie (estimation analytique des coûts, analyse du cycle de vie). L'analyse de la valeur recommande la mise en œuvre d'une analyse fonctionnelle pour chaque étape du cycle de vie (situation de vie) du produit.

Il s'agit alors de préciser, de détailler la représentation du problème, en supportant les reformulations.

En outre, le domaine de représentation de la solution est décomposable sous forme hiérarchique indépendamment du formalisme fonctionnel (arbres fonctions/moyens, [SUH01, OVE03]). Nous ne traiterons pas plus en détail, dans le cadre de ce mémoire, des propriétés de cette décomposition qui participe à la mise en œuvre des définitions.

Selon une vision multidimensionnelle du processus de conception, ces décompositions prennent des sens différents. Certaines approches se destinent à formaliser et structurer les éléments d'un domaine, et en ce sens supporter les reformulations (les arbres d'objectifs). La décomposition préconisée par le FAST et par les arbres fonctions/moyens diffère de celles-ci. En effet, la décomposition des fonctions externes en fonctions techniques peut correspondre à la fois à une décomposition selon l'axe du niveau de détail, de la représentation fonctionnelle de la solution considérée⁸¹(et en ce sens supporter les définitions) et des objectifs à remplir en terme fonctionnel (et alors participer aux reformulations); et à une navigation le long d'un axe de justification (comment/pourquoi).

Nous retiendrons le concept de **décomposition**⁸² et l'appliquerons à notre structure d'objet sous la forme d'une association de classes. Nous définirons cette association comme s'appliquant au sein d'un domaine, et donc aux classes **besoin, contrainte et draft**. La notion de justification évoquée est traitée par une autre association.

⁸⁰ Nous remarquerons que QFD préconise la hiérarchisation des éléments de la «voix du client», mais que les autres objets impliqués sont ensuite considérés indépendamment de toute hiérarchie.

⁸¹ C'est dans ce sens que cet outil (Function.Analysis.System.Technique) est considéré par l'analyse de la valeur.

⁸²Selon une approche opportuniste, le nom de cette relation ne prescrit rien quant au sens dans lequel elle doit être établie. Cette relation matérialise donc aussi bien la décomposition que la recombinaison.

1.2.2 Justification

Les règles de décomposition fonctionnelle proposées par l'analyse fonctionnelle, à travers le FAST, permettent de formaliser, outre la décomposition, la relation de justification qui existe entre les fonctions internes et externes. En effet, les fonctions internes sont, selon l'approche de la norme, les moyens qui permettent de remplir les fonctions externes. Nous noterons la similitude avec les liens des arbres fonctions/moyens.

Le lien de justification explicité à travers le FAST apparaît sous un jour nouveau à la lumière d'un modèle co-évolutif. En effet, alors que le schéma de mise en œuvre préconisé pour cet outil, sur la base d'un modèle séquentiel, considère l'écriture des fonctions externes comme préliminaire à la proposition et l'analyse de solutions, le lien de justification est unidirectionnel entre problème (les fonctions externes) et solution (les fonctions techniques), et ainsi une solution existe pour remplir un besoin. Selon une approche co-évolutive, opportuniste du processus de conception, le besoin peut être reconsidéré à la lumière des solutions proposées et éventuellement évaluées.

Ainsi apparaît la notion de besoin ou de contrainte interne ou induite. En effet le choix d'une solution peut conduire à définir de nouveaux besoins ou contraintes [LIN99]. Shimomura et al. définissent une relation d'implication entre deux fonctions, lorsque la satisfaction d'une fonction choisie est conditionnée par la satisfaction d'une autre, qui devient un nouvel élément du problème [SHI96]. Cette relation est alors une manifestation du découplage, local, entre les axes de justification et problème/solution. Alors que globalement, la solution est justifiée par le problème auquel elle répond, localement un élément de la représentation de la solution peut justifier un élément de la représentation du problème.

La relation de justification, associée à cette navigation est donc polymorphe. Elle peut correspondre à la mise en œuvre d'une activité de conjecture/définition (la proposition d'une solution *pour* répondre à un problème), comme d'une activité de reformulation (l'écriture d'un nouvel élément du problème justifié par une solution).

Le déploiement proposé par la Maison de la Qualité pour la pondération des quoi et des comment participe à la construction d'une relation de justification. La pondération importante attribuée à un comment est justifiée par l'importance des quoi sur lesquels il a une influence.

Au sens de notre structure d'objets, une association de **justification** lie, possiblement dans les deux sens, la classe **draft** aux classes **besoin** ou **contrainte**.

1.2.3 Influence(s)

Nous avons vu que l'outil Maison de la Qualité, proposé à travers la méthode QFD, permettait par sa matrice centrale de recenser et de quantifier les relations d'influence qui existent entre les caractéristiques d'une solution (les comment) et les éléments de la représentation du problème (les quoi). La méthode SPEC propose de quantifier l'influence des performances estimées d'une alternative sur la probabilité de réussite des objectifs du projet.

La relation d'influence décrite dans la matrice centrale de la maison de la qualité supporte une navigation le long de l'axe problème (les quoi) / solution (les comment). La construction d'une relation d'estimation des coûts, comme d'une courbe de probabilité de réussite [YAN00] suit le même schéma. Cette navigation, que nous avons définie comme étant une évaluation, est ainsi associée à la construction d'une relation entre deux éléments des représentations du problème et de la solution, cette relation étant un critère d'évaluation.

Dans un contexte opportuniste, cette relation peut s'appliquer à un élément de la représentation du problème déjà exprimé (l'activité d'évaluation est postérieure à la reformulation associée) comme au contraire se construire alors que l'élément du problème sollicité n'a pas encore été exprimé (l'évaluation précède la reformulation). Il conviendra alors de considérer la prise en compte de tels éléments du problème par les outils support à la reformulation⁸³.

Pour implémenter cette notion nous définirons une association **d'influence**, qui lie la classe **critère d'évaluation** aux classes **besoin** ou **contrainte** (les éléments du problème auxquels l'évaluation fait référence) et à la classe **draft** (la solution jugée par l'évaluation).

1.3 De nouvelles classes

Parmi les concepts retenus des outils existants, certains sont traduits, dans l'artefact de notre outil par de nouvelles classes. En effet les objets impliqués dans la mise en oeuvre du processus de conception correspondants à ces concepts montrent certaines propriétés qui les distinguent des objets des classes déjà proposées.

⁸³ Cette relation participe, selon QFD, au *déploiement de la voix du client*, notamment lorsque les évaluations sont faites par des clients utilisateurs du produit. Ce déploiement est selon une démarche opportuniste «de la voix» et «vers la voix» du client.

1.3.1 Caractéristique

Par analogie avec les travaux issus d'Europe du Nord, nous compléterons notre structure avec la classe **caractéristique**. Les objets de cette classe décrivent ainsi les éléments descriptifs de la définition de la solution (*la position du sac, son orientation, le procédé de fabrication...*) auxquels s'adressent les objets de la classe draft (*derrière la selle, horizontal, moulage injection*).

1.3.2 Appréciation

Pahl et Beitz [PAH84, 96], ou Hubka [HUB88] traitent de la caractérisation des fonctions attendues en terme de définition des flux entrants et sortants de façon quantitative, qualitative et économique. L'analyse fonctionnelle traite de critères d'appréciations, qui adjoints de niveau et de flexibilité (CRINIFLEX) caractérisent les fonctions attendues du produit. Nous remarquerons ici la pertinence du formalisme proposé dans [YAN00] pour décrire le niveau objectif d'un critère d'appréciation sous la forme d'une courbe de satisfaction. La notion de contenu de fonction [SHI96] est selon nous similaire dans sa finalité. Ces éléments sont donc proposés par ces outils pour supporter les activités de reformulation, leur usage correspondant à une navigation de « problème exprimé » vers « problème exprimé et quantifié »..

Cette navigation est double. En effet, il y a mobilisation d'une part d'un lien de précision, de qualification, de caractérisation entre deux objets de la représentation du problème (la fonction et le critère [NF] ou le modifieur [SHI96]) et d'autre part d'un lien d'appréciation, de quantification (le critère et le niveau, le modifieur et le contenu de fonction).

Ce lien de quantification, d'appréciation est présent dans les outils d'aide multicritère à la décision à travers plusieurs formalismes. Les fonctions d'utilité ou les seuils de la méthode Electre participent ainsi à la quantification des objectifs à atteindre, des éléments de l'expression du problème auquel les alternatives doivent répondre.

En ce sens, nous proposons une classe **appréciation**, dont les instances décrivent les objets impliquant cette notion de quantification. Cette classe est liée aux classes **contrainte** et **besoin** par une association du même nom. Les objets de cette classe peuvent prendre plusieurs formes. Ils peuvent par exemple être formalisés comme une fonction d'utilité [THU01] ou une courbe de satisfaction [YAN02]. Le but de ces deux formalismes est le même, c'est à dire rendre compte de la non linéarité entre l'interprétation, le jugement d'une performance, et sa mesure selon un *critère d'appréciation* physique objectif. Dans les modèles issus d'Europe du

Nord présentés au chapitre 4 [MOR93], cette non linéarité est décrite entre les propriétés d'un produit et ses qualités.

1.3.3 Corrélation

Outre les liens d'influence qui existent entre problème et solution, la maison de la qualité offre, par son toit, un outil permettant de recenser et de quantifier la corrélation (positive ou négative) qui existe entre deux caractéristiques de la solution (la taille et le poids d'un objet ne sont pas indépendants, et ces deux caractéristiques varient, la plupart du temps du moins, dans le même sens).

Nous avons, lors de notre étude de l'outil maison de la qualité, remarqué que sa mise en œuvre selon la démarche QFD supposait l'adoption des caractéristiques d'une maison comme spécifications de la maison suivante. Selon ce schéma, les relations de corrélation établies dans le toit, qui s'appliquent à des caractéristiques, sont toujours valables lorsque ces objets deviennent des spécifications. En considérant un processus de conception co-évolutif, l'étude des corrélations supportée par cette partie de l'outil peut alors s'appliquer aussi bien à la représentation de la solution⁸⁴, et en ce sens participer à l'activité de définition, qu'à la représentation du problème, et en ce sens participer à une activité de reformulation.

Nous proposons une classe **corrélation** dont les instances décrivent ces relations. Cette classe est associée aux classes décrivant la représentation du problème (*besoin* et *contrainte*) via une association du même nom. Une association de type justification est en outre possible avec la classe draft⁸⁵.

⁸⁴Nous n'avons pas implémenté cette configuration.

⁸⁵ D'après la méthode TRIZ, un nouveau principe de solution peut faire disparaître une corrélation négative entre deux éléments du problème.

1.3.4 Pondération

Pahl et Beitz, l'analyse de la Valeur, Pugh, le QFD et l'aide multicritère à la décision⁸⁶ proposent tous de décrire l'importance relative des différents éléments qui décrivent les objectifs à remplir. Ceux ci ne sont pas en effet tous équivalents. Les formalismes proposés diffèrent, sont associés ou non à la notion de décomposition hiérarchique. Néanmoins toutes ces approches permettent de préciser, de structurer, de formaliser l'expression du problème, et ainsi de supporter les reformulations.

Nous noterons que pour certains formalismes (l'analyse fonctionnelle par la notion de taux d'échange, les fonctions d'utilité ou les seuils d'ELECTRE [LON02b]), il existe un couplage entre les notions de pondération (et de décomposition) et d'appréciation. Ainsi il est possible de pondérer les différents critères qui participent à l'appréciation d'une fonction.

Nous proposons donc une classe **pondération** dont les instances décrivent les poids, exprimés possiblement par plusieurs formalismes⁸⁷. Cette classe est associée par une relation du même nom à la classe **besoin**. Nous avons en effet défini une contrainte comme une limitation, une obligation à respecter, et dont l'importance n'est alors pas relative, alors que les besoins décrivent les objectifs, les finalités du produit.

1.4 Le formalisme retenu

Nous avons choisi d'utiliser le langage UML pour représenter l'artefact proposé [FAV03]. Afin de clarifier la structure proposée, nous avons introduit des superclasses généralisant les classes existantes. Ainsi, les classes **besoin** et **contrainte** héritent de la classe **élément du problème**, et toutes les classes héritent de la classe **objet mobilisé dans le processus de conception**, dont les instances sont définies par leur auteur et leur moment d'énonciation. La figure suivante présente notre artefact sous la forme d'un diagramme de classes.

⁸⁶ Sauf pour un outil de la famille ELECTRE (Electre IV)

⁸⁷ Nous ne prescrivons pas de formalisme précis pour cet attribut, celui ci peut être exprimé sous forme qualitative (important/peu important) ou quantitative, un ratio ou un poids entaché d'imprécision par exemple [YAN00]

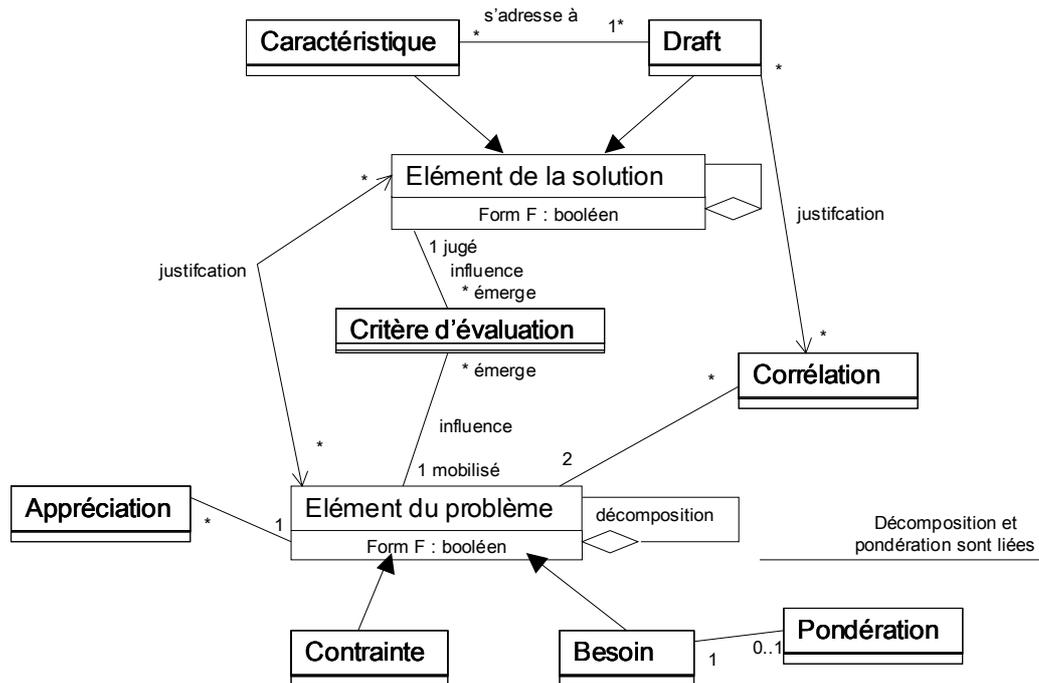


Figure .8.3 La structure d'objet enrichie.

2 Intégrer l'outil valeur

La valeur, définie par les normes relatives à la méthode associée, constitue un outil support au processus de conception, en prescrivant un objectif ultime pour la conception, qui est de chercher à maximiser la réponse au besoin de l'utilisateur, et/ou de minimiser les dépenses afférentes à ce besoin. Nous proposerons dans un premier temps d'étendre la définition normalisée de ce concept, puis de compléter notre outil artefact avec une nouvelle classe d'objet, afin d'y intégrer cette valeur.

2.1 Une définition plus large

Défini par la norme comme un rapport entre satisfaction du besoin du client et dépense afférente au produit, la valeur du produit, si elle est suffisante, permet de satisfaire les deux acteurs du couple client/entreprise. Les dernières années ont vu croître l'importance d'un troisième acteur, au sein des échanges économiques liés au produit. En effet, l'émergence des notions de développement durable, de responsabilité et d'éthique ont impliqué la société et l'environnement dans le lien entre client et entreprise [LON01]. La vision actuelle de la valeur revient alors à considérer les besoins de ces nouveaux acteurs comme des contraintes à respecter, laissant aux pouvoirs publics le soin de les déterminer. Une autre approche possible

consiste à considérer les besoins de tous les acteurs dans les décisions, en tenant compte des performances environnementales et sociales des produits, outre leurs performances économiques et techniques [AEOLOS].

Pour réaliser cette prise en compte globale, nous proposons de compléter la définition du concept de valeur, remplaçant la notion de dépense afférente au produit, par celle de *Ressources relatives à toutes les étapes du cycle de vie du produit*. Cette notion de ressources est empruntée à la modélisation du cycle de vie du produit selon le formalisme IDEF0 [KIR04]. Ainsi, par ressources nous entendons aussi bien consommation qu'émission, que ce soit de matière, d'énergie, d'espace ou d'équipement et de main d'œuvre. Elle permet de prendre en compte les besoins des acteurs environnement et société en intégrant, dans les objectifs de la conception, les consommations ou émissions de ressources, selon des critères économiques aussi bien que sociaux ou environnementaux [LON02, 02a]. Alors que le terme dépense sous entend une performance économique, le terme de ressources permet de mettre au même niveau les autres dimensions de la performance des produits.

Nous noterons qu'au sens de la définition proposée, les besoins de ce que nous appellerons les acteurs internes (l'entreprise, et les acteurs des processus de fabrication, voire de fin de vie) s'expriment à travers des ressources. En effet, alors que nous retenons le terme besoin pour désigner la finalité du produit, la justification de son existence, les besoins du fabricant ou de l'acteur de fin de vie ne sont pas à proprement parler la raison d'être du produit. Néanmoins, il est possible d'exprimer ces besoins sous forme de ressources. Une mauvaise fabricabilité correspond par exemple à des ressources nécessaires importantes pour la fabrication.

2.2 Au sens de notre structure d'objets

La valeur telle que nous l'avons redéfinie est un indicateur global des performances du produit. Prescrire cet indicateur comme outil de conception nécessite de supporter l'évaluation face à des critères de valeur, donc d'exprimer un problème qui tienne compte des besoins de l'utilisateur et de ceux de tous les acteurs du cycle de vie du produit, à travers les ressources mises en jeu. Alors que la structure proposée plus haut décrit le besoin de l'utilisateur, la finalité du produit à travers la classe besoin, les ressources ne sont pas explicitement prises en considération. Nous adjoindrons donc à notre structure une classe **ressource**, qui hérite de la classe **élément du problème**. Les objets qui instancient cette classe désignent les consommations et émissions de ressources liées à tout le cycle de vie du produit. En ce sens, les objets de cette classe admettent :

- Un attribut qui désigne le *type de ressource* considéré : énergie, main d'œuvre, équipement/espace ou matière.
- Un attribut qui désigne la *dimension* (économique, environnementale ou sociale) de la ressource considérée.
- Les objets de cette classe peuvent être décomposés, comme toutes les instances de la class **élément du problème**. Cette décomposition peut alors être de type cycle de vie.

Les objets de cette classe ressources participent à la représentation du problème. Nous avons choisi de dissocier cette classe de celles de **besoin** et **contrainte**. Il est en effet possible de considérer les objets qui l'instancient comme des contraintes, si les performances environnementales et sociales des produits sont vues comme telles, ou des besoins, des objectifs visés pour la conception, dans une approche d'évaluation positive [CHA00], encouragée par la définition étendue de la valeur.

2.3 Conclusion

Nous avons proposé, pour intégrer la valeur dans notre support au processus de conception, de définir une classe **ressource**, qui participe à la mise en œuvre de l'activité de reformulation. Les propriétés de cette nouvelle classes sont illustrées dans la figure suivante :

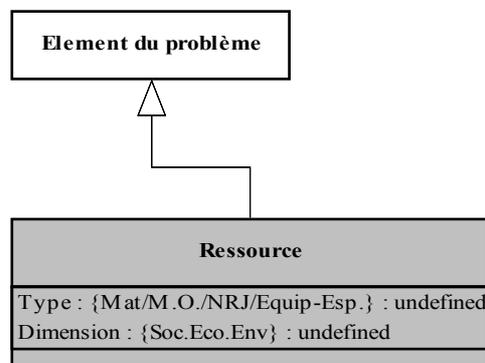


Figure .8.4. La classe d'objets ressource.

3 De la structure d'objets à l'outil

3.1 Reformulations et évaluations

La structure d'objets proposée doit être vue comme un formalisme destiné à supporter la mise en œuvre des activités que nous avons qualifiées de relatives aux aspects évaluatifs du

processus de conception. L'instanciation tout au long du processus de conception des objets des différentes classes permet en effet de construire :

- Une représentation du problème structurée et quantifiée. Le support à l'activité de reformulation, avec cette structure, permet en outre l'écriture du problème en terme de valeur, sur la base de la définition étendue adoptée plus haut pour ce concept.
- Une représentation des évaluations faites. Le support à l'activité d'évaluation est proposé par l'instanciation d'un critère d'évaluation.
- Une représentation du réseau de dépendance qui lie les différentes classes d'objets. Ce réseau de dépendance est construit autour des différentes directions de relations qui lient les objets constitutifs des domaines considérés.

Ces différentes représentations permettent ainsi aux acteurs du processus de conception de disposer d'une représentation commune et partagée du problème et de la nature des relations qui lient ses constituants. Les liens de justification qui unissent ces objets aux solutions proposées sont en outre explicités, de même que les évaluations faites. Cet outil offre par cette formalisation un support fonctionnel à la coopération.

3.2 Un cadre pour intégrer l'usage des outils existants

L'artefact proposé comme outil a été construit sur la base de plusieurs concepts proposés par des outils existants étudiés dans le chapitre précédent. De ce fait, cette structure constitue un cadre qui intègre les objets manipulés par ces outils. En effet, de par le schéma adopté, il est possible de représenter chacun de ces outils au sens de notre structure d'objets. Ainsi :

- Les différents arbres d'objectifs, tels que ceux proposés par Pahl et Beitz ou AHP, sont construits en représentant les éléments des classes besoin, contrainte et ressources, structurés par les relations de décomposition et éventuellement de pondération.
- Le FAST est représentable à travers les objets fonctionnels des classes draft et besoin, reliés par les relations de justification.
- La maison de la qualité, selon l'approche QFD classique, peut être construite en représentant en matrice les objets, non fonctionnels, des classes besoin et contrainte face aux objets de la classe draft. Les critères d'évaluation constituent alors le centre de cette matrice. La prise en compte des objets de la classe ressource permet en outre d'utiliser les potentialités de cet outil pour la prise en compte des critères environnementaux [ZHA99,

MEH01]. Il est aussi possible de mettre en oeuvre les objets fonctionnels dans la matrice QFD [YOS95, LYM92].

- Les différents outils d'aide à la décision sont implémentables en représentant face à face les objectifs (c.f. premier point) et les différentes alternatives décrites par les objets de la classe draft⁸⁸.

Nous avons décrit le processus de conception comme multidimensionnel, et caractérisé les outils existants selon les directions supportées dans un tel processus. L'artefact proposé, construit sur ce modèle multidimensionnel, englobe alors toutes ces directions. En ce sens, les outils existants sont considérés comme des vues, selon une direction donnée de notre structure d'objets. L'intérêt de disposer d'une cadre permettant de mettre en oeuvre, dans un contexte collaboratif, plusieurs outils sur la base des mêmes objets a déjà été soulevé [MAR01], [SCH03].

L'outil peut ainsi être utilisé pour enregistrer les objets correspondants aux outils de conception utilisés par les acteurs du processus. Le réseau de dépendance liant ces différents objets, que nous avons traduit en terme de navigations associées aux dimensions du processus de conception, assure la cohérence entre les différents outils potentiellement utilisés par les acteurs. Notre structure d'objet permet alors de supporter l'intégration de l'usage des différents outils considérés.

3.3 La dynamique de mise en oeuvre.

Nous avons proposé comme artefact de notre outil support au processus de conception, une structure d'objet. Il convient d'étudier la dynamique de l'usage qui peut être fait de cet outil. La partie précédente de ce mémoire nous a en effet permis de mettre en valeur l'aspect opportuniste de la planification des processus réels. L'artefact de notre outil a été construit sur la base d'un modèle co-évolutif du processus de conception, en accord avec cet opportunisme. L'usage de cet artefact doit permettre lui aussi de corrélérer cette dynamique.

En effet, les dimensions qui décrivent les différentes relations liant les objets de notre structure ont été identifiées et considérées indépendamment du phasage du processus d'une part, et d'autre part des autres dimensions⁸⁹. En ce sens, la mise en oeuvre opportuniste de cet

⁸⁸ N'ayant pas approfondi l'étude de la structure de la représentation de la solution, nous ne pouvons pas décrire plus précisément cette notion d'alternatives.

⁸⁹ Par opposition aux approches basées sur un modèle séquentiel.

outil est possible, aucune méthode ne prescrivant l'ordre de réalisation des activités, et donc d'instanciation des objets des différentes classes.

Les outils existant étudiés précédemment sont proposés dans la littérature en association avec une mise en oeuvre séquentielle. Cette démarche correspond à une prescription de l'ordre de réalisation des activités supportées par l'outil, et donc à une direction unique le long d'une direction de navigation préétablie. La structure d'objets permet d'instancier les objets correspondant à ces outils indépendamment de tout schéma prescriptif. Chacune des directions associées aux relations de notre structure d'objet peut être suivie en dehors de tout schéma pré-établi. La navigation selon ces directions peut notamment dépendre des solutions proposées. Il est ainsi possible, par exemple, de décomposer les objets instanciant la classe ressource, selon une approche cycle de vie, à mesure que le niveau de détail de la définition de la solution augmente. Il est en effet inutile de vouloir spécifier les consommations de ressources des différentes étapes de la fabrication d'un produit tant que son procédé de fabrication n'a pas été déterminé.

3.4 Un outil pour quel(s) acteur.

La proposition faite dans ce chapitre s'adresse au support des aspects fonctionnels et coopératifs du processus de conception dans un cadre de collaboration. Notre outil offre de supporter ces aspects par la formalisation, selon la structure proposée, des objets impliqués dans la mise en oeuvre des activités considérées et constitutifs des domaines choisis. L'utilisation de ce formalisme comme outil pour la coopération nécessite l'instanciation, en direct⁹⁰, des objets mobilisés au fur et à mesure de la mise en oeuvre des activités. Il convient de s'interroger sur l'acteur, ou les acteurs, auxquels incombe cette tâche. Deux schémas sont possibles, et envisageables complémentaires.

Nous avons construit l'artefact de notre outil en nous basant sur plusieurs outils de conception existants. Dans le cas d'un projet de conception pendant lequel un ou plusieurs de ces outils sont utilisés, la mise en oeuvre de ces outils correspond directement à l'instanciation de certains de nos objets. Notre outil permet alors, sans impliquer pour les concepteurs d'efforts autres⁹¹ que ceux associés à la mise en oeuvre de leur outils habituels, d'utiliser conjointement ces outils, qui manipulent les mêmes objets [SCH03].

⁹⁰ Nous traitons du support fonctionnel d'un processus donné.

⁹¹ Hormis bien sûr la saisie, en elle-même, des objets impliqués dans la mise en oeuvre des outils.

Si les outils étudiés ne sont pas utilisés dans le cadre de la conception considérée, il est nécessaire d'instancier les différents objets à mesure de leur énonciation. Cette tâche s'ajoute alors à celles que doivent mener les concepteurs. Il est possible d'envisager son traitement par un acteur dont c'est le rôle désigné⁹².

Ces deux schémas sont complémentaires, selon la proportion d'objets et de relations qui sont directement énoncés sous une forme décrite par la structure d'objets (autrement dit énoncés selon les préconisations de notre outil ou des outils étudiés), et d'objets et relations qu'il faut capturer, traduire et instancier.

3.5 Intégrer la valeur dans l'usage

L'outil proposé répond à la problématique de l'intégration de la valeur en conception à travers l'instanciation d'une classe **ressource**, destinée à participer à la représentation du besoin de tous les acteurs du cycle de vie entier des produits conçus. Ce formalisme permet en effet de situer les objets de la classe **ressource** dans le réseau de dépendance liant les objets impliqués dans la mise en oeuvre du processus de conception. Nous avons envisagé deux mécanismes par lesquels notre outil offre de participer à l'intégration des critères de valeur en conception.

D'une part, dans une démarche d'évaluation positive, il est envisageable de considérer les performances sociales et environnementales comme des besoins, des objectifs auxquels la conception doit répondre. L'outil offre alors l'artefact permettant de recenser, comparer, pondérer, décomposer et apprécier ces critères de valeur, d'identifier les liens qui les unissent aux autres objets du processus de conception et ainsi de pouvoir évaluer les solutions proposées face à ces critères. L'approche co-évolutive adoptée permet d'envisager la mise en oeuvre d'un tel mécanisme de façon opportuniste (Le niveau qu'il est possible d'atteindre dans une décomposition du cycle de vie dépend du niveau de définition de la solution).

D'autre part, cet outil peut encourager et supporter la démarche intellectuelle, philosophique sous-entendue par l'Analyse de la Valeur. En effet, cette méthode met l'accent sur la prise en compte du lien qui unit les deux faces d'un produit, Fonctions/Valeur et Artefact/Coûts [PER01]. Ce lien supporte un double questionnement :

- A quoi ça sert ? Quel service cela rend-il ?
- Que doit-on donner en contrepartie ?

⁹² Par exemple le chef de projet [POV01]

Ce questionnement permet de travailler sur «tous les fronts» de la recherche de la valeur, en dirigeant le progrès aussi bien vers une augmentation du service rendu que de la diminution des ressources nécessaires. L'artefact de notre outil est propice à permettre un tel usage, en mettant à disposition des concepteurs la carte des aspects traités dans le processus de conception, carte sur laquelle ce questionnement orienté Valeur peut être situé.

3.6 Synthèse

Notre outil se construit sur la base de la structure d'objets enrichie proposée. De par le formalisme adopté, les objets instanciés constituent une mémoire, un recueil classé, une base de donnée des objets mobilisés dans la mise en oeuvre du processus de conception et du réseau de dépendance qui les unit. Cet ensemble ne constitue pas l'intégralité de l'artefact envisagé comme outil. Les règles d'instanciation ou de représentation, les procédures d'affichage ou de saisie qui permettent avec cette structure de supporter l'usage envisagé, de même que les composants logiciels qui assureront ces fonctionnalités ne sont pas définis explicitement à ce stade de notre recherche.

Nous pouvons néanmoins, indépendamment de tout formalisme rigoureux, illustrer une architecture possible pour cet artefact, dans le cas des deux organisations envisagées dans le paragraphe 3.4 de ce chapitre. Dans un premier temps, il s'agit de l'outil vu comme intégrant l'utilisation des outils existants par les acteurs du processus de conception (Fig. 8.5).

La seconde configuration envisagée est celle impliquant un acteur dédié qui instancie les objets et paramètre l'outil afin d'utiliser les outils existants comme formalisme d'affichage (Fig. 8.6).

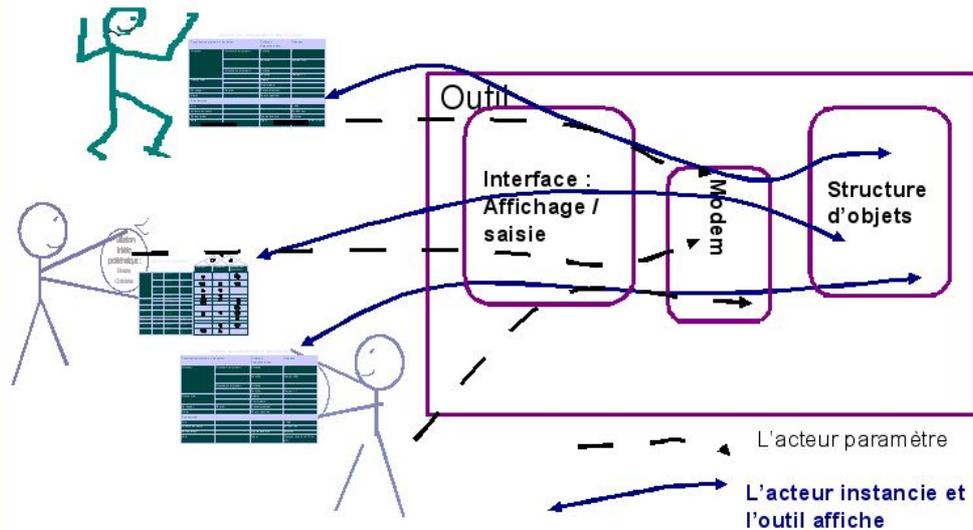


Figure .8.5. L'outil dans le cas de l'utilisation d'outils existants.

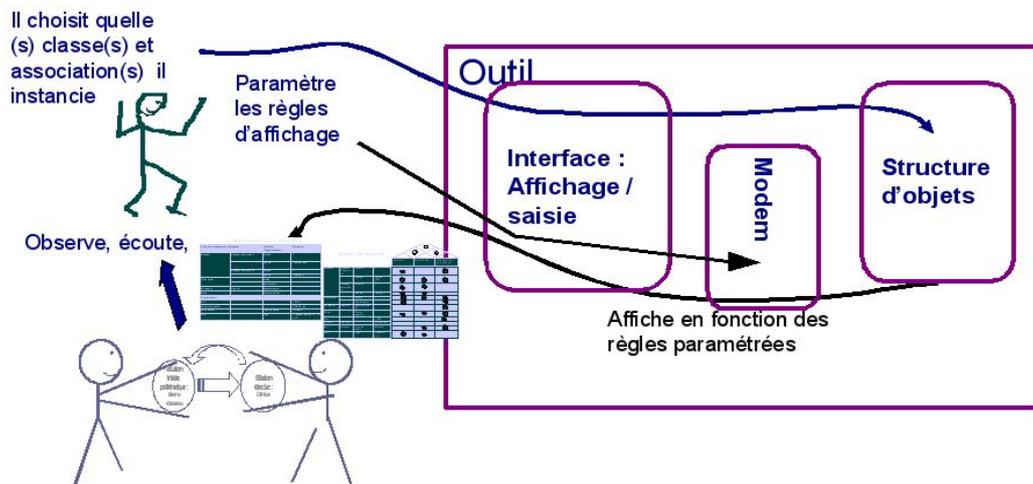


Figure .8.6. L'outil utilisé par un acteur dédié.

Nous pouvons en outre illustrer la teneur des deux constituants présentés ci dessus. La figure suivante décrit ainsi des règles de traduction (assurée par le *modem*) entre les classes de la structure d'objets et un formalisme étudié, la maison de la qualité (HoQ).

Le point de vue associé consiste à représenter dans une matrice (Fig.8.7) :

- En colonne de gauche, les objets de la classe élément du problème, éventuellement associés aux liens qui les unissent (Il est possible de s'appuyer sur un autre formalisme comme le tableau de caractérisation des fonctions).
- En ligne du haut, les objets des classes draft et caractéristique.

- Dans la matrice centrale, les objets de la classe critère d'évaluation qui décrivent le jugement de l'influence des caractéristiques sur les éléments du problème exprimés.

La figure suivant (Fig. 8.8) donne l'exemple de l'instanciation et de l'affichage d'objets tirés du corpus [DPW94] selon ce même formalisme.

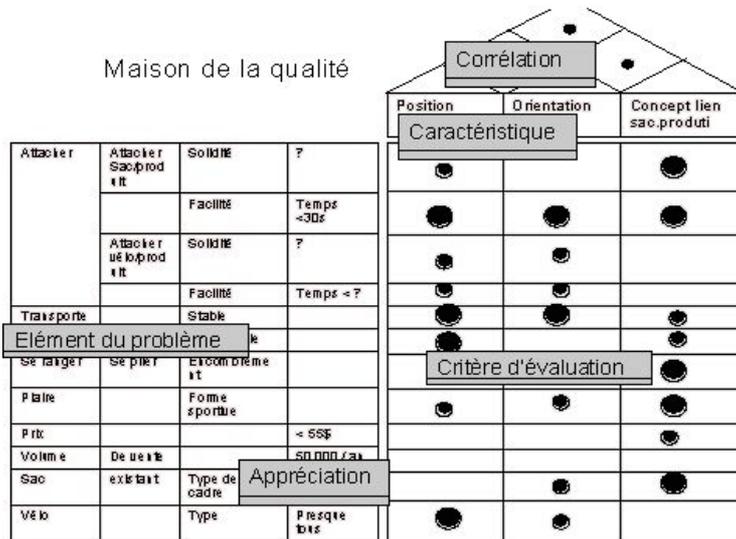


Figure .8.7. Exemples de règles de traduction entre un outil et la structure d'objets..

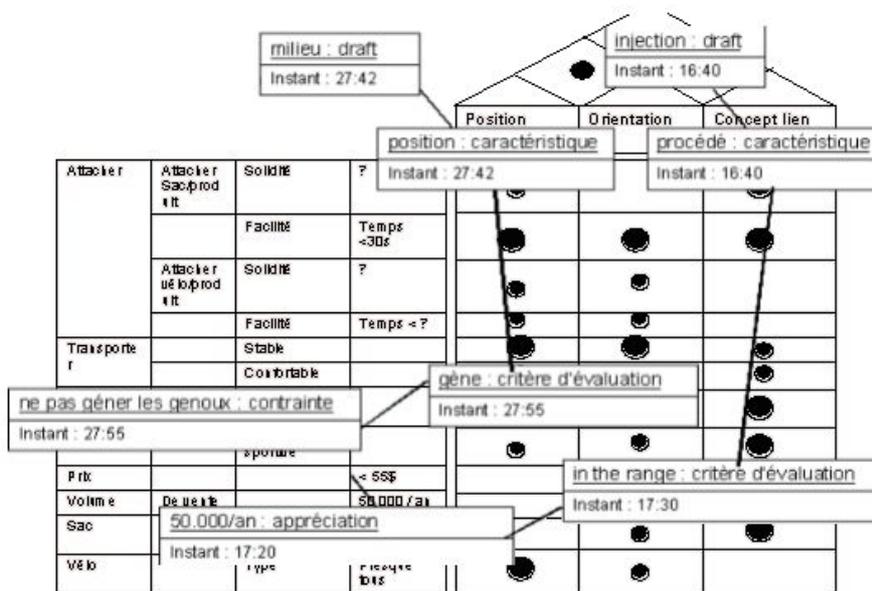


Figure .8.8. Exemple d'une vue sur la structure d'objets.

4 Intérêts de cet outil

L'outil proposé consiste en l'instanciation, selon une planification opportuniste, d'un ensemble d'objets structurés en classes. Cet outil a été construit en vue du support fonctionnel à la coopération, auquel il propose de répondre par la mise à disposition des concepteurs d'un formalisme permettant de structurer la représentation du problème ainsi que le réseau de dépendances qui lie les éléments constitutifs de cette représentation et de celle de la solution, notamment à travers l'émergence de critères d'évaluation. Il offre ainsi un cadre à la mise en oeuvre des outils de conception étudiés sur la base des mêmes objets, ce qui assure la complémentarité de leurs mises en oeuvre [MAR01], [SCH03], et facilite la coopération au sein d'une équipe pluridisciplinaire [LEG01]. Les outils peuvent en outre être utilisés selon une démarche opportuniste, en meilleure adéquation avec les processus réels que selon une planification hiérarchique associée à un modèle séquentiel du processus de conception [LON03]. Cet outil présente d'autres intérêts, relatifs à d'autres aspects du support au processus de conception.

4.1 Le support de la coordination

Bien que cet outil se destine principalement au support de la coopération entre les acteurs du processus de conception, son utilisation peut être envisagée pour supporter la coordination des tâches de ces acteurs. En effet, en formalisant les relations d'influences liées à la mise en oeuvre des évaluations, ainsi qu'en offrant une structure à la représentation du problème, l'artefact proposé peut être utilisé comme un tableau de bord aidant à la coordination des activités du processus de conception. Cet usage est envisagé, dans la littérature pour d'autres outils-artefacts, construits eux aussi sur la notion de réseau de dépendances liant les éléments des représentations du problème et de la solution [ULL97], [YAN00].

4.2 Le support de l'activité méta fonctionnelle

Nous avons construit cet outil afin de supporter l'activité fonctionnelle [BEG97] de conception, c'est à dire relative au déroulement du processus finissant avec la définition totale d'une solution. Son utilisation est envisageable pour supporter l'activité méta-fonctionnelle de conception. L'artefact de notre outil, à la fin d'un projet de conception pendant lequel il a été utilisé, formalise l'ensemble des objets associés aux représentations du problème et de la solution ainsi que les relations qui les lient. Ce formalisme peut alors être utilisé dans un cadre

de reconception. En effet, la représentation du réseau de dépendances liant les différents objets permet de propager, selon les directions liées aux relations proposées, les changements se produisant lors d'une reconception, qu'ils soient relatifs aux domaines de la solution ou du problème.

La structure d'objets proposée, une fois instanciée, constitue en outre un enregistrement de la logique de conception, par la prise en compte des relations de justifications. Notre artefact peut alors être vu comme un outil de design rationale. Il offre en ce cas l'intérêt d'être basé, du moins en partie, sur des objets réellement impliqués dans la mise en oeuvre de l'activité fonctionnelle de conception [AND03], ainsi que sur un modèle de l'évaluation tenant en compte ses caractéristiques cognitives. Notre outil, dans ce contexte de design rationale, peut de ce fait être qualifié de *feature-based*, par opposition aux outils dits *argumentation-based* proposés dans la littérature pour l'enregistrement de la logique de conception de produits⁹³.

Cette structure d'objets peut encore être considérée comme un outil d'apprentissage. En supportant la formalisation des relations liant les différents objets, son implémentation permet de faciliter leur identification. En tenant compte de la notion de besoin ou contrainte interne, la dépendance entre ces relations et les solutions qui les sous-tendent est en outre explicitée, ce qui permet de caractériser le domaine de validité de cette relation. La mise en oeuvre de notre proposition d'outil, à l'échelle de plusieurs projets de conception, peut par exemple participer à une transition, dans l'estimation des coûts (ou d'autres ressources), d'une approche analytique à une approche paramétrique (les CERs lient le coût et les paramètres, les caractéristiques du produit) voire analogique (une relation liant le coût d'un produit à ses fonctionnalités).

⁹³ De tels outils existent pour la conception logicielle [AND03].

5 Conclusion

Notre proposition de support au processus de conception consiste en la mise à disposition des acteurs du processus de conception d'une structure d'objets. Cet outil se destine à assister la mise en oeuvre des activités d'évaluation et de reformulation, en offrant un formalisme qui permet de partager au sein de l'équipe de conception une représentation du problème ainsi que du réseau de dépendances qui lie les éléments de cette représentation, entre eux et aux éléments de la représentation de la solution. Cet usage envisagé en fait un outil support à la coopération mise en oeuvre dans un processus de conception collaborative et intégrée. Il propose de plus de participer au support de l'activité méta fonctionnelle de conception, ainsi qu'à la coordination des activités. Ce chapitre décrit cette proposition d'outil comme :

- Une structure d'objets, organisés en classes. Cette structure d'objets est une représentation, à ce jour définie « sur la papier » mais non instanciée ou implémentée, de l'artefact de notre proposition.
- Une proposition d'usage, dans un contexte de conception décrit au sens du modèle co-évolutif.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

Chapitre 9.	Conclusions et perspectives	195
1	Notre contribution à la conception intégrée des systèmes mécaniques.	195
2	Du point de vue méthodologique	197
3	Perspectives	202
Références bibliographiques		207
Annexe : Enregistrement du corpus [DPW94] au sens des activités de notre modèle.		217

*J'qbpbe, je me fquz de j'qbpbe ! Le veux aimeb et mqubib dans le pézqbpbe je pjuz
tqtaj !*

Alcide Nikopol⁹⁴.

⁹⁴ Enki Bilal, *Froid Equateur*, Les Humanoïdes Associés, 1992.

Conclusions, perspectives, références et annexe

CHAPITRE 9. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce mémoire constitue la représentation du résultat de nos trois années et demi de thèse. Nous tirerons dans ce dernier chapitre les conclusions générales de ce travail. Dans un premier point nous porterons notre attention sur notre contribution à la problématique traitée. Dans un second point, de même que nous avons présenté en début de document la méthode de recherche suivie, nous tirerons un bilan de nos travaux du point de vue méthodologique. Nous ouvrirons finalement les perspectives de cette recherche.

1 Notre contribution à la conception intégrée des systèmes mécaniques.

Ayant choisi de contribuer à la production scientifique de modèles, méthodes et outils destinés à l'étude et à l'assistance du processus de conception, nous avons étudié certaines propriétés de ce processus. Nous avons ainsi fait état :

- De la nature du problème dont il est la résolution.
- De la difficulté de sa description, notamment du fait des nouvelles organisations industrielles dans lesquelles il s'implémente, et de sa dynamique.
- De l'influence des aspects qualifiés d'évaluatifs (représentation du problème et évaluation).

Nous avons alors traité de la modélisation, la représentation, la description de ce processus dans un contexte d'ingénierie concurrente et de travail collaboratif. Nous avons identifié ce processus comme étant, par nature, multidimensionnel, sa mise en oeuvre correspondant à une navigation le long de plusieurs axes, découplés de l'axe du temps. L'activité d'évaluation a été étudiée, au regard de sa place et de sa dynamique dans le processus de conception.

Le regard multidimensionnel sur le processus de conception nous a permis de proposer une classification des modèles existants du processus de conception basée sur les notions de domaine, d'activité et de phase, et ainsi de situer la considération faite de l'évaluation dans ces modèles.

L'approche co-évolutive considère l'évolution parallèle de la représentation du problème et de celle de la solution, et en ce sens offre un regard sur le processus de conception dans le plan décrit par les axes du temps et problème/solution. Nous avons alors, sur la base des approches co-évolutives existantes, construit notre proposition de modèle, combinant de façon simple les notions de domaine et d'activités. Ce modèle utilise en outre la notion d'objet pour désigner le produit de la mise en oeuvre des activités. Une étude de corpus nous a permis de valider :

- La capacité de notre modèle à décrire un processus de conception existant dans sa plus grande partie. Sa dynamique, opportuniste, est notamment décrite et quantifiée.
- La pertinence du paradigme co-évolutif.

Notre contribution répond ainsi à la première question de recherche posée dans le premier chapitre de ce mémoire : **Les modèles co-évolutifs sont ils pertinents pour décrire un processus de conception intégrée ?**

En nous appuyant sur ce nouveau modèle du processus de conception, nous sommes concentrés sur l'étude de son support. Nous avons défini les concepts de méthodes et d'outils au regard de notre contribution descriptive. Ainsi, chaque méthode est caractérisée par les dimensions du modèle sur lequel elle s'appuie, et les outils qu'elle propose supportent la navigation selon des directions définies par ces dimensions. Nous basant sur une approche co-évolutive du processus de conception, nous avons défini notre problématique de support au sens des activités du modèle, et ainsi choisi de nous concentrer sur les activités de reformulation et d'évaluation. Notre support est par ailleurs pensé en terme de coopération et d'activité fonctionnelle de conception.

L'étude des outils existants participant à cette problématique nous a permis de retenir plusieurs concepts intéressants, parmi lesquels celui de Valeur, ainsi que de décrire les navigations supportées par la mise en oeuvre de ces outils.

Nous proposons alors comme outil support au processus de conception une structure d'objets, dont l'instanciation formalise les objets mobilisés par la mise en oeuvre des activités du processus de conception. Ce formalisme s'adresse non seulement aux objets en eux-mêmes, mais aussi aux relations qui les unissent, et correspond aux directions de navigation retenues

des outils existants. En ce sens il participe à la représentation du réseau de dépendances liant les éléments du problème et de la solution. Les objets mis en oeuvre ou mobilisés par les activités d'évaluation et de reformulation sont traités plus en détail.

L'usage de ce formalisme est envisagé selon plusieurs schémas, impliquant des acteurs, des organisations et des procédures différents. L'usage des outils existants est notamment supporté dans une démarche opportuniste. Nous répondons donc à notre seconde question de recherche, **Comment supporter l'évaluation et l'expression du problème sur la base de ces modèles ?** Par la proposition d'un formalisme et de son usage, aptes à saisir, formaliser et représenter les objets impliqués dans la représentation du problème et émergeant des évaluations. Les relations qui régissent cette structure étant basées sur le modèle co-évolutif proposé d'une part et sur les outils existants d'autre part, un tel support du processus de conception promet d'offrir

- Une bonne adéquation avec les processus réels, du point de vue dynamique (planification opportuniste) comme cognitif (nature de l'évaluation).
- Une mise en oeuvre intégrée des outils existants.
- Un support envisageable aux aspects non traités, c'est à dire l'activité méta-fonctionnelle et la coordination des tâches de conception.

2 Du point de vue méthodologique

Il est important de situer les travaux de recherche effectués au cours de la thèse vis à vis du contexte global étudié, au niveau de la démarche comme de l'objet de notre étude. Pour ce faire nous présenterons deux travaux existants traitant des aspects méthodologiques de la recherche en conception de produits, et traduirons nos travaux au sens de ces deux approches complémentaires.

2.1 Un cadre méthodologique appliqué de recherche en conception de produit.

Les travaux de recherche en conception de produit ne suivent pas tous la même démarche. En effet, alors que certains consistent en l'analyse d'un processus industriel, pouvant éventuellement aboutir à la construction d'un modèle de ce processus, d'autres consistent en la construction d'un outil partant d'un modèle existant, ou traitent de l'utilisation possible d'un tel outil en milieu industriel. Il est possible de placer ces différentes approches sur un

cycle décrivant une démarche globale de recherche en conception de produit [BRI03]. Ce cycle représente l'étendue globale possible de la recherche en conception de produit. Dans le cadre d'une thèse de doctorat, pour des raisons organisationnelles comme de manque de recul, il est difficile d'en parcourir entièrement et pertinemment la totalité.

Dans la première partie de travail de thèse, suite à notre étude bibliographique centrée sur la valeur et l'évaluation, nous avons proposé un premier modèle qui a abouti à un outil d'aide à l'évaluation en conception. La mise en application de cet outil, sur un cas d'étude simple, nous a permis d'aboutir à la conclusion que cette approche n'était pas pertinente, du fait de son inadéquation avec les processus réels de conception. Nous pouvons situer cette approche sur le cycle précédent. L'étude bibliographique constitue le point d'entrée de cette démarche. Font suite la proposition d'un outil basé sur les aspects retenus comme pertinents de l'étude bibliographique (le modèle multicritère hiérarchique de AHP et la notion de Valeur) ainsi qu'un prototypage correspondant à la mise en application (en laboratoire) sur un cas d'étude simple (Fig.9.1). Ceci nous a permis de dégager certains aspects sur lesquels la suite de cette recherche s'appuie.

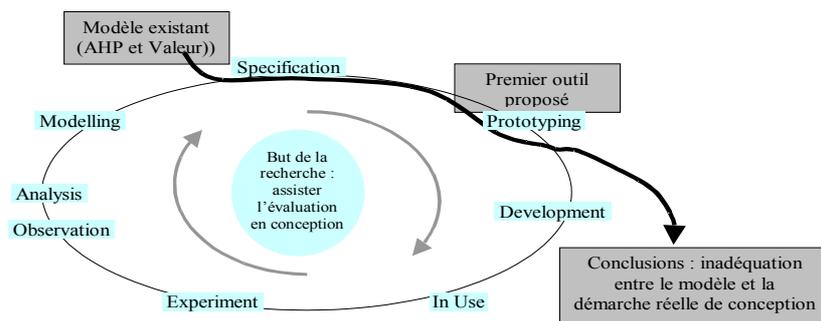


Figure .9.1 La première partie de notre travail située dans l'approche de [BRI03].

Comme nous l'avons vu dans le chapitre deux de ce mémoire, nous avons suivi une nouvelle démarche de recherche suite à ce constat. Celle ci, basée sur l'étude d'un corpus de conception existant, nous a conduit à proposer un nouveau modèle, plus en accord avec les processus réels de conception. Cette nouvelle démarche se situe donc, toujours dans ce cycle, selon le schéma de la figure 9.2 Notre point d'entrée consiste en une analyse d'une observation réalisée par d'autres chercheurs [DPW94]. Le reste de notre démarche a alors abouti à la proposition d'un modèle du processus de conception, à partir duquel nous spécifions un outil susceptible à plus long terme d'être instrumenté et confronté à l'usage dans un contexte industriel.

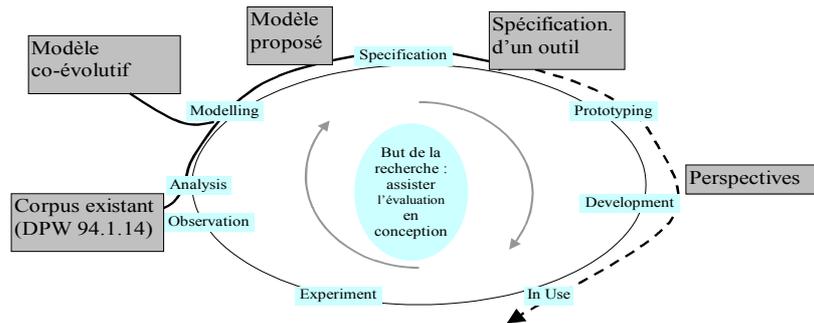


Figure .9.2 La démarche suivie lors de la seconde partie de notre travail de recherche, d'après [BRI03]

2.2 A Design Research Methodology.

Dans [BLE02], les auteurs mènent une réflexion sur la nécessité de disposer d'une méthodologie de recherche en conception de produits⁹⁵. Ils caractérisent la recherche en conception de produits en la comparant à d'autres recherches scientifiques. Dans notre domaine de recherche, il s'agit non seulement de comprendre le phénomène étudié (la conception), ce qui revient généralement à le modéliser, mais aussi d'utiliser cette compréhension afin de modifier la situation actuelle. Cette tâche requiert de pouvoir aussi modéliser l'objectif désiré et le changement entre les deux situations. De plus, l'objet étudié est intrinsèquement compliqué, étant constitué d'aspects techniques, humains, opérationnels, organisationnels ou économiques par exemple. Chacun de ces aspects est un sujet de recherche qui possède déjà ses propres méthodes de recherche. Ces aspects sont de plus extrêmement inter-reliés.

Afin de traiter la recherche en conception en tenant compte de ces caractéristiques, les auteurs proposent une méthode de recherche en quatre phases (Fig. 9.3).

⁹⁵ *Engineering design.*

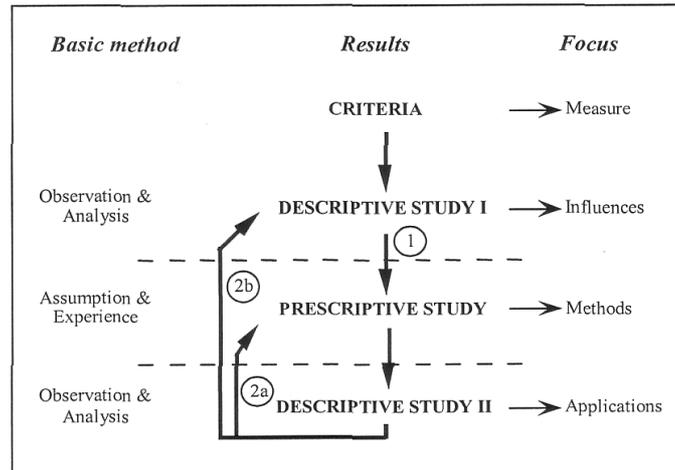


Figure .9.3 Méthode de recherche proposée dans [BLE02].

Les étapes de cette méthode sont :

- De définir les *critères de succès* du projet de recherche, ainsi que peut être des *critères mesurables* qui apprécient les premiers si ils ne sont pas mesurables eux-mêmes.
- Grâce à une *première étude descriptive* de la situation étudiée, associée à une revue de la littérature, de déterminer quels *facteurs* influencent les critères définis.
- *L'étude prescriptive* consiste ensuite (1), en se basant sur certaines hypothèses et en mettant en place plusieurs expériences, à développer un scénario et une méthode de modification de la situation étudiée afin de parvenir à l'objectif recherché. Cette étude correspond aussi à l'identification de *nouveaux facteurs*, susceptibles de décrire l'impact des prescriptions réalisées.
- A la suite de cette étude prescriptive, il s'agit, grâce à une *seconde étude descriptive*, d'évaluer la méthode développée. Il convient d'une part d'évaluer la qualité de la méthode mise en usage à un niveau opérationnel, du point de vue des acteurs impliqués et de son effet sur les facteurs influents (2a), et d'autre part de juger de l'impact de cette mise en usage sur les critères de succès préalablement choisis (2b).

Alors que dans la première partie de notre thèse nous avons, suite à une étude bibliographique, proposé une modèle puis un outil d'aide à l'évaluation en conception, nous n'avons pas défini préalablement de critère de succès. La mise en application de notre outil sur un cas d'étude industriel simple nous a alors permis de constater sa relative non-pertinence, ainsi que (du moins partiellement) d'identifier les raisons de cet échec. Nous pouvons illustrer cette démarche dans le tableau suivant.

Etape de la méthodologie	Formulation des critères de succès	Première étude descriptive	Etude prescriptive	Seconde étude descriptive
Réalisation	Non réalisée	Uniquement bibliographique	Proposition	Cas d'étude simple :
Résultat	-	Notion de valeur Importance de l'aspect multicritère (AHP).	Outil d'aide à l'évaluation. Expérimentation personnelle.	Détermination de facteurs d'échec : Inadéquation avec les démarches réelles de conception.

Tableau-9.1 Les étapes de la première partie de notre recherche.

La vision de ce travail selon cette méthodologie a été réalisée à posteriori⁹⁶. Néanmoins, cette analyse a permis de rediriger le cours de notre recherche, cette fois en s'appuyant sur les concepts dégagés par les les outils proposés dans [BLE02].

Ceci nous a permis, par exemple, à partir de ce que nous avons qualifié de facteurs d'échec suite à la première partie de notre travail, de définir des critères de succès et des facteurs influents pertinents. Nous pouvons donc présenter la démarche suivie lors de la seconde partie de notre thèse (Tableau 9.2).

Etape de la méthodologie	Formulation des critères de succès	Première étude descriptive	Etude prescriptive	Seconde étude descriptive
Réalisation	Tirée de l'analyse précédente	Bibliographique et corpus existant	Instrumentalisation de l'évaluation	Non réalisée sur un cas appliqué
Résultat	Meilleurs Q, C, D.	Facteurs influents (cf figure 9.4) Modèle co-évolutif du processus de C°	Spécifications d'un outil support à la conception.	La première partie de cette conclusion est le résultat de cette étude menée théoriquement.

Tableau 9.2 Les étapes de la seconde partie de notre recherche.

[BLE02] propose, outre la méthode décrite ci-dessus, un formalisme pour l'écriture des critères et facteurs influents (Figure 9.4). Les critères du succès choisis lors de l'élaboration de ce réseau sont très génériques, et, du fait de l'absence de connaissance d'une situation industrielle définie, nous n'avons pas identifié de critères mesurables. Les facteurs influents que nous avons identifiés, ainsi que les liens d'influences qui les unissent, ont été expliqués dans les chapitres précédents.

⁹⁶ Dans le cadre de l'European Summer School on Engineering Design Research, co-organisée par Lucienne Blessing, après environ un an et demi de thèse.

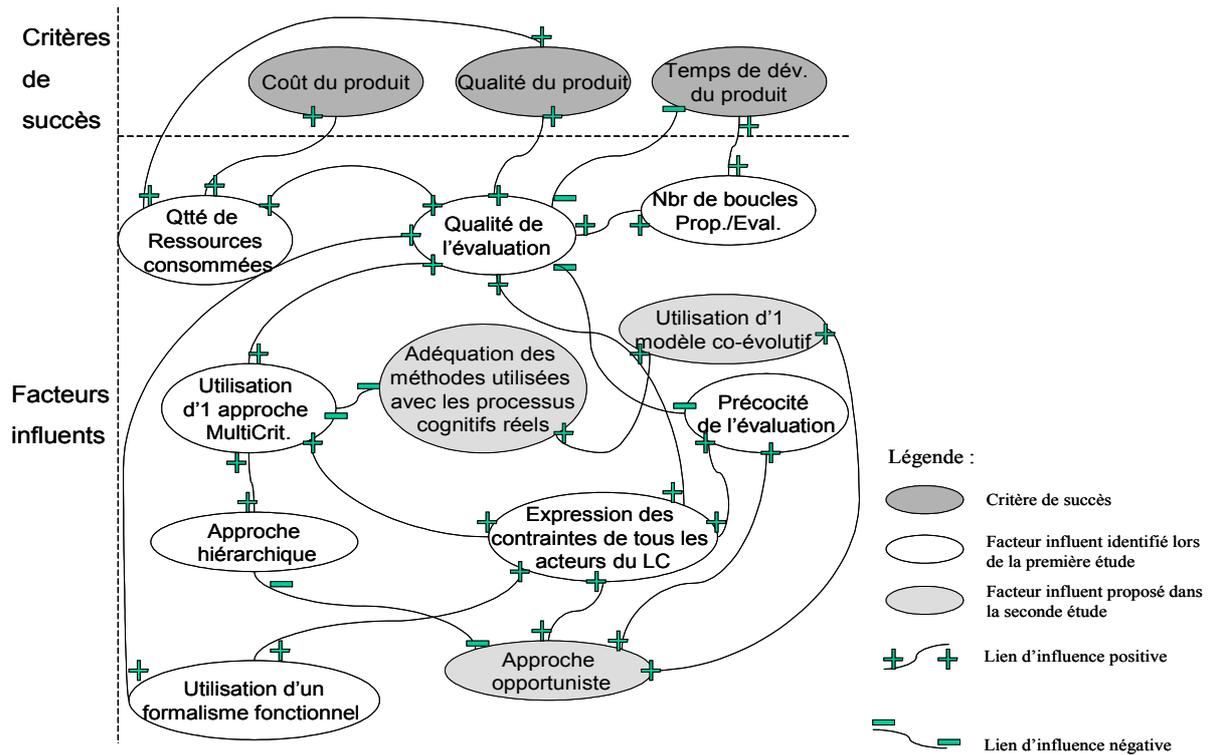


Figure .9.4 Le réseau des critères et facteurs influents de notre recherche⁹⁷.

3 Perspectives

3.1 Une validation du travail à poursuivre

Nous avons proposé un modèle co-évolutif du processus de conception qui a permis de décrire la majorité d'un corpus existant, validant en outre la pertinence du paradigme co-évolutif adopté. Il est nécessaire, au regard des conditions de sa réalisation, de considérer cette validation avec précaution. En effet, la proposition du modèle et sa validation ont été effectués par nos soins, la première activité s'inspirant de l'analyse du corpus servant à la deuxième. La rigueur scientifique imposant de pouvoir constater la capacité à prévoir ainsi que la reproductibilité de la mesure des résultats donnés par l'implémentation du modèle proposé, il convient de valider notre approche dans d'autres situations. Celles ci peuvent impliquer :

- L'analyse d'un corpus de conception avec notre modèle par un autre chercheur. Ceci afin d'éviter le biais potentiellement associé à la validation menée dans le chapitre 5, dû en

⁹⁷ L'application de cette approche à notre sujet de recherche a fait l'objet d'un travail en binôme lors du *summer school* déjà évoqué.

partie à la démarche itérative qui a conduit au modèle à partir du corpus et à sa subjectivité (l'auteur du modèle étant son utilisateur comme outil d'analyse) .

- Un autre sujet d'étude (que le corpus), afin de vérifier la généralité de ce modèle, notamment en termes d'indépendance au type de solution considérée, à l'organisation ou à l'expérience des concepteurs. La procédure peut éventuellement être menée dans un contexte de recherche intervention, auquel cas l'acteur de la recherche est en même temps acteur du processus étudié, cette immersion offrant des intérêts démontrés pour la compréhension des phénomènes et objets étudiés. Dans une telle situation, l'artefact proposé dans la troisième partie de ce mémoire peut être mis en usage à la fois comme outil support au processus de conception, et comme outil support à sa modélisation. Ce deuxième point peut alors participer à :
 - La deuxième étude descriptive préconisée dans la méthodologie de Blessing [BLE02]. Il s'agit d'identifier les effets de l'implémentation de notre proposition d'outil, notamment en terme de critères de succès choisis précédemment. Les résultats présentés dans la validation, obtenus en instanciant le modèle, devront alors être formalisés comme des critères mesurables .
 - “ Boucler la boucle ” de recherche en conception de produit [BRI03]. Il s'agit de mettre en usage l'outil proposé, d'observer, d'analyser et de modéliser cet usage.

La démarche qui a abouti à la proposition d'outil est, elle aussi, inachevée. D'une part, notre outil est en effet à ce stade spécifié, l'architecture et les concepts de son artefact sont définis sur le papier. Ceux ci doivent désormais être implémentés dans un démonstrateur nécessaire à la confrontation de cet artefact à son usage. Celui ci a été envisagé selon plusieurs schémas, dont la mise en usage jugera de la validité de cet outil.

3.2 Un objet de recherche à globaliser

Notre travail s'est concentré dans l'espace décrit par les axes temporels et problème/solution, base sur laquelle nous avons construit notre support. Il convient maintenant de généraliser cette démarche, notamment en étudiant plus en détail les autres dimensions du processus décrites dans la littératures (métiers, mondes, niveau de définition), ceci afin de contribuer à un effort d'unification et de comparaison des modèles, méthodes et outils existants. Nous avons d'ailleurs, dans notre contribution prescriptive, utilisé localement d'autres dimensions du processus (celles associées aux outils étudiés) qu'il convient de regarder, d'un oeil descriptif, avec plus d'attention (justification, précision/détail, appréciation).

La relation avec les modèles par phases doit être étudiée avec le plus grand soin. Ceci nécessite d'identifier précisément, dans les approches séquentielles existantes, quels sont les axes confondus avec l'axe du temps, notamment au sens du niveau de définition du produit. Il s'agit alors de s'intéresser au modèle proposé pour le produit.

En effet, le point de vue adopté décrit le produit, l'objet qui va évoluer durant la mise en oeuvre du processus de conception, comme défini à la fois par la représentation du problème auquel il répond et de la solution qui le matérialise. En ce sens notre approche de la modélisation du processus de conception peut être reconsidérée dans une démarche de modélisation du produit, thématique à laquelle notre modèle contribue en décrivant une dimension possible de modélisation (l'axe problème/solution), y compris ses caractéristiques dynamiques. Cette reconsidération devra alors s'appuyer sur les fondements théoriques et les travaux actuels qui traitent de cette thématique, que nous n'avons pas étudiée en détail dans notre bibliographie. Il conviendrait en ce cas de profiter du savoir-faire développé au laboratoire 3S autour de cette problématique. Le lien doit par exemple être fait avec le concept d'*objet intermédiaire*.

Comme nous avons envisagé la généralisation de notre proposition descriptive, il convient d'appliquer le même effort à notre contribution en terme d'outils. Par rapport des aspects relatifs au problème et aux évaluations, fonctionnels et coopératifs, le support doit être envisagé en lien vers :

- Les dimensions attachées à la solution et aux conjectures et définitions. La problématique de la modélisation du produit, évoquée en termes descriptifs, est associée au support de ces activités.
- La coordination. Construit indépendamment de toute notion de planification hiérarchique, notre outil n'est pas destiné au support de la coordination. Sa participation à ce support est néanmoins envisageable, auquel cas le lien doit être fait d'une part avec les méthodes basées sur la notion de phase, d'autre part avec les outils de coordination existants.
- L'activité méta-fonctionnelle. Il convient d'étudier les potentialités de notre outil pour ce support. Nous avons notamment fait état de son usage possible pour le design rationnel. L'enregistrement par l'outil des objets mobilisés lors du processus constitue une carte de ce processus, décrit par plusieurs dimensions. Cette carte permet, dans un contexte de reconception par exemple, de formaliser la frontière envisagée entre partie conservée et

partie reconçue. Cette démarche permet alors de reconcevoir autant l'idée dans le produit que l'idée avec le produit, le problème autant que la solution.

3.3 De futures directions de recherche

Notre contribution, en terme de modèle comme d'outils, et plus particulièrement ses concepts généraux, soulève de nouvelles questions et permet de reconsidérer, de *reformuler* la problématique traitée, comme de *conjecturer* sur de possibles résultats pour de futures recherches.

Notre modèle co-évolutif complète et décrit les modèles existants du processus de conception de produit en décrivant par une approche multidimensionnelle les notions de domaine, de phase et de activité. Les méthodologies étudiées dans le chapitre précédent [BRI03], [BLE02] peuvent aussi être considérées d'un point de vue multidimensionnel et avec ces notions. Il est envisageable d'utiliser notre modèle comme outil pour implémenter ces méthodologies de recherche, en :

- Situait comparativement les activités [BRI03], les phases et les objets/domaines [BLE02] dans un processus de conception multidimensionnel.
- Apportant le regard de l'axe problème/solution sur ces approches.
- Supportant la mise en oeuvre des activités dans une approche opportuniste (correspondant par exemple aux itérations des activités de “ modelling ” et d' “ analysis ” évoquées plus haut).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [AEOLOS] Projet européen AEOLOS, www.aeolos.org.
- [AHM02] Ahmed S., Hansen C.T., «A decision-making model for engineering designers», Shahin T.M.M. (ed.), *Computer based design, EDC2002*, 217-227, Cambridge, 2002.
- [AKA93] Akao Y. , Sperry M. et Fiorentino R., *QFD : prendre en compte les besoins du client dans la conception du produit*, AFNOR, 1993.
- [ALL01] Allen J. et Mistree F., «Decision-Based Design: Where Should We Go from Here ? », *position paper of the Decision Based Design open workshop*, 2001.
- [ALM03] Almfelt, L., “*Requirements Management in Theory and Practice - From Requirements to a Balanced Product Concept*”. Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering, Chalmers University of Technology, 2003.
- [AND03] Andersson F., Sutinen K. and Malmqvist J., «Product Model for Requirements and Design Concept Management: Representing Design Alternatives and Rationale », *proceedings of the 13th Annual International Symposium INCOSE*, Washington, 2003.
- [ASI98] Asiedu Y., Gu P., «Product life-cycle cost analysis : state of the art review», *International Journal of Production Research*, 36, 4, 883-908, 1998.
- [AUR98] Aurier P., Evrard Y. et N’Goala G., «La valeur des produits pour le consommateur », *Actes du Congrès des IAE*, Nantes, 1998.
- [BEG97] Béguin, P. «L’activité de travail : facteur d’intégration durant les processus de conception », Bossard, P. Changevrièr C. et Leclair P. (Eds), *Ingénierie concurrente : de la technique au social*, Economica, 1997.
- [BEI99] Beiter K.A, et Ishii K., «Incorporating the Voice of the Customer in Preliminary Component Design », *proceedings of ASME-DETC-DFM-8908*, Las Vegas, 1999.
- [BEN01] Ben Ahmed W. et Yannou B., (2001), «Polysémie du terme valeur », *Cahier d’Etudes et de Recherches CER 01-04*, Ecole Centrale Paris, 2001.
- [BER01] Bertoluci G., «*Proposition d’une méthode d’amélioration de la cohérence des processus industriels* », thèse de doctorat de l’ENSAM Paris, 2001.
- [BLA98] Blanco E., Garro O., Jeantet A, «La construction conjointe du problème et des solutions en ingénierie simultanée », *actes de la journée PRIMECA, concurrent engineering*, Lyon, 1998.

- [BLA98a] Blanco E. « *L'émergence du produit dans la conception distribuée* », Thèse de doctorat INPG, 1998.
- [BLE96] Blessing L., « Comparison of design models proposed in prescriptive literature », *proceedings of the COSTA3/A4 Int. Res. Workshop on The role of design in the shaping of technology*, 187-212, Lyon, 1996.
- [BLE02] Blessing L. et Chakrabarti A., « DRM : a design research methodology », *Actes de "Les sciences de la conception"*, Lyon, 2002.
- [BON92] Bonnardel N., « *Le Role de l'Evaluation dans les Activités de Conception* », Thèse de doctorat de l'Université d'Aix en Provence, 1992.
- [BOO94, 01] Boothroyd G., Dewhurst, P., Knight, W., *Product Design for Manufacture and Assembly*, Marcel Dekker Inc, 1994 (1ère éd.), 2001 (2nde éd.).
- [BOU02] Boujut J.F., Cavaillé J.B., Jeantet A., « Instrumentation de la coopération », Soënen R., Perrin J. (Dir.), *Coopération et connaissances dans les systèmes industriels*, Hermès, 2002.
- [BOU03] Boujut J.F., Blanco E., « Intermediary Objects as a Means to Foster Co-operation in Engineering Design », *Int. Journ. of computer supported collaborative work*, 12, 2, pp.205-219, 2003.
- [BRI03] Brissaud D., Choulier D., Garro O. et Prudhomme G., « An applied methodology framework for engineering design research », *Document interne, laboratoires 3S et M3M*, 2003.
- [BRI03a] Brissaud D., Garro O., Poveda O., « Design process logic capture and support by abstraction of criteria », *Research in engineering design*, 19, 4, 162-172, 2003.
- [BUU89] Buur J., Andreasen M.M., « Design models in mechatronic product development », *Design studies*, 10, 3, 155-162, 1989.
- [BUU90] Buur J, « *A theoretical approach to mechatronics design* », thèse de doctorat de l'Université Technique du Danemark, 1990.
- [CAL00] Callaghan A.R et Lewis K.E., « A two phases aspiration level and utility theory approach to large scale design », *proceedings of ASME-DETC-DTM-14569*, Baltimore, 2000.
- [CHA00] Chazelet P., « Product Duality in Concurrent Engineering », *proceedings of CE2000*, Lyon, 2000.
- [CHA01] Chazelet P., « *Les enjeux de l'évaluation positive des produits, des potentiels et des activités* », thèse de doctorat de l'Université de Franche Comté, 2001.
- [CHA97] Chapa-Kasusky E. et Tichkiewitch S., « Modèle produit multi-vues pour une démarche intégrée de conception », *Actes du 5eme Colloque PRIMECA sur la Conception Mecanique Assistee par Ordinateur*, La Plagne, 339-346, 1997.
- [CHE02] Chen L.C., Lin L., « Optimization of product configuration design using functional requirements and constraints », *Research in Engineering Design*, 13, 167-182, 2002.
- [CHO00] Choulier D. et Draghici G., « *TRIZ - une approche de résolution des problèmes d'innovation dans la conception de produits, Modélisation de la connaissance pour la conception et la fabrication intégrées* », Editura Mirton, 2000.

Références bibliographiques.

- [CHU01] Chuang P.T., « Combining AHP and QFD for a location decision from a requirement perspective », *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 18, 842-849, 2001.
- [CRO01] Cross, N., « Design/Science/Research: Developing a Discipline », *5th Asian Design Conference*, Seoul, 2001.
- [CRO89, 00] Cross N., *Engineering Design Methods*, John Wiley & Sons, 1989 (1ère éd.) et 2000 (3ème éd.).
- [CRO92] Cross, N. and Roozenburg N., « Modelling the design process in engineering and in architecture », *Journal of Engineering Design*, 4, 325-337, 1992.
- [CRO97] Cross N., Christiaans H. and Dorst K., *Analysing design activity*, John Wiley & Sons, 1997.
- [DAN01] Danesh M.R. et Jin Y., « An agent-based decision network for Concurrent Engineering Design », *Concurrent Engineering Research and Applications*, 9, 1, 37-47, 2001.
- [DAR97] Darses F., « L'ingénierie concourante: un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception », Bossard P., Chanchevrier C. and Leclair P. (Eds), *Ingénierie concourante : de la technique au social*, Economica, 1997.
- [DAV03] David B., Perrin J., Zwolinski P., Lonchamp P., Lopez M., Prudhomme G., Cornier A., Haoues N., Simeu-Abazi Z, Binder Z., Skaf A. et Dubois M., « Concevoir Propre : Conception pour le recyclage noble », *Actes du 5ème Congrès International de Génie Industriel*, Québec, 2003.
- [DEA91] Dean E. B. and Unal R., (1991)."Designing for Cost," *Transactions of the American Association of Cost Engineers*, 35, D4.1-D4.6, Seattle, 1991.
- [DEN02] Deneux D., « Méthodes et modèles pour la conception concourante », thèse d'habilitation à diriger des recherches, Université de valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2002.
- [DOR01] Dorst K. and Cross N., « Creativity in the design process : co-evolution of problem-solution », *Design Studies*, 22, 5, 425-437, 2001.
- [DPW94] Corpus de l'expérience de conception DPW94.1.14.5. menée en 1994. Les travaux issus du workshop basé sur l'analyse de ce corpus sont publiés dans [CRO97].
- [DUR98] Duret D. et Millet M., *Qualité en production, de l'ISO9000 aux outils de la qualité*, Les Editions d'Organisation, 1998.
- [ECK03] Eckert C.M. et Boujut J.F., « An Introduction to "The Role of Objects in Design Co-Operation: Communication Through Physical or Virtual Objects" », *Int. Journ. of Computer Supported Collaborative Work* , 12:2, pp.145-151, 2003.
- [FAL97] Falzon P., Sauvagnac C. et Leblond R. « La mémoire organisationnelle : reconstruction du passé, construction du futur ». *Actes des journées Ingénierie de la connaissance*, 441-450, Roscoff, 1997.
- [FAR01] Farineau T., Rabenasolo B., Castelain J.M., Meyer Y., Duverlie P. « Use of parametric models in an economic evaluation step during the design phase »,

- International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 19, 7, 544-550, 2001.
- [FAV03] Favre J.M., “*Introduction à UML*”, cours DESS CCI, Université J. Fourier, Grenoble, 2003.
- [FUS89] Fustier M., *La résolution de problèmes : méthodologie de l'action*, ESF et Librairies techniques, 1989.
- [GAR94] Garel G., «*Réduction du temps de conception, concourance et savoirs professionnels : le cas de l'emboutissage dans les projets automobile*», Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, 1994.
- [GAU95] Gautier R., «*Qualité en conception de produits nouveaux. Proposition d'une méthode de fiabilisation du processus de management de l'information.*», thèse de doctorat de l'ENSAM Paris, 1995.
- [GER02] Gero, J.S. and Kannengiesser, U., «The situated function-behaviour-structure framework», Gero J.S. (ed.), *Artificial Intelligence in Design'02*, Kluwer, 2002.
- [GER90] Gero, J.S., «Design prototypes: A knowledge representation scheme for design», *Artificial Intelligence Magazine*, 11, 4, 26-36, 1990.
- [GIR00] Girod M., Elliot A.C., Wright I.C. and Burns N.D., «Activities in collaborative concept selection processes for engineering design», *Proceedings of ASME-DETC-DTM-14548*, Baltimore, 2000.
- [GRE02] Green L.N. et Bonollo E. , «The Development of a Suite of Design Methods Appropriate for Teaching Product Design», *Journal of Engineering Education*, 6, 1, 2002.
- [HAL95] Hales R.F., «QFD as a Decision Making Tool», <http://www.proactdev.com>.
- [HAN03] Hansen C.T. and Andreasen M.M., “A proposal for an enhanced design concept understanding”, *Proceedings of ICED03*, Stockholm, 2003
- [HAN97] Hansen, C.T., «Towards a Tool for Computer Supported Structuring of Products », *proceedings of ICED 97*, Tampere,1997.
- [HAT03] Hatchuel A. and Weil B., «A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory », *proceedings of ICED'03*, Stockholm, 2003.
- [HU00] Hu X., Pang J.,Pang Y., Twood M., Sun W. and Regli W.C., «A survey on design rationale: representation capture and retrieval », *Proceedings of ASME-DETC-DFM-14008*, Baltimore, 2000.
- [HUB88] Hubka, V. and Eder W.E., *Theory of Technical Systems*, Springer-Verlag, 1988.
- [HUB92] Hubka V. and Eder W.E., *Engineering Design*, Heurista, 1992.
- [HUB96] Hubka V. and Eder W.E., *Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge*, Springer Verlag, 1996.
- [HUI02] Hui I.K., Lau H.C.W., Chan H.S. et Lee K.T., «An environmental impact scoring sxstem for manufactured products», *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 19, 302-312, 2002.
- [ISH90] Ishii K., «Role of computers in concurrent engineering ». *ASME Computers in Engineering*, Boston, Vol.1., 217-224, 1990.

- [ISH95] Ishii K. « Design for Environment and Recycling : Overview of research in the US », *proceedings of CIRP 5° intern seminar on life-cycle engineering*, 1998.
- [JEA98] Jeantet, A., Les objets intermédiaires dans le conception, éléments pour une sociologie des processus de conception, *Sociologie du travail*, 3,291-316, 1998.
- [JON63] Jones J.C., « A method of systematic design », Jones J.C. and Thornley D. (eds), *Conference on Design Methods*, 1963.
- [KIR04] Kiritsis D., Wennmalm F. et Xirouchakis P., “Disassembly value-cost modeling or EOL electronic equipment”, *proceedings of TMCE04*, Lausanne, 2004.
- [LEE01] Lee G.H. et Kusiak A., «The house of quality for design rule priority», *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 17, 288-296, 2001.
- [LEG01] Legardeur J., “*Méthodes et outils pour l’innovation produit/process. Le cas de l’intégration des matériaux composites SMC*”, Thèse de doctorat de l’INPG, 2001.
- [LIM01] Limayen F., «*Modèles de pondération par les méthodes de tri croisé pour l’aide à la décision collaborative en projet*», thèse de doctorat de l’Ecole Centrale de Paris, 2001.
- [LIN99] Lindholm D., Tate D. and Harutunian V., «Consequences of design decisions in axiomatic design», *Transactions of the society for design and process science*, 3, 4, 1-12, 1999.
- [LIU01] Liu X.F, Noguchi K. et Zhou W., «Requirement acquisition, analysis and synthesis in QFD», *Concurrent Engineering Research and Applications*, 9, 1, 24-36, 2001.
- [LON01] Lonchamp P., “Contraintes et critères de valeur pour la conception intégrée», *Recueil de communications, 7èème journée des thésards du laboratoire 3S*, Autrans, 2001.
- [LON02] Lonchamp P., «Modélisation des contraintes et critères de valeur», *actes de la journée des doctorants OISP*, 40-44, Grenoble, 2002.
- [LON02a] Lonchamp P., Prudhomme G. and Brissaud D., “Assessment of mechanical products during the conceptual design stage using value criteria”, *Proceedings of IDMME ’02*, Clermont Ferrand, 2002.
- [LON02b] Lonchamp P. “Comparaison des méthodes AHP et ELECTRE III pour l’aide au choix des scenarii de fin de vie des produits électriques et électroniques”, *Rapport d’activités EURODOC Région Rhône Alpes - EPFL/LICP*, 2002.
- [LON03] Lonchamp P., Prudhomme G. and Brissaud D., “Assisting designers in evaluating proposed solutions throughout the design process”, *Proceedings of ICED ’03*, Stockholm, 2003.
- [LOP03] Lopez-Ontivieros M., Zwolinski P. et Brissaud D., «Profile of products for the creation of remanufacturable products during the conceptual design phase», *Actes du CIRP seminar on life cycle engineering*, Copenhague, 2003.
- [LOR97] Lorino P., *Méthodes et Pratiques de la Performance*. Editions d’Organisation, 1997.

- [LYE02] Lye S.W., Lee S.G. et Khoo M.K., «EcoDE : An environmental component design evaluation tool », *Engineering with computers*,18, 14-23, 2002.
- [LYM92] Lyman D., "The functional relationship between QFD and VE", *proceedings of the SAVE Conference*, 1992.
- [MAH96] Maher, M.L., Poon J. and Boulanger S., «Formalising design exploration as co-evolution: a combined gene approach», Gero J.S. and Sudweeks F. (eds), *Advances in formal design methods for CAD*, Chapman and Hall, 1996.
- [MAH03] Maher M.L., Tang H.T., «Co-evolution as a computational and cognitive model of design », *Research in Engineering Design*, 14, 1, 47-64, 2003.
- [MAI03] Maier J.R.A., Fadel G.M., «On the complexity of the designer-artifact-user system », *proceedings of ICED03*, Stockholm, 2003.
- [MAI94] Maistre J.Y. Pictet J. et Simos J., *Méthodes multicritères ELECTRE*, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, 1994.
- [MAR97] Marston M. et Mistree F., «A decision based foundation for systems design : a conceptual exposition », *Decision-Based Design workshop*, Orlando, 1997.
- [MAR01] Martin C, « *Caractérisation du processus de conception par l'intégration méthodologique* », thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Paris, 2001.
- [MAT00] Mattingly S.P., Jayakrishnan R. and McNally M.G., «Application of an Integrated Multiple Objective-Attribute Evaluation Methodology to a New Traffic Control System », *ITS Research Publications*, University of California, Irvine 2000.
- [MEH01] Mehta C. et Wang B., «Green QFD III : A methodology for developing environmentally conscious products », *Journal of Design and Manufacturing Automation*, 4, 1, 1-16, 2001.
- [MER95] Mer S., Jeantet A. et Tichkiewitch S., «Les objets intermédiaires de la conception : modélisation et communication », Caelen J. et Zreik K. (Ed.), *Le communicationnel pour concevoir*, Europa, 1995.
- [MER98] Mer S., « *Les mondes et les outils de la conception. Pour une approche socio-technique de la conception de produit* », thèse de doctorat de l'INPG, 1998.
- [MIC01] Michel J., «Management par la Valeur, création de Valeur , chaîne de Valeur... Parle-t-on de la même Valeur ? – Proposition d'un cadre conceptuel pour la Valeur généralisée et contribution au développement de la Valorique », *La Valeur des produits, procédés et services*, 90, 2-7, 2001.
- [MIC02] Micaelli J.P., " Institutionnalisme, évolutionnisme : le défi de la conception ", *actes des Journées d'étude Institutionnalismes et Évolutionnismes-Confrontations autour de perspectives empiriques*, Lyon, 2002.
- [MIL72] Miles L.D., *Techniques of value analysis and engineering*, 2nde éd., Mc Graw-Hill, 1972.
- [MID97] Midler C., « Evolution des modèles d'organisation et régulations économiques de la conception », *Annales des mines*, 1997.
- [MIS97] Mistree F, Allen J.K., «Position paper Optimization in decision-based design », *Decision-Based Design workshop*, Orlando, 1997.

Références bibliographiques.

- [MOI92] Moisdon et Weil, « L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales ? », Gérer et comprendre 28-29, *Annales des Mines*, 1992.
- [MOR93] Morup M, « *Design for Quality* », thèse de doctorat de l'Université Technique du Danemark, 1993.
- [MOR99] Mortensen N.H., Andreasen MM, « Contribution to a Theory of Detailed Design », *10. Symposium « Fertigungsgerechtes Konstruieren »*, 1999.
- [MUE99] Mueller K.G. et Besant, C.B., « Evaluating life cycles of design concepts », *proceedings of ICED 99*, 273-276, 1999.
- [MUN02] Munoz Zarate S., « *Coordination, intégration et innovation dans le système de conception international de l'industrie des équipementiers automobiles* », thèse de doctorat de l'INPG, 2002.
- [NF, EN] Normes françaises et européennes :
NF EN 12973, juin 2000 (management par la valeur) ;
NF EN 1325-1, novembre 1996, (vocabulaire du management de la valeur, de l'analyse de la valeur et de l'analyse fonctionnelle - Partie 1 : analyse de la valeur et analyse fonctionnelle) ;
NF X50-100, décembre 1996, Analyse fonctionnelle - Caractéristiques fondamentales ;
NF X50-151, décembre 1991, Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle-Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel. ;
NF X50-152, août 1990, Analyse de la valeur-Caractéristiques fondamentales ;
NF X50-156, décembre 2003, Management par la valeur-Conception à Objectif Désigné ou à Coût Objectif (COD/CCO)-Exigences pour un pilotage concerté de la conception.
- [NID97] Nidamarthi S., Chakrabarti A. and Bligh T.P., « The significance of co-evolving requirements and solutions in the design process », *proceedings of ICED97*, Tampere, 1997.
- [OLE01] Olewnik A., Brauen T., Fergusson S. and Lewis K., « A Framework for Flexible Systems and its Implementation in Multiattribute Decision Making », *proceedings of ASME-DETC-DTM-21703*, Pittsburgh, 2001.
- [OMA97] Omar A.R., Harding J.A. et Popplewell K., « Implementing QFD information system architecture to support concurrent engineering », *proceedings of ICED97*, Tampere, 1997.
- [OVE03] van Overveld K. et Ivashkov M., « From creative ideas to optimized concepts and back a method for collaborative creation of solution alternatives in decision support system », *Proceedings of ICED '03*, Stockholm, 2003.
- [PAH84, 96] Pahl G. and Beitz W., *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer Verlag, 1984 (1ère éd.) et 1996 (2nde éd.).
- [PAR93] Parsaei H.R. et Sullivan W.G., *Principles of concurrent engineering, Concurrent engineering contemporary issues and modern design tools*, Chapman & Hall, 1993.
- [PER01] Perrin J. « Analyse de la valeur et valeur économique des biens et services », *Revue Française de Gestion Industrielle*, 20, 2, 2001.

- [PER99] Perrin J, « Diversité des représentations du processus de conception, diversité des modes de pilotage de ces processus », Perrin J. (éd.), *Pilotage et évaluation des processus de conception*, l'Harmattan, 1999.
- [POV98] Poveda O., « *Outil d'aide à la reconception, modélisation de la logique de conception* », Mémoire de DEA, Université Joseph Fourier, 1998.
- [POV01] Poveda O., « *Intégration des points de vue et rôle du chef de projet en conception de produits* », thèse de doctorat de l'INPG, 2001.
- [PRU03] Prudhomme G., Zwolinski P. et Brissaud D., « *Integrating into the design process the needs of those involved in the product life cycle* », *Journal of Engineering Design*, 14, 3, 333-353, 2003.
- [PRU99] Prudhomme G., « *Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement – La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique* », thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, 1999.
- [PUG90] Pugh S., *Total design, integrated methods for successful product engineering*, Addison-Wesley, 1990.
- [PUL02] Pulm U. and Lindemann U. , « Towards a Flexible and Adequate Use of Methods in Product Development Process », *Proceedings of DESIGN'02*, Dubrovnik, 2002.
- [PUR94] Purcell T., Gero J., Edwards H. and Matka E., « Design fixation and intelligent design aids », Gero J.S. and Sudweeks F. (ed.), *Artificial Intelligence in Design*, Kluwer, 1994.
- [REG00] Regli W.C., Hu X., Atwood M., and Sun W., « A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval », *Engineering with Computers*, 16, 209-235, 2000.
- [REI00] Reich Y., « Improving the rationale capture capability of QFD », *Engineering with Computers*, 16, 236-252, 2000.
- [REI64] Reitman, W. « Heuristic decision procedures, open constraints, and the structure of ill-defined problems ». In Shelley M.W. and Bryan G.L.(Eds.), *Human judgments and optimality*, Wiley, 1964 .
- [RIN97] Ringstad, P. « A comparasion of two approaches for functional decomposition – The Function/Means Tree and the Axiomatic Approach », *proceedings of ICED'97*, Tampere, 1997.
- [ROS98] Rose C. M., Masui K., and Ishii K., “How Product Characteristics Determine End-of-Life Strategies,” *Proceedings of IEEE International Symposium for Electronics and the Environment Conference*, Oak Brook, 322-327, 1998.
- [ROY91] Roy B., « The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods », *Theory Decision*, 31, 9-73, 1991.
- [SAA80] Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, 1980.
- [SCH83] Schön D.A., *The reflexive practitioner : how professional think in action*, Basic books, 1983.
- [SCH03] Schueller A., Basson A.H., “Case study on low cost distributed conceptual design support for small teams”, *proceedings of the 2003 International CIRP Design Seminar*, Grenoble, 2003.

Références bibliographiques.

- [SCO98] Scott M.J. et Antonsson E.K., « Aggregation functions for value engineering design trade-offs », *Fuzzy Sets and Systems*, 99, 3, 253–264, 1998.
- [SCO99] Scott, M.J., « *Formalizing Negotiation in Engineering Design* », thèse de doctorat du California Institute of Technology, 1999.
- [SCO00] Scott M.J. et Antonsson E.K., « Using indifference points in engineering decisions », *proceedings of ASME-DETC-DTM-14559*, Baltimore, 2000.
- [SHI96] Shimomura Y., Tanigawa S., Takeda H., Umeda Y. and Tomiyama T., « Functional evaluation based on function content », *proceedings of ASME-DETC-DTM-1412*, Irvine, 1996.
- [SIM73] Simon H., « The structure of ill-structured problems », *Artificial intelligence*, 4, 181-20, 1973.
- [SIM81] Simon H., *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, 1981.
- [SIV97] Sivaloganathan S. et Evbuomwan N.F.O., « QFD, the technique, state of the art and future directions », *Concurrent Engineering Research and Applications*, 5, 2, 171-179, 1997.
- [STO00] Stone R.B. et Wood K.L., « Development of a Functional Basis for Design », *Research in Engineering Design*, 122, 4, 359–370, 2000.
- [SUH01] Suh N.P., *Axiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, 2001.
- [SUH90] Suh N.P., *The Principles of Design*, Oxford University Press, 1990.
- [SUM01] Summers J.D., Vargas-Hernández N., Zhao Z., Shahl J.J. and Lacroix Z., « Comparative Study of Representation Structures for Modeling Functions and Behavior of Mechanical Devices », *proceedings of ASME-DETC-CIE-XXXX*, Pittsburgh, 2001.
- [TAT95] Tate D., Nordlund M., « Synergies Between American and European Approaches to Design », *proceedings of the First World Conference on Integrated Design and Process Technology*, 3-111, 1995.
- [TAT96] Tate D. and Nordlund M., « A Design Process Roadmap as a General Tool for Structuring and Supporting Design Activities », *proceedings of the Second World Conference on Integrated Design and Process Technology*, 97-104, 1996.
- [THO02] Thouvenin E., "Modélisation du processus de conception : recherche du juste nécessaire méthodologique", thèse de doctorat de l'ENSAM Paris, 2002.
- [THU01] Thurston D.L., « Real and Misconceived Limitations to Decision Based Design with Utility Analysis », *ASME Journal of Mechanical Design*, 123, 2, 2001.
- [TIC95] Tichkiewitch S., Chapa E., Belloy P., « Un modèle produit multi-vues pour la conception intégrée », *Congrès international de génie industriel*, Montréal, 1995.
- [ULL97] Ullman D.G., Herling D. and D'Ambrosio B., « What to do next: using problem status to determine the course of action », *Research in Engineering Design*, 9, 214-227, 1997.
- [ULL02] Ullman D.G., *The mechanical design process*, Mc Graw Hill, 3ème éd., 2002.

- [ULR00] Ulrich K.T. and Eppinger S.D., *Product design and development*, Second edition, McGraw Hill International editions, 2000.
- [UME90] Umeda Y., Takeda H., Tomiyama T. and Yoshikawa H., "Function, behavior, and structure", Gero J.S. (ed.): *Applications of Artificial Intelligence in Engineering*, Springer-Verlag, 1990.
- [VAD95] Vadcard P., Le Coq M. et Duchamp R., *Méthodologie de conception de produits : fondements conceptuels des méthodes*. Actes de *PRIMECA 95*, pp. 305-309, La Plagne, 1995.
- [VIS02] Visser W., « A Tribute to SIMON, and Some - Too Late - Questions, by a Cognitive Ergonomist », *actes de la Conférence Internationale 'Les Sciences de la Conception'*, Lyon, 2002.
- [VIS87] Visser W., « Abandon d'un plan hiérarchique dans une activité de conception », *actes de COGNITIVA '87*, 1., 366-371, 1987.
- [WAN99] Wan J. et Krishnamurty S., « Comparison-based Decision Making in Engineering Design », *Proceedings of ASME-DETC-DTM-8746*, Las Vegas, 1999.
- [WAS01] Wassenaar H.J. and Chen W., « An approach to decision based design », *proceedings of ASME-DETC-DTM-21683*, Pittsburgh, 2001.
- [WEB02] Weber C., Werner H. and Deubel T., « A Different View on PDM and its Future Potentials », *proceedings of DESIGN'02*, Dubrovnik, 2002.
- [YAN00] Yannou B., Limayem F., « La méthode SPEC : Suivi de Performances en cours de Conception », *proceedings of IDMME '00*, Montréal, 2000.
- [YAN02] Yannou B., Petiot J.F., « Needs, perceptions, functions and products : highlights on promising design methods linking them », *proceedings of IDMME '02*, Clermont Ferrand, 2002.
- [YAN02a] Yannou B. et Limayem F., « Les méthodes de comparaison par paires, Intérêt fondamental, Méthodes pratiques, Avancées scientifiques, Logiciel », *La Valeur des produits, procédés et services*, 92, 15-18 (partie I) et 93, 15-18 (partie II), 2002.
- [YAN98] Yannou B., « Analyse fonctionnelle et Analyse de la Valeur », Tollenaere M. (Dir.), *Conception de produits mécaniques, méthodes, modèles et outils*, Hermes, 1998.
- [YOS95] Yoshioka M., Oosaki M. et Tomiyama T. « An application of quality function deployment to functional modeling in a knowledge intensive design environment », *Workshop Series on Knowledge Intensive CAD*, 300-314, Chapman & Hall, 1995.
- [ZHA99] Zhang Y., Wang H.P., Zhang C., « Green QFD II: a life cycle approach for environmentally conscious manufacturing by integrating LCA and LCC into QFD matrices products », *International Journal of Production Research*, 37, 5, 1075-1091, 1999.
- [ZWO03] Zwolinski P et Prudhomme G., « A detailed comparative analysis of two mechanical products with a value analysis approach », *proceedings of ICED '03*, Stockholm , 2003.

ANNEXE : ENREGISTREMENT DU CORPUS [DPW94] AU SENS DES ACTIVITÉS DE NOTRE MODÈLE.

Cette annexe présente l'intégralité de l'enregistrement écrit des deux heures de conception du corpus [DPW94].

Nous avons fait figurer en colonnes respectivement l'instant de l'énoncé (de 00:03:53 à 02:03:54), l'initiale de son auteur (I, J ou K), l'énoncé lui-même, et l'activité de notre modèle codée (CD⁹⁸, D, E ou R).

⁹⁸ Les conjectures, considérées comme du ressort du raisonnement et non exprimées, sont associées aux définitions qui décrivent leur communication au sein de l'équipe de conception.

Annexe.

00:16:08	J	so it has to be easy to attach	R	00:20:00	I	yeah and I think that rear diamond business is pretty much set the relationship between	R
00:16:14	K	with only one yeah gotta be fool proof so that's part of our	R	00:20:03	I	the seat and the rear wheel	R
00:16:15	J	yeah that should be in our spec	R	00:20:14	J	so bicycle geometry will definitely be given bi..cy..cle engineers can't spell (laugh) geometry	R
00:16:16	K	functional spec	R	00:20:16	I	so we're really look yeah sorting out the interface	R
00:16:18	I	what is? idiot proof?	R	00:20:22	I	OK ... let's get this stuff sorted out	R
00:16:21	K	idiot proof (laugh) one way to install or one way to attach	R	00:20:25	J	OK you you were talking about schedule stuff before do you wanna	?
00:16:23	K	and make it obvious too	R	00:20:27	I	yeah I think we should uh just figure out	?
00:16:26	J	slash obvious	R	00:20:30	J	just set some time limits for ourselves	?
00:16:35	I	do we have a em uh sales projections or anything like that? so we know how many units per year so that	R	00:20:32	I	how how much we wanna spend on each thing yeah so we can just move on	?
00:16:39	J	so we can determine whether or not we can too something up or from a cost stand point	R	00:20:38	I	mm mm	?
00:16:40	K	injection mould it	CD	00:20:38	J	so so this is kinda quantifying the problem or wherever we are right now (laugh)	?
00:16:41	I	yeah materials	D	00:20:44	J	quantify problem em so how much time do we have already	?
00:16:48	O		?	00:20:55	I	right now it's uh we have uh an hour and forty minutes so it's two it's four forty right now four twenty excuse me	?
00:16:48	I		?	00:20:58	J	when do you wanna like stop conceptualising I	?
00:17:07	J	that's the target group does it say how many they'd sell per year?	R	00:21:00	J	well I think we should stop conceptualising at	?
00:17:15	K	twenty percent penetration	R	00:21:02	J	uh say forty minutes from now	?
00:17:16	K	so that's not very many	R	00:21:03	J	OK	?
00:17:19	I	OK twenty percent of two hundred and fifty thousand	R	00:21:04	K	so that we can come up with a cost	?
00:17:20	J	so that's fifty thousand right?	R	00:21:05	J	an hour left and uh	?
00:17:21	I	yeah	R	00:21:09	K	picking	?
00:17:27	J	fifty thousand fifty thousand units a year products	R	00:21:12	J	select a design at that point	?
00:17:30	K	that's certainly in the range of () injection mould stuff	E	00:21:15	J	and then design for what fortyfive minutes or forty minutes	?
00:17:31	I	yeah	E	00:21:15	I	yeah	?
00:17:37	J	em uh what other what other things do we have to look at from a spec standpoint	R	00:21:18	J	so this is like fifteen minutes left	?
00:17:42	J	and which of these things are like things we can evaluate so we know if we succeeded on them ...	R	00:21:20	K	to figure out the cost cost right '	?
00:17:57	J	sounds like this issue with uh em em the whole centre of gravity and shifting weight is	R	00:21:23	K	cos they do wanna know how much it's gonna cost what kinda product	?
00:17:59	I	yeah	R	00:21:25	I	we can do that in design	?
00:18:09	I	do they talk about how the people wanna use it they uh do these do the vacations they take long bicycle trips and then take short feet off uh short trips off by foot	R	00:21:27	K	what kinda product it's gonna be it's feasibility and price	?
00:18:11	K	mm mm	R	00:21:32	J	yeah I think it'll occur in the course of designing	?
00:18:14	I	em so they use the bike to get where they're going and then do a little hiking	R	00:21:35	I	let's shoot for being then fifteen minutes early and we can uh	?
00:18:16	I	sounds like the bike becomes the	R	00:21:40	J	assuming this schedule were important (laugh)	?
00:18:18	J	so you	R	00:21:57	I	right now it's here's four o'clock here's uh four twenty and we wanna be in here at uh twenty twentyfive say five o'clock	?
00:18:23	I	it sounds like they oughta really ride the bicycle and just temporarily go to work or something	R	00:21:59	J	it's kinda funny	?
00:18:25	I	but you wanna be able to ride the bicycle	R	00:22:08	J	that of all those targets the specs that we came up with none of them are really user related except for well I mean easy to attach and time to remove the backpack	R
00:18:25	K	right mm mm	R	00:22:17	J	but I mean there's a lot of general hard things to quantify like user comfort type stuff but (inaudible)	R
00:18:26	J	does it sound like	R	00:22:26	I	(inaudible) intuition I guess (inaudible)	?
00:18:32	K	ride it through the country and then you get to the base of the hill and you wanna take your backpack and summit the mountain or something	R	00:22:27	J	(laugh)	?
00:18:32	I	mm hmm	R	00:22:34	I	anyway we have a rough idea ... identifying the problem .. start designing. evaluating design	?
00:18:35	J	so	R	00:22:36	K	to five fortyfive	?
00:18:37	I	so you want like a real	R	00:22:37	I	five thirty	?
00:18:38	K	and it's an off-road bike	R	00:22:38	K	five thirty	?
00:18:42	I	mm mm	R	00:22:41	I	five thirty we'll move on to the final cost and presentation everything	?
00:18:42	K	so you'd need a real rugged rugged attachment or a rigid attachment	R	00:22:43	I	let's leave ourselves a little bit of time	?
00:18:46	J	so what's a reasonable time to like allow somebody to take this off their bike	R	00:22:44	K	mm mm	?
00:18:48	J	should it take like under five seconds	R	00:22:45	J	Ivan's gonna be Mister Schedule	?
00:18:50	I	yeah	R	00:22:46	I	yeah	?
00:18:50	J	or under thirty seconds	R	00:22:47	J	(laugh) em	?
00:18:51	J	to get the backpack off I mean	R	00:23:40	I	on time under budget	?
00:18:52	I	yeah	R	00:23:57	I	OK shall we move into uh idea ideation?	?
00:18:55	K	thirty seconds?	R	00:24:00	J	yeah I think we've have we covered	?
00:18:55	I	yeah I would say thirty seconds as well	R	00:24:03	J	the uh all the stuff that (inaudible)	?
00:18:56	J	OK	R	00:24:12	J	I'll just read some of this out loud 'cos I (inaudible)	?
00:18:59	I		R	00:25:00	J		?
00:18:59	I	because uh	R	00:25:00	J	so I think we've covered that ...	?
00:19:04	K	now this looks like a a snap-in feature	D	00:25:05	J	is there anything we could put like some weight into this?	R
00:19:08	I	so it hooks on the front and then you think that hooks so this snaps in?	D	00:25:06	J	to kinda give us the right	R
00:19:12	K	it looks like there's a little hole there so k-chung (sneeze)	D	00:25:07	I	I have my jacket	R
00:19:17	K	and then em this goes down into the wing-nuts and then you tighten it down	D	00:25:09	K	put this whole bag inside of it	R
00:19:19	I	tighten it with the wing-nuts yeah	D	00:25:11	J	(inaudible)	R
00:19:26	K	the problem I see right away with that pro with that uh is that these are in that orientation and that's also the orientation of	E	00:25:14	I	I have my jacket here too	R
00:19:28	I	oh up and down right	E	00:25:16	J	you ride with a pack on occasionally don't you Kerry?	R
00:19:29	K	jolting and vibration	E	00:25:18	K	I used to use my em bike courier bags	R
00:19:30	K	so it'd be nice if	CD	00:25:20	K	cos those don't pull on my shoulder	R
00:19:31	I	so you have to do it much tighter in order to	E	00:25:21	J	oops sorry	R
00:19:34	K	yeah you have to put a lot of tension on to these em bolts	E	00:25:33	K	boy this is a great backpack you can stuff all the junk in it	R
00:19:37	K	'cos that's the opening is in the direction of the	E	00:25:38	I	so	?
00:19:37	K	loading the force	E	00:25:44	J	(laugh) the seat lock it's like the old () bike	D
00:19:37	I	right	E	00:25:46	K	OK we're getting pretty em full up here	E
00:19:40	I	right	E	00:25:51	J	hey maybe one of the solutions is sort of a non-solution where you just wear it (laugh)	CD
00:19:40	K	it'd be nice if you could have the forks coming more like that so that	CD	00:25:52	K	(laugh) let's just wear it	D
00:19:40	J	mm mm	E	00:25:54	I	there you go (inaudible)	D
00:19:41	K	the bouncing	R	00:25:56	J	sorry the non-solution you have no product	E
00:19:43	J	it sounds like	R	00:25:58	I	we'll just charge fiftyfive bucks	E
00:19:44	K	these'd have to be self-attached	R	00:26:00	J	yeah you just (laugh) for fiftyfive bucks	E
00:19:46	J	it sounds like in a way we're starting to move on to ideation already	?	00:26:03	J	you get a little pamphlet that says 'Wear your backpack' (laugh)	CD
00:19:50	J	but uh have have we kinda fleshed these major things out or	R	00:26:08	K	zero zero lead time for manufacturing	E
00:19:51	I	the cost	R	00:26:09	J	yeah no tooling costs	E
00:19:52	I	folding away em	R	00:26:10	I	just in time manufacturing	E
00:19:54	J	the constraints are	R	00:26:12	J	out for Christmas (laugh)	E
00:19:55	J	we know what the backpack is	R	00:26:16	I	just run along to Xerox (inaudible) so we'll just uh here we'll just have sort of a little uh concepts	?
				00:26:32	J	so I I keep thinking that there's all this weight in this area between the seat	E

Annexe.

00:26:40	J	but that could be used but I wonder if that would really work when you're like pumping really hard pedalling up a hill it sounds like	E
00:26:42	K	between the seat where?	D
00:26:44	J	I mean between the in the triangle	D
00:26:46	K	well your knees work (inaudible)	E
00:26:49	J	that was a pull on the brake lever (laugh)	D
00:26:51	I	can can you un	E
00:26:52	J	un-?	E
00:26:55	I	there's a way to un... tongue it	E
00:26:57	J	oh to unhook it right there so you can	E
00:26:59	I	I guess we don't need to (inaudible)	R
00:27:00	J	that's OK so	R
00:27:00	J		?
00:27:03	K	so we want to put it in there	CD
00:27:05	K	but I let's see if you got (inaudible)	D
00:27:07	J	yeah you'd never really be able to	E
00:27:09	K	you wouldn't be able to get your knees pedalling	E
00:27:17	K	OK now what about maybe we ought to have a prototype that kinda has it this way	CD
00:27:18	J	is a basic	D
00:27:21	I	yeah that's right this is more OK	E
00:27:23	J	would it be too funky	CD
00:27:25	I	handlebars?	D
00:27:25	J	to have it on the like projecting from the front wheel?	D
00:27:26	I	yeah try that	D
00:27:28	J	or off this handlebar stem even	CD
00:27:30	J	because that's fixed	D
00:27:36	J	but if it's off the handlebars you know it's like an old bike basket that way like the Wizard of Oz (laugh)	D
00:27:39	K	heavy to steer tends to	E
00:27:40	J	you could turn it long ways	E
00:27:42	I	or if you could get it down low where the	CD
00:27:43	K	(inaudible)	D
00:27:44	I	centre of gravity is low	E
00:27:45	J	oh yeah like a motorcycle gas tank	CD
00:27:47	I	oh yeah the gas tank there we go	D
00:27:52	J	you know like on your on your Harley (laugh)	D
00:27:55	K	except on a Harley you don't pedal so you don't get your knees cranking	E
00:27:58	J	maybe they're gonna have to redesign the top of their backpack	CD
00:28:02	J	(laugh) so so so it clears your knees	D
00:28:03	I	(laugh) under your crotch yeah	D
00:28:05	J	the knee killer	D
00:28:07	I	what about hanging it down in the front	CD
00:28:13	I	try that upside down sort of... that thing could hook the handlebars through there	CD
00:28:18	J	yeah I think what there doing right now is most similar to the sorta child seat kind of idea	D
00:28:22	J	like assuming your backpack doesn't weigh more than a child does	R
00:28:27	K	yeah that's true they are making like a child seat	D
00:28:31	I	if people are complaining about the weight	R
00:28:34	I	already then hanging it off the handlebars is probably (inaudible)	E
00:28:36	J	unfortunately with none of us being parents we don't have a good way to evaluate	?
00:28:37	I	(inaudible)	?
00:28:39	J	oh that's right I forgot that do you have do you ever	R
00:28:41	I	I have a child seat just got it for Christmas	R
00:28:42	J	OK then	R
00:28:43	K	have you installed it and used it?	R
00:28:47	I	I only rode it once and then my rear derailleur went into my spokes and so I haven't been able to ride since	E
00:28:52	K	ooh well I've done a lot of lake touring and	E
00:28:54	K	I've done front panniers and I've done rear panniers and em	E
00:28:56	J	what's a pannier?	D
00:28:57	I	it's those (inaudible)	D
00:28:57	K	it's like a pouch that	D
00:28:58	J	oh saddlebag	D
00:28:59	K	hooks right on to your	D
00:29:02	K	you need to have a special rack for that	R
00:29:04	I	boy that is one pannier	D
00:29:09	K	yeah front panniers you could you could set it up so you could have one of these on each side	CD
00:29:12	K	there's no guarantee you'd always have two but it's actually	E
00:29:13	J	what if it's split	CD
00:29:15	K	not as bad as you'd think to have just one that's off	E
00:29:17	J	what if the em the back backpack folds	CD
00:29:20	I	they already have a hold in the middle so they could uh yeah	E
00:29:21	K	oh like add a joint right here	D
00:29:22	I	yeah	E
00:29:23	J	so yeah so it's sorta like	D
00:29:24	K	so it's more like a pannier	D
00:29:28	I	a saddlebag yeah that's uh like a	D
00:29:30	J	it would be a good way to balance the weight	E
00:29:34	K	it might be tough to get your junk to	E
00:29:36	K	you'd have to make the	R
00:29:37	I	you'd have to pack it	R
00:29:39	K	backpack have two two halves	R
00:29:44	I	but that's but people do that now I mean you have the ones that have the big compartment on the bottom	R
00:29:45	K	mm mm separate compartments	R
00:29:47	J	maybe maybe a separate compartment's in there just a zipper	R
00:29:49	I	oh so like a middle (inaudible)	R
00:29:51	J	yeah yeah and you can prrp just pull it in half when you unzip	R
00:29:53	K	mm mm that'd be good	E
00:29:57	I	OK	E
00:30:00	J	I mean is there any real problem with keeping it as one big bulky	R
00:30:02	J	() it seems like we keep we're already trying to split it up	R
00:30:04	K	no I don't think we have to split it up	R
00:30:07	K	I think if you had this lower so that the CG is	CD
00:30:12	J	we're expanding our design problem here (laugh) we don't wanna design the bracket we wanna design the backpack	R
00:30:17	K	yeah .. you know this still gets unwieldy	E
00:30:21	K	but because your your CG is a lot higher at this	E
00:30:23	I	OK well here let's let's look at some of the rear mounts em	CD
00:30:25	K	that's not as bad (inaudible)	E
00:30:28	I	so that's em we'll call that horizontal rearward	D
00:30:42	I	I'm thinking of where the top of the backpack is whether we want it in the front	R
00:30:43	I	or the rear	R
00:30:47	I	whether people get the heebies about having the opening to the back	R
00:30:50	J	yeah well I mean structurally	R
00:30:59	J	if you're gonna take advantage of this external frame it would seem that you would want a kinda well if you were gonna mount it on the back you'd kinda want it like so you can mount it to support it	R
00:31:00	I	or	?
00:31:01	I	alternatively you could also	CD
00:31:02	K	take advantage of this	CD
00:31:04	I	put hardware here without having to dig into someone's back	?
00:31:05	J	mm	?
00:31:08	I	but you might not have does the frame close up at all?	R
00:31:10	J	maybe (inaudible)	?
00:31:12	K	(inaudible) yeah (inaudible)	?
00:31:15	J	you have that rooster tail problem too people er	E
00:31:21	J	if this is a really a cool looking backpack that people have spent some money on they don't want to get (inaudible)	E
00:31:24	I	the question is do they want the rooster tail on the back or on the	R
00:31:27	J	if this is if the straps are down hanging down	E
00:31:30	J	this way you're gonna eventually get caught in the	E
00:31:31	K	mm mm	E
00:31:33	I	OK so maybe we can have some er	E
00:31:35	K	that's a problem that they noted in their user tests	E
00:31:37	I	oh it is? OK	E
00:31:50	J	yeah so that I mean maybe that suggests maybe part of that solution is that we need some sort of a if you assume the backpack is a given maybe we need some sort of a em what d'you call it like a sheet cover that that you can put these things	CD
00:31:51	I	right right	E
00:31:55	J	and it can contain them so er	E
00:31:55	J		?
00:32:02	I	I dunno just sorta these we'll call these	?
00:32:03	J	(inaudible) or something	?
00:32:08	I	not constraints but we'll call them er caveats or whatever I dunno	?
00:32:11	I	just possible we we have to design around	?
00:32:14	J	design design features or something that we're trying to get incorporated	?
00:32:18	K	it'd be cool	R
00:32:24	K	if em this rack was used for something else like you take your backpack off and then this rack you can still put stuff on it but	R
00:32:24	I	yeah	R
00:32:28	K	maybe if you could flip it out and it becomes a bike lock	R
00:32:30	K	cos you know lock up your bike while you go on a hike	R
00:32:32	K	that'd be kinda a neat feature	R
00:32:35	K	so you could justify some extra cost maybe	R
00:32:35	I	right right	R
00:32:37	J	kick stand alternative (laugh)	R
00:32:39	K	if you (inaudible)	R
00:32:41	I	pull it around your tyre and now you can stand the bike up	R
00:32:42	J	it's better	R
00:32:43	K	ummm put it underneath here goes round here	R
00:32:44	I	lower	R
00:32:51	J	maybe that could get us around the er around the target price if we can only come up with a more expensive solution but it does more stuff	R
00:32:52	K	mm mm	?
00:32:59	I	OK now em are there er let's see we had it facing back	CD
00:33:06	I	well do we yeah we thought of rear panniers on one side em or saddlebags em what else?	D
00:33:12	I	em we'll get er some other model positions	D
00:33:17	J	ehm really what we're doing up here is creating lots of classifications of	?
00:33:18	I	solutions	?
00:33:27	J	solutions and then we need to sort of ..at some point evaluate the classification and go toward one or two classifications in a row	?
00:33:30	I	OK so let's let's think of of large	?
00:33:31	J	wait	?
00:33:37	I	when you were talking about classifications I think of the whole ease as we were looking at different places to put it	D
00:33:38	I	(unintelligible overlap)	?
00:33:38	J	right exactly	D
00:33:40	I	the other locations or whatever	?
00:33:43	J	so then let's think of another em	?
00:33:49	I	oh some of the other let's think of what are the other other concepts we're gonna have to use? we're gonna have to use	D
00:33:50	J	(unintelligible)	?

Annexe.

00:33:52	I	position we're gonna have to look at mounting or or	R
00:33:53	I	joining	R
00:33:53	J	yeah joining techniques	R
00:33:54	J	whatever snaps on	CD
00:33:55	J	or bolts on	CD
00:33:56	J	or clamps on or em what other	CD
00:33:56	J		?
00:34:03	I	em we're gonna have to look at materials	R
00:34:05	J	materials yeah that's gonna be a biggy	R
00:34:10	I	we're gonna have to look at er	R
00:34:12	K	do we have to do analysis oh my gosh	R
00:34:22	I	well er this is in the ideation phase do we do we is there can we ideate do analysis to ideate is that the ideation tool	?
00:34:28	K	(yawn) emm I guess it would only be required if we thought it drove how much material we're having to put into this thing	R
00:34:29	J	mm OK	?
00:34:34	I	OK em w w we'll leave that as part of the materials say subset	R
00:34:35	K	mm mm yeah subset material yeah	R
00:34:41	J	there you go costlist (all laugh)	?
00:34:43	I	OK er	?
00:34:45	J	if the label fits (all laugh)	R
00:34:48	I	em what else? er (inaudible)	R
00:34:52	I	joining technology materials we will look at sort of er	R
00:34:54	J	(inaudible)	R
00:34:55	I	marketing	R
00:34:56	I	ease of use em	R
00:34:59	I	I guess those are all subsets in here	R
00:35:00	J	yeah	R
00:35:08	J	well maybe maybe another another ideation tool that might help em is looking at analogous products your other products that mount to bikes	CD
00:35:13	J	other products that clip on to something em	CD
00:35:16	I	let's do the joining technology (inaudible)	CD
00:35:21	J	OK well (unintelligible) er some something comes to mind which threw out velcro	CD
00:35:23	J	because it er happens to (laugh) it has to be a	?
00:35:26	I	just trying to get idea of where	?
00:35:32	J	we we have two joining problems we have the frame to the bike and then we have the pack to the frame	R
00:35:34	K	the frame (inaudible)	?
00:35:43	J	the the obvious solution just says really its very its like add something to your er internal frame of the pack and increase the cost of the pack	?
00:35:44	I	how shall we do this	?
00:35:47	J	I mean its an option you can buy with the pack or something but	CD
00:35:50	K	you've already got that nice frame on the pack it'd be nice if we can take advantage of	CD
00:35:52	K	that it seems redundant like at this	E
00:35:54	J	(mutter) hardware stuff	E
00:35:58	K	it seems redundant to have that and the frame	E
00:36:00	J	let's I mean	?
00:36:02	I	here let's oh I'll do it (inaudible)	?
00:36:02	J	let's	?
00:36:10	O		?
00:36:14	I	OK I wanna copy this and then erase this part and then keep going	?
00:36:17	O		?
00:36:20	I	OK print modeso...	?
00:36:33	O		?
00:36:34	I	O	?
00:36:34	K		?
00:36:37	O		?
00:36:40	I	oh actually I just saw what I needed to see there	?
00:36:43	O		?
00:36:44	I	yeah	?
00:36:44	J	that's pretty good	?
00:36:45	I	that looks pretty good	?
00:36:47	K		?
00:36:47	O		?
00:36:47	I	yeah O	?
00:36:50	O		?
00:36:56	I	yeah thats alright I've just realised here (laugh) ...	?
00:37:00	I	hey that's (inaudible) OK now we were gonna look at er ..let's take away our line like that we're gonna call this one concepts for attaching yeah	R
00:37:13	I	and it seems like there's two families of attaching there's attaching the pack to the to the if you will to this product that we're designing	R
00:37:23	J	and then attaching a product to the bike I think that	R
00:37:27	J	you want to separate them	R
00:37:28	I	yeah because I think that the time constraints like we said is thirty seconds	R
00:37:31	J	I would agree the pack off the frame is one thing but then for getting the frame off the bike they could probably live with	R
00:37:38	I	oh right	R
00:37:39	J	a lower time event	R
00:37:47	I	alright well whatever mounting features need to be put on there...yeah yes yes yes yes yes	R
00:37:49	J	I mean you might do that once its	R
00:37:53	I	well see this stuff here right where you do want to see them(paper rustling)	R
00:37:53	I	half an hour but then	R
00:37:54	J	yeah	R
00:37:57	I	this part should take thirty seconds	R
00:37:58	J	right yeah	R
00:37:59	I	and this part can take longer	R
00:38:01	I	because	R
00:38:03	K	because you can leave that on	R
00:38:04	I	because you can leave it on as long as	R
00:38:07	I	it's like er safe er you know theft proof its not gonner matter...	R
00:38:10	I	do we put that as one of our user er	R
00:38:12	J	(laugh)	R
00:38:16	I	was was theft er an issue?	R
00:38:19	K	er see user marketing research?	R
00:38:19	I	yes	R
00:38:20	J	yeah	R
00:38:26	J	so yes to the backpack generally walk to it maybe	R
00:38:32	I	(laugh)	R
00:38:34	J	the ever growing functional spec	R
00:38:35	I	oh yeah the spec	R
00:38:40	J	as far as you're aware you call them issues	R
00:38:41	J	ph you do have (unintelligible)	R
00:38:45	I	er you don't have to	R
00:38:46	J	theft proof yeah like (unintelligible)	R
00:38:55	J	and er this fold away feature I'm not sure how they wanta address that	R
00:38:59	J	I mean I don't think it doesn't seem important to me to have it fold away like on the bike	R
00:39:00	J	when it's not being used seems it's	R
00:39:02	J	like for storage maybe	R
00:39:05	I	OK and we got but we can yeah we can evaluate er	?
00:39:09	I	if we have something that doesn't sorta	?
00:39:11	J	I think that presupposes (inaudible)	?
00:39:12	I	does this fold away	?
00:39:20	J	it looks like it's got some sorta pivot here so that it collapses down a bit	D
00:39:25	J	yeah but er that kinda presupposes a solution in my opinion	?
00:39:30	J	so I think if we get something that's big and bulky then we need to evaluate it and	?
00:39:32	I	how we could fold it up	R
00:39:32	J	yeah make it smaller	CD
00:39:33	K	mm mm	?
00:39:43	J	OK so now uh go back to attaching is that were we are joining concepts for joining (laugh)	R
00:39:47	K	concepts joining concepts OK so	R
00:39:48	J	you have the engineering spelling gene apparently	?
00:39:49	I	yeah	?
00:39:52	J	I have that one too (laugh)	?
00:39:58	K	alright so we can have er Velcro Markson	CD
00:40:00	J	yeah for the pack to the er	D
00:40:02	J	to the pack to the rack	D
00:40:07	I	OK you wanna split it in half and then look at them	R
00:40:10	J	yeah yeah I mean there might be common solutions among	CD
00:40:12	I	OK this is gonna be the pack to rack	R
00:40:12	J	(laugh)	?
00:40:20	I	pack to rack ... and what's the other one rack to bike	R
00:40:22	J	rack to bike yeah	R
00:40:37	J	I just think another there's a kind of other class of solutions outside of our design problem and that's that you could somehow use the external frame and wouldn't need the rack maybe it's some sorta like	R
00:40:37	I	OK oh go ahead	R
00:40:38	I	mm	?
00:40:39	J	I don't know maybe	?
00:40:40	I	(inaudible)	?
00:40:41	J	yeah	?
00:40:43	I	we're assuming what the rack is right	CD
00:40:46	J	yeah I mean maybe yeah we're assuming there is a rack	D
00:40:51	J	I'm thinking maybe on the external frame there could be a little a little like er what do you call it um like er	D
00:40:52	I	mm mm	D
00:40:55	J	snapping clips or something that would allow you to	D
00:40:56	I	just snap right on to	D
00:40:59	J	yeah like cantilever it off the back of the bike	D
00:41:01	J	somehow	D
00:41:02	I	mm mm	D
00:41:07	J	I dunno though it's probably it's probably not if this is physically I well they're probably connected	D
00:41:10	J	so we can call the rack itself the mounting hardware	D
00:41:11	J	yeah	D
00:41:13	I	it's only just maybe it's only a clip	D
00:41:14	I	maybe it's not some big	D
00:41:17	J	yeah it looks like it's a pretty fair assumption that	D
00:41:18	I	there's gonna be one	D
00:41:19	J	there there's gonna be er another part	D
00:41:20	I	yes	D
00:41:22	J	OK OK I'll buy that	E
00:41:24	I	OK pack to rack Velcro um	CD
00:41:30	I	pack to rack gravity	CD
00:41:32	J	gravity er	D
00:41:34	K	snaps straps	CD
00:41:36	K	you can have um bungy cords	CD
00:41:38	J	bungy cords I like that one	E
00:41:40	K	like a regular	D
00:41:43	J	quarter turn fasteners of some sort little moulded plastic things that you can	CD
00:41:43	K	mm mm	D
00:41:47	J	um what about those like draw latch kind of buckles	CD
00:41:49	J	that are like on a foot locker or whatever	D
00:41:50	J	you can just kinda	E
00:41:51	I	yeah	E
00:41:53	J	maybe compress your pack down a little bit too	CD
00:41:55	J	would it be neat if you had some way	?
00:41:56	K	that would be nice to have a cinch strap	CD
00:41:57	K	'cos there's	E
00:41:59	I	we could fill somebody's suitcases (laugh)	CD
00:42:00	K	when you wanna	?
00:42:00	K	no guarantee of a full pack	?
00:42:04	J	yeah and then the other thing is Ivan said you know er people thinking that that stuff might fall out of their pack	E
00:42:07	J	if your rack sorta like sucked everything down	CD
00:42:08	K	mm mm	D
00:42:08	J	maybe	D
00:42:11	I	it's uh what are we calling str er straps	D

Annexe.

00:42:14	J	maybe it's a bag (laugh) maybe the er	CD
00:42:16	I	bag just sits inside	D
00:42:20	J	yeah maybe like whatever your rack is it has a bag and you just like you just put your whole backpack in there's a draw string on it	CD
00:42:23	I	or if you or or even like zipper around it	CD
00:42:24	J	yeah	D
00:42:24	I	or something zipper it on	CD
00:42:33	K	that's what's kinda neat about their thing it's not really a bag that this rack goes up inside those um webbing details in the back	CD
00:42:34	I	right that are already there	D
00:42:37	K	that kinda envelops it	D
00:42:38	K	it doesn't sit cinch down on this which we could add	E
00:42:41	K	but it's kind of a nice nesting feature	E
00:42:43	J	maybe the rack wears the backpack straps	CD
00:42:45	J	just like we wear the backpack straps	D
00:42:46	K	sure	D
00:42:47	J	(laugh)	D
00:42:48	K	why not see like you mount shoulders back here	CD
00:42:55	J	yeah yeah just maybe maybe you just mount a child seat back there and you give them a child (laugh) and make him wear the backpack	CD
00:42:56	I	or a manikin	CD
00:42:57	K	a manikin	D
00:42:59	I	with the top towards the	D
00:43:00	K	Harry the backpack holder	D
00:43:00	K		?
00:43:08	J	a backpack a a manikin with with clamps coming off of it (laugh) hold on	CD
00:43:13	K	now we're kind of assuming that there's some rack to attach this to	D
00:43:19	K	but what if the rack was really um something that attaches to this and just flips down	D
00:43:23	K	so maybe you hook it on to a bracket up here but you just flip down and it clips in here	CD
00:43:26	K	something something that	D
00:43:26	J	oh I like that I was kinda suggesting something similar	CD
00:43:27	J	but I didn't have that extension in mind	D
00:43:28	I	say that again	D
00:43:29	K	so maybe rather than	CD
00:43:31	J	(inaudible) off the internal frame	D
00:43:35	K	maybe the attachment is kind of a leg that attaches right to the external frame	D
00:43:45	J	(inaudible) if you um if this is the external frame of the pack maybe there's these like little sets of legs that you can fold out	CD
00:43:45	K	yeah	E
00:43:46	I	right	E
00:43:48	J	and they some sort of clip details	CD
00:43:51	J	and maybe when you're hiking then you can then you use them to stand your pack up if you're er	E
00:43:52	I	oh yeah	E
00:43:55	J	it's like	CD
00:43:59	I	yeah	D
00:43:59	K	but then they they mount into kind of like what they've drawn there there's a some some bracket that you attach to your rear forks and then	CD
00:44:00	K	it clips in to there	D
00:44:00	K		?
00:44:07	J	so just clips to the forks ... um	E
00:44:12	K	and then we'd still need um	R
00:44:15	I	there's no way of making this thing just pivot itself down	R
00:44:17	I	how is this held flat	D
00:44:18	K	it's held up here	D
00:44:19	I	there's these things here	D
00:44:24	K	kind of flips out like this	D
00:44:25	J	ooh	D
00:44:27	I	I was thinking yeah that you could flip that way	D
00:44:28	I	or the the other way	D
00:44:30	J	so	D
00:44:30	I	even this way	D
00:44:32	I	you just put a clip on these	D
00:44:40	J	but are people gonna really spend that much time getting that thing off	E
00:44:41	I	if this had clips instead of	CD
00:44:41	I	no	E
00:44:42	J	no no no	E
00:44:43	I	see these are just	D
00:44:46	J	eyelet's yeah	D
00:44:48	I	yeah (inaudible)	D
00:44:50	J	maybe it's a pack conversion kit that we have to sell them	CD
00:44:58	I	see this could stay so you could go either way so you you'd have here and if these things were Velcro and just went down	CD
00:45:00	J	yeah look at that internal frame	?
00:45:03	J	it looks exactly like it looks like a big version of um	D
00:45:04	K	a rack	D
00:45:06	J	a mountain bike rack	D
00:45:07	I	right it goes like this	D
00:45:10	J	so maybe yeah so maybe it's	E
00:45:12	I	it's not a bad size either actually	E
00:45:13	J	yeah	E
00:45:15	K	so you um	?
00:45:21	J	(inaudible) can you get around the brake cable that's always the problem	R
00:45:23	I	get right around there	R
00:45:35	K	so that can simulate our our bracket that we have up here	CD
00:45:37	K	and that could attach to either the seat post a	D
00:45:40	K	nd then it's a nice thing to attach to the seat post	E
00:45:41	I	then these	D
00:45:42	J	yeah	D
00:45:43	I	maybe there are these we have the legs	D
00:45:48	I	OK	?
00:45:48	J	O	?
00:45:48	O		?
00:45:48	K		?
00:45:51	O		?
00:45:55	J	um one of the things I was thinking that if you did this one	R
00:45:58	J	of the things that could be neat is people were talking about like centre of gravity	R
00:46:00	J	and I think that it'll be	R
00:46:03	J	different for different people what their preference is a little bit	R
00:46:04	K	mm mm	?
00:46:05	J	like where they want that mass	R
00:46:14	J	maybe the if there's a thing that comes down to here you could have it so that it adjusts so you could kinda lever the pack up or down a little bit y'know if it's not a fixed	CD
00:46:21	K	seems like lower is better regardless as you say like we design in the low position and not necessarily try and get	R
00:46:21	I	you're gonna have um	R
00:46:22	K	the adjustability	R
00:46:25	I	is there gonna be an issue of the height of this I mean	R
00:46:28	J	what about clipping under the bottom of the seat	CD
00:46:30	I	yeah or even the the seat post neck	CD
00:46:32	J	oh these things yeah	D
00:46:39	K	the other thing we ought to be concerned about ergonomically is that when you're at the bottom of your stroke your leg is is right in here you want to make sure you don't get too close to the seat	R
00:46:42	J	so you need to you need to come back from that	R
00:46:42	I	or	R
00:46:44	K	not too far back	R
00:46:44	I	lower back	R
00:46:52	K	yeah it's just one thing I've noticed when I put stuff on a big bike rack and it's sticking out kinda like a tent back here	E
00:46:53	I	yeah it'll bend to your legs yeah	E
00:46:54	K	then the back of my legs I can feel it	E
00:46:58	J	I mean what what how much weight do you think somebody could realistically put in that pack	R
00:47:00	K	probably thirty fifty	R
00:47:01	K	thirty pounds	R
00:47:02	J	fill it with sand	R
00:47:03	I	is that information we have access to um	R
00:47:07	J	yeah what's typical weight that people carry in a backpack	R
00:47:09	I	do we have er	R
00:47:12	O		?
00:47:12	J	that's OK	R
00:47:17	J	have they done any market surveys	R
00:47:17	I	do we have information about what er weights are that people might carry in a backpack or	R
00:47:19	I	market surveys about	R
00:47:22	O		?
00:47:26	I	yes ... just hand over the book	?
00:47:27	K	(laugh)	?
00:47:27	J	(laugh)	?
00:47:40	J	here's your book it'll be back to you in a while .. OK .. fiftyfive and sixtyfive litre versions (inaudible) backpack	R
00:47:46	K	twentytwo kilograms	R
00:47:48	J	so fortyfive pounds fifty pound yeah	R
00:47:52	K	including sleeping bag oh	R
00:47:55	K	so I suppose that's an issue too when you put this thing on	R
00:47:56	I	oh yeah	R
00:47:57	K	you want to make sure that that is	R
00:47:57	J	it still fits	R
00:47:59	I	(inaudible)	R
00:48:00	J	it says people are generally going to put that at the base of the	R
00:48:01	J	pack	R
00:48:02	K	mm mm	R
00:48:03	J	that's an issue for that frame (inaudible)	D
00:48:06	I	(inaudible)	?
00:48:14	J	yeah I don't think I don't think that this frame design really addresses that if you have (inaudible)	E
00:48:16	I	is that the rest of the marketing research did we miss that	R
00:48:20	K	it was kind of like a back pack camping thing	R
00:48:22	I	where it said pro and con	?
00:48:26	K	see here's the user evaluation it doesn't necessarily say that there's not a problem	E
00:48:28	J	and now there's	R
00:48:29	I	yeah	R
00:48:51	J	mistakes were made ... mm... (laugh) so	R
00:48:53	I	that's interesting yeah they said with it sticking up people couldn't swing their legs over the back	E
00:48:54	K	yeah	E
00:48:56	J	I mean I er	E
00:48:59	I		E
00:48:59	I	something low lower is better	E
00:49:01	K	I agree	E
00:49:02	J	OK	?
00:49:02	I	if I can make a general point	?
00:49:03	K	I agree	?
00:49:08	J	and we keep turning the focus on the back I mean sounds like or it seems like we might have already mentally eliminated	D
00:49:10	I	the front	D
00:49:11	J	the front (laugh)	D
00:49:12	K	it tends to be em	D
00:49:14	I	unless you can get them really low	E

Annexe.

00:49:18	K	if you can get them low but then if you get them too low you start hitting things that are you're driving by	E
00:49:19	I	(inaudible) clearance	R
00:49:22	J	we can we can sorta like cull some of our solution sets here a little bit	D
00:49:26	J	because we know you realistically can't put a full pack in here otherwise it's not gonna fly	E
00:49:27	I	(inaudible) come out	?
00:49:28	J	em	?
00:49:33	I	its er inner diamond ...so that	CD
00:49:38	J	if it was a smaller article it would work but not if it's something this size um ...	E
00:49:44	J	and over the front does do people have any problems with mounting it up front?	R
00:49:48	J	I kinda think it makes your steering harder cos you're putting more	E
00:49:50	I	yeah you have more mass up there to turn	E
00:49:51	K	yes	E
00:49:55	I	and especially um if you're gonna do like ride on trails or something like that y'know	R
00:49:55	K	it's a stability issue	R
00:50:00	I	OK front wheel let's get rid of that gas tank get rid of that	E+D
00:50:03	K	it's harder to get you legs up around the Harley gas tank	E
00:50:08	J	yeah I guess d- like well given the width of the pack you're you're right you're not going to get around that	R
00:50:15	J	I mean you're barely with somebody at the knee at the top of their stroke their knee's here on this bike so ...	R
00:50:18	J	unless there was like y'know up in here some	?
00:50:19	J	where I think it's pretty	E
00:50:21	I	(unintelligible)	E
00:50:25	J	yeah so OK. OK looks like we're heading for the back (laugh)	E
00:50:29	I	now what if these bars also I mean you're saying we'll put them in there	CD
00:50:30	I	or you could even just	CD
00:50:31	K	you could fold them	CD
00:50:32	I	fold them	D
00:50:32	K	there fold down there	D
00:50:33	I	yeah	D
00:50:41	J	yeah so there there seems like two solution sets there's one where the whatever it is stays with the pack	D
00:50:44	J	the other solution says the stuff that stays with the bike	D
00:50:47	K	and that's probably better for hiking	E
00:50:47	J	yeah yeah	E
00:50:49	K	then you don't have to lug around that weight	E
00:50:50	J	don't have to lug that weight so	E
00:50:53	J	and there's one of the things on our spec that we didn't have is weight	R
00:50:55	I	yeah	R
00:50:57	J	(laugh) well we'll make it out of concrete	CD
00:50:58	J	cos that's cheap (laugh)	E
00:51:00	J	yeah not too many people	R
00:51:01	J	I would wear a concrete backpack.....	R
00:51:08	J	what's a reasonable waist pack like...	R
00:51:12	J	I dunno a pound and a half say? too ridiculous?	R
00:51:13	I	er	R
00:51:14	J	pound?	R
00:51:16	I	how much is that backpack	R
00:51:19	J	do we have any information that would tell us what's a reasonable weight for the product	R
00:51:21	K	we have er	R
00:51:22	J	the market testing	R
00:51:28	K	what about um bike rack literature do we have anything on existing bike racks?	R
00:51:30	O		R
00:51:42	K	our goal should be to get all the information out of this little notebook (laughter)	R
00:51:47	I	that's what takes longer	R
00:51:49	K	mm mm	R
00:51:53	O		R
00:51:54	I	oh OK	R
00:51:58	J		R
00:51:58	J	(unintelligible) thinking in my mind also but er	R
00:52:03	K	this looks a lot like the little backpack frame doesn't it	D
00:52:06	I	yeah ..you see we've been it seems like mentally trying to	D
00:52:09	I	just because of a similarity in size and shape between the two	D
00:52:14	I	thinking of ways to er use the same product for the same thing	D
00:52:22	I	but I dunno that we necessarily I mean we're on a target for fiftyfive dollars I mean if they're able to make that for fortytwo ninetyfive	R
00:52:23	K	forty	R
00:52:25	I	and if we just add a plastic part	CD
00:52:29	J	I mean maybe if you look at if you look at this well this is only a buck quarter	E
00:52:30	I	yeah yeah OK	E
00:52:31	J	yeah these are the panniers	?
00:52:35	J	but if this was on the rear fork instead of the front fork if you just hang this wire form structure	CD
00:52:36	I	oh right	D
00:52:40	J	and then y'just had clip points plastic clip points that just sort of snap around the frame	CD
00:52:40	I	mm mm	D
00:52:43	J	over the tube of the frame	D
00:52:44	I	now my er	D
00:52:46	J	seems pretty straightforward	E
00:52:47	I	yeah	E
00:52:48	K	no	E
00:52:50	I	my my trial seat has this it uses an XX 10	D
00:52:51	J	which is that	D
00:52:53	K	this one	D
00:52:59	I	thats XY (inaudible) it uses this one and on the front of the seat	D
00:53:13	I	you'll get a and er that that thing has it's cross member then it goes back and it er you have the wheels here this is the seat post oops its too fat but anyway	D
00:53:15	K	it's going to need a braze-ons here	R
00:53:16	I	yeah now these are the braze this	D
00:53:18	K	and there are braze-ons here too	D
00:53:22	I	right here right it goes to the braze-ons here and connects but this part this cross member	D
00:53:23	K	mm mm	D
00:53:25	I	it er there's this big	D
00:53:29	I	on the child's seat there's this big piece of plastic that just sort of goes like that	D
00:53:30	J	so	D
00:53:32	I	so then y'just you bring it up	D
00:53:33	K	it hooks	D
00:53:37	I	yeah and rotate it down and then there's this one clamp back there	D
00:53:38	J	can I interject here	?
00:53:39	I	yeah	?
00:53:48	J	on our weight spec if you just wanna sorta look at these they have weights yeah they're between four hundred and thirty grams to er six hundred and thirty grams so	R
00:53:51	I	four hundred and six hundred say	R
00:53:57	J	yeah so em I think that's that's reasonable five hundred grams is about one point one pounds ..	R
00:53:57	J		?
00:54:04	I	so we're talking er between about say one pound and er	R
00:54:05	K	one and a half pounds	R
00:54:06	I	one and a half	R
00:54:08	J	yeah that'd probably be the max that people would ..	R
00:54:11	J	y'know lighter's better so long as its gonna work	R
00:54:13	I	OK we're getting close to er	R
00:54:19	K	this looks so much like our em backpack frame	D
00:54:20	I	yeah	D
00:54:23	K	this kind of frame up here it'd be really cool	E
00:54:29	K	if all we had to do was em add y'know two pieces that look like these three members	CD
00:54:29	I	right	D
00:54:34	K	and so somehow like clip it on to there and then take advantage of this braze-on most	CD
00:54:38	K	I mean this is getting its pretty standard on mountain bikes to have a rack braze-on	E
00:54:39	I	right	
00:54:45	J	oh	D
00:54:45	K	so that it zips into there and then those little wings em you probably want to do something	D
00:54:48	K	you gotta do something with it when it's not there	D
00:54:49	J	why are these racks	D
00:54:50	I	(inaudible) just just have the rack also	D
00:54:51	K	is beneficial	E
00:54:54	J	can we just we're talking about y'know multiple use of kick stand lock	R
00:54:54	K	mm mm	R
00:54:55	J	just like kids OK so it's a rack	R
00:54:57	K	so it's a bike rack	R
00:54:58	J	do these	R
00:55:00	I	or so you buy one of these and then you you have	R
00:55:02	K	mm mm	R
00:55:02	I	this mounting hardware	R
00:55:05	J	do these racks attach at the seat lug or are they attached at the seat post or	CD
00:55:08	I	no they're braze-on or should be there are they there on this one	D
00:55:12	I	mm mm	D
00:55:12	K	they're not on this one oh sometimes you you'd mount right through here through the quick release	CD
00:55:16	K	with those twisted pair things they just mount in I've never	D
00:55:17	J	that takes a while to get those off	E
00:55:18	K	but usually there's a braze-on right in here	R
00:55:20	J	doesn't it	R
00:55:23	K	well we don't have to disconnect from the braze-on point necessarily	D
00:55:26	J	well you'd like to be able to take the rack off I thought that was one of the things that has to be	R
00:55:28	I	mm thats a good (inaudible)	E
00:55:29	J	removable very easily	E
00:55:31	K	nut oh yeah yeah that's easy bzzzz	E
00:55:34	I	now y'see they have a permanently attached part here	D
00:55:37	K	(inaudible)	D
00:55:37	I	these are permanently attached	D
00:55:41	K	those those are attached with screw things that clamp onto the frame	D
00:55:44	K	you might as well just have a piece that comes down in one part	CD
00:55:47	K	rather than having two things that actually have to centre round the	D
00:55:48	I	yeah	D
00:55:49	K	the bike frame	D
00:55:52	K	it take it makes sense to take advantage of that bottom braze-on I think	E
00:55:54	J	yeah one of the things	E
00:55:55	I	(inaudible)	E
00:55:59	J	yeah we could reduce the number of parts that way so I would agree	CD+E
00:56:00	I	it's standard as well	R
00:56:02	I	so er like you're saying	R
00:56:05	K	now up here it's less standard to have braze-ons like (inaudible)	R

Annexe.

00:56:08	I	you could get away with different things that er	R
		(inaudible)	
00:56:09	K	but they're always adaptable	E
00:56:12	J	you can go round the seat tubes	E
00:56:12	J	I mean the seat tube diameters are pretty stable	R
00:56:13	I	yeah that's right	R
00:56:13	K	mm mm	R
00:56:18	I	yeah if you stay low and flat and so then you don't	R
		impair people	
00:56:22	J	if it's a big like like a () detail sorta like a	?
00:56:24	K	actually this quick release is standard too	R
00:56:25	I	yeah the quick release	R
00:56:35	I	yeah	R
00:56:35	J	like the like the broom clamps y'know for like too	R
		clamps in your garage or whatever they need a	
		maybe there's a detail that's like this it's a plastic	
		flexure that em	
00:56:40	J	just snaps around your seat post and it goes to	E
		whatever transitions into the tube	
00:56:40	K	mm mm	E
00:56:41	J	sections	R
00:56:46	I	OK OK now rack to bike	D
00:56:54	I	er we were looking at braze-ons ...um	CD
00:56:56	J	then you probably need a little lock on it	R
00:56:56	J	so it would never pop off	R
00:56:57	K	seat post	CD
00:56:59	J		?
00:56:59	J	some little catch or hasp	CD
00:57:02	K	the quick release	CD
00:57:06	I	(inaudible)	?
00:57:15	K	um maybe there's a way to attach to the downtube	CD
00:57:16	K	that's a lot more random	E
00:57:17	K	and it's a lot tougher	E
00:57:18	J	the downtube	?
00:57:19	K	mm mm	?
00:57:35	J	yeah... you know one of the things that seems	R
		problematic and it would be great from a	
		manufacturing standpoint if you could get around it is	
		this distance is going to vary with frame size all over	
		the map	
00:57:36	I	right	R
00:57:40	J	but so y'know we're talking about maybe those legs	CD
		could extend before	
00:57:42	J	so that you could get some adjustability on your rack	E
00:57:46	J	maybe you need that anyway just so that you can	R
		adjust to different rack styles	
00:57:48	I	mm mm	D
00:57:48	J	like a telescoping tube here	CD
00:57:48	J	like a camera	D
00:57:49	I	oh yeah	D
00:57:51	J	legs on a tripod you could just tshh-tshh	D
00:57:51	I	you could just twist it up yeah	D
00:57:52	J	yeah	D
00:57:54	K	I don't think you really need it	R
00:57:55	I	(laughter) OK	R
00:57:58	K	because this is a twenty-six inch wheel or whatever	R
00:58:00	K	it's pretty standard and so if	R
00:58:01	K	this distance	R
00:58:03	K	you're right it just does vary a lot	R
00:58:07	K	but what's gonna change is maybe your angle or	R
		your on your rack is gonna change	
00:58:11	K	er er what really is gonna happen is is this is gonna	R
		be a fixed distance	
00:58:14	K	because if we go onto a braze-on or something down	E
		here	
00:58:17	K	and and you want to make sure that there's clearance	E
		here a	
00:58:20	I	yeah	E
00:58:20	K	nd then as the bike grows it might pivot up a little bit	E
		more	
00:58:22	J	that'd make me feel uncomfortable	E
00:58:28	K	do you think so	E
00:58:28	J	though if my backpack was slanting down with an	E
		opening toward the back and all it's contents could go	
		flying out	
00:58:32	K	what if we had some sort of Velcro strap or something	CD
		that	
00:58:33	I	that bungeed it	D
00:58:37	K	or a bungee that kinda cinches it up	D
00:58:41	J	I dunno something just intuitively (inaudible) would be	CD
		to angle it up	
00:58:41	I	oh why don't I just do it this way	D
00:58:50	J	I think I think you're right I think you have to do it that	CD+E
		way because of the bedroll em thing I mean you	+R
		couldn't	
00:58:50	K	mmm mm yeah (inaudible)	R
00:58:51	J	like for change or they're alright	R
00:58:51	I	alright	R
00:58:52	K	you're right	R
00:58:57	J	and also because the bedroll's the lightest mass	R
00:58:59	J	probably you really want most of that stuff up	R
00:59:00	I		?
00:59:00	I	oh that's a good point	R
00:59:04	J	but oh OK we're looking at this horizontal orientation	D
00:59:07	J	and that's because the assumption is that we want	E+R
		the weight as low as we can get it	
00:59:10	K	mm mm CG lower bedroll avoidance	R
00:59:14	J	what about like this now your bedroll put your bedroll	CD
		on the ceiling (laugh)	
00:59:16	I	mm mm mm mm	D
00:59:18	K	well your stuff's gonna fall out that you're paranoid	R
		about	
00:59:22	J	well maybe a rack eh maybe it's a little bucket that it	CD
		sits in	
00:59:22	I	mm mm	D
00:59:23	K	mm mm	D
00:59:24	I	a little burbur maid	D
00:59:25	J	or bucket	D
00:59:25	K	(laugh)	D
00:59:27	J	and you have a bungee that goes over the top of that	CD
00:59:27	K	alright	D
00:59:30	I	then we have the foot kicking over problem	R
00:59:30	I	but we're on a brainstorm so	?
00:59:31	J	foot kicking over the bum	R
00:59:32	K	that was the problem that (inaudible)	R
00:59:34	I	to try to get on the bike they don't like that	R
00:59:35	K	the user testing they	R
00:59:36	J	ohh	R
00:59:39	K	didn't like the fact that you had to swing your leg over	E
		over the front	
00:59:40	I	over when you get on the bike	R
00:59:41	J	oh I don't like that either	E
00:59:44	K	you have to put your leg ahhh (laughter) except	E
		users got used to going like this	
00:59:51	K	but it's not as nice as just putting your swinging leg	CD
		over the back so that's that says horizontal to me	
00:59:53	I	well you see you get more CG low that way	E
00:59:53	K	mm mm	?
00:59:54	J	you get lower CG	E
00:59:57	J	but now it's on the back it's further back on the bike	E
		offset	
00:59:58	J	sort of a waggler	D
01:00:00	I		?
01:00:00	I	(inaudible) waggle the tail here	D
01:00:01	K	not too bad no	E
01:00:05	I	as long as we stay well I guess we want to stay inside	R
		of this at least but er	
01:00:06	K	(inaudible)	R
01:00:09	J	I think good human factors says it should be	R
		adjustable so that people can find the position they	
		like	
01:00:12	I	right OK	R
01:00:14	J	em that's my opinion	R
01:00:15	I	whatever we idea we come up with (inaudible)	R
01:00:16	J	opinion not fact (laugh)	R
01:00:18	I	we can look at ways of making it adjustable	R
01:00:24	J	OK OK so well it's getting the materials	R
01:00:27	I	yeah it's getting my vote sorta something like this em	R
01:00:29	I	we need to move on	R
01:00:35	J	yeah let's get to the materials a bit I mean it looks like	R
		everything we're looking at right now is wire form	
01:00:44	J	but actually a friend of mine em suggested a product	CD
		that he would do an injection moulded rack that would	
		kind of like fold down a couple of years ago	
01:00:46	J	and I was thinking yeah sounds interesting	E
01:01:00	I	(yawn) it's like the little rack that was er fiat it had em	CD
		these panels it looked just like one of these but these	
		panels were solid it had little wheels and actually em	
		you would swing it around and it would come off and	
		then it would be like a little	
01:01:01	I	trailer	D
01:01:01	K	mmm	D
01:01:02	J	mmm	D
01:01:04	I	do er two wheels and you could put whatever you	D
		want to back there	
01:01:07	I	when you weren't using you just fold it up and it	D
		would be like a bike rack	
01:01:09	J	can you sketch that (inaudible)	D
01:01:53	I	yes it was em let's see what it looked like it was it	D
		had .. bicycle here ... bars ... so there was er..when it	
		was down it came off of here and was (inaudible).....	
		so if you just em	
01:01:54	K	dragged it	D
01:02:00	J	drag it (laugh) drag it you know y'know one way to	D
		y'know just to build on your idea a little bit	
01:02:00	J		D
01:02:01	I	here	D
01:02:08	J	one way to get that adjustability for the seat post	CD
		height and all that stuff is if this say this was a single	
		bar and it went like this	
01:02:09	K	mm mm	D
01:02:12	J	and it could slide along here	D
01:02:15	J	that way if you need to come up more y'know pivots	E
		around the braze-ons	
01:02:18	J	if it needs to come up more for a taller person	R
01:02:20	J	or for better wheel clearance or whatever	R
01:02:24	J	you just kinda slide it forward and put little lock	CD
		downs on it	
01:02:27	K	yeah yeah I don't think you need to change this	CD
		length'	
01:02:30	K	cos the wheel is fixed enough that you can rotate	E
		about the braze-on	
01:02:34	K	and I mean if if you really need a adjustment	R
01:02:36	K	I think all these Blackburn racks would have	R
		adjustments	
01:02:37	I	would come in different sizes	R
01:02:41	K	but they end up pretty horizontal even with all the	D
		various places	
01:02:43	I	that's because also you can bend these guys here	D
01:02:46	K	yeah you can flex those a little bit	D
01:02:47	J	ah ah	D
01:02:47	I	those guys can bend	D
01:02:51	I	so they can go arrrr if they have to they can do that	D
01:02:53	J	(yawn) OK	D
01:02:55	I	they're just like little thin sheet metal pieces	D
01:02:57	J	OK	D
01:03:00	I	then you could also like if if you're going	D
01:03:08	I	they included in one piece of sorta like this thing	D
		they'd just have holes here and y'actually bring all	
01:03:09	K	cinch it down and bolt it	D
01:03:11	I	the () in and put a screw through there right	D
01:03:12	K	mm mm	D
01:03:15	I	but they include that in it so you could go up and	D
		down if you had to	

Annexe.

01:03:16	J	mm mm	D
01:03:20	I	so well anyway imagine this thing here you're meant to have a couple of wheels on it here	CD
01:03:21	J	mm mm	D
01:03:24	I	and er and then just	D
01:03:26	K	pivot the whole thing down	D
01:03:26	I	pivot the whole thing	D
01:03:27	K	then that wheel's	D
01:03:28	I	and that wheel's right on yeah	D
01:03:29	K	that's kinda cute	E
01:03:31	I	but actually this it's always wider	R
01:03:34	I	but these wheels could then fold down	CD
01:03:36	I	so that they were very close against the er	D
01:03:36	K	mmmm	D
01:03:37	I	the thing so	D
01:03:38	J	is there	D
01:03:40	K	so whats the advantage of doing that it takes	E
01:03:44	I	cos it was very narrow when it was in the backpack mean	D
01:03:45	J	so it's kinda	D
01:03:53	I	in the bike rack it was very close and narrow and the wheel sorta folded out this way and then when it was a little cart it was like this wide	D
01:03:54	K	mm cute	E
01:03:56	J	is that is that sort of a feature people would actually use	E
01:03:57	J	though on this	?
01:04:00	I	I don't know that it would be that useful here	R
01:04:02	I	I think (unintelligible)	?
01:04:03	K	off road might be the (laughter)	?
01:04:07	I	yeah . but it does er give you more control	E
01:04:08	I	because you're you're you	R
01:04:09	K	the weight's not on the bike	E
01:04:10	I	yeah yeah	E
01:04:11	K	you're just pulling it	E
01:04:17	I	I think cost would well I dunno cost would probably nail us there	E
01:04:19	I	if these things already cost fifty dollars	R
01:04:25	J	yeah I mean that's about as simple a wire form rack as you can get	E
01:04:27	J	I bet you most of the cost in this is in the welding	D
01:04:28	I	mm mm	D
01:04:33	J	em all this stuff up the forming probably not so bad but	E
01:04:33	I	right	E
01:04:37	J	it's certainly not material	D
01:04:42	I	yes OK well maybe em OK let's look at materials	D
01:04:44	I	you were talking injection moulding	CD
01:04:46	J	injection moulding em	D
01:04:48	J	wire form	CD
01:04:59	J	what else comes to mind on top of these maybe like er cloth with some sewn in em diecut pieces	D
01:05:00	J	or something for plastic	CD
01:05:01	I	oh yeah	D
01:05:01	J	reinforcement	D
01:05:05	J	like sorta like backpack construction technology	D
01:05:07	I	oh	D
01:05:10	J	emmm come on come up with some ideas (laugh)	D
01:05:13	I	er rubber	D
01:05:15	K	wire form plastics	D
01:05:21	K	and injection moulded bracket things the small things to injection mould the the small bits	D
01:05:22	K	so the tooling isn't too light	E
01:05:26	J	why why does that make sense to you what intuitively makes sense about it	?
01:05:30	K	em cos that's where you need some maybe tricky bracket	?
01:05:32	K	or maybe you want some custom	?
01:05:34	J	but the rest you're just going for minimum	?
01:05:39	K	minimum cost and maximum strength wireform rack seems like	R
01:05:40	J	we're not	?
01:05:41	I	yeah I means the only	?
01:05:43	K	you don't need to reinvent the wheel it seems like	?
01:05:46	I	we already have some stability here	E
01:05:47	I	so the rack doesn't have to be all that strong	R
01:05:49	I	just strong enough to	R
01:05:50	K	that's true	R
01:05:55	I	keep it from wobbling I mean in this in this plane or whatever	R
01:05:58	I	if we're if we're gonna go in this direction this plane is already very stiff so	E
01:05:59	K	mm mm	E
01:06:02	K	that's probably got enough to hold the support the weight	E
01:06:03	I	yeah so maybe in that case	E
01:06:04	K	we just need some	R
01:06:06	I	we can knock out some of this yeah some of these	CD
01:06:09	J	do you have a ruler or a measuring tape anywhere?	?
01:06:10	O	X	?
01:06:18	J	just wondering how big this rack is ooooh... this looks like	R
01:06:18	I	eighteen	R
01:06:22	I	OK	R
01:06:22	J	em eyeballing it looks like seventeen	R
01:06:24	J	seventeen there	R
01:06:28	J	and em shall we record some of this stuff	R
01:06:29	I	we're going to have to do it bigger	R
01:06:34	J	em well that makes sense it's a twenty six inch wheel	R
01:06:34	K	mmm	R
01:06:42	J	its thirteen inches to the top of the wheel em and then the seat post is somewhere or at least the er quick release on the seat somewhere around	R
01:06:43	K	twenty	R
01:06:49	J	twenty yeah twenty twenty yeah twenty twenty and a half something like that	R
01:06:51	I	the seat post was what	R
01:06:53	K	twenty	R
01:06:59	J	kinda disrupted our materials discussion but	R
01:07:00	J	I was	?
01:07:01	I	that's OK	?
01:07:05	J	when Kerry started talking about sorta the strength issue I was thinking well how big are we looking at	R
01:07:08	K	I think you're right I mean we've already got this good structure	D
01:07:13	K	all we really need is some well we need some good moment resisting here	R
01:07:14	K	to kind of grab onto this	R
01:07:17	K	and resist both this moment and	R
01:07:18	J	and then from shock when you like	R
01:07:19	K	and shock	R
01:07:20	I	yeah so	R
01:07:24	K	but then down this way seems majority compression tension	E
01:07:24	I	mm mm	E
01:07:29	K	although you might be putting some moment on if you're leaning against a tree or something	R
01:07:31	I	or if you run into a tree yeah	R
01:07:32	K	run into a tree	R
01:07:33	I	yeah	R
01:07:36	J	(laugh) you might be worried about more stuff than that if you ran into a tree though	R
01:07:40	K	your collarbone	R
01:07:44	J	yeah I think that the one a super simple solution might not be strong enough	E
01:07:55	J	though er cos if you can imagine just taking a piece of like propylene or something like that and diecutting this triangle that you can like fold like a cutout	CD
01:07:57	J	you know like a cutout from a popup book or whatever and em	D
01:08:00	J	and it bolts on	D
01:08:03	J	down there and down there em creates a flat surface	D
01:08:12	J	and then there there might be some sort of fittings that you need to actually come up against you know to connect up here and and and down there or whatever	D
01:08:15	J	but k- kind of act as a mudguard too (laugh)	D
01:08:21	K	that would make sense for I don't think it conceptually that it'll be a very good em compression member here	E
01:08:22	I	member here	E
01:08:26	K	but I think it would make a good good em broach or bridge across	E
01:08:33	K	if we had some y'know vertical beams that are coming up and to hold the two apart when they're when you're just in rack mode	CD
01:08:36	K	maybe y'know kind of a shorter span to be in compression	D
01:08:39	K	'cos as soon as you put those on (inaudible)	E
01:08:40	J	you can always clip onto your downtubes too	CD
01:08:43	J	or your er whatd'y call these these guys (inaudible)?	D
01:08:44	K	rear	D
01:08:45	I	stays	D
01:08:47	K	rear fork I guess	D
01:08:47	J	and for the fork rear fork	D
01:08:50	J	so that y'know you have less tendency to buckle	E
01:08:53	J	if you kinda clamp off part way up	CD
01:08:55	K		?
01:08:55	K	mm mm that's true	E
01:09:05	J	mmm OK	E
01:09:11	K	I guess the thing that makes me puzzle is how we're gonna get a nice connection between	R
01:09:13	J	oooh	R
01:09:14	I	what d'you mean	R
01:09:19	K		?
01:09:19	J	I was just wondering did we get any dimensions on the backpack itself are there any dimensions on the backpac	R
01:09:21	O		?
01:09:31	K	this em connection do you see a snazzy way of designing a bracket	R
01:09:32	I	up here	R
01:09:34	K	mm mm	R
01:09:38	I	er oh let's see	R
01:09:42	J	(inaudible) that's interesting	R
01:09:45	K	just a big wall you're forming (inaudible)	?
01:09:46	I	it sorta goes into	?
01:09:48	K	oooh it goes into it cool	?
01:09:50	I	it goes into itself here	?
01:09:53	K	y'gonna crank it	?
01:09:57	I	well if they're like a like a hook that went like that	CD
01:10:00	J	OK who reads Flemish or Dutch or whatever	?
01:10:01	J	this is (laugh)	?
01:10:02	I	where is it	?
01:10:09	J	there's not too much on there (laugh)	?
01:10:10	I	Dutch if you use half German half English	?
01:10:11	J	yeah	?
01:10:13	I	it seems like that anyway	?
01:10:17	K	Industrieeel Ontwerpen	?
01:10:22	I	let's see we'll just think it out	?
01:10:25	J	of what (laugh)	?
01:10:30	I	I'm thinking of ways of er put the bracket here	R
01:10:32	K	this is our idea orientation so that we can get our bedroll without having without to move the (inaudible)	R
01:10:33	J	the roll back I agree with that	R
01:10:34	I	right	R
01:10:38	K	and then em I think it makes less sense	E
01:10:42	K	to have a good compression member to hold this portion up	E
01:10:42	I	mm mm	E
01:10:48	K	and then then I think we can do that reliably kind of a la Blackburn rack use their kind of	CD
01:10:53	J	does it do we really wanna use these lugs for speed of disassembly	CD

Annexe.

01:10:58	J	or does it make more sense to like just have something that like a plastic ferrule or something that goes around this that you	CD	01:14:11	J	(laugh)	?
01:10:59	I	this is probably	E	01:14:12	I	OK	R
01:11:00	I	a bit stronger	E	01:14:19	J	I always wondered what that footnote meant IBID	?
01:11:02	K	this is strong	E	01:14:19	K	IBID	?
01:11:06	K	and er allan wrenches are pretty standard to be carrying around on a y'know	E	01:14:23	J	and now I know it means independent independent bicycle dealer (laugh)	?
01:11:07	J	bike anyway	E	01:14:24	I	let's get a stock of where we are	R
01:11:09	K	on a back on a bike	E	01:14:33	J	OK ... so what's a quarter of fiftyfive bucks er twelve er twelve fourteen bucks	R
01:11:18	I	(inaudible) just throw it in there (inaudible) allan wrench is practically free you're paying fifty dollars for that so you just include it	?	01:14:39	I	OK (inaudible) some nice round numbers	R
01:11:19	I	and these threads are standard	E	01:14:43	J	twelve fifty plus a dollar twentyfive fifteen seventyfive	R
01:11:21	I	or else you just include it in that tube	CD	01:14:44	I	OK fourteen	R
01:11:21	J	yeah	E	01:14:48	J	you're eating into the margin there (laugh)	R
01:11:22	K	mm mm	E	01:14:52	K	those engineers always like to take the (inaudible)	R
01:11:23	J	just doesn't I dunno	?	01:14:53	J	the expensive way	R
01:11:24	K	(inaudible)	?	01:14:57	I	OK um so where are we are we going to	R
01:11:25	J	it just doesn't seem real elegant to me but	E	01:14:59	J	I think we should goal (inaudible) (laugh)	R
01:11:27	K	it's there you might as well use	E	01:15:00	I	let's talk about the decisions that we've made	R
01:11:29	K	and that reduces parts yeah	E	01:15:10	I	so far ... shall we do it based on the er based on the er brainstorming sort of	R
01:11:34	I	you could use it yeah () like a one cent screw versus a couple of pieces or three plastic parts yeah	E	01:15:18	J	hold on yeah materials wise too if we used um aluminum tubing instead of er instead of steel tubing	D
01:11:44	K	mm mm and then the issue that I think kinda remains is how to get this attached nicely to some portion of the bike back here	R	01:15:20	J	not only is there a weight savings	R
01:11:48	K	and that's where you wanna get come up with your nice injection mould bracket	CD	01:15:22	J	but we could er meet the ugly spec	R
01:11:50	K	that really works well	E	01:15:22	K	for a cost increase	R
01:11:58	K	or has a little bit of product identity maybe from a product standpoint from a marketing standpoint might be cool	E	01:15:25	J	by anodising it in a bunch of different colours (laugh)	CD
01:11:59	K	if there's some	E	01:15:26	I	oh yeah	R
01:12:00	J	maybe	CD	01:15:28	K	steel painting isn't that expensive is it	E
01:12:09	I	oh yeah	E	01:15:43	J	no but the only the only thing I know that's wrong with aluminum is if you've ever skied I had my ski poles fracture on me in really cold temperatures and er I was skiing in Denver one time and my ski pole bent in half and not only did it bend in half it	E
01:12:09	J	maybe you put this down down to the er what d'you call them lugs and then you er have a waist strap that goes around your waist and you don't need to attach to (inaudible)	D	01:15:43	I	yeah	E
01:12:10	K	yeah that could be cool	E	01:15:44	J	because it was so cold	R
01:12:12	J	might get too much	E	01:15:49	I	and you could fall on it yeah ... OK so now	R
01:12:13	I	yeah	E	01:15:50	K	and what material are you saying	R
01:12:14	J	at your back	E	01:15:51	I	positioning	R
01:12:14	K	yeah (inaudible)	E	01:15:54	I	have we thrown out the folds in the middle	D
01:12:16	I	what what I was thinking is	R	01:15:55	K	have we thrown out what	D
01:12:17	J	(laugh)	?	01:15:58	I	folds in the middle backpack fold in half	D
01:12:22	I	if we have like a like a Blackburn rack the only problem that I see with it if you put that back up here is	R	01:15:59	K	it'd be nice not to have to modify the backpack	R
01:12:25	I	that it it's fairly narrow I mean you don't want a rack that's this wide	R	01:16:00	K	in a way	R
01:12:25	J	right	R	01:16:02	J	yeah I think we have to take that as a constraint	R
01:12:26	I	just for general riding	R	01:16:03	J	yeah	R
01:12:26	K	mm mm	R	01:16:03	I	yeah	R
01:12:27	I	but if you had one that was close	CD	01:16:08	I	how d'you do that we'll just do it formally OK er rear	D
01:12:28	I	and then you could just sorta	D	01:16:09	K	Mr Beavis or whatever his name is	?
01:12:31	J	did it say that people would want to use it as a regular rack	R	01:16:10	I	we're still having rear	D
01:12:32	J	or is that a feature	R	01:16:14	I	we don't know whether we want oh we we're looking at the rearward position	D
01:12:33	I	mm mm	R	01:16:20	J	yeah rearward facing which is so we're we've like sorta taken their design solution reversed a hundred and eighty degrees and flipped it down	D
01:12:34	J	that we could incorporate	R	01:16:22	I	OK stand walk	?
01:12:36	I	I imagine let's see where's the marketing research	R	01:16:25	J	er we kicked out killed off the lock issue ?	R
01:12:42	J	I mean I'm sure what people do right now probably is go buy a bike rack and bungee cord this down on to the bike rack	CD	01:16:26	I	no OK	R
01:12:42	I	yeah	D	01:16:33	J	I don't think we've killed that off I think that's if I were gonna like go day hike anywhere and leave my bike	R
01:12:46	K	mm mm that's definitely within the product target space	E	01:16:36	K	have a dual level	R
01:12:49	J	maybe we should sell them a Blackburn rack with two bungee cords for fiftyfive bucks	CD	01:16:36	J	I would definitely y'know if I'm backpacking through Europe kind of thing	R
01:12:50	I	(laugh)	?	01:16:38	I	OK we got that	R
01:12:53	J	so hey you're right in there they sell these for forty bucks so	E	01:16:39	J	yeah	R
01:12:56	K	mm mm you could buy some real nice bungee cords for that	CD	01:16:45	I	OK so em so I'm just trying to see what er is there	?
01:12:58	J	the purchased solution (laugh)	D	01:16:46	J	(laugh) oooh this is a great board we need one of these	?
01:12:58	J	(laugh)	?	01:16:50	I	I know (inaudible) you can get it out of your face if you don't like it	?
01:13:02	I	they say never make it if you can buy it out of a catalogue	?	01:16:54	I	OK now er so rearward	?
01:13:07	J	no tooling (laugh) make back your tooling on your first order um	?	01:17:00	I	cos we have to start making decisions we're already at five fifteen	?
01:13:19	I	yeah (inaudible)	R	01:17:03	J	yeah I know how my watch on you'll have to be official timekeeper	?
01:13:19	J	but out out of fiftyfive dollars I'm wondering if there's any sort of price breakdown that um people want like you know in other words what's the manufactured cost if the sales cost is fiftyfive dollars	R	01:17:17	I	yeah OK we're gonna be rearward facing er we're going to be horizontal .. we're going to er	D
01:13:27	J	is there any sort of um cost specification for we know the sales price is fiftyfive dollars but um	R	01:17:19	I	OK pack to rack or	R
01:13:29	K	landed cost or	R	01:17:20	I	are you ready to do that yet	?
01:13:31	J	the manufactured cost of the product is there a target for that	R	01:17:21	K	pack to rack	R
01:13:34	O		R	01:17:23	I	joining concepts	D
01:13:37	J	is there any is there	R	01:17:24	J	yeah I think if we	?
01:13:47	O		R	01:17:25	K	yeah (inaudible)	?
01:13:49	J	oh we estimate our own ratios OK	R	01:17:28	J	I think if we do the joining concepts that might help us make some of our materials decisions too sort of	D
01:13:52	K	so we'll assume that is sell it to a retailer	R	01:17:30	I	right OK Velcro	CD
01:13:53	J	use the standard one fourth model	R	01:17:34	J	em I think if if	E
01:13:54	I	yeah	R	01:17:35	K	it wears out	E
01:13:54	K	mm mm mm mm	R	01:17:38	J	yeah and if you're gonna have dirt and stuff in it	E
01:13:58	J	manufactured costs will be one fourth the the MSRP	R	01:17:41	J	should we like break down a rationale for our killing off some of these ideas too	?
01:14:00	I	yeah	R	01:17:42	K	nah no	?
01:14:00	I		?	01:17:44	J	(laugh)	?
01:14:04	K	manufacturer's suggested retail I suggested retail price	R	01:17:44	J	we'll just say it and they'll record it	?
01:14:05	I	yeah	R	01:17:46	I	em gravity gravity	CD
01:14:09	K	from a I at an IBD ... independent bicycle dealer	?	01:17:51	J	er well up here in bumpy terrain	E
				01:17:53	I	OK fix this	CD
				01:17:56	I	yeah	D
				01:17:56	J	I mean maybe it can be part of the solution but	CD
				01:17:58	J	snaps	CD
				01:17:58	K	errrrr	?
				01:18:00	J	depends on what kind	CD
				01:18:07	J	if it's like snaps on cloth em you know like those little Stimpson em press in	CD
				01:18:07	I	mm mm	D
				01:18:09	J	like rivet kind of snaps	CD
				01:18:11	J	I don't particularly care for them	E

Annexe.

01:18:12	J	but if it's like Fastex kind of snaps	D
01:18:13	J	those are reasonable	D
01:18:15	I	mm mm OK	D
01:18:18	J	'cos then you could cinch your backpack down too you know nice compression straps	D
01:18:19	I	OK bungees	CD
01:18:21	K	compression straps that also snap	CD
01:18:22	I	that's bun- that's bungee like	CD
01:18:23	J	straps with snaps	CD
01:18:28	I	OK so now we're talking about the pack to the rack	R
01:18:29	I	OK good quarter turn fasteners	CD
01:18:32	K	err	?
01:18:37	J	err there's something real positive about them but maybe uh I dunno	E
01:18:38	J	we'll let's not cut them out yet	D
01:18:39	I	OK	D
01:18:40	K	they're fast yeah	E
01:18:41	I	drawlatch	E
01:18:44	J	yeah	E
01:18:44	K	that's good for cinching down the load yeah	E
01:18:46	I	well we sorta have that in the straps	E
01:18:48	K	so do the straps	CD
01:18:49	I	so we would do it as a strap way OK so	D
01:18:49	K	mm mm	D
01:18:49	J	yeah	D
01:18:53	I	we'll just call it that for now er bag put it in a bag	CD
01:18:55	I	we're gonna need some sort of thing to do something with those straps	R
01:18:57	J	yeah	R
01:18:57	K	to get this out of the way	R
01:18:58	I	yeah either the	R
01:18:59	J	so it's either a bag	CD
01:19:00	J	or maybe it's like a little vacuum formed	CD
01:19:03	I	yeah a tray that's right OK	D
01:19:03	J	tray kinda for it to sit in	CD
01:19:08	J	'cos it would be nice I think I mean just from a positioning standpoint	R
01:19:14	J	if we've got this frame outline and we know that they're gonna stick with that you can vacuum form a a tray or a (inaudible)	CD
01:19:15	I	right or even just a small part of the tray	CD
01:19:17	I	or I guess they have these	D
01:19:19	J	yeah	D
01:19:19	K	(inaudible) so something to dress this in	D
01:19:20	I	or even just em	D
01:19:23	J	maybe the tray could have plastic snap features in it	CD
01:19:27	J	so you just like kkkkk snap your backpack down in it	CD
01:19:28	I	mmmm I was thinking of er	?
01:19:28	K	snap in these rails	CD
01:19:30	J	it's a multifunction part huh	D
01:19:33	K	you just snap in these rails	D
01:19:35	J	yeah snap the rails into the tray there	D
01:19:35	K	mm mm	D
01:19:35	I	OK	D
01:19:39	J	it takes care of the easy it takes care of the rooster tail problem on your pack	E
01:19:41	I	uh uh what if your bag were big er	R
01:19:47	I	what if you're you're on er in this tray were not plastic but like a big net	CD
01:19:50	I	you just sorta like pulled it around and zipped there I dunno	D
01:19:54	J	maybe it could be part maybe it could be a tray with a with a net and a drawstring on the top of it	CD
01:19:55	I	yeah I mean em	E
01:19:55	J	I like that	E
01:19:56	J	that's a cool idea	E
01:20:00	I	a tray with sort of just hanging down net	D
01:20:03	I	you can pull it around and and zip it closed	D
01:20:03	J	(inaudible)	?
01:20:09	J	oh yeah	D
01:20:09	K	it could be like a a window shade so you can kinda it sinks back in so it just	CD
01:20:11	I	it retracts yeah	D
01:20:13	K	you pull down it retracts in	D
01:20:13	J	a retracting shade	D
01:20:14	I	right right	D
01:20:18	K	so that that's not dragging in the spokes if you don't have anything attached	E
01:20:32	J	so what we're doing right now though is we're coming up with like again classifications of solutions of kind of all they're all either or things I mean like we wouldn't do the net and the shade and the snap in with the tray either or any one of those will	D
01:20:33	I	yeah OK	D
01:20:37	K	a net can be combined with a shade I mean you could have a retractable net that that's how I thought of it	D
01:20:39	I	so we I think the issue that we're talking about is is straps	D
01:20:41	I	so we'll just keep that one on the burner	D
01:20:44	K	yeah maybe there's some cool innovation there	E
01:20:45	J	well yeah OK	E
01:20:49	I	OK now er it had er has er	?
01:20:56	J	I think tray is sorta a new one on the list it's not a subset of bag it's a kind of er yeah but oh yeah yeah yeah oh I see	D
01:20:58	J	shade straps is how do you dress the straps on the back	D
01:21:00	I	yeah yeah OK	D
01:21:08	I	oooh legs up internal frame now what did that mean I think that meant er	D
01:21:10	J	oh that if you had legs off of the internal frame	D
01:21:10	I	yeah	D
01:21:13	J	I think we decided we want to take the weight off of the pack	D
01:21:14	J	so let's kill that guy	D
01:21:18	I	OK backpack straps using those we have a manikin in the back	D
01:21:20	J	design rationale	?
01:21:23	I	em big zipper in the back doing it er	CD
01:21:27	I	why don't we weed out one of these er zipper	D
01:21:29	J	I think a zipper could be	D
01:21:29	I	(inaudible)	?
01:21:31	J	comes along the top of the tray or whatever	CD
01:21:32	I	yeah	D
01:21:33	K	that kinda goes with a bag bag on a tray	CD
01:21:36	J	you have a the tray would zip clip	CD
01:21:38	I	OK	D
01:21:40	J	net or	CD
01:21:41	K	zip clip net	CD
01:21:44	J	what else did you suggest you suggested something different from that I think	D
01:21:47	I	clip net bungee draw	CD
01:21:50	J	yeah I I really like	E
01:21:51	I	OK	E
01:21:53	J	like that tray idea (laugh)	E
01:21:55	I	OK we'll keep that one tray er ...	D
01:22:00	I	er	?
01:22:00	I	er d'you wanna just put it in	D
01:22:03	J	I think all design eventually comes down to a popularity contest	D
01:22:03	I	tray	D
01:22:04	K	I hate that idea	E
01:22:06	J	(laugh)	?
01:22:08	K	OK let's make a tray that just holds things (inaudible)	CD
01:22:11	I	of some kind I doesn't have to necessarily be a tray tray it can be	D
01:22:12	K	a vacuum formed tray	CD
01:22:14	I	just something that holds the straps and stuff	D
01:22:18	J	'cos that's OK we could should like well I dunno like map it into what feature that gives you s	D
01:22:19	J	o you know why you did that and this is for the	D
01:22:20	K	straps	D
01:22:24	J	straps and er contain straps through the rooster tail (laugh)	D
01:22:26	K	oooh	D
01:22:28	J	er	D
01:22:29	K	straps and rooster tail	D
01:22:30	I	rooster tail	D
01:22:32	K	we're calling this the rooster tail this little tail	D
01:22:36	J	no the rooster tail when you when you ride in the rain and it goes whoosh all over your	D
01:22:38	K	so its a fender feature	D
01:22:40	I	then it will get you like that	D
01:22:42	J	fender OK	D
01:22:43	I	OK	D
01:22:46	I	err rear facing here	D
01:22:50	J	that was rearward facing was er so the er	D
01:22:51	I	sleeping bag	D
01:22:53	J	most mass forward or masses	D
01:22:53	I	yeah yeah	D
01:22:56	K	rearward facing bottom	D
01:22:59	J	rrr(inaudible) forward	D
01:23:01	J	(laugh)	D
01:23:03	I	OK	D
01:23:06	J	and then horizontal was low CG right	E
01:23:07	I	yeah and ease of mounting	E
01:23:12	J	and ease of mounting OK and ease oh ease of mounting the bike ease ease	E
01:23:12	I	yeah ease for the rider of the mountainbike	E
01:23:16	J	rider mounting bike OK	E
01:23:19	I	OK	E
01:23:23	J	it's like all these things are human factors issues and they're not (inaudible)	R
01:23:24	I	right	R
01:23:28	K	oh yeah will we have easy to use (inaudible)	R
01:23:28	I	braze-ons	D
01:23:29	J	(laugh)	?
01:23:31	I	OK let's let's talk about er	R
01:23:32	J	easy to use cheap (laugh)	R
01:23:33	K	ease of use ease of use	R
01:23:36	I	we're gonna go with the rack	D
01:23:40	I	let's go with er talk about braze-ons these braze-ons?	D
01:23:41	K	yeahhhh	D
01:23:48	J	OK they're a given I I think we need a solution for people who don't have braze-ons what if you don't have them	R
01:23:53	K	there are solutions for that they they already make little bracket things that kinda	CD
01:23:54	I	little junk	D
01:23:55	J	they're kind like wree wree	D
01:23:57	I	yeah just little junk things that y'can	D
01:24:00	J	yeah	D
01:24:00	J	I don't understand	D
01:24:03	K	this goes around your tube that comes here	D
01:24:04	J	don't they seem cheesy though to you	D
01:24:06	K	yeah that's why you buy a bike with a braze-on	R
01:24:07	J	(laugh)	R
01:24:08	I	you buy a hot bike buddy	R
01:24:10	J	(laugh) all this is (inaudible) do we have a spec on this stuff	R
01:24:13	I	this bike has braze-ons right here on which bicycle	R
01:24:14	K	this works on em	R
01:24:18	J	do we have a function a a a design drawing on this bike er er	R
01:24:20	0		?
01:24:23	J	cos we wanna look at braze-ons	R
01:24:24	K	the Buster (laughter) the bump-on Buster	R
01:24:26	I	we're designing for the bike and we haven't even looked at a picture	R
01:24:29	K	whoooo it might be some weird recumbent (laughter)	R
01:24:34	Kooh we ran out of design time (laugh)	R
01:24:37	0		?

Annexe.

01:24:41	K	ah ha ha two even	?
01:24:44	I	yes	R
01:24:44	O		?
01:24:49	J	we want everything we can get (laugh) oh thank you	R
01:24:49	I	thanks	R
01:24:52	J	yeah	R
01:24:52	K	check it out we even have braze-ons up here you guys	R
01:24:53	I	oh yeah that's good	R
01:24:58	J	so this will force people to buy the bike	R
01:24:59	I	it'll be clean	R
01:25:00	K	bump this	R
01:25:03	K	Buster I dunno Batavus Buster (laugh) the butt Buster	R
01:25:07	J	(laugh) ow	R
01:25:14	I	who's selling what now this is we have two companies one is backpack and one's bicycle	R
01:25:17	K	and and their CEOs are buds	R
01:25:28	I	what would stop them from buying one of these and just making a little interface piece to put them together and bring these guys into the picture and than y'know	R
01:25:29	K	you get one more company	R
01:25:31	I	yeah don't make any parts people have these things anyway	R
01:25:41	K	I think that would promote sales of maybe the backpack if you had a good mounting system from the backpack to a Blackburn	CD
01:25:44	K	I'm not sure if it would help the sale of the bike	E
01:25:44	I	right	E
01:25:47	K	but it's no nothing is I guess	?
01:25:47	J	yeah I don't think it's	E
01:25:49	J	nobody's gonna run out and buy the bike	E
01:25:50	I	unless unless we can	?
01:25:53	J	yeah	?
01:25:53	K	attach their High Sierra backpack (inaudible)	?
01:25:57	I	unless we can cut a little we make some sort of proprietary er mounting thing	CD
01:25:58	I	but I'm sort of like morally opposed to that	E
01:25:59	J	so am I	E
01:25:59	J		?
01:26:01	I	(inaudible) design	?
01:26:02	J	(laugh)	?
01:26:04	K	should be universal go with any bike	R
01:26:07	J	designers in revolt we're not going to do it dammit (laugh)	R
01:26:10	K	alright so we should use these	R
01:26:13	K	that well I don't know if we figured out it	R
01:26:16	K	we still need some tread brackets	R
01:26:18	I	maybe we can have some funky () system	CD
01:26:19	I	or something like a reverse thread in there	CD
01:26:20	J	(laugh)	?
01:26:23	K	we have to use the Buster	R
01:26:29	J	(laugh) this is a left hand er left hand thread with a () head style	R
01:26:32	I	the only thing the only way I see them doing is	CD
01:26:40	I	OK so they so Buster can er you know let's take off this braze-on and this and actually physically put another piece of metal there	D
01:26:41	K	that's true	?
01:26:43	I	that would be a way of making it proprietary	E
01:26:46	I	but I don't see if they wanted to be able to come off	R
01:26:48	J	they said their target market is 250,000 people	R
01:26:52	J	that I wonder if that's based on the population of people that own this bike	R
01:26:53	K	no they don't have the bike now	R
01:27:00	J	so I I guess my point is I think if you designed it specifically	R
01:27:02	J	around mounting points no mounting points on this bike	R
01:27:06	J	you might get yourself into trouble by limiting your market a lot	R
01:27:07	K	but these are pretty standard though	R
01:27:09	J	the lower ones I would agree	R
01:27:10	J	but the uppers	R
01:27:11	K	that's pretty standard too	R
01:27:12	J	the uppers are?	R
01:27:19	K	it's getting to be yeah I mean it's not on this but actually some mountain bikes are pretty scoopy and weird but	R
01:27:22	J	we can assume Kerry has expert knowledge (laugh)	R
01:27:35	K	but um we're gonna need to assume that but since we know the Batavus guys and the buddies with the backpack guy that um that we could design for that bike frame end	R
01:27:37	I	well look the frame comes in different sizes so	R
01:27:39	K	yeah it comes in different sizes	R
01:27:40	K	but that distance stays pretty constant	R
01:27:42	K	maybe we can still make it	R
01:27:43	I	yeah let's assume it's just this horizontal	CD
01:27:45	K	maybe we can make it independent of this dimension somehow	D
01:27:47	K	but I'm not sure if that's	D
01:27:49	I	yeah we don't have time	?
01:27:53	J	well see the thing that's unique about this is this dimension appears to stay fixed regardless of frame size the angle just changes	R
01:27:55	K	yeah mm mm and it doesn't change by much either	R
01:28:00	I		?
01:28:00	I	that's not a braze-on that's a bike er that's the brake	R
01:28:01	K	this this distance doesn't change a great deal	R
01:28:02	J	right that's one time when I was faking a number	?
01:28:03	I	sorry	?
01:28:07	J	(laugh) we could mount to the brakes (laugh)	CD
01:28:09	K	we could it's not a bad idea	E
01:28:15	K	er	?
01:28:15	I	OK um keep moving along we have er fifteen minutes	?
01:28:16	I	to finish our design	?
01:28:21	K	so braze-ons tube seat post quick-release seat	D
01:28:22	I	OK	D
01:28:29	K	and er I mean mounting to like the seat quick-release is probably more standard than the upper braze-ons	E
01:28:31	K	but since this guy already has braze-ons we should	R
01:28:33	I	since this guy has it yeah we want all braze-ons	E
01:28:34	K	braze-ons above and below	D
01:28:38	J	OK yeah 'cos I mean if we take it as a constraint that we're designing for this bike	R
01:28:39	I	yeah	R
01:28:40	J	that seems legitimate	R
01:28:48	I	OK there we go next shall we go ahead and design it	R
01:28:58	J	um yeah let's try to let's try to like um visualise some of these joining and materials solutions that we've proposed	D
01:28:59	I	OK	D
01:29:00	J	that are kind	D
01:29:02	J	of within this subset of ideas that we identified	D
01:29:05	K	let's do the upper one first I think that's the hardest one	D+E
01:29:07	J	what upper one	D
01:29:08	K	the upper er be- the	D
01:29:09	I	this between the	D
01:29:10	K	the rack and bike	R
01:29:14	J	oh you know what else we didn't do though I'm sorry I don't know how much time we have left to explore this ut rack to bike is that what you're just saying how do we	R
01:29:18	I	(inaudible)	?
01:29:19	J	why don't we just we just pick the braze-ons	CD
01:29:20	K	rack to bike um to pack that kind of interface	R
01:29:24	K	but the upper interface	R
01:29:25	I	OK	D
01:29:30	K	how to um I guess it's braze-on to bracket	D
01:29:32	I	it's this interface that they have here that they have designed	?
01:29:34	K	this yeah the equivalent of that how	?
01:29:35	I	other than the softest one it's this one	?
01:29:42	J	see here's something that just surprises me is why if the braze-ons are available why wouldn't they have used them	R
01:29:46	I	'cos they're not hot designers	?
01:29:52	J	I mean see the the beauty of this though is it comes out of these things really quickly	E
01:29:54	J	on the braze-ons it's not gonna come out real quick	E
01:29:55	I	what if you screw this to the braze-on	CD
01:30:00	K	piece	D
01:30:00	K	or you could even have er the threaded	CD
01:30:00	I	you could say it screws	D
01:30:01	K	that goes in there	CD
01:30:03	K	you could have a big thumb wheel on it rather than	D
01:30:05	J	yeah are braze-ons tapped usually	R
01:30:06	K	yeah they're tapped	R
01:30:06	J	they are OK	R
01:30:09	K	they're a standard screw thread	R
01:30:10	J	design assumption great we're using tapped braze-ons	R
01:30:12	K	yeah	R
01:30:12	I	do they have (inaudible)	R
01:30:13	J	M six I don't know	R
01:30:16	I	do they have something like that	R
01:30:21	J	um so yeah like you could have	CD
01:30:23	I	that would be very simple then	D
01:30:25	K	a big knob	D
01:30:26	J	just two knobs	D
01:30:28	I	but then you see they have a theft problem	R
01:30:30	I	so let's include both in the kit	CD
01:30:34	J	um how does how does like er you () on a rack or something like that	R
01:30:36	K	lockable knobs	CD
01:30:37	I	I like the little um	D
01:30:39	J	locking knobs yeah lockable knobs lockable	D
01:30:43	I	or you can just OK so lockable knobs is one option	D
01:30:46	I	I think if you want to take the rack off a lot or not	R
01:30:50	I	and then how about just er set screws or allen head	CD
01:30:55	J	I think no tools they should come off with no tools except for	R
01:30:55	I	maybe it should be an option	CD
01:30:57	J	well except for the thing that you wanna lock	R
01:30:59	I	well see OK	R
01:31:00	I	OK	R
01:31:03	J	(laugh)	R
01:31:04	I	well let's keep going	R
01:31:06	I	we can we can add features later	?
01:31:10	J	OK right um I dunno so what's	?
01:31:13	I	() we say locks big knobs	D
01:31:17	J	oh I don't know how to lock this	R
01:31:21	J	I'm just thinking down at the lower braze-on if you could just turn this until it was tight	CD
01:31:22	J	that's fine	E
01:31:23	I	OK	E
01:31:27	K	we'd have some we'd have to have some lock washer on there	?
01:31:28	J	yeah for compression	?
01:31:31	J	so there's some sort of a weighted washer or something	CD
01:31:33	I	I'm talking lock in terms of	R
01:31:33	J	yeah	R
01:31:34	I	theft	R
01:31:34	K	yeah	R
01:31:39	J	yeah this doesn't address that yet	E
01:31:39	K	that doesn't address that	E
01:31:39	J	right um and I don't know how we address	R
01:31:41	K	that's why a nice allen wrench and bolt	CD
01:31:42	K	is nice	E
01:31:44	I	we'll just throw it in have this and the other thing yeah	D

Annexe.

01:31:46	I	mm mm	?	01:34:39	J	that has a drawstring on it	D
01:31:46	K	mm mm for the rumblers of the world	?	01:34:41	I	oh one that expands	D
01:31:49	I	big	E	01:34:45	J	yeah exactly exactly this way you can compress all this stuff down on your pack	D
01:31:49	K	they can use these expensive	?	01:34:50	I	well that it'll be we may get into a costing sheet but yeah	D
01:31:50	I	ugly	E	01:34:53	J	and then Kerry's got the OK we'll assume Kerry's tubes	D
01:31:52	K	ugly	E	01:34:55	J	or can it be a single tube now	D
01:31:53	J	(inaudible)	?	01:34:57	J	can it just be like a tube that does this that's folded one time like this	D
01:31:54	K	aerodynamic drag	?	01:34:59	I	Oh yeah	D
01:31:55	K	heavy	E	01:35:00	K	I think we want more than one	CD
01:31:58	J	I'll just evaluate my idea now	?	01:35:03	K	we want two two to three	D
01:31:59	K		?	01:35:04	K	like the Blackburn	D
01:31:59	K	(laugh)	?	01:35:05	K	just because I bet they've done the	?
01:32:01	I	no I think that's a good idea	E	01:35:08	I	right there's no need in er reinventing that wheel	?
01:32:02	J	oh yeah? (laugh) uh uh	E	01:35:09	J	so OK	?
01:32:05	I	OK	E	01:35:11	I	once they've patented it	?
01:32:07	J	they're ganging up on me (laugh)	?	01:35:11	J	so we can	CD
01:32:11	K	help I want out of this design exercise	?	01:35:13	K	they've got some that are two	R
01:32:15	I	good	?	01:35:17	K	but their mountain bike ones tend to have three like this is	R
01:32:17	K	OK so	?	01:35:18	J	so to distribute like	R
01:32:18	J	(laugh)	?	01:35:19	K	mm mm	R
01:32:18	I	I think that's a good deal	E	01:35:22	I	yeah it's for strength and stiffness	R
01:32:19	J	OK	E	01:35:26	J	and then er in this tray if we assume the tray could be injection moulded	CD
01:32:20	K	what goes in there (inaudible)	D	01:35:29	J	'cos that seems to be within our cost targets these	E
01:32:24	J	I dunno (laugh) we're designing your house around the screws	D	01:35:31	I	oh the the injection moulding	E
01:32:28	I	so that'll be um these er Blackburn racks all have a hole	D	01:35:33	I	then would have the mounting feature up front whatever that is	E
01:32:29	J	(inaudible)	D	01:35:34	K	mm mm	E
01:32:30	I	they all have a hole there	D	01:35:34	I	whatever the tray	E
01:32:31	K	(inaudible)	D	01:35:39	J	and this could just have little snaps to the er er to these rails	CD
01:32:32	I	do we want a hole or not	R	01:35:43	J	so that to these tubes so we have this folding down spec	D+E
01:32:34	I	we don't want a hole necessarily	R	01:35:46	J	so that if this junc point here had a pivot at it	D
01:32:34	J	I don't think well	R	01:35:49	J	and and then it's kinda like you're folding TV trays y	D
01:32:38	K	I think if we do something like this	CD	01:35:53	J	ou just unclip this guy from here and you unclip	D
01:32:38	I	do we wanna	D	01:35:56	J	well you probably don't need to unclip the back one you just unclip one of these	R
01:32:40	J	it's a hole	D	01:35:58	I	what what (inaudible)	R
01:32:40	K	that's pretty handy	E	01:35:58	J	and then you can swing the legs flat	D
01:32:41	J	or a fork but	CD	01:35:59	K	what the rack	R
01:32:42	K	it's a fork but I	D	01:36:00	K	has to fold	R
01:32:44	I	maybe we want the fork shape so the	D	01:36:02	J	yes the rack has to fold	R
01:32:44	J	the fork's nice	E	01:36:03	K	where does it say that	R
01:32:47	J	because you can start the screw and then put the fork in it	R	01:36:04	J	it says that in our spec	R
01:32:51	I	but maybe the fork needs to be shaped I don't know have some kind of weird shape so that	R	01:36:05	I	where	R
01:32:52	J	what kind of fork is this	D	01:36:06	K	our spec	R
01:32:54	J	though is it are we assuming that we're doing metal	CD	01:36:11	J	says right here	R
01:32:55	J	have we jumped to that assumption somewhere	D	01:36:15	K	should fold down or stacked away easily	R
01:32:56	K	yeah	D	01:36:16	J	right so just	R
01:32:59	J	(laugh) I don't have much predispose	?	01:36:17	K	what does that mean stacked away	R
01:33:00	J	to doing tubing	D	01:36:18	J	oh OK	R
01:33:03	I	I'm just wondering oops say that that continues off	?	01:36:23	I	OK I see I see your point so this goes up and the whole thing falls down you put it in the closet and it's flat so that's flat	CD
01:33:05	I	I'm sorry for writing on the old thing	?	01:36:23	J	right	D
01:33:11	J	but see this it just goes down there's no way to to keep it down so that the there's just some sorta	E+R	01:36:24	K	mm mm	D
01:33:14	K	yeah I think it does need a right angle	R	01:36:26	I	OK good	E
01:33:15	K	it could even end here I think	CD	01:36:26	K	OK	E
01:33:16	I	front to rear ()	D	01:36:28	J	(unintelligible) (laugh)	?
01:33:16	K	and it would be a if if this way is up	D	01:36:30	I	no makes sense like a very good wine	?
01:33:17	J	what is this	D	01:36:33	J	very very actually what you could do is you could get it so that	?
01:33:18	I	it's this	D	01:36:34	I	that's that's probably held in a pivot	D
01:33:19	J	this black thing	D	01:36:43	I	oh yeah	E
01:33:20	K	rather than this	D	01:36:43	J	if you got if you unclip this then then you could flip this off around and it could sit inside the tray when you store it away	D
01:33:23	J	so why is it why is it ch- shaped like that	D	01:36:44	K	yeah that's it	E
01:33:24	I	because you	D	01:36:50	I	or look they went with the if you go with the big fat tube instead of that little skinny stuff	CD
01:33:26	K	the direction of force is	D	01:36:52	I	you could probably get away with one tube	D
01:33:27	I	our forces are (inaudible)	D	01:36:54	I	and then you just do the same concept that they've done there	?
01:33:28	K	mm mm	?	01:36:58	J	that that's what I was kinda drawing here was this this is a continuous tube	CD
01:33:28	J	oh you want to make sure you captured it	?	01:36:59	I	one big fat one	D
01:33:29	I	yeah	?	01:36:59	K	mm mm	D
01:33:32	J	well why not just simplify it like this and have your	CD	01:37:00	J	and then here's another	D
01:33:35	K	yeah I think that's all you would really need	R	01:37:00	J		?
01:33:36	J	'cos I don't think you need to like have	R	01:37:01	K	support	D
01:33:38	O		?	01:37:02	J	continuous tube	D
01:33:38	K	OK	?	01:37:04	I	OK now we have to do a pivot	R
01:33:39	J	OK	?	01:37:05	J	oh	R
01:33:39	I	OK	?	01:37:06	I	so we can get rid of this	CD
01:33:41	J	where are we supposed to be schedule wise we're supposed to be designing right	?	01:37:09	I	yeah	D
01:33:43	I	yeah well that's what we're doing right	?	01:37:09	J	by just making that beefy enough	D
01:33:44	J	and OK	?	01:37:11	J	have to put a 'do not sit on this'	?
01:33:46	I	I think we should be done in about er	?	01:37:14	I	let's see now we're gonna say this comes off	CD
01:33:50	J	well OK well we know we we like this tray idea right	D	01:37:15	I	and we have your big er	D
01:33:51	I	right	D	01:37:16	K	knobby	D
01:34:00	J	and and I guess if I had to express that somehow I would I would see it as being something like er here's the front of the frame	D	01:37:18	J	knobs for quick release	D
01:34:04	J	and there's the backpack sitting like this oops I guess I've got that backwards sorry	D	01:37:19	I	we're gonna need them here too	R
01:34:06	J	the frame went backwards now	D	01:37:21	K	mm mm four knobbies	D
01:34:08	J	because we're gonna have the bedroll off the back	R	01:37:23	I	but they'll all be the same	D
01:34:10	J	so it's probably open at the rear	R	01:37:25	K	mm mm 'cos it's the same thread that goes through the braze-ons	D
01:34:11	I	mm mm	R	01:37:27	I	and there's plenty of room for it so	E
01:34:13	K	for the bedroll to stick out	R	01:37:29	I	'cos we have access to the outside here	R
01:34:15	J	for the bedroll to stick out it's kind of	R	01:37:36	J	yeah maybe I mean I I wouldn't feel horrible if we gave away the er the idea of locking it but um	R
01:34:17	J	but there may be a tray on the side	D	01:37:39	I	well we'll just throw in an extra set screw	CD
01:34:19	J	I liked your idea of the netting thing too	E				
01:34:20	K	mm mm	E				
01:34:25	I	you can know the tray could just have two punch holes for the bungee to go over it	CD				
01:34:27	J	what bungee	D				
01:34:27	I	I think it'd just collecting the sides	D				
01:34:30	I	to hold the backpack down	R				
01:34:31	K	the straps cinch down to that	D				
01:34:36	K	yeah	D				
01:34:36	J	I'm just thinking that maybe maybe it's like em a one of those breathable nets type things	D				

Annexe.

01:37:40	I	so people who want it can do that	D
01:37:41	I	(inaudible)	D
01:37:41	K	mm mm	D
01:37:42	J	the set screw	D
01:37:45	K	just do it as an allan wrench	CD
01:37:45	J	or maybe there's a way em if you're gonna lock your bike	D
01:37:52	J	there's a way to lock through through it there's some like locking hole feature for your	CD
01:37:53	I	right	D
01:37:54	J	bike cable to go through	D
01:37:57	I	right just glue a little piece of aircraft cable on it	CD
01:37:58	K	mm mm	D
01:38:00	J	and a little padlock on the draw string	CD
01:38:00	J		D
01:38:02	K	yeah	?
01:38:02	I	OK so	?
01:38:07	J	so let's get some dimensions on this turkey and er detail drawing phase	?
01:38:10	J	do we know what this feature looks like	?
01:38:12	J	it's just another lug feature right	D
01:38:14	K	mm mm (inaudible) our tray is pretty wide	D
01:38:19	J	let's come up with some (inaudible)	?
01:38:26	I	I'd like the tray to collapse to sort of well to er be able to be made narrower	CD
01:38:27	I	but I guess that's going to be a pain (inaudible)	E
01:38:29	K	if we're cinching this whole thing down	CD
01:38:30	K	it doesn't need to be very deep	R
01:38:31	I	right	R
01:38:32	K	it can be a pretty flat thing	CD
01:38:37	I	oh yes right	E
01:38:37	K	maybe even I think vacuum forming would be a (inaudible) for the volumes that	E
01:38:40	J	we wouldn't be able to get the snap features in a vacuum form either	E
01:38:42	K	that's true we're snapping because we're snapping to the	?
01:38:44	J	let's see now the frame and the pack	D
01:38:47	I	how do we mount up here with having the	R
01:38:52	I	we have no access to the to the frame up here which is where we want	E
01:38:53	K	let's just do a quick (inaudible)	?
01:38:56	J	well if we just did a couple of places yeah if we if we put	CD
01:38:58	K	it could just lay there yeah	D
01:38:58	I	it just sort of lays in there and then you cinch it down	D
01:39:00	K	I don't think we necessarily need it	R
01:39:01	K	to snap in	R
01:39:02	I	right	R
01:39:03	K	'cos we got it cinched down with some	D
01:39:07	J	although wouldn't you feel well I guess if that if that dr- I like the draw string	E
01:39:08	I	if you use straps yeah	D
01:39:09	J	or the draw string	D
01:39:10	K	you can't rely on a strap I would oppose yeah	E
01:39:16	I	I mean even like not I mean straps like these you don't you don't think you could rely on those to if they had	E
01:39:17	K	oh yeah you could rely on that	E
01:39:20	K	I I don't think you could rely on just the injection moulded snap pieces	E
01:39:20	I	oh no no	?
01:39:22	K	that that's what I don't think you could rely on	E
01:39:23	J	OK OK I would agree	E
01:39:26	J	and that's just a pain to get it out afterwards anyway	R
01:39:27	K	to fight against	R
01:39:35	J	so so are we straps or net over this thing what what's our what's our g- what's our idea we're gonna fit straps or	R
01:39:40	I	cost wise we're going to be probably forced to straps and these things	R
01:39:41	J	mm	R
01:39:47	I	how are we going to attach the net to the top bit	R
01:39:49	K	it's hard to get tension on a net too	E
01:39:59	J		?
01:39:59	J	um how am I gonna if I mean you could sew it in like you do with a backpack thing	CD
01:40:05	I	let's say considering that we have about ten minutes given that	?
01:40:07	K	let's design our thing	?
01:40:07	I	let's do our thing yeah	?
01:40:08	J	are we designing three different things	?
01:40:09	K	no we're designing one thing	?
01:40:10	J	OK	?
01:40:13	I	since this is only for the big presentation for the two people	?
01:40:15	I	we have to do a cost analysis as well	?
01:40:22	J	OK OK so er how we we know we're going to put product parts in different colours for presentation	D
01:40:34	I	yeah so we'll have an open back tray like a pick-up truck bed we'll throw the em and it'll have this little feature	D
01:40:37	J	this little er lug detail down at the bottom	D
01:40:41	J	and we could put dimensions on this if we wanted to em	D
01:40:45	J	we're we're assuming we don't need this extra side support	R
01:40:46	J	'cos this is going to be like	D
01:40:51	I	do we have em do we have a drawing for this er engineering drawing er for the existing	D
01:40:53	O		?
01:40:56	J	what's the width of this have to be now	R
01:40:59	K	er it has to be	R
01:41:00	O		?
01:41:00	O		?
01:41:03	K	inside has to be over eleven there	R
01:41:05	I	what about for the er this part	?
01:41:08	O		?
01:41:09	I	OK	?
01:41:10	K	about fifteen	D
01:41:12	J	centimetres or inches centimeters	D
01:41:14	K	centimetres oh inches	D
01:41:19	J	this is in inches oh wow so fifteen	D
01:41:20	K	mm mm	D
01:41:22	J	OK let's draw fifteen inches OK	D
01:41:26	J	and it's probably what two inches deep (inaudible)	D
01:41:32	I	no we just need enough so that if the straps are in a funny position that it can still hold	R
01:41:33	J	what's this	D
01:41:33	I	that's this	D
01:41:36	J	is this a part that we can use	D
01:41:38	I	well that's the prototype	D
01:41:38	J	oh it's the existing design	D
01:41:38	K	well this is one of the first things	D
01:41:40	J	ahh that's expensive	E
01:41:41	I	yes	E
01:41:44	J	god fifty dollars huh (laugh)	E
01:41:54	I	OK here ah yeah lay this flat I want to just check up where you want to get to about here where's the paper	?
01:41:55	K	it's heavy	E
01:41:58	I	if you go too high on it	E
01:42:00	I	you're gonna restrict people's	E
01:42:02	I	ability to put stuff in it	R
01:42:03	J	yeah y'gotta get more than two inches oh but maybe	CD
01:42:05	I	ahhhh no you don't do you I mean you just have to catch the frame	R
01:42:06	J	oh yeah	?
01:42:07	K	it does curve some	?
01:42:09	I	it does there is room there for the straps	E
01:42:10	J	sales ()	?
01:42:11	J	let's measure the high point of the frame then	R
01:42:14	J	and go maybe a tad higher than that	CD
01:42:15	K	you know what might be nice for em	R
01:42:17	I	I think you're two inches over the	R
01:42:18	K	it might be nice	CD
01:42:21	K	to have that curve built into our tray if we're injection moulding it in like	D
01:42:23	K	that's true	R
01:42:23	I	but what if someone wants to put like books or something else in there	R
01:42:24	I	yeah	R
01:42:28	J	just as long as that they they can't use it as a seat (laugh)	R
01:42:29	I	mm mm	R
01:42:30	I	yeah that's what they would do yeah	R
01:42:30	J	thats why the tray would do it yeah	R
01:42:33	I	let's leave the back open	CD
01:42:35	I	although we don't want these straps coming out	R
01:42:38	I	so let's put a em a shorter lip on the back	CD
01:42:40	I	or at least across the middle	D
01:42:41	I	let these things	D
01:42:50	I	the only question is how em or maybe there needs to be a ridge in there that you can put these inside of	R+CD
01:42:51	I	so that they just sort of stay up in there	D
01:42:53	J	I think that this needs to be additional anyway em	R
01:42:55	J	'cos for this to snap in	R
01:42:59	I	oh see that that's perfect see this thing well actually	E
01:43:00	J	yeah oh that could be	E
01:43:01	J	the rear ridge	D
01:43:04	I	that could be the rear ridge right that comes up the side here	D
01:43:06	J	and it doesn't yeah and it just so that sets this dimension for us then	D
01:43:08	I	right so it comes up to here and across there	D
01:43:10	J	because we know what the width of that pack is across there	D
01:43:14	J	er what's the width of the pack frame back there? packframe	D
01:43:15	K	eleven on the outside	D
01:43:17	I	eleven yeah on the outside	D
01:43:20	I	and what's the material thickness em	D
01:43:23	J	eleven on the outside	D
01:43:26	J	so well we could just go down to like em nine	D
01:43:28	I	these inches in er	D
01:43:32	J	nine nine point five inches would probably fit in there	E
01:43:32	K	yeah	D
01:43:38	I	OK	D
01:43:38	J	em we need a we need a tube length and an angle here	D
01:43:40	J	to snap the	R
01:43:43	I	tube length er you want an estimate? yeah we'll just do estimates	D
01:43:46	I	'cos we just want to give them a rough cost idea right	D
01:43:51	J	so with that we're like two parts plus straps right now	D
01:43:54	J	but we don't we don't have this critter identified	R
01:43:55	J	now can you draw that out	D
01:43:56	J	since we're running out of time what	D
01:43:56	K	mm mm	?
01:44:00	I	what's this that's put to we can use the same	R
01:44:02	I	technology here you have	?
01:44:03	J	or if you injection mould this	D
01:44:06	I	injection mould two ribs inside of here er	D
01:44:12	I	they'll do it within the same call so y'have em some sort of er	D
01:44:16	J	a couple of ribs with a side pole or something like that	D
01:44:21	J	you get your cosmic colours on this too	D
01:44:25	I	with some maybe some holes in it	D
01:44:28	K	for these metal strips	D
01:44:28	I	and er those provide runners for some er	D
01:44:30	I	aluminum these things	D
01:44:32	I	no	?

Annexe.

01:44:32	J	d'you think it needs to be aluminum? D'you think it need to be metal	R
01:44:34	K	these are steel	D
01:44:36	J	yeah we could just bolt on the er plastic	D
01:44:38	J	though plastic fill lugs it would fracture	E
01:44:39	K	mm mm mm mm shear	E
01:44:42	I	plus you want to wanna be able to adjust that length for the different frame sizes	R
01:44:43	J	oh yeah oh yeah that's true	R
01:44:46	J	for cost	?
01:44:46	J	cos we don't have any adjustment in this piece now	E
01:44:49	J	so the only way of adjusting this	R
01:44:50	I	it needs a weird twist doesn't it to er	R
01:44:52	K	to get vertical	R
01:44:53	J	to turn ninety degrees	R
01:44:54	I	er	?
01:44:55	K	mm mm	?
01:44:57	J	so can this can this be a common part?	D
01:44:59	I	yeah use twice yeah	D
01:45:00	J	so we have two	D
01:45:01	J	two pieces em	D
01:45:03	I	it'd be cheap too	E
01:45:05	J	what d'you call this er topstay or something like that?	D
01:45:09	I	yeah we'll call it er that's it exactly the em yeah	D
01:45:14	J	topstay	D
01:45:14	I	let's call it the topstay for lack of a better term OK	D
01:45:18	J	now we have these we have these crank-on knobs or whatever	D
01:45:18	I	yeah knobs	D
01:45:21	J	so we have four of those right	D
01:45:21	I	yeah	D
01:45:23	K	OK four	D
01:45:24	J	four knobs	D
01:45:26	I	these are right there aren't they	D
01:45:34	J	yea ..four knobs one injection moulded tray one formed tube	D
01:45:43	I	and er this can be er a cost reduced part	D
01:45:45	I	like a wing with er set screws	D
01:45:57	K	mm mm.....errr	?
01:45:57	K	mm mm.....errr	D
01:46:06	I	er do I include er two straps or bungees?	D
01:46:08	I	straps probably	D
01:46:09	I	yeah straps	D
01:46:10	J	y'know it's gotta look like part of the product	D
01:46:12	J	it can't just look like it	D
01:46:14	I	right those can sit inside OK	D
01:46:16	I	so we'll go with two straps	D
01:46:19	J	I really like that net idea I guess	E
01:46:20	I	let's make that an option	D
01:46:22	J	the net idea kinda falls apart though	E
01:46:27	J	'cos you have to close off the back with a net y'know you have to be able to put the bag in here and	E
01:46:29	J	but see right now with the straps	E
01:46:31	J	we don't have any way to keep this thing from slipping out the back	R
01:46:34	I	well maybe a backstrap two and maybe three straps	D
01:46:37	J	actually I think you're right I think a sorta something	D
01:46:37	J	we need we need some	D
01:46:40	I	that has some slots in it through which the	D
01:46:44	J	see these are gonna have to be like Fastex straps	D
01:46:45	I	mm mm	D
01:46:45	J	something that you can unbuckle	D
01:46:46	J	pronto fast	E
01:46:47	I	right just like er	E
01:46:50	K	maybe it could just even be a strap that has a hook on it	CD
01:46:51	I	oh yeah	D
01:46:53	K	through kinda stretchy	D
01:46:54	J	bungees	D
01:46:56	I	although bungee	D
01:46:58	I	if they're having problems with wiggling and stuff you want to really like make it a part of the bike so	R
01:47:04	I	em do we wanna go bungee or do we wanna go em	CD
01:47:08	J	I feel more secure with a non bungee I think	E
01:47:08	I	OK	E
01:47:10	K	bungees would actually work great	E
01:47:12	K	'cos then you don't have to cinch 'em	E
01:47:13	K	but it does	E
01:47:13	I	yeah	E
01:47:16	K	it does get flim ohhaaa	E
01:47:17	K	(inaudible)	?
01:47:19	I	well why don't we can determine that from user trials let's say that	R
01:47:21	J	OK OK I'll go with bungees for now	D
01:47:25	J	let's I mean you can do something like cool colours on the bungee	D
01:47:26	J	just to make it more interesting	D
01:47:28	I	option bungees	D
01:47:29	J	bungees	D
01:47:35	I	alright here we go er what d'you call that stuff er	D
01:47:37	K	nylon webbing	CD
01:47:41	J	so do we say now about the order of	D
01:47:44	J	well we have to well to make a decision at some point	D
01:47:47	I	well but we don't have to do it right now	R
01:47:53	J	OK so we go with three straps so we gotta have two cross straps that are the same part	D
01:47:56	K	why couldn't we just go wreee wreee	D
01:47:59	J	oh yeah I like that better	E
01:47:59	J		?
01:48:00	I	OK	D
01:48:01	J	cross two cross straps	D
01:48:08	J	we we eliminate a part that way so we're refining our design bringing it down to the lowest common denominator	D
01:48:10	I	OK so that's all	D
01:48:14	I	so screws various screws we'll need one two three four wait	?
01:48:15	K	for the	?
01:48:16	J	why why do we need any screws?	R
01:48:19	I	er for these things that attach to here	R
01:48:20	J	mm mm	?
01:48:21	K	what are those called again those rear things?	D
01:48:24	I	stays topstays	D
01:48:29	J	ugh I don't like screws	E
01:48:32	I	I know because you'll need foot plugs too	R
01:48:39	K	y'don't need to remove those	R
01:48:39	J	no we could we could wing that into the plastic you get little wing nuts that go into em insert into the plastic	CD
01:48:41	K	they're a part we don't ever need to once those are installed we never	E
01:48:43	K	we could insert mould them	CD
01:48:45	I	well there you go	?
01:48:46	J	insert mould what?	D
01:48:48	K	insert mould these into the	D
01:48:49	J	yeah OK we'll insert mould them	D
01:48:50	I	insert mould	D
01:48:51	J	cheaper (laugh)	E
01:48:52	K	so that	E
01:48:52	0		E
01:48:54	I	that gets rid of four screws	E
01:48:55	I	no screws	E
01:48:56	J	no screws	E
01:49:00	I	but see that was where our adjustability came from	R
01:49:01	I	in the different frame size	R
01:49:02	I	so now the height's gonna be	R
01:49:02	K	that's true	R
01:49:05	J	no then we need it you're right you're right you're right	R
01:49:06	K	put the screws back	CD
01:49:07	I	where were they?	D
01:49:08	K	ready	D
01:49:12	I	ah yes so four screws	D
01:49:16	J	OK so we have so four dozen screws	D
01:49:18	I	OK cost	R
01:49:24	K	try it	?
01:49:34	J	mmmmm just front to rear em ..well let's see what else do we have on this could we	D
01:49:36	I	yeah we	D
01:49:38	J	we need to start doing some cost estimates of these parts too	D
01:49:46	I	do we have a cost estimate of the Batavus design bicycle seat? this one	R
01:49:48	K	two	?
01:49:51	0		R
01:49:54	0		?
01:49:54	I	OK do we have a er an itemised list of that?	R
01:49:58	I	oh OK relative cost	R
01:50:00	J	we'll just have to go off of our design experience	D
01:50:02	J	on these parts probably	D
01:50:03	I	OK	D
01:50:04	J	em do we have the length of this	D
01:50:07	J	'cos that's gonna govern the size of the moulding tool	D
01:50:08	J	that's gonna be an expensive part	E
01:50:10	I	OK we'll make a list	E
01:50:20	J	and then that's gonna determine what this angle is back here...	E
01:50:25	J	is that too big very large	E
01:50:29	K	so we're gonna put volume estimates to estimate costs	R
01:50:32	I	where are those braze-ons on the rear stay	D
01:50:38	J	they're here they're fifteen point four inches up (inaudible)	D
01:50:45	I	you know what his makes we might no be doing something right we may not this may have to be moved in	?
01:50:46	J	what	?
01:50:50	I	these may have to actually be up underneath because	R
01:50:52	J	well it's iffy {{full of uncertainty}}	?
01:50:54	J	'cos then your pack would run under the seat wouldn't it	E
01:51:00	I		?
01:51:00	K	you know what it might be	E
01:51:00	I	OK yeah you're right	?
01:51:03	J	I think we're I think we're OK on there	?
01:51:05	I	(inaudible)	?
01:51:07	J	I think the thing that's kind of indeterminate is that this length is gonna be	D
01:51:08	I	right	D
01:51:11	J	it might it might not it might not be as shown it might be in like this	D
01:51:13	J	and if we had more time we could go in and figure it out	D
01:51:14	K	I think it's pretty close to fifteen point four	D
01:51:16	I	yeah	D
01:51:17	J	yeah	D
01:51:19	I	OK fifteen point four inches	D
01:51:22	I	now you said the tool er I said eighteen inches	D
01:51:24	K	(inaudible)	D
01:51:27	J	well it'd be it would be less than fifteen point four right 'cos	D
01:51:28	K	mm mm	D
01:51:29	J	so this thing	D
01:51:30	I	what?	D
01:51:31	J	if you did this	D
01:51:34	K	it might be swung out enough to er get it kind of a triangle	CD
01:51:37	J	oh oh oh oh 'cos you're saying a rear facing triangle	D
01:51:38	K	you don't also want to have to cantilever	R
01:51:40	I	it's probably going to	E
01:51:40	J	if it went like it went back like this OK	E
01:51:43	I	because this thing is gonna be as long as the frame right	E

Annexe.

01:51:44	J	OK so you say fifty bucks	R
01:51:46	I	four inches roughly	D
01:51:46	K	yeah	D
01:51:48	I	it's gonna be about er (inaudible)	D
01:51:49	K	seventeen	D
01:51:51	I	inches so	D
01:51:53	J	so materials wise on this guy we've got thirty	D
01:51:55	I	plus	D
01:51:57	J	plus another ten	D
01:51:58	I	yeah forty inches	D
01:51:59	J		?
01:51:59	J	forty inches	D
01:52:02	K	the tubing	D
01:52:03	J	er er well is it aluminum	D
01:52:04	J	or is it steel tubing	D
01:52:05	I	we wanted to (inaudible)	?
01:52:06	K	(inaudible)	?
01:52:09	J	lightweight big cross section aluminum OK (inaudible)	CD
01:52:14	J	and these things things could be er aluminum too they don't have to be steel	R
01:52:15	J	they're easier to form if they're aluminum em	E
01:52:20	J	and I dunno what d'you think that runs like twelve cents a foot	CD
01:52:23	K	I go at steel here for the for the stiffness	R
01:52:24	I	do you OK	E
01:52:27	I	twelve cents a foot how much does that make it	D
01:52:30	J	well we're gonna have to have four feet or a little under four feet so it's about	D
01:52:31	I	say fifty cents	D
01:52:33	J	fifty cents for materials	D
01:52:35	K	fifty cents	D
01:52:37	K	and then forming another fifty cents	D
01:52:39	J	well	D
01:52:41	I	yeah what about this business too we have to do something about that	R
01:52:42	J	we have to	R
01:52:43	K	oh and then we have to	R
01:52:45	I	oh we can form it we can crush it and we can cut cut that shape	CD
01:52:52	J	yeah we can cut form it and then punch punch the punch a hole in the tube so er so em	CD
01:53:00	J	I'd say you have one two three four forms if you will and then two secondary operations so	D
01:53:04	J	four forms at that like twentyfive cents a form OK a buck	D
01:53:07	I	OK yeah I'd say that'd probably cost us a buck	D
01:53:08	K	and then	D
01:53:09	J	well as we have fifty cents of materials	D
01:53:09	I	there we go	D
01:53:13	J	tube and forms and then we have er like three	D
01:53:15	K	threading	D
01:53:16	K	no no they're through hole	D
01:53:17	K	so y'have to punch	R
01:53:17	J	through holes	D
01:53:20	J	punch that's probably another ten cents at most though	D
01:53:21	I	OK	D
01:53:23	I	OK	D
01:53:23	K	I'd say two bucks	D
01:53:27	J	OK then we have to anodise or whatever your gonna do to it	D
01:53:27	I	paint	D
01:53:28	I	or powder coat or	D
01:53:29	K	another buck	D
01:53:30	I	OK	D
01:53:33	J	OK so we're at a we're at a a buck sixty before	D
01:53:35	I	we're at two bucks	D
01:53:36	J	we're two bucks	D
01:53:37	I	yeah	D
01:53:37	K	mm	D
01:53:38	J	OK that seems reasonable	D
01:53:40	K	and then er screws ten cents	D
01:53:43	I	yeah err tray	D
01:53:46	K	em knobs injection moulded	D
01:53:51	J	injection moulded tray we have a part that is two inches deep fifteen by what was this length	D
01:53:52	I	eighteen seventeen	D
01:53:53	J	seventeen	D
01:53:55	I	yeah	D
01:53:58	J	so it's about the size of this top PC cover	D
01:54:03	I	(inaudible)	?
01:54:03	J	... we've got poles side poles on it for these things	D
01:54:06	K	five bucks five bucks	D
01:54:08	J	for the part	D
01:54:09	K	mm mm	D
01:54:11	J	I'd say it'd be more like twelve bucks	D
01:54:12	K	seriously?	D
01:54:13	J	yeah	D
01:54:13	K	cos it's oh	D
01:54:15	I	we don't have to paint it or anything though do we	R
01:54:15	K	no	R
01:54:16	J	yeah we don't have to paint it ()	R
01:54:17	K	twelve bucks	D
01:54:21	J	my HP parts were eighteen bucks for that cover so	R
01:54:22	I	yeah OK twelve bucks let's do twelve bucks	D
01:54:24	I	we're still doing OK oh oh oh	D
01:54:28	K	oh we're out of	D
01:54:29	I	OK it doesn't matter we'll just keep going	D
01:54:32	I	what about the knobs now see we have a series of reduction areas here	D
01:54:32	K	(inaudible)	D
01:54:34	J	oh the straps	D
01:54:36	I	that's what probably about er	D
01:54:37	J	the straps are gonna be cents a foot	D
01:54:38	I	this stuff will probably need about	R
01:54:47	K	we don't need to make this out of ABS John let's make this out of something a little more affordable	CD
01:54:48	J	yeah OK	D
01:54:49	K	buckram {(stiffened cotton or linen)} it doesn't need to be engineered	R
01:54:50	I	it could be like	D
01:54:52	J	it doesn't need to be engineering material OK	R
01:54:53	K	polypropylene or now	CD
01:54:53	I	yeah	D
01:54:54	K	maybe	D
01:54:56	J	well given that if this is a reasonably high volume material	E
01:55:00	J		?
01:55:00	J	cost is most of that cost it's probably gonna go down to like	E
01:55:02	I	eight seven	D
01:55:03	J	maybe lower	E
01:55:05	K	polypropylene	D
01:55:07	J	if it's polypropylene yeah in general	D
01:55:09	K	or polystyrene high impact	D
01:55:10	K	that might be more	D
01:55:13	J	yeah yeah high impact polystyrene	D
01:55:16	I	you're probably looking like that like sixty cents a pound like that that's five bucks	D
01:55:18	I	right there	D
01:55:18	K	yeah-ah-ha	D
01:55:22	K	now we can afford our four knobs	R
01:55:22	I	good these knobs injection moulded knobs	E
01:55:26	K	those are gonna be er about this big	CD
01:55:27	J	just an insert	D
01:55:27	I	the same apart	D
01:55:28	K	insert moulded	D
01:55:28	J	yeah insert moulded	D
01:55:29	I	insert moulded	D
01:55:31	J	you have a tool	D
01:55:31	K	a couple of bucks each	D
01:55:33	J	that you maybe can mould off four knobs at one shot	D
01:55:36	K	boom boom family mould	D
01:55:41	J	boom so maybe maybe a buck fifty total for four of them	D
01:55:42	K	a buck fifty for four?	D
01:55:44	J	does that sound too much?	E
01:55:45	K	sounds too low to me	E
01:55:46	I	say two bucks	D
01:55:49	K	two bucks for all four fifty cents each	D
01:55:50	I	nice round number	D
01:55:52	J	OK alright I give in	D
01:55:53	I	OK	D
01:55:54	K	and bungees	D
01:55:55	I	bungee straps	D
01:56:00	J		?
01:56:00	J	let's well see if that was the unknown well we have topstays too how much would they cost	R
01:56:02	I	well they're probably around about fifty cents	D
01:56:07	J	and a plate	D
01:56:07	K	steel formed there's a form and a punch two punches em	CD
01:56:09	K	and a plating	D
01:56:10	I	mmm	D
01:56:11	J	or a powder coat or something	D
01:56:12	K	doesn't matter though	D
01:56:13	I	probably	D
01:56:14	K	zinc plate	D
01:56:16	I	I dunno they might be twentyfive cents	D
01:56:21	K	say em so twentyfive cents each fifty cents for two	D
01:56:22	J	yeah	D
01:56:23	K	about a buck	D
01:56:27	J	I would yeah I would at least estimate that that's a kind of expensive part	E
01:56:29	I	that's one that we could take cost out later	D
01:56:31	K	em straps	D
01:56:32	I	OK straps	D
01:56:33	K	nylon webbing	D
01:56:34	I	nylon webbing is probably gonna like (inaudible)	E
01:56:37	J	let's spend the rest of our budget on the straps (laugh)	CD
01:56:39	K	(inaudible)	?
01:56:41	J	yeah	D
01:56:41	I	you can buy this stuff for ten cents a foot in a store	R
01:56:45	K	OK so let let's say about five cents a foot	D
01:56:47	J	yeah	?
01:56:47	I	so we need about four feet	R
01:56:48	I	plus two snaps	D
01:56:48	K	but just to be say four feet twenty cents	D
01:56:52	J	oh the Fastex clips	D
01:56:54	K	Fastex how much are the Fastex a pair	D
01:56:57	J	maybe er made in pairs maybe twenty cents a pair	D
01:56:59	I	OK so let's go for	D
01:56:59	I		?
01:57:02	K	forty or fifty cents for straps	D
01:57:04	I	er forty let's say let's say a dollar two	D
01:57:05	K	a dollar for two pieces	D
01:57:06	I	yeah	D
01:57:08	J	and let's assume we're shipping this knockdown	D
01:57:10	J	so that we don't have assembly costs	R
01:57:10	I	yes	?
01:57:11	J	(laugh)	?
01:57:12	K	a good plan	?
01:57:13	I	OK let's do it	?
01:57:16	I	yeah	R
01:57:16	K	er we want a shipping crate	R
01:57:21	K	we'll just ship them on the bike	?
01:57:23	I	em yeah we'll blister pack er on the bike right	CD
01:57:25	K	(laugh)	?
01:57:28	I	y'need like a whole blister pack and a piece of cardboard some graphics	CD
01:57:33	K	yeah I have no idea how much shipping crates cost	R

Annexe.

01:57:38	I	no how much is it er blister packing it can't be more than	R	02:00:16	J	it's instead of being fifteen it'll be er nineteen seventeen by nineteen and and then two by fifteen and now and so er seventeen by nineteen is er	D
01:57:43	I	probably the most expensive part	D	02:00:19	I	so it's nineteen by nineteen	D
01:57:43	J	er a piece of cardboard yeah the cardboard printing is a killer	R	02:00:26	J	seventeen times twenty is a hundred and seventy times two which is er	D
01:57:44	J	yeah exactly	D	02:00:27	I	what's nineteen by nineteen	D
01:57:52	K	blister pack is vacuum form errr a buck	D	02:00:30	K	three hundred and forty	D
01:57:53	I	yeah	D	02:00:32	J	three forty three forty essentially so	D
01:57:56	I	three	D	02:00:33	I	OK	D
01:57:56	K	one two three	D	02:00:35	K	about an eighth of that	D
01:57:58	K	six oh	D	02:00:38	I	over eight what's that thirty four into eight goes eight point something	D
01:57:59	I	eleven	D	02:00:39	K	twenty	D
01:57:59	I	we have a dollar's worth of profit that we could give to the designers	?	02:00:41	I	eight point two	D
01:58:01	K	eight nine	D	02:00:42	J	yeah eight point two right	D
01:58:03	I	thirteen ten thirteen ten right	D	02:00:43	I	OK	D
01:58:04	J	right	D	02:00:43	J	that's about right and so	D
01:58:04	K	thirteen ten	D	02:00:46	K	cubic	D
01:58:08	I	one two three six eleven thirteen ten	D	02:00:46	J	we have eight point two square inches or cubic	D
01:58:10	J	well that's good	E	02:00:47	I	cubic inches	D
01:58:11	I	oh yeah (sighs)	D	02:01:00	J	cubic inches of of plastic and we know that that's gonna weigh times one a specific gravity of one for water which is sixty point four pounds per cubic foot twenty cubic feet are in an inch	D
01:58:14	J	three dollars and seventy five cents (inaudible)	D	02:01:03	J	one forty four times twelve whatever that is er	D
01:58:17	J	we have a dollar's worth of profit that we could give to the designers	D	02:01:05	K	one forty four times twelve	D
01:58:18	K	yeah	D	02:01:11	J	that's how many cubic inches are in a foot cubed foot so y'have to divide y'have to divide er	D
01:58:19	J	so they can go have some pizza	?	02:01:12	I	total divide	D
01:58:20	I	perfect	?	02:01:19	J	you have to y'have to divide sixtytwo point four pounds by is there a calculator handy	D
01:58:23	J	I like it	?	02:01:21	K	I think I got a	?
01:58:24	K	OK so we got a design	D	02:01:25	0		?
01:58:28	J	so did we meet all our let's evaluate now did we meet all of our design goals	?	02:01:30	J	that's OK er yeah I'll use it this is you got it three two one seven one	D
01:58:29	K	six o'clock	?	02:01:32	I	alright that's er	D
01:58:30	J	let's see a couple of seconds left here	?	02:01:40	J	oh so this is the this is inches cubed per foot cubed alright em	D
01:58:32	J	where's our functional spec (la la laa)	R	02:01:42	I	OK so divide	D
01:58:35	I	this is a great board	?	02:01:52	J	sixty two point four pounds per foot cubed er we want pounds per cubic inch cubic inches	D
01:58:37	J	yeah we need one of these (laugh)	?	02:01:57	K	du de dum yeah what d'you wanna	R
01:58:39	K	clustering it lower	?	02:01:59	I	what d'you have on here I'm just gonna bring	R
01:58:40	I	our cost target	R	02:02:01	I	it	D
01:58:42	J	yes er we met that	E	02:02:04	J	two eight er what's this gonna be inches cubed	D
01:58:43	J	bump	E	02:02:07	K	two point four divided by	D
01:58:43	J	and the volume's appropriate yeah	R	02:02:10	J	by seventeen point eight equals what?	D
01:58:44	I	two way bump all the way	E	02:02:11	K	point O three six	D
01:58:45	K	'cos there's this pivot on there	D	02:02:13	J	point O three six pounds per inch cubed y'know we then we have er	D
01:58:46	I	err	?	02:02:18	K	eight	D
01:58:46	J	put it up right	CD	02:02:19	J	eight point two cubic inches	D
01:58:47	J	idiot proof	D	02:02:21	K	it's only a third of a pound	D
01:58:49	J	obvious attachments for a wing nut	E	02:02:24	J	that's nothing sounds realistic though approximately	D
01:58:51	J	or moulded in	CD	02:02:27	J	OK so this guy's got point three pounds	D
01:58:53	I	the braze-ons are the only place they'll fit so	D	02:02:27	I	mm mm	D
01:58:53	J	right	D	02:02:28	J	that'll be er	D
01:58:58	I	OK time to remove less than thirty seconds yeah we'll be able to permanently remove it in less than thirty seconds	E	02:02:39	K	now our tubing	D
01:58:59	J	well this was orig- principally for the pack	R	02:02:44	J	our tubing well let's see we know the density of aluminum is one third the density of steel and if you assume it's like at the worst eighth inch wall times inch diameter tubing er at em what did we say forty inches of that so ..	D
01:59:00	J	or the bungee cord straps	D	02:02:56	J	and roughly we'll we'll have to toss out some weight on these straps	D
01:59:03	I	yeah so you'll be able to snap them yeah 'cos	R	02:02:57	I	yeah	D
01:59:05	J	Fastex clips	D	02:03:00	J	em I dunno what d'you think that strap material	D
01:59:05	K	Fastex	D	02:03:03	J	weighs nil (laugh)	D
01:59:05	J	or the er not bungee cord what d'you call it	D	02:03:04	I	yeah	D
01:59:08	I	and so we've solved the problem of straps in spokes	E	02:03:07	J	it's zero gravity straps (laugh)	D
01:59:09	J	yeah	E	02:03:09	I	that's pretty low	D
01:59:11	K	allan	D	02:03:11	J	OK so we'll we'll we'll say two tenths of a pound	D
01:59:11	I	theft proof if we add	R	02:03:12	J	maybe not not even	D
01:59:13	I	those four allan set screws	D	02:03:16	J	I mean the whole rack thing only weighs a third of a pound	D
01:59:15	I	to the rack	D	02:03:16	I	mm mm	D
01:59:15	J	so oh yeah to the rack	E	02:03:21	J	so so point one pounds would be overkill for all the hardware on that	R
01:59:18	I	and then you won't be able to get it well you'd be able to get it off but it's er	E	02:03:25	J	so so where's our mass budget let's do a mass budget de de de dnm	R
01:59:19	J	and then and then packwise	E	02:03:27	I	is that the right kinda pen for that thing	R
01:59:20	K	deterrent	E	02:03:29	I	OK	R
01:59:22	J	it's a deterrent to taking the rack packwise	E	02:03:29	J	yeah it's a visa	R
01:59:27	I	this back part of the frame is still accessible though so if you have a cable you can actually go through there go through there	E	02:03:31	K	vis a vis	R
01:59:30	J	yeah that's true you could just lock your	E	02:03:38	J	er what's it we call it em er the tray you said is point three approximately point three lbm	D
01:59:31	J	pack right on	E	02:03:44	J	the straps and hardware we're gonna say is approx	D
01:59:31	I	yeah	E	02:03:44	I	point one	D
01:59:32	K	piece on	E	02:03:44	J	point one	D
01:59:34	I	OK er fold away yeah we got that	E	02:03:48	K	OK so you got sixty and a half cubic inches of aluminum John	D
01:59:35	I	and weight	R	02:03:49	K	how much does that cost	D
01:59:36	I	oh we didn't estimate the weight	D	02:03:51	J	well that's the aluminum	D
01:59:48	J	just estimate the weight OK er well em let's think about it eighth inch wall section er it's er seventeen by fifteen plus two inches	D	02:03:52	0		D
01:59:50	I	in er polypropylene is it in one of those books	D	02:03:54	I	OK	D
01:59:53	J	em OK you can see what it is but em	D	02:03:54	K	OK	D
01:59:55	K	it's about specific gravity of one	D				
01:59:57	J	it's one point two for ABS	D				
01:59:58	J	is it OK	D				
01:59:58	K	polypropylene is right around one	D				
02:00:00	K	or it's point nine eight or something	D				
02:00:00	K		?				
02:00:01	J	point nine eight em so	D				
02:00:04	I	what's in our () here	D				
02:00:08	J	well we have eighth inch times em seventynine by	D				
02:00:10	I	OK two by seventynine	D				
02:00:11	J	if you flatten these guys out	CD				