Numéro d'ordre : 82 **Année : 2007**

École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur et Microtechniques
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
Université de Franche-Comté

THÈSE

Présentée pour obtenir le grade de :

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBELIARD ET DE L'UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ

Spécialité : Sciences pour l'ingénieur

Modélisation du processus de partage de connaissances produit en conception collaborative

Par :

Abdel Hakim HORRIGUE

Encadrée par :

Michel FERNEY: Professeur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
Denis CHOULIER : MDC, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
Toufik BOUDOUH : MDC, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

Soutenance du : 19 décembre 2007

JURY :

Président :	**Philippe Lutz,** Professeur des Universités, Université de Franche-Comté.
Rapporteurs :	**Jean François BOUJUT**, Professeur des Universités, INP de Grenoble.
	Mickaël GARDONI, Professeur des Universités, INSA de Strasbourg.
Directeur de thèse :	**Michel FERNEY**, Professeur des Universités, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

Remerciements

Cette thèse a été effectuée au sein de l'équipe Conception Innovante et Distribuée du laboratoire Mécatronique 3M (Méthodes, Modèles et Métiers) de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

Je remercie particulièrement mon Directeur de thèse, Michel FERNEY, pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire M3M, et pour avoir toujours mis à ma disposition tous les moyens nécessaires au bon déroulement des travaux. Sa parfaite direction a été très déterminante dans l'aboutissement de ce travail.

Que Denis CHOULIER et Toufik BOUDOUH, Maîtres de conférences à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, reçoivent ma profonde reconnaissance, pour la valeur de leur encadrement de ce travail. Sans leur rigueur scientifique, leurs idées, leurs exigences, leurs conseils, leurs critiques et leur confiance, ce travail ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui. Je les remercie vivement.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Messieurs J.F. BOUJUT, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble et M. GARDONI, Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg, pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour ce travail en acceptant d'en être les rapporteurs.

Mes remerciements vont également à Monsieur P. LUTZ, Professeur à l'Université de Franche-Comté, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury qui a examiné ce travail.

Je tiens à remercier aussi mes collègues du laboratoire M3M et tous ceux qui m'ont soutenu et aidé pour réaliser cette thèse. Un remerciement particulier à notre secrétaire Mme Béatrice ROSSEZ, et à Pascal ALDINGER.

Enfin, un grand merci à ma famille, à Mathilde et sa maman, ainsi que tous les amis pour leur soutien tout au long de ces années de thèse.

Table des matières

Introduction générale 1

Chapitre 1 : Connaissances et conception collaborative 3

1.1 Introduction 5

1.2 Les concepts clefs du partage des connaissances 5

1.2.1 Terminologie : connaissances, informations et données 5

1.2.1.1 Les données 6

1.2.1.2 Les informations 6

1.2.1.3 Les connaissances 6

1.2.1.4 Autres points de vue sur la notion des connaissances 7

1.2.1.5 Relation entre données, informations et connaissances 8

1.2.2 Typologie des connaissances 9

1.2.2.1 Connaissances explicites, tacites et implicites 9

1.2.2.2 Connaissances procédurales et déclaratives 11

1.2.2.3 Connaissances actives et passives 12

1.2.2.4 Connaissances statiques et dynamiques 12

1.2.2.5 Connaissances superficielles et profondes 13

1.2.3 Synthèse 13

1.3 Interactions en conception et transferts de connaissances 14

1.3.1 Collaboration, Coopération et Coordination 14

1.3.1.1 La collaboration 14

1.3.1.2 La coordination 15

1.3.1.3 Différences entre la coordination et la collaboration 16

1.3.1.4 Coopération 16

1.3.1.5 Différences entre la collaboration et la coopération 17

1.3.2 La communication 19

1.3.2.1 Modèle de *Shannon et al*. [1948] 19

1.3.2.2 Modèle de *Lasswell* [1948] 20

1.3.2.3 Modèle de *Jacobson* [1952] 20

1.3.2.4 Modèle de *Riley al.* [1959] 21

1.3.2.5 Conclusion 22

1.4 Conception et connaissances 23
1.4.1 Qu'est ce que la conception ? 23
1.4.2 La conception comme sujet de recherche 23
1.4.3 Quelques repères historiques de la conception 25
1.4.4 Les connaissances dans les différentes approches pour l'étude du processus de conception 26
1.4.4.1 Approches prescriptives de la conception 26
1.4.4.2 Le modèle de conception distribuée 32
1.4.4.3 Approche sociotechnique de la conception 33
1.4.4.4 Approche psychocognitive de la conception 34
1.4.5 Conception collaborative et outils d'aide à la conception 35
1.4.5.1 Quelques exemples 37
1.5 Problématique traitée dans la thèse 40
1.6 Conclusion 41
Chapitre 2 : Approche de recherche 43
2.1 Introduction 45
2.2 Méthodologies de recherche en conception 45
2.2.1 Méthodologie de recherche de Blessing et al. : DRM 45
2.2.1.1 Etape de la définition des critères 46
2.2.1.2 Etape de la première description 46
2.2.1.3 Etape de la prescription 46
2.2.1.4 Etape de la seconde description 47
2.2.2 Démarche de recherche CID 47
2.2.3 Méthode du protocol analysis 49
2.3 Méthodes d'observation du processus de conception 50
2.3.1 Observation directe du processus 51
2.3.2 Observation des traces du processus 52
2.3.3 Entretiens 53
2.4 L'analyse des données 54
2.5 Résumé et discussion des méthodes présentées 55
2.6 Procédure de recherche suivie 57
Chapitre 3 : Expériences de conception 61
3.1 Introduction 63
3.2 Description de la première expérience : processus de conception distribuée 63
3.2.1 Les acteurs 63
3.2.2 Le produit à concevoir : un étau inclinable 65
3.2.3 Protocole expérimental 66

3.2.3.1 Matériel mis en œuvre 66
3.2.3.2 Données recueillies 68
3.2.3.3 Déroulement chronologique 70
3.2.4 Description du produit final 72
3.2.5 Limites du sujet 73
3.3 Résultats 74
3.3.1 Identification des processus de partage des connaissances 74
3.3.2 Présentation de quelques situations de partage de connaissances 74
3.3.2.1 Première situation 74
3.3.2.2 Deuxième situation 75
3.3.2.3 Troisième situation 75
3.3.2.4 Quatrième situation 76
3.4 Description de la deuxième expérience : processus de conception en présentiel 77
3.4.1 Les acteurs 77
3.4.2 Le produit à concevoir : un broyeur viticole 77
3.4.3 Protocole expérimental 78
3.4.4 Données recueillies 79
3.4.5 Description du produit final 80
3.4.6 Résultats 81
3.4.6.1 Premier exemple de processus de partage de connaissances 81
3.4.6.2 Deuxième exemple de processus de partage de connaissances 82
3.4.6.3 Troisième exemple de processus de partage de connaissances 82
3.5 Conclusion 83
Chapitre 4 : Modélisation du processus de partage de connaissances en conception 85
4.1 Introduction 87
4.2 Modèle de base, modèle à trois étapes 87
4.3 Transmission 88
4.3.1 Absorption 89
4.3.2 Action 89
4.4 Modèle générique 90
4.4.1 Déclenchement 90
4.4.2 Validation intermédiaire 91
4.4.3 Validation finale 91
4.5 Application aux situations observées dans les expériences de conception 92
4.5.1 Première situation 93
4.5.2 Deuxième situation 94

4.5.3 Troisième situation 96
4.5.4 Synthèse 97
4.6 Discussion et validation du modèle 98
4.6.1 Modes de déclenchement 98
4.6.1.1 Demande de connaissance explicite exprimée par le récepteur 98
4.6.1.2 Réaction à des activités de conception d'autres agents 98
4.6.1.3 Proposition d'idée nouvelle de l'émetteur 99
4.6.2 Liens entre activités de conception et déclenchement de processus de partage de connaissance 100
4.6.3 Modes de transmission 101
4.7 Rôle des objets dans le processus de partage de connaissances 105
4.7.1 Rôle des objets graphiques dans le processus de conception 106
4.7.2 Rôle des objets graphiques dans le processus de partage de connaissances 107
4.8 Aspect dynamique : notion de rôles 110
4.8.1 Qu'est ce qu'un rôle ? 111
4.8.2 Les rôles dans les systèmes collaboratifs 111
4.8.3 Les mécanismes de rôles [*Hermann*, 2004] 112
4.8.4 Les rôles dans les processus de partage de connaissances 113
4.8.4.1 Cas d'un déclenchement par demande explicite exprimée par un agent 114
4.8.4.2 Cas d'un déclenchement à cause d'un désaccord avec des activités de conception 115
4.8.4.3 Cas d'un déclenchement par proposition d'une idée nouvelle 115
4.8.5 Changement de rôles dans le processus de partage de connaissances 117
4.9 Typologie des connaissances partagées 118
4.9.1 Fonctions, comportements et structure d'un produit 118
4.9.1.1 La structure 118
4.9.1.2 Le comportement 119
4.9.1.3 Les fonctions 119
4.10 Conclusion 122

Conclusion générale 125

Références bibliographiques 131

Annexes 141

Annexe A : Vers un modèle prescriptif du processus de partage de connaissances en conception 143

Annexe B : Cahier des charges de l'étau inclinable 149

Annexe C : Cahier des charges du broyeur multi-usage 151

Annexe D : Récapitulatif des situations de partage de connaissances dans l'expérience de conception d'un broyeur multiusage 155

Annexe E : Complément de modèles SADT et UML du processus de paratge de connaissances 161

Introduction générale

Promouvoir la conception en équipe occupe désormais une place centrale, non seulement dans les milieux académiques, mais aussi dans la politique des grandes entreprises industrielles. Elles l'ont choisie comme réponse à une concurrence de plus en plus sévère, et comme solution pour la réduction simultanée de leur coût de développement de produit et le temps de mise sur le marché de leurs nouveaux produits. En effet, l'organisation taylorienne et séquentielle du travail dans les entreprises industrielles a rapidement montré ses faiblesses dès que l'innovation, la réactivité et le temps de mise sur le marché ont pris une importance croissante dans le climat industriel en général, et celui de l'industrie mécanique en particulier.

En parallèle à ce changement méthodologique, les produits mis sur le marché, et en particulier les produits mécaniques, connaissent une complexification importante. Leur développement nécessite un niveau de collaboration et de communication très élevé entre plusieurs intervenants. La phase de conception fait intervenir simultanément l'ensemble des métiers de l'entreprise et de ses partenaires. La conception de produits est alors une activité multidisciplinaire qui fait appel à plusieurs intervenants ayant des connaissances et des compétences différentes.

Cette organisation du travail par collaboration va de pair avec une mise en commun des connaissances privées des intervenants. Un domaine d'étude visant à proposer des outils pour faciliter cette nouvelle organisation de travail a alors émergé. Ce domaine est appelé CSCW (Computer Supported Collaborative Work) et, à l'image du processus de conception, fait intervenir plusieurs disciplines, telles que la mécanique, les sciences comportementales et l'informatique. D'autres outils se concentrent particulièrement sur cette notion de mise en commun des connaissances privées des acteurs que nous appellerons "partage de connaissances". Ces outils de partage de connaissances sont appelés CKSS (Collaborative Knowledge Sharing Systems) et visent à faciliter cette activité quand les acteurs sont éloignés géographiquement. Toutefois, l'existence de ces outils ne garantit pas leur efficacité ni leur utilisation, ils sont souvent peu motivants pour

les utilisateurs [*Diaz,* 2005]. Le manque d'adaptabilité de ces outils aux besoins réels des acteurs du processus de conception est dû au manque de modèles d'activité préalables à leur conception.

Ce travail de thèse se fixe ainsi comme objectif de comprendre le processus suivi par les acteurs du processus de conception quand ils partagent leurs connaissances.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons un tour d'horizon des connaissances dans le processus de conception. En premier lieu, nous définissons les connaissances et nous faisons la distinction entre les termes "données", "informations" et "connaissances". Nous présentons, également, un état de l'art des approches suivies pour étudier le processus de conception et comment ces approches prennent en compte les connaissances utilisées pendant ce processus.

Dans le deuxième chapitre de ce mémoire, nous détaillerons la méthodologie de recherche que nous avons suivie tout au long de ce travail de thèse. Nous commencerons par donner un résumé des méthodologies de recherche existantes pour étudier le processus de conception. Ensuite, nous en déduirons une procédure personnelle adaptée à notre problématique que nous suivrons durant ce travail de recherche.

Le troisième chapitre sera consacré à la spécification, la mise en place et le traitement de deux expériences de conception. Après la présentation de chacune des deux expériences, nous donnerons la structure des données brutes obtenues, qui consistent à l'isolation de toutes les interactions faisant partie d'un processus de partage de connaissances.

Ces interactions sont ensuite analysées dans le quatrième chapitre. Nous proposerons un modèle générique pour décrire le processus de partage de connaissances. Ce modèle sera ensuite confronté à un plus grand panel de situations de partage de connaissances relevées dans les deux expériences de conception. Nous analyserons les modalités du partage de connaissances en conception, sur la base des éléments du modèle proposé. Ces analyses seront faites tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif.

Nous finirons ce mémoire par un ensemble de conclusions qui reprennent les principaux résultats de nos travaux de recherche, et par des perspectives de travaux futurs, tant au niveau des concepts qu'au niveau de l'instrumentation du processus de partage de connaissances.

Chapitre 1

Connaissances et conception collaborative

1.1 Introduction

Le processus de conception mobilise de grandes quantités de connaissances de différents types. Chaque intervenant, au cours du processus de développement du produit, détient un ensemble de ces connaissances.

Il existe plusieurs approches pour étudier le processus de conception. Elles tiennent compte des connaissances mobilisées dans ce processus. Toutefois, il n'existe pas de compromis sur la définition des connaissances. Elles sont, dans beaucoup de travaux, confondues avec les données et les informations. Les connaissances mobilisées dans le processus de conception sont distribuées entre les différents intervenants. Certaines doivent être partagées par l'ensemble des intervenants, afin d'assurer la cohérence entre les tâches effectuées par chacun.

Dans ce chapitre, nous faisons un état de l'art sur ce que nous entendons par **connaissances** et par **conception**. Nous présenterons différentes définitions trouvées dans la littérature et nous ferons ensuite la distinction entre connaissances, informations et données. Ainsi, nous dégagerons la définition des connaissances que nous allons utiliser tout au long de ce travail de recherche. Nous présenterons ensuite les différentes approches utilisées pour étudier le processus de conception et la manière dont ces approches prennent en compte les connaissances mobilisées pendant ce processus. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous ferons un résumé des différents outils d'aide à la conception collective existants, et nous étudierons les possibilités offertes par ces outils en terme de partage des connaissances. Cette étude bibliographique nous permettra, enfin, de dégager la problématique de recherche abordée dans nos travaux et que nous traiterons tout au long des chapitres suivants.

1.2 Les concepts clefs du partage des connaissances

1.2.1 Terminologie : connaissances, informations et données

Les trois termes connaissance, information et donnée sont très liés et parfois utilisés indifféremment dans la littérature. Ils sont souvent rencontrés dans les études qui s'intéressent au processus de conception. La distinction entre ces trois termes est importante dans ce travail de recherche. Une revue de littérature sur la définition et la distinction de ces termes a montré que leur utilisation reste confuse. Nous allons donc présenter, tout d'abord, les termes informations et données et, ensuite, étudier plus amplement le terme connaissance.

1.2.1.1 Les données

Les données sont souvent définies comme un ou plusieurs symboles représentant une situation donnée [*Court*, 1995]. Ce sont des symboles qui représentent, décrivent ou enregistrent des états du "monde" [*Chai*, 1999]. Un critère couramment utilisé pour caractériser les données est qu'elles sont inscriptibles sous forme numérique [*Bucciarelli*, 2001]. Dans ce cas, les données peuvent être détachées d'un agent.

1.2.1.2 Les informations

L'information est souvent définie en tant que donnée organisée ou structurée, autrement dit, placée dans un contexte [*Court*, 1995], [*Bohn*, 1994], [*McQueen*, 1998]. Ainsi, les informations sont distinguées des données au travers d'un contexte présent dans les informations et pas dans les données. En pratique, on trouve beaucoup de difficultés à appliquer ce critère pour différencier les informations et les données. Par exemple, comment une donnée transcrite sous forme de texte, e.g. "résistance pratique à l'extension = 57Mpa", devient-elle une information, et d'où le contexte, qui va transformer la donnée en information, vient-il ? Identiquement, si la donnée est la sortie d'un système d'acquisition qui enregistre les déformations à l'intérieur d'une structure donnée, quand et comment cette donnée va-t-elle gagner du contexte pour devenir une information ? Les définitions des données, informations et connaissances ont tendance à être absolues, ce qui implique que les données restent toujours des données et les informations restent toujours des informations. Une définition absolue signifie que l'expression "résistance pratique à l'extension = 57Mpa" constitue uniquement une donnée du moment qu'elle est transcrite, et le signal sorti du système d'acquisition constitue uniquement une donnée dès son affichage par la machine. Le contexte du système d'acquisition inclut, par exemple, la présence de la machine et le fait qu'elle soit reliée à des jauges de mesure de déformations d'une structure soumise à des contraintes données. Les définitions absolues ne prennent pas en considération l'utilisateur des données et des informations. *Checkland* considère que la signification des informations pour un individu est l'aspect le plus intéressant de l'information. Il décrit l'information comme étant une combinaison d'un fait, et de la signification qu'un observateur lui attribue [*Checkland*, 1981].

1.2.1.3 Les connaissances

La définition des connaissances intéresse plusieurs domaines, tels que la philosophie, l'intelligence artificielle, etc. La définition philosophique des connaissances initiée par *Platon*, décrit une connaissance comme étant "une croyance vraie et justifiée". *Nonaka* et *Takeuchi* [*Nonaka et al.*, 1995] vont plus loin que cette définition philosophique et mettent

l'accent sur la croyance justifiée, en considérant les connaissances comme dynamiques. Quant à *Gettier*, il a souligné la difficulté de définir les connaissances en tant que croyance vraie. Il affirme qu'une personne peut croire en quelque chose qui est faux et qui, toutefois, peut aboutir, au travers d'un processus de raisonnement, à une croyance vraie, sans qu'il n'y ait justification de cette nouvelle croyance [*Gettier*, 1963] cité par [*Vance*, 1998]. *Plantinga* décrit la connaissance comme étant une croyance tenue pour vraie. Il donne les conditions de cette garantie [*Plantinga*, 1992] cité par [*Vance*, 1998] :

- Les moyens cognitifs de l'initiateur de la connaissance doivent fonctionner correctement.
- L'environnement cognitif est approprié pour ces moyens.
- L'objectif du raisonnement qui a conduit à la production de la croyance est de produire des croyances vraies.
- Statistiquement, il y a une grande probabilité que la croyance produite dans ces conditions soit vraie.

1.2.1.4 Autres points de vue sur la notion des connaissances

Dans ce travail de recherche, nous reprenons la définition que nous venons de présenter et qui considère la connaissance comme une croyance tenue pour vraie. Des études, qui présentent des points de vue philosophiques sur les connaissances, peuvent être trouvées dans [*Nonaka*, 1995].

Le point de vue philosophique sur les connaissances considère celles-ci comme étant un processus interne appartenant à l'individu (bien que *Gettiers* considère que la connaissance peut être dissociée de l'individu, qui en reste cependant propriétaire). *Nonaka* et *Takeuchi* considèrent que la connaissance peut être vue à trois niveaux : l'individu, le groupe et l'organisation. Ils affirment que la connaissance est liée à l'action humaine et est créée à partir d'un flux de messages [*Nonaka et al.*, 1995]. *Vance* distingue une connaissance d'une information par le fait que la connaissance implique l'état cognitif de l'individu qui la détient (croyance), et invoque des notions de justesse et de garantie [*Vance*, 1998]. Une opinion courante considère que la connaissance est la compréhension qui résulte de l'interprétation, ce qui veut dire, en d'autres termes, être capable de placer l'information dans un contexte [*Chai*, 1999]. Ces points de vue suggèrent que la connaissance se produit et se stocke dans l'esprit humain.

Des termes tels que "systèmes à base de connaissances" sous-entendent que les connaissances peuvent être stockées à l'extérieur de l'esprit humain [*McQueen*, 1998]. En effet, *Wigg* suggère que des agents intelligents sont aussi capables de croire et de

juger [*Wigg*, 1999]. Il décrit les connaissances comme étant "*réalités et croyances, perspectives et concepts, jugements et attentes, méthodologies et savoir-faire qui peuvent être possédés soit par des hommes soit par d'autres agents*". Selon *McQueen* [1998], les connaissances peuvent être vues de différentes manières : un ensemble de règles, l'accès à l'information, comme dans les livres par exemple, ou la compréhension, peuvent être considérés comme des connaissances.

Le point de vue que nous adoptons dans cette thèse est celui qui définit la connaissance comme étant une croyance tenue pour vraie et supposée impliquer les processus cognitifs humains. La connaissance sous sa forme explicite est appelée information. Cependant, les données, les informations et les connaissances sont des concepts relatifs, et on ne peut leur donner des définitions absolues [*Ahmed*, 1999]. La distinction entre ces trois termes dépend de l'utilisateur potentiel des données, informations et connaissances. Des définitions relatives impliquent, par exemple, qu'un même énoncé peut être une donnée pour certains utilisateurs et une connaissance pour d'autres.

1.2.1.5 Relation entre données, informations et connaissances

Ahmed [1999] propose deux phases pour différencier les données, les informations et les connaissances : une phase de conscience et une phase d'interprétation. Les données et les informations sont distinguées durant la phase de conscience : lorsqu'un utilisateur est conscient du contexte de la donnée, celle-ci prend une signification pour lui et il s'agit alors d'une information. Le contexte désigne ce qui permet, dans une situation donnée, de déterminer le sens voulu de la donnée. Si l'utilisateur n'est pas conscient du contexte, la donnée n'a pas de sens et reste donc une donnée.

La deuxième phase implique l'interprétation : si l'utilisateur peut interpréter l'information, celle-ci devient une connaissance. Un utilisateur peut interpréter s'il peut comprendre le langage et les concepts, par exemple être capable de lire un dessin technique, un oscillogramme, etc. Si l'observateur est incapable d'interpréter l'information, celle-ci reste alors une information, mais a toujours le potentiel de devenir une connaissance si l'observateur apprend à l'interpréter. Cette capacité d'interprétation est fonction des autres connaissances déjà détenues par l'observateur. Apprendre à interpréter des informations consiste à acquérir d'autres connaissances permettant cette interprétation. La capacité d'interprétation est cognitive et donc pas observable directement. Nous considèrerons qu'elle se manifeste par une capacité d'action. Un observateur capable d'interpréter une information est donc capable d'agir en fonction de cette information.

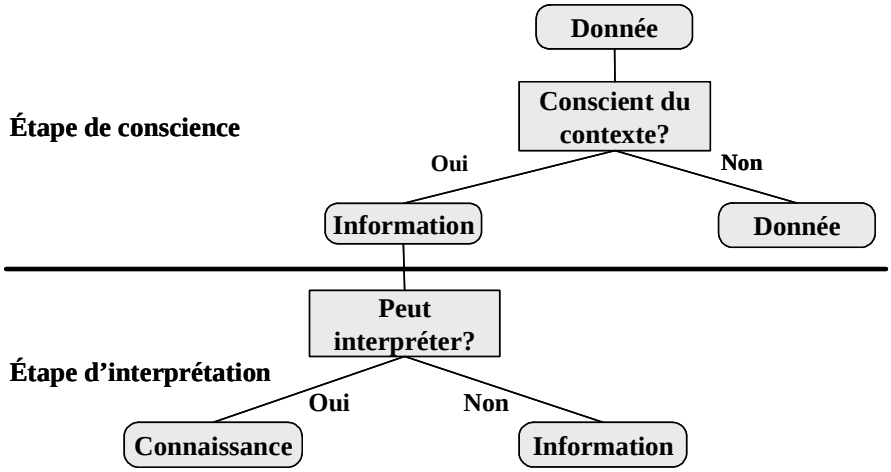


Figure 1.1 : Données, informations et connaissances : adaptée de [*Ahmed*, 2000].

En conclusion, les données, les informations et les connaissances sont définies comme des concepts relatifs qui ne peuvent être définis en des termes absolus puisqu'ils dépendent de l'utilisateur. La distinction entre les données et les informations dépend de la conscience de l'utilisateur du contexte. On peut donc avancer que les données sont des informations potentielles et les informations sont des connaissances potentielles. La distinction entre les informations et les connaissances dépend de la capacité de l'utilisateur à interpréter les informations. Une connaissance est une croyance tenue pour vraie pour l'utilisateur et qui peut être déduite de l'expérience, d'un raisonnement ou de l'interprétation d'une information. Une connaissance rendue explicite peut être décrite comme information. L'utilisation réelle d'une connaissance dépend des autres connaissances que l'utilisateur possède.

1.2.2 Typologie des connaissances

Le processus de conception est composé d'activités qui utilisent des connaissances qui peuvent être classées selon différents critères : explicité, état dans le temps, etc. Plusieurs classifications ont été proposées dans la littérature. Nous citons, ci-après, celles qui nous paraissent les plus pertinentes sans, toutefois, prétendre à l'exhaustivité des ces classifications.

1.2.2.1 Connaissances explicites, tacites et implicites

Les connaissances détenues par un individu peuvent généralement être classées dans trois catégories : connaissances explicites, tacites et implicites [*Polanyi*, 1966].

Les connaissances **explicites** sont celles qu'on peut codifier, formaliser et transmettre via des documents réutilisables. Au moment de leur transcription sur un support, les connaissances explicites se transforment alors en informations [*Skyrme* 1997].

Les connaissances **tacites** sont celles qui sont difficiles ou impossibles à exprimer. Elles sont généralement obtenues grâce aux compétences et à l'expérience de l'individu. Elles sont aussi appelées « l'intuition du concepteur » [*Nonaka et al.*, 1995]. Par exemple, une évaluation intuitive du concepteur, lors de la sélection d'un concept de solution parmi d'autres, est parfois difficile à exprimer et à justifier. Elle est basée sur son expérience et fait donc partie de ses connaissances tacites.

Entre les connaissances explicites et les connaissances tacites, il existe un troisième type de connaissances : les connaissances **implicites**. Il s'agit des connaissances qui ne sont pas encore devenues explicites. Ces connaissances sont aussi appelées tacites spécifiables [*Grant*, 1997] cité dans [*Chai*, 1999] et sont définies par *Nonaka* et al. comme étant les connaissances fortement personnelles et difficiles à formaliser [*Nonaka et al.*, 1995]. Une grande partie des connaissances utilisées en conception sont implicites. Par exemple, une connaissance qui justifie une prise de décision telle que le changement du matériau d'une vis (telle qu'une compatibilité avec les matériaux des éléments assemblés), peut être considérée comme connaissance implicite, si les raisons de cette décision ne sont pas explicitées.

La base de cette classification est la théorie de *Polyani* qui affirme qu'on peut connaître beaucoup plus que ce qu'on peut exprimer (*we can know much more then we can tell*) [*Polyani,* 1966].

a) Lien entre connaissances explicites et tacites

Nonaka et *Takeuchi* [1995] considèrent que les connaissances d'un collectif ou d'une organisation sont construites des différentes interactions qui peuvent exister entre les connaissances explicites et tacites. Ils ont décrit les différents types d'échange et de transformation des connaissances entre les deux catégories, dans des processus partiellement collectifs. Quatre modes d'échange ont été identifiés (cf. tableau 1.1) :

- la **socialisation** est un processus de partage d'expériences qui permet la création de connaissances tacites, comme des modèles mentaux partagés et des expertises techniques,
- l'**externalisation** est un processus d'articulation des connaissances tacites en concepts explicites,
- l'**intériorisation** est un processus de conversion des connaissances explicites en connaissances tacites. C'est typiquement un processus d'apprentissage basé sur des documents, des manuels…,

- la **combinaison** est un processus de création de connaissances explicites, par le biais d'une restructuration d'un ensemble de connaissances explicites acquises par différents moyens de communication.

Vers / De	Tacite	Explicite
Tacite	***Socialisation*** Par interaction forte, la connaissance tacite d'une personne peut devenir la connaissance d'autres personnes : apprentissage, imitation, intégration.	***Externalisation*** Des pratiques jugées efficaces sont explicitées dans un discours formalisé ; les difficultés dues à l'absence de concepts partagés sont partiellement surmontées par le recours aux métaphores et au raisonnement par analogie.
Explicite	***Intériorisation*** Par répétition, on enracine la connaissance explicite dans les séquences pouvant atteindre le stade du réflexe en adaptant le schéma explicite aux conditions spécifiques de l'exécution.	***Combinaison*** Par le biais d'un langage commun et de mécanismes de communication variés, les connaissances explicites de plusieurs personnes sont rapprochées, combinées pour produire, par induction et déduction, de nouvelles connaissances explicites.

Tableau 1.1 : Connaissances tacites et explicites et modes de transformation selon [*Nonaka et al*., 1995].

Si les deux premiers modes d'échange (socialisation et intériorisation) apparaissent avec des composantes individuelles fortes s'inscrivant dans la durée, les deux derniers (externalisation et combinaison) sont plus à même d'être observés dans des réunions de conception. Dans ce cas, l'externalisation exige en effet la construction d'un discours formalisé avec, éventuellement, un recours à l'utilisation de métaphores et de raisonnements par analogies pour pallier l'absence de concepts. Quant à la combinaison, elle permet de produire, par induction et déduction, de nouvelles connaissances.

Ces processus de transmission ne doivent donc pas être compris au sens de la théorie classique de transfert d'information dans laquelle une information transmise d'un émetteur à un récepteur peut être altérée par du bruit.

1.2.2.2 Connaissances procédurales et déclaratives

Les connaissances **procédurales** concernent la manière d'exécuter une action, quant aux connaissances **déclaratives**, ou factuelles, elles concernent un fait ou un objet [*Johnson*, 1992]. Les connaissances procédurales décrivent le déroulement d'une action [*Uluoglu*, 2000], [*Christiaans*, 1992] alors que les connaissances déclaratives contiennent des faits et des principes relatifs à un domaine particulier. Une connaissance déclarative, relative à un réducteur de vitesse par exemple, peut inclure la description de la structure du réducteur : différents éléments le constituant, géométrie, matériaux, etc. Un exemple

de connaissance procédurale relative au même réducteur de vitesse est la manière dont on calcule le nombre des dents des roues dentées constituant ce réducteur, si on connaît la vitesse souhaitée de sortie et la vitesse d'entrée.

Cette dichotomie est particulièrement importante pour étudier la conception, dans la mesure où celle-ci est définie comme une activité basée en grande partie sur le traitement, la manipulation et l'interprétation d'informations [*Bucciarelli*, 1984], [*Subrahmanian et al.* 1993], [*Marsh,* 1997]. Ce traitement d'information est basé sur des connaissances procédurales nécessaires à la mise en application des connaissances déclaratives.

1.2.2.3 Connaissances actives et passives

Les connaissances **actives** désignent celles qui sont mobilisées alors que les connaissances **passives** désignent celles qui ne sont pas mobilisées dans le processus considéré, mais qui existent en arrière plan. Les deux catégories de connaissances actives et passives peuvent être explicites, implicites ou tacites. Les connaissances passives sont parfois appelées latentes. Les connaissances actives participent à l'évolution du processus de développement considéré et ont une influence sur les différentes décisions prises pendant ce processus [*Darke*, 1979]. Toutes les connaissances passives sont susceptibles de devenir actives dans le processus de développement, dès qu'elles sont mobilisées par les concepteurs.

1.2.2.4 Connaissances statiques et dynamiques

On peut décrire une connaissance comme étant **statique** ou **dynamique** selon la manière dont elle change dans le temps. Les connaissances statiques restent inchangées au cours du temps considéré, alors que les connaissances dynamiques sont transformées pendant leur manipulation par les concepteurs. La majorité des connaissances liées au produit, pendant son processus de conception, sont dynamiques. Les connaissances procédurales utilisées pendant le processus de conception peuvent aussi être dynamiques ou statiques. Les connaissances des lois physiques et des principes thermodynamiques du fonctionnement d'un moteur à explosion, par exemple, sont statiques et ne changent pas au cours du temps, à moins qu'il y ait une évolution technique qui change ces principes. La connaissance des procédures pour établir une note de calcul peut être dynamique si ces procédures changent. La connaissance de la géométrie d'une soupape d'admission pendant son processus de conception change couramment et peut, par conséquence, être décrite comme dynamique. Une connaissance statique capitalisée (dans un outil ou une méthode par exemple) n'a pas

besoin d'être mise à jour, alors qu'une connaissance dynamique doit être mise à jour régulièrement pour prendre en compte les changements apportés.

Le caractère dynamique des connaissances peut aussi être vu au sens de *Nonaka* et *Takeuchi* [1995], qui correspond au changement de l'état des connaissances entre explicites et implicites, selon les quatre mécanismes d'échange cités plus haut (paragraphe1.2.2.1b). En effet, une connaissance implicite peut se transformer en connaissance explicite et inversement. De ce point de vue, la nature des connaissances change au cours du temps. Celles-ci peuvent donc être considérées comme dynamiques.

1.2.2.5 Connaissances superficielles et profondes

Les connaissances "**superficielles**" expriment les savoir-faire des experts sans en expliquer les fondements, contrairement aux connaissances **profondes** qui expriment les fondements théoriques d'un domaine donné [*Boy*, 1991]. Les connaissances profondes permettent une meilleure compréhension du problème, et permettent ainsi d'aborder les problèmes en utilisant les principes fondamentaux. L'espace des solutions envisagées par les concepteurs est alors élargi. Pour pouvoir être appliquées, les connaissances profondes nécessitent plus d'efforts que les connaissances superficielles. Celles-ci peuvent être considérées comme étant des règles pouvant être appliquées dans des situations particulières. Les experts familiers avec le problème à résoudre, et ayant les connaissances profondes du domaine, peuvent reconnaître les conditions et circonstances pour appliquer les connaissances superficielles. Un exemple de connaissance superficielle est : "ce réservoir est fortement sollicité, il faut arrondir au maximum les angles intérieurs". Une connaissance profonde relative au même sujet est : "plus les angles sont vifs, plus la concentration de contraintes au niveau de ces angles est grande".

1.2.3 Synthèse

Dans cette section, nous avons établi un aperçu bibliographique sur les connaissances en conception. Nous avons mis en évidence l'ambiguïté qui peut exister dans l'usage des termes connaissances, informations et données. Ces trois concepts sont liés et peuvent être définis les uns par rapport aux autres. Ainsi, les données sont définies comme étant des symboles qui représentent, décrivent ou enregistrent des situations données. Les informations sont des données auxquelles on a apporté un contexte. Dès que la personne ou le groupe qui détient une information peut l'interpréter, celle-ci se transforme en connaissance.

Plusieurs typologies des connaissances en conception ont été établies dans la littérature. Ces typologies sont données sous forme de dichotomies. Nous trouvons des classifications en connaissances explicites et implicites, procédurales et déclaratives, actives et passives, statiques et dynamiques, et enfin des connaissances superficielles et profondes.

1.3 Interactions en conception et transferts de connaissances

1.3.1 Collaboration, Coopération et Coordination

Dans les études de situations de travail collectifs, trois notions sont couramment rencontrées : coordination, collaboration et coopération. Ces termes sont parfois utilisés indifféremment pour désigner une même situation de travail. Notre travail de recherche concerne le processus de partage de connaissances suivi par les acteurs du processus de conception. Nous sommes donc, forcément, dans une situation de travail collectif. Il nous paraît important de préciser la terminologie que nous allons utiliser et d'établir des critères discriminants pour différencier les notions de collaboration, coordination et coopération.

1.3.1.1 La collaboration

D'après le dictionnaire "Le Robert", collaborer veut dire "travailler avec d'autres à une œuvre commune". Dans la littérature, nous trouvons plusieurs définitions de la collaboration. Ces définitions diffèrent selon le point de vue de chaque auteur. Nous trouvons, en l'occurrence, des définitions ayant un caractère purement informatique ou économiste. Nous nous focalisons uniquement sur la collaboration dans le processus de conception mécanique. [*Gray*, 1989] cité dans [*Rose,* 2004*]*, définit la collaboration comme étant "l'état à travers lequel les différentes parties participantes voyant les différents aspects d'un problème, peuvent explorer de façon constructive leurs différences et chercher des solutions allant au-delà de leur propre vision, limitée, du domaine du possible". Selon [*Dillenbourg* et *al*, 1996], la collaboration nécessite la création d'une vision commune des questions à traiter, ainsi qu'un espace commun pour stocker et partager les informations. Elle s'appuie sur un engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre ensemble le problème posé. Selon [*Beuscart*, 1998], le terme collaboration doit être utilisé pour désigner des situations de travail collectif lorsque les interactions sont moins formelles et le processus de conversation moins structuré.

Pour *Kvan* [2000], la collaboration peut être considérée en tant que "*résolution de problèmes communs. Elle signifie travailler avec d'autres participants ayant des buts*

partagés. L'équipe tente de trouver des solutions satisfaisant chacun des points de vue des participants".

1.3.1.2 La coordination

Legardeur définit la coordination comme "*un ensemble de règles de fonctionnement établies par un ou plusieurs acteurs, en vue de réaliser une tâche en commun*" [*Legardeur* 2003]. La coordination en conception est un moyen de gestion et d'organisation de la "concourance" des actions au sein de ce processus, pour assurer non seulement la cohérence, mais aussi l'optimisation globale de leurs résultats [*Jeantet* et *al*, 1998]. Elle consiste à planifier les actions et à diviser les rôles entre équipes ou entre acteurs. Des canaux de communication sont prévus au préalable [*Mattessich,* 1992].

Plusieurs mécanismes peuvent être utilisés afin d'assurer la coordination. *Mintzberg* [1982] en propose les cinq suivants :

- **L'ajustement mutuel** : les acteurs du processus de conception coordonnent leur travail en communicant de façon informelle les uns avec les autres. Chaque acteur ajuste l'avancement de ses tâches par rapport à celles des autres membres.
- **La supervision directe** : une seule personne supervise le travail de tout le groupe, elle garantit ainsi la compatibilité des tâches entre elles.
- **La standardisation des procédés** : des procédures standards guident le travail des différents acteurs, ces standards sont imposés par la hiérarchie pour garantir la compatibilité des tâches et des résultats. Contrairement au précédent, ce mécanisme de coordination ne nécessite pas une communication continuelle entre les acteurs.
- **La standardisation des résultats** : la coordination des tâches se fait par la mise en place de mesures et critères d'évaluation standardisés. Il s'agit, en fait, d'imposer un mini-cahier des charges qui définit les résultats attendus à l'issue de chaque tâche.
- **La standardisation des qualifications** : les acteurs ont des qualifications compatibles assurant la coordination de leurs procédés de travail. La compatibilité des connaissances peut être assurée par des formations préalables à la mise en situation des acteurs du processus de conception.

En résumé, la coordination dans le processus de conception consiste en l'agencement, par différents mécanismes, des actions des acteurs de ce processus. Elle suppose qu'il

existe un découpage entre les diverses actions, une distribution de rôles et des mécanismes d'interaction prédéfinis dans le processus [*Legardeur*, 2003].

1.3.1.3 Différences entre la coordination et la collaboration

D'après les définitions de la coordination citées dans le paragraphe précédent, il apparaît que celle-ci suppose qu'il existe un découpage entre les diverses actions dans le processus, et que les mécanismes d'interaction soient prédéfinis.

La collaboration, par contre, est une manière d'exécuter les actions. Elle relève du domaine de l'opérationnalité alors que la coordination relève du domaine de l'instrumentalité [*Legardeur,* 2003]. La coordination prédit et ordonne les actions, construit et impose des règles de fonctionnement. La collaboration permet de mettre en œuvre ces règles. La coordination forme alors un cadre formel à la collaboration qui est principalement émergente et informelle.

1.3.1.4 Coopération

D'après le dictionnaire "Le Robert", coopérer veut dire "travailler conjointement avec quelqu'un". En économie, la coopération est le système par lequel des personnes intéressées à un but commun s'associent et se répartissent le profit selon un pourcentage en rapport avec leur part d'activité. En pratique, ce terme est souvent utilisé de façon générique pour désigner toute situation de travail collectif. *Belkadi* et *al.* [2004] soulignent l'utilisation "abusive" du terme puisque chacune des situations de travail collectif possède ses spécificités.

Boujut [2002] donne une définition assez complète pour la coopération : "*une action conjointe de plusieurs acteurs partageant au moins partiellement un but… C'est une action de produire un objet (ou un artefact). Les acteurs partagent donc, à la fois, des objets et des connaissances participant à la création d'apprentissages croisés, notamment lors de réunions informelles... La coopération est aussi une action d'organiser. La coopération implique une régulation du processus par les acteurs eux-mêmes*". Ainsi, pour qu'il y ait coopération, il faut qu'il y ait un environnement commun dans lequel les acteurs partagent un objectif. Par environnement commun, nous entendons un intervalle de temps et une unité d'espace physique ou virtuel. Un objectif partagé assure l'engagement des acteurs dans le processus collectif.

Soubie et al. [1996] introduisent un critère de rentabilité économique à la définition de la coopération en conception. Ainsi, selon eux, "la coopération est une activité coordonnée, visant à atteindre un objectif commun aux agents coopérants et pour laquelle le coût spécifique de la coordination est inférieur au bénéfice de celle-ci, dans la poursuite de

l'objectif". Les auteurs considèrent qu'on ne peut parler d'action collaborative que dans le cas où celle-ci est économiquement rentable. En effet, le premier objectif de la conception collaborative est de réduire les délais et les coûts de développement de produit. Ce processus nécessite des ressources humaines et matérielles qui peuvent avoir un coût important. Si le bénéfice du processus prescrit n'est pas important par rapport à ces coûts, on ne peut parler de collaboration.

Dans un processus de conception où plusieurs acteurs interviennent sur le produit, il peut y avoir des contradictions entre les objectifs individuels de chaque intervenant. *Pavard* [1994] considère que dans un processus coopératif, les objectifs individuels sont écartés en faveur des objectifs de l'équipe. L'équipe est évaluée dans sa globalité, et la compétition est minimisée. Les décisions sont prises par des consensus, notamment pour les actions collectives.

La notion du partage est omniprésente dans les définitions données à la coopération. En effet, pour pouvoir travailler conjointement, les acteurs du processus de conception doivent partager des objectifs, des informations, des connaissances, des artefacts et des ressources. Nous devons penser à des outils qui peuvent supporter, faciliter et encourager ce partage [*Boujut,* 2000].

La coopération peut donc être vue de différentes manières, selon la position et l'intérêt de chaque observateur. Toutefois, nous pensons que ces définitions, malgré leurs différences, ne sont pas contradictoires mais complémentaires. Nous pouvons différencier trois types d'observateurs : un observateur neutre indépendant du processus de conception qu'il observe, un observateur qui est lui même un acteur du processus de conception, tel qu'un acteur en position de recherche action et, enfin, l'observateur qui n'entre pas en action avec les acteurs mais supervise le processus de conception et le prescrit, tel qu'un chef de projet par exemple.

1.3.1.5 Différences entre la collaboration et la coopération

Comme nous l'avons indiqué précédemment, les termes coopération et collaboration sont parfois utilisés indifféremment pour désigner des situations de travail collectif. Ceci est dû à la difficulté qu'on peut rencontrer pour différencier les deux termes et définir une frontière claire entre eux. Les définitions des termes "collaboration" et "coopération" peuvent aussi dépendre de la position de l'observateur. Ainsi, ces deux concepts peuvent ne pas avoir la même définition pour un observateur extérieur au processus observé que pour un acteur participant au processus, ou un chef de projet qui prescrit le processus sans y participer effectivement [*Horrigue et al.*, 2004]. Les deux concepts mettent en évidence la convergence collective vers un résultat, en prenant en compte le point de vue

de chaque participant. [*Rose*, 2004] affirme que la différence entre les deux concepts réside dans la façon dont les tâches sont divisées. En effet, dans la coopération, le travail est découpé en sous-tâches indépendantes et chaque personne est responsable d'une partie de la résolution du problème, et la coordination intervient lors de l'assemblage des résultats partiels [*Dillenbourg et al*., 1996], alors que dans la collaboration, l'activité est synchronisée et coordonnée de manière à construire et à maintenir une conception partagée d'un problème [*Roschelle et al*, 1995]. La collaboration est utilisée pour désigner le processus même du travail en commun, alors que la coopération met plus en valeur le résultat d'un tel travail [*Myers*, 1991], [*Brna*, 1998].

[*Puleo,* 2003] a dressé une comparaison entre les deux termes. Nous en présentons un résumé dans le tableau suivant :

Coopération	Collaboration
Objectifs organisationnels non pris en compte.	Des objectifs communs sont créés
Interaction entre individus, uniquement en cas de besoin.	Interactions permanentes entre les participants.
Relations informelles, chaque groupe/individu fonctionne de façon séparée.	Nouvelle structure organisationnelle avec des rôles corrélés
Pas de définition commune du planning ou des objectifs à atteindre.	Un ou plusieurs projets sont créés avec une perspective de résultats à long terme.
Leadership unilatéral.	Chaque chef de projet est totalement engagé et convaincu de l'intérêt du projet. Le leadership est partagé et distribué entre les participants.
L'information est échangée si besoin est.	Différents niveaux de communication sont établis. La communication est vue comme un élément clef du succès.
Les ressources restent séparées	Les ressources sont partagées dans une perspective d'effort à long terme tout en étant gérées par la structure collaborative.

Tableau 1.2 : Comparaison entre coopération et collaboration adaptée de [*Puleo,* 2003], traduction [Rose, 2004].

En résumé, nous pouvons conclure que la collaboration est une forme d'interaction beaucoup plus forte que la coopération, nécessitant un esprit de groupe et une adhésion aux objectifs et aux résultats beaucoup plus importants [*Kvan*, 2000]. Toutefois, la plupart des auteurs n'intègrent pas cette différence et utilisent indifféremment les deux termes. [*Sardas et al*. 2002] considère que la réalisation d'actions, de manière commune ou de façon séparée, peut être désignée par le terme "coopération" au sens global.

1.3.2 La communication

La communication est le passage ou l'échange d'information à l'aide d'un moyen donné. Elle implique au moins un **expéditeur** et un **récepteur**. Chaque moyen de communication peut offrir des possibilités différentes telles que communication un à un (téléphone), un à plusieurs (télévision). La communication peut aussi être directe, telle que la communication verbale ou textuelle, ou indirecte au travers d'actions ou de documentation. Le concept d'intention est aussi lié à la communication. Une personne peut intentionnellement communiquer une information au travers d'une action, cela dépend notamment de la capacité du récepteur à capter le signal [*Mcgregor*, 2002].

Comme nous l'avons développé plus haut, de grandes quantités d'informations sont échangées durant le processus de conception sous différentes formes, une communication efficace est alors primordiale pour ce processus.

Beaucoup de modèles décrivant le processus de la communication peuvent être trouvés dans la littérature, nous en citons ci après quelques exemples.

1.3.2.1 Modèle de *Shannon et al*. [1948]

Shannon [1948] a été l'initiateur de la discussion sur la communication. Il a notamment introduit le concept de chaîne de communication comprenant :

- un expéditeur : source de l'information ;
- un moyen de transmission permettant un transfert d'information altéré par du bruit ;
- un récepteur dont la mission est de reconstruire les messages de l'expéditeur.

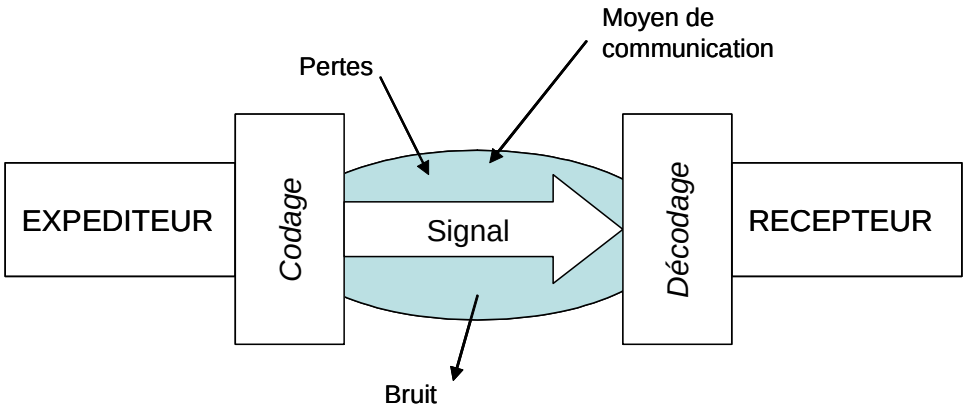


Figure 1.2 : Chaîne de communication *Shannon et al*. [1948].

Cette vision de la communication, si elle est très utile pour concevoir des moyens pour transporter l'information, est, cependant, trop limitée pour tenir compte de toutes les interactions entre les membres d'une équipe de conception. En effet, cette définition simplifiée de la communication ne prend pas en compte le sens des messages échangés. Au vu des définitions données dans la première partie de ce chapitre, elle s'apparente à un envoi de données codifiées et pourvues de sens. Ce modèle de base est linéaire et ne prend pas en compte les retours possibles du récepteur vers le destinataire.

1.3.2.2 Modèle de *Lasswell* [1948]

Lasswell présente la communication sous forme d'une succession de questions : "Qui, dit quoi, par quel canal, à qui et avec quel effet ?" :

- Qui : correspond à l'étude sociologique du ou des milieux et organismes émetteurs.
- Dit quoi : se rapporte au contenu du message, à l'analyse de ce contenu.
- Par quel média ou quel canal : désigne l'ensemble des techniques utilisées pour diffuser l'information à un instant donné dans une société donnée (diffusent à la fois l'information et la culture).
- A qui : vise l'auditoire ou audience, c'est-à-dire les publics récepteurs avec des analyses selon des variables (ages, sexes…).
- Avec quels effets : suppose une analyse et évalue les influences du message sur l'audience.

Ce modèle est construit autour d'étapes de communication définie par les différentes questions présentées. Son premier avantage est qu'il met en évidence l'effet du message transmis sur le récepteur. Aussi, Il prend en compte une possible pluralité des émetteurs et des récepteurs. Pourtant, identiquement au modèle de *Shannon*, ce modèle envisage la communication comme une relation d'autorité. Il s'agit d'un modèle linéaire où le récepteur est passif et ne fait que subir l'effet du message transmis. Aucun message de rétroaction du récepteur vers l'émetteur n'est pris en compte [*Chartier*, 2007].

1.3.2.3 Modèle de *Jakobson* [1963]

Jakobson, un linguiste russe, développe un point de vue centré non plus sur la transmission d'un message, mais sur le message lui même. Il s'intéresse davantage à la structure interne du message, considéré comme un ensemble de signes, de signaux et de symboles. Il propose un modèle composé de 6 facteurs : le destinateur; le message; le destinataire; le contexte; le code; le contact.

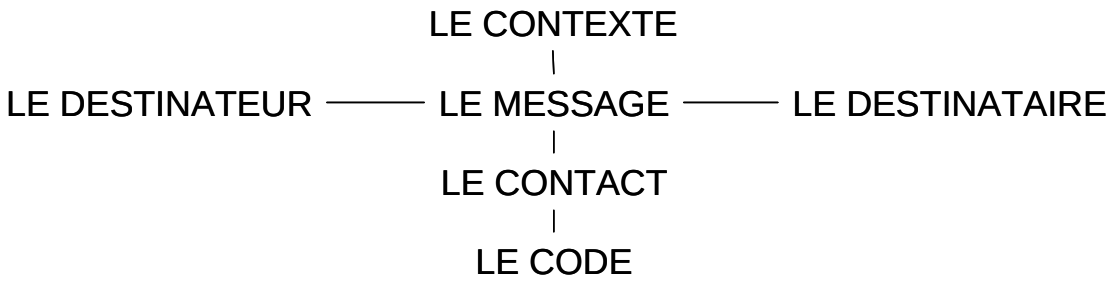


Figure 1.3 : Modèle de communication selon *Jakobson* [1963].

Ainsi, dans le cadre de cette modélisation, le destinateur envoie un message au destinataire. Pour être efficace le message requiert d'abord un contexte auquel il renvoie. Le contexte doit être saisissable pour le destinataire. Le message requiert un code, commun en tout ou en partie au destinateur et au destinataire. De plus, le message requiert un contact, un canal physique et une connexion psychologique entre le destinateur et le destinataire, contact qui leur permet d'établir et de maintenir la communication.

Le Message est une séquence de signaux dont la substance est l'information qu'il transmet, dont la mise en forme suppose à la fois un codage et un décodage (d'où l'introduction du facteur « code »). Par « contact », on entend la liaison physique (ils se parlent), et la connexion psychologique (ils s'écoutent, cherchent à se comprendre), qui existent entre le destinataire et le destinateur. Le contexte a la double signification « d'environnement d'une unité déterminée » (le mot « salut » signifie « bonjour », s'il se situe au début de la communication et « au revoir » s'il la clôt). Le contexte est aussi la résultante d'un ensemble de conditions sociales (on est dans un lieu privé ou public, en situation officielle ou en situation intime, les partenaires se connaissent ou se découvrent, appartiennent au même groupe culturel ou à des groupes différents, ont un rapport de dépendance ou non, etc). [*Chartier*, 2007].

1.3.2.4 Modèle de *Riley et al.* [1959]

Dans ce modèle, les individus sont considérés en tant que membres de groupes. L'émetteur appelé communicateur dans ce modèle, et le récepteur sont distribués dans des groupe primaires sociologiques (familles, communauté, petits groupes…).ces groupe peuvent influencer le comportement de leurs membres et dépendent d'un contexte social dans lequel ils évoluent.

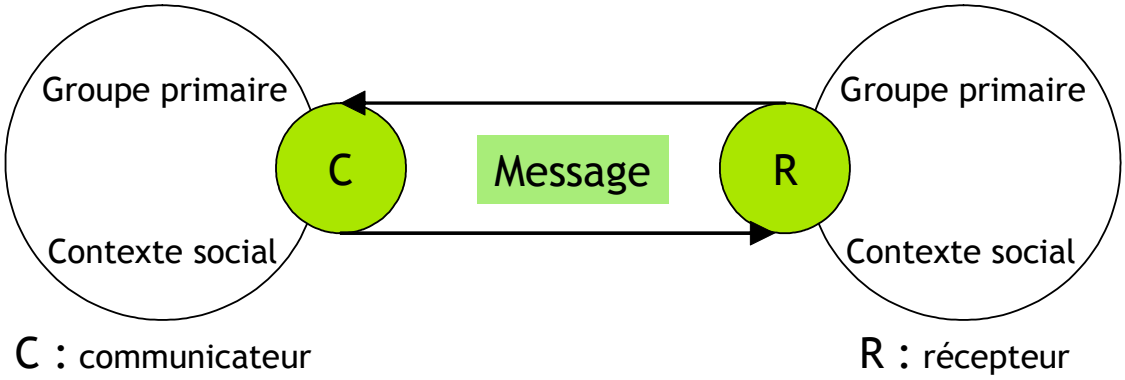


Figure 1.3 : Modèle de communication selon *Riley et al.* [1959].

En plus des notions de contexte social et d'appartenance des membres à des groupes, le modèle de *Riley et al.* est le premier à prendre en compte une boucle de rétroaction (feed-back), entre le communicateur (émetteur) et le récepteur. Ce feed-back désigne la réaction du récepteur au message émis et son retour vers l'émetteur. L'introduction de la notion de feed-back permet de passer d'une vision linéaire du processus de communication vers une vision interactive.

1.3.2.5 Conclusion

Les définitions récentes de la communication prennent en compte ces allers-retours qui peuvent exister entre l'émetteur et le récepteur. Ainsi, *Lesca* [1995] par exemple définit la communication comme "un échange interactif d'informations entre des individus et/ou des groupes d'individus, échange au cours duquel chacun est tour à tour émetteur et récepteur". La communication ne consiste pas simplement en la circulation du contenant de l'information, appelé donnée ; elle inclut aussi le sens de cette information. Un message envoyé par un expéditeur vers un destinataire a pour le premier un sens précis, mais le destinataire l'interprète souvent différemment et donne donc un autre sens au message reçu.

D'autres auteurs considèrent la communication comme un processus collectif dans lequel les interlocuteurs co-construisent intentionnellement et mutuellement le sens de l'énoncé. C'est le cas de l'approche "*interactionniste des actes de discours*" [*Trognon et al.*, 1992], qui considère que le sens d'un message n'appartient ni au locuteur, ni à l'auditeur mais qu'il est le résultat de l'interaction des interlocuteurs. Le processus de communication est ainsi "distribué" sur les deux interlocuteurs. Cette approche propose une logique de l'enchaînement des actes illocutoires et pose comme principe que la valeur communicationnelle d'un message n'est pas prédéfinie, mais incertaine au moment de son énonciation : ce n'est que lors de sa réponse à l'acte de langage réalisé par le

locuteur, que l'auditeur permet le succès de cet acte. C'est la réponse au message initial qui lui donne, de manière rétroactive sa valeur, en montrant comment il a été interprété [*Chartier*, 2007].

1.4 Conception et connaissances

1.4.1 Qu'est ce que la conception ?

Le contexte général de notre travail de thèse est le processus de conception, et plus particulièrement le processus de conception de produits mécaniques. La définition la plus courante 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 [*Lonchampt*, 2004]. D'autres définitions incluent d'autres étapes du cycle de vie du produit. Nous trouvons par exemple des définitions qui intègrent la phase d'utilisation [*Pahl*, 1977] et même la phase de recyclage ou de destruction [*Asimow*, 1962]. Cette extension du processus de conception, à des étapes qui suivent la fabrication du produit, est motivée par le fait que l'usage et la manière dont le produit est retiré du marché peuvent conduire à des modifications du produit [*Lonchampt*, 2004]. De la même façon, la première étape, celle de l'identification du besoin et son expression, a été considérée par certains chercheurs comme ne faisant pas partie du processus de conception, mais une phase extérieure constituant l'entrée de ce processus [*Pahl*, 1977]. D'autres considèrent cette étape comme faisant partie intégrante du processus de conception, puisqu'elle résulte en une interprétation et une modélisation par le concepteur du besoin réel [*Yannou*, 2001].

Ainsi, d'après le Trésor de la Langue Française [*Dendien*, 2004], la conception veut dire le fait de "former le concept, l'idée générale ou non d'un objet et, par extension, se représenter un objet par la pensée". L'objet pensé répond à un besoin interprété ou à un besoin exprimé. Les "pensées" du concepteur sont généralement transcrites pour permettre la communication de la solution vers le milieu extérieur.

1.4.2 La conception comme sujet de recherche

Comprendre la manière dont les concepteurs conçoivent a été reconnue comme un domaine clef dans les études sur le processus de conception, dans les 20 dernières années [*Cross,* et *al.*, 1996]. Les résultats de ces études fournissent une meilleure compréhension de la nature du processus de conception. Ces résultats diffèrent selon le point de vue des auteurs qui, en général, prennent en considération un aspect précis du

processus de conception : résolution de problèmes, comportement du concepteur, créativité, prise de décision, etc.

Beaucoup de travaux insistent sur le caractère collectif de la conception qu'ils considèrent comme un processus social qui rassemble les compétences de plusieurs acteurs ayant des disciplines différentes, et par conséquent des points de vue différents sur les objectifs de la conception [*Bucciarelli,* 1984]. La communication et la collaboration jouent un rôle crucial pour coordonner ces perspectives, afin de réaliser une solution optimale qui satisfait tous les membres de l'équipe et surtout le client. Les interactions sociales sont, par conséquent, très importantes dans le processus de conception. Plusieurs auteurs ont étudié la nature du processus de conception selon des points de vue différents. *Tang* [1991] a étudié le processus de conception dans le cadre d'une activité de dessin partagé. Il a notamment souligné l'importance de la communication par les gestes dans le processus de conception. Notons que, si de telles actions sont cruciales pour la réussite du processus de conception, la conception distribuée devient d'autant plus difficile à pratiquer que la communication par les gestes est impossible à appliquer dans beaucoup de cas de processus distribués. *Bucciarelli* [1984] et *Subrahmanian* et *al.* [1993] ont trouvé que les ingénieurs passent typiquement environ 15% de leur temps à faire des tâches analytiques standard, et le reste à chercher et négocier de l'information. *Marsh* [1997] a trouvé que les ingénieurs passent environ 24% de leur temps à localiser et à se fournir des informations et connaissances nécessaires. Les résultats obtenus des études comparatives sur le temps passé dans la recherche et manipulation d'informations peuvent varier d'une étude à l'autre. Ils dépendent bien sûr de plusieurs paramètres, tels que le contexte de l'étude (processus en présentiel ou distribué, type du problème traité, acteurs…), mais au-delà de la variabilité des chiffres obtenus, nous pouvons souligner l'importance de l'activité de recherche et de traitement de l'information dans le processus de conception.

Le groupe de recherche appelé n-dim a détaillé les besoins d'un système d'aide au processus de conception [*McGregor,* 2002]. Les acteurs de ce groupe affirment que les activités essentielles que les ingénieurs doivent accomplir dans le processus de conception consistent à :

- **manipuler des données** : cette activité consiste à rechercher, modifier, utiliser, et sauvegarder des données. L'importance de cette activité est à l'origine de la vision qui considère le processus de conception comme un processus de traitement de l'information. Nous détaillerons ce point de vue plus loin dans ce chapitre,

- **construire un raisonnement** : cette activité concerne la construction d'une logique d'action qui va guider les acteurs dans le processus de conception. Cette logique est notamment constituée par les justifications des différentes actions entreprises par les acteurs,
- **collaborer** : comme nous venons de le voir plus haut dans ce paragraphe, le processus de conception est par essence un processus collectif qui met en action plusieurs acteurs de différentes disciplines. Une des activités principales des membres de l'équipe de conception est de collaborer avec le reste du groupe pour prendre en compte les différents points de vues et les contraintes liées à chaque métier.
- **construire des connaissances** : le traitement des différentes informations disponibles, la collaboration entre les différents membres de l'équipe de conception ainsi que la confrontation des acteurs à de nouveaux problèmes et contraintes, permettent à de nouvelles connaissances d'émerger et aux acteurs de les acquérir.

1.4.3 Quelques repères historiques de la conception

L'homme a toujours conçu des objets, la conception est inhérente à toute activité humaine. Sa première prise de conscience dans les activités industrielles remonte à l'Antiquité. Les philosophes grecs sont les premiers à avoir donné une définition exhaustive de la conception [*Orel et al*, 1992]. Ceux-ci la distinguent explicitement de l'exécution dans les activités artisanales de l'époque. La conception apparaît dans la notion même de technique définie par l'école socratique comme étant "le pouvoir de produire un résultat préconçu au moyen d'une action consciemment maîtrisée et orientée" [*Collingwood*, 1982].

La notion de conception a ainsi été introduite, d'abord, par les philosophes qui sont externes à l'activité artisanale, c'est-à-dire sans qu'ils soient eux mêmes des artisans. C'est beaucoup plus tard que les agents producteurs prennent conscience de la conception. Cette prise de conscience interne aura lieu au début du XV^{ème} siècle -le terme de conception apparaît à cette époque- pour mettre en évidence une distinction effective entre les activités intellectuelles et les activités manuelles [*Cooley*, 1988].

Au début du XX^{ème} siècle, la conception désigne une activité de résolution des problèmes. Ainsi, l'objectif de la conception n'est plus seulement de fournir des dessins et maquettes nécessaires à la réalisation des produits, mais aussi une activité de définition des critères

et contraintes et d'évaluation et interprétation des objectifs, solutions et intentions de conception, par rapport à ces critères et contraintes [*Orel et al*, 1992].

Plus récemment, à partir des années 60, l'activité de conception sera considérée comme une activité cognitive permettant de modéliser, par l'apport des langages mathématiques ou logiques, les objectifs visés par le concepteur. La conception est de plus en plus assimilée à un processus de raisonnement scientifique, au lieu d'être considérée comme une démarche empirique ou technique [*Orel et al*, 1992].

Ces quatre grandes évolutions du point de vue que l'homme porte sur la conception sont appelées "Ages de la conception" par *Orel et al.* [1992]. Ils constituent les fondements essentiels de l'activité de la conception, telle qu'elle apparaît dans les processus industriels ou technologiques d'aujourd'hui.

Actuellement, nous trouvons un point de vue désigné par la co-évolution problème/solution, considérant la conception comme une évolution simultanée de problèmes et de solutions. Ainsi *Cross* [1989] propose un modèle du processus de conception présentant une symétrie parfaite entre, d'une part, l'espace des problèmes et des solutions et, d'autre part, l'espace des sous-problèmes et des sous-solutions. Les concepteurs passent alternativement d'un espace 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, redéfinissant le problème [*Blanco,* 1998], [*Brissaud et al*, 2003].

1.4.4 Les connaissances dans les différentes approches pour l'étude du processus de conception

1.4.4.1 Approches prescriptives de la conception

Plusieurs auteurs ont proposé des modèles qui essayent de guider les concepteurs pour avancer dans le processus de conception [*Asimow*, 1962], [*French*, 1971], [*Pahl*, 1977]. Ces modèles ont pour objectif d'encourager les concepteurs à entreprendre certaines tâches dans le processus de conception. Ils offrent généralement une procédure algorithmique et systématique à suivre, et présentent plusieurs similarités entre eux (figure1.3). Plusieurs modèles prescriptifs ont souligné le besoin d'accorder une plus grande attention au travail analytique qui précède la génération des concepts de solutions. L'objectif est de s'assurer que le problème de conception est bien compris par les concepteurs, qu'aucun élément important n'est négligé et que le problème réel est identifié.

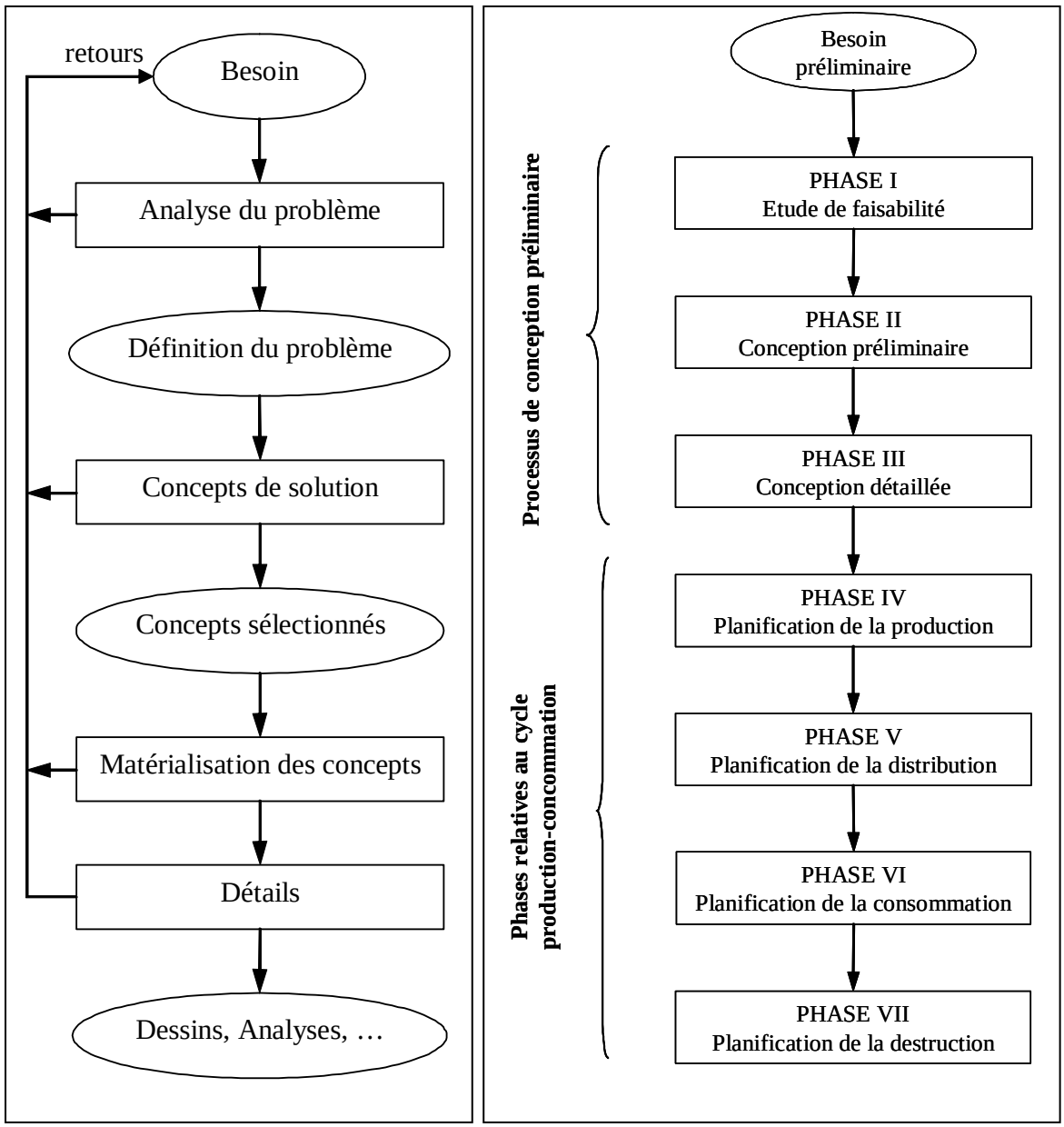


Figure 1.3 : Modèles de *French* [1971] et d'*Asimow* [1962].

Ces modèles essayent de structurer le processus de conception en plusieurs étapes (aussi appelées phases). Le rôle de ces modèles tel qu'il a été explicité par *French* [1985] est résumé par les éléments suivants :

- Accélérer l'acquisition du problème.
- Diversifier les approches au problème.
- Accélérer les processus cognitifs requis dans le processus de conception.
- Accélérer les étapes inventives et les mettre en évidence.

- Générer une logique de conception et aider à la synthèse des principes de solutions pour le problème de conception en cours.

Parmi les modèles prescriptifs qui existent, nous avons choisi de décrire ci-après le modèle proposé par *Pahl* et *Beitz* (figure1.4). Ce choix est motivé par le fait que ce modèle a été largement développé par les auteurs. Il est constitué de quatre phases essentielles : analyse du problème, génération des concepts de solutions, matérialisation des concepts de solutions retenus, et la conception détaillée [*Pahl*, 1977]. On retrouve les mêmes phases dans le modèle proposé par *French* [1971], (figure1.3). Le modèle proposé par *Asimow* [1962] (figure1.3) comprend, en plus de ces quatre phases, la planification de la production, la distribution, la consommation et la destruction, ce qui lui donne une vision plus complète du cycle de vie du produit.

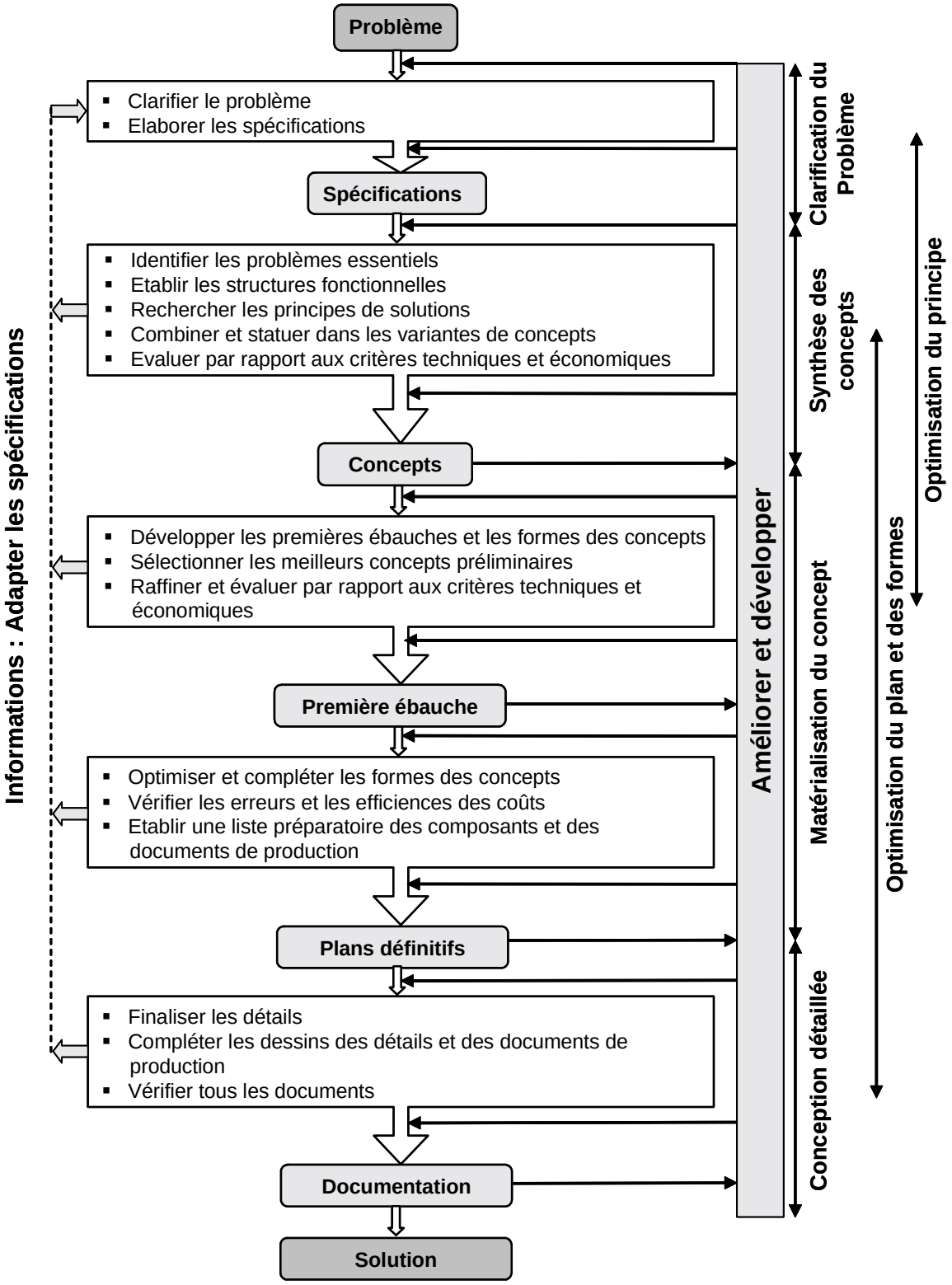


Figure 1.4 : Modèle de conception de *Pahl* et *Beitz*, [1977].

Les quatre phases du modèle du processus de conception proposé par *Pahl* et *Beitz*, ainsi que les résultats obtenus à l'issue de chaque phase, sont résumés ci-après :

- **Analyse du problème** : durant cette phase, les concepteurs s'intéressent à la compréhension et la clarification de la tâche de conception, les critères à satisfaire sont définis. A la fin de cette phase, on obtient typiquement une description précise du problème de conception, une spécification des critères et une spécification du produit.
- **Phase conceptuelle** : durant cette phase, les concepteurs génèrent une grande quantité de concepts de solutions potentielles. Il s'agit aussi de prendre en compte toutes les combinaisons et variations de solutions trouvées, afin de n'exclure aucune solution candidate. Les concepts de solution trouvés doivent être évalués par rapport aux critères établis dans la phase précédente. Les principales décisions concernant la structure globale du produit sont prises. Pendant l'avancement du processus de conception, les retours éventuels vers cette phase, pour corriger ou modifier le concept de solution choisi ou pour générer d'autres solutions, s'avèrent très coûteux. La phase conceptuelle du processus de conception est très riche en termes de créativité, de génération d'idée et d'émergence de contraintes. C'est la phase la plus complexe et ambiguë, et la moins maîtrisée dans les études du processus de conception. Plus les acteurs passent de temps dans cette phase, plus ils pourront générer de solutions. L'objectif est, donc, de trouver un compromis entre le temps que les acteurs passent dans cette phase et le nombre de solutions générées.
- **Matérialisation des concepts** : à la fin de la phase conceptuelle, un seul concept de solution doit être retenu, mais il se peut que plusieurs variantes soient acceptables vis-à-vis des critères de comparaison. Dans ce cas, le choix se fera dans la phase de matérialisation des concepts. Pendant cette phase, les concepts de solution sont développés plus en détail et des croquis et plans d'ensemble sont produits.
- **Phase de conception détaillée** : la solution est développée pour préparer la production. Les dernières décisions sont prises. Elles concernent par exemple, les matériaux, les dimensions, les tolérances, etc. Les dessins techniques, programmes de fabrication, etc. sont produits pendant cette phase.

Connaissances dans les modèles prescriptifs

Les auteurs de ce modèle n'explicitent pas le type de connaissances qui interviennent pendant chaque phase, ni comment ces connaissances doivent être utilisées pour accomplir chacune des phases du modèle. D'autres auteurs ont essayé de faire une classification des connaissances selon les différentes phases prescriptives du processus de conception. Nous donnons ci-après celle proposée par [*Donnellan*, 2004].

Ainsi, pendant la phase de clarification des besoins, des connaissances **superficielles** sont mises en œuvre (paragraphe 1.2.2.5). Les analyses faites pendant cette phase manquent de technicité mais sont suffisantes pour s'assurer que les difficultés techniques éventuellement rencontrées pendant le reste du processus de conception ne soient pas insurmontables, et que les compétences de l'entreprise permettent de résoudre le problème de conception en cours.

Pendant la deuxième phase du processus, qui correspond à l'étude de faisabilité, les acteurs du projet utilisent des connaissances sur les **principes fondamentaux** de l'ingénierie qui sont essentiels pour l'exécution du projet.

Pendant la troisième phase du processus, appelée phase d'implémentation, les connaissances mises en œuvre sont appelées connaissances **opératives**. Elles concernent la manière de proposer des structures qui répondent aux fonctions définies dans la phase précédente. Ces connaissances concernent aussi la résolution de problèmes de niveaux de granularité très fins. Les acteurs de la conception font appel à leurs connaissances acquises dans les projets précédents.

Les connaissances utilisées pendant la phase de validation sont appelées connaissances **procédurales.** Lorsque le produit conçu est prêt à être fabriqué, l'attention des acteurs se tourne vers la manière de développer des processus de fabrication répétitifs et fiables, de manière à augmenter leur caractère prévisible et minimiser leur variabilité.

Les connaissances mobilisées pendant la cinquième phase du processus de développement de produit, à savoir la phase de commercialisation, sont appelées connaissances **causales**. Des études sont faites pour analyser les performances du produit et les éléments qui influencent ces performances, notamment lorsqu'il existe une différence entre les performances visées pendant le processus de conception, et celles mesurées lors de l'utilisation réelle du produit.

L'association entre les phases du processus de conception et les types de connaissances mobilisées suit l'organisation séquentielle des modèles basés sur le découpage en phases. Elle suppose que les concepteurs ne mobilisent qu'un seul type de

connaissances pendant chaque phase du processus de conception. Même dans une approche séquentielle du processus de conception, les concepteurs effectuent plusieurs types d'activités. Pendant toutes les phases, ils sont préoccupés par l'organisation du processus de développement dans lequel ils sont engagés. Ainsi, *Gardoni* [1999] propose la connaissance projet comme concept englobant toutes les connaissances mobilisées pendant un projet donné. Les connaissances projet sont indépendantes des typologies présentées plus haut. Elles peuvent concerner les produits, les processus, l'organisation, les caractéristiques du projet, etc.

1.4.4.2 Le modèle de conception distribuée

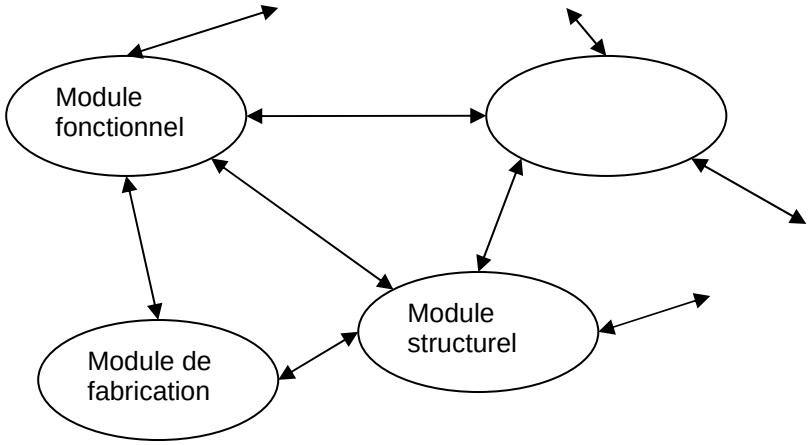


Figure 1.5 : Modèle de conception distribuée [*Brissaud et al.,* 1998].

Cette approche est basée sur le constat que les outils et les langages mobilisés dans les domaines de la conception sont différents. De tels domaines sont identifiés dans l'approche axiomatique développée par *Suh* [1990]. Les modules sont constitués par des ensembles hétérogènes qui peuvent regrouper à la fois des acteurs et des outils. Chaque module a son langage propre et possède un objectif local. L'ensemble des modules a un objectif global commun qui est la conception du produit. Ainsi, la conception d'un produit est vue comme la construction à la fois de points de vue sur le produit et de liens entre ces points de vue [*Cross*, 1997]. Le produit émerge de l'interaction de différents modules.

L'interaction est un élément primordial pour cette vision du processus de conception. Plusieurs approches de la communication ont été développées en intelligence artificielle pour analyser le fonctionnement de ce type de réseau et concevoir des systèmes multi-agents qui imitent leur fonctionnement. Dans une structure de conception distribuée, la communication se fait par envois de messages. Cette hypothèse a été validée dans

[*Garro,* 1995], où l'auteur a montré que même des interactions réduites à des envois de messages écrits permettent de faire émerger des solutions.

Une des limites de ce modèle de conception est de restreindre les interactions entre les modules à des échanges de messages codifiés [*Blanco*, 1998]. En tenant compte des définitions des connaissances, informations et données que nous avons présentées au début de ce chapitre, ce modèle du processus de conception prend en compte des interactions entre modules par échange de données et d'informations, mais ne tient pas compte d'un partage de connaissances. Or, un module diffère d'un autre par le type de connaissances qu'il maîtrise, nous présumons que les liens entre les différents modules se manifestent par des processus de partage de connaissances.

1.4.4.3 Approche sociotechnique de la conception

Comme nous l'avons exposé dans le paragraphe 1.4.2, la conception est un processus à la fois technique et social qui rassemble les compétences de plusieurs acteurs, pour répondre au problème de conception. Certaines approches de recherche sur le processus de conception prennent en compte l'une ou l'autre de ces deux composantes (composante sociale et composante technique). L'approche sociotechnique de la conception est une approche transversale qui consiste à aborder l'étude du processus de conception, en prenant en compte à la fois les composantes techniques et sociales, considérant qu'elles sont liées. Contrairement aux approches prescriptives qui prennent en compte seulement la dimension technique, l'approche sociotechnique se concentre aussi sur le rôle des acteurs dans le processus, l'importance des relations et des échanges qui ont lieu entre eux [*Jeantet* et *al*., 1998].

Cette approche, basée sur le concept de mondes, a pour objectif de développer simultanément les connaissances sur l'activité de conception et de développer des outils d'aide à cette activité. Un monde de la conception est un ensemble d'entités qui partagent les mêmes logiques d'actions, échelles de grandeur et connaissances collectives. La conception de produit implique la participation de plusieurs mondes [*Mer,* 1998].

Elle a notamment donné naissance au concept d'objets intermédiaires de la conception. Le consortium 3S-CRISTO a été à l'origine de ce concept, initialement issu de travaux en sociologie des sciences et sociologie des techniques [*Vinck*, 1995]. Les objets intermédiaires ont alors été mis au centre des recherches du processus de conception. Les chercheurs de ce consortium ont constaté que les concepteurs passaient la plus grande partie de leur temps à créer, modifier, manipuler et échanger des objets, tels que les croquis, textes, diagrammes, notes de calcul, fichiers informatiques divers…. *Jeantet* et *al*. [1998] les voient comme de véritables analyseurs du processus de conception, qui

marquent les différentes phases du processus, les prises de décision, les hypothèses utilisées, etc.

Les recherches sur le processus de conception, selon cette approche, peuvent suivre trois axes essentiels détaillés dans [*Guttieriez et al.*, 2003] cité par *Rose* [2004]. Il s'agit de :

- l'intervention de l'homme dans l'exécution de certaines activités, et le contrôle du processus,
- la notion de responsabilité vis-à-vis de l'exécution des activités et des processus,
- les besoins d'information et de communication pour la conception, conjugués à la question des outils de conception et de leur utilisation dans un processus industriel [*Laureillard et al.,* 2000], [*Mer,* 1998], [*Blanco,* 1998].

La notion des mondes de la conception est elle même basée sur l'unité des connaissances partagées par les entités appartenant à un même monde. La notion des mondes de la conception est différente de celle de métiers. Cette différence est essentiellement basée sur les connaissances mobilisées dans les deux cas. En effet, dans le cas d'une distribution basée sur le concept de monde, les connaissances mobilisées peuvent être relatives à plusieurs métiers à la fois. Cette vision est complètement différente de l'approche systématique de la conception. En effet, l'évolution du produit en cours de conception est analysée autour des concepts de traduction/complémentation, et non plus en terme de transfert d'information, c'est-à-dire par codage et décodage. Nous pouvons interpréter le concept de traduction et complémentation par un partage de connaissances. Les objets intermédiaires qui supportent ces représentations du produit deviennent des médiateurs [*Mer et al.,* 1995].

1.4.4.4 Approche psychocognitive de la conception

Certains points de vue considèrent la conception comme un processus de résolution de problèmes [*Visser*, 2001], [*Darses et al.,* 2001]. Le problème de conception initial est alors décomposé en sous-problèmes auxquels le concepteur cherche des solutions partielles, qu'il assemble par la suite pour retrouver la solution au problème global. Il s'agit, en l'occurrence de l'approche psychocognitive qui s'intéresse aux dimensions cognitives de la conception. Elle est basée sur le travail de psychologues, de cogniticiens et d'ergonomes. Dans cette approche, on cherche à comprendre le comportement et les réactions des concepteurs, dans les différentes situations auxquelles ils doivent faire face pendant le processus de conception [*Darses*, 1997]. Cette approche s'appuie largement sur la méthode du *protocol analysis* qui consiste à amener les concepteurs à verbaliser

leurs actes, pour essayer de remonter aux processus cognitifs mis en œuvre pendant le processus de conception et que nous décrivons plus en détail dans le chapitre suivant (paragraphe 2.2.3).

La conception fait appel à des processus cognitifs de la part des concepteurs, c'est pour cette raison que des chercheurs essayent de comprendre et d'améliorer le processus de conception en faisant appel à l'ergonomie cognitive [*Darses* 1996]. Ainsi, le courant basé sur l'ergonomie cognitive de cette approche vise à développer des modèles cognitifs des mécanismes de collaboration mis en jeu dans les situations de conception collective. C'est le cas notamment du projet EIFFEL de l'INRIA [*Visser*, 2001]. Ces modèles cognitifs sont développés en analysant des situations de co-conception et de conception distribuée. Dans le premier cas de conception collective, les concepteurs travaillent conjointement sur le problème de conception. Ils partagent un but commun et chacun participe avec ses compétences spécifiques pour l'atteindre. Des processus de synchronisation cognitive sont utilisés pour organiser le travail collectif des concepteurs [*Visser*, 2001]. Dans le cas de la conception distribuée, les concepteurs travaillent simultanément sur le problème de conception mais pas conjointement. Chacun travaille de son côté sur une partie du problème de conception. Des processus de coordination temporaire et opératoire sont utilisés pour organiser les travaux des différents acteurs [*Darses et al.*, 2001a], [*Béguin,* 1994]. L'analyse des différentes situations de travail collectif, qu'elles appartiennent au premier ou au deuxième cas, permet de définir la nature des interactions entre les concepteurs, et par la suite de proposer des méthodes ou outils basés sur les modèles cognitifs dégagés de ces analyses.

1.4.5 Conception collaborative et outils d'aide à la conception

L'étude des outils d'aide à la conception, aussi désignée sous le nom de *CSCW* (Computer Supported Cooperative Work), est un domaine de recherche apparu il y a 20 ans [*McGregor,* 2002]. Le terme CSCW a été utilisé pour la première fois en 1984 [*Grudin,* 1994]. Ce domaine de recherche s'intéresse à la manière dont les acteurs de la conception travaillent ensemble, à distance ou en présentiel, en utilisant des outils informatiques. Ces outils sont généralement appelés des groupwares ou des collectiels. Les recherches sur les CSCW ont deux composantes : technologique et comportementale. Diverses disciplines interviennent dans le développement des CSCW : l'informatique qui s'occupe du développement technique des outils proposés, l'ingénierie pour comprendre et prescrire les besoins industriels concernant le produit et son processus de développement et, enfin, le management et la psychologie pour

comprendre et prescrire les besoins humains afin que les outils proposés soient adaptés à ces besoins.

Le processus de développement des CSCW est résumé dans le graphique suivant :

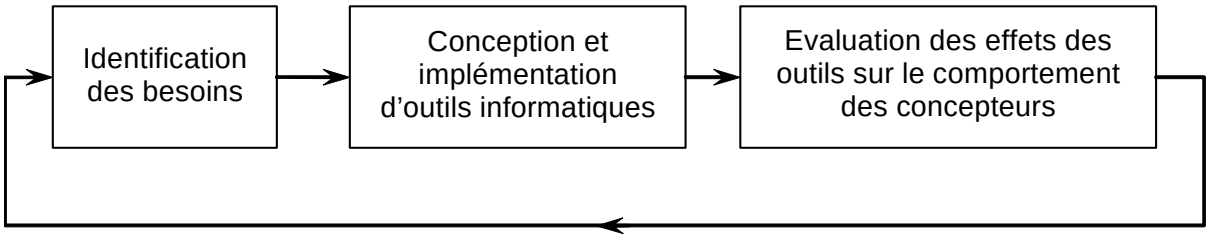


Figure 1.6 : Processus de développement des CSCW [*McGregor*, 2002].

Dans l'étude des outils d'aide à la conception, nous pouvons aussi rencontrer le terme *HCI* (Human Computer Interaction) qui désigne la conception, l'implémentation et l'évaluation des systèmes interactifs dans leur contexte d'utilisation [*Dix et al,* 2003]. L'interface Homme-Machine et l'usage de ces outils sont deux thèmes centraux dans l'étude des HCI. Les HCI ont un processus de développement similaire à celui de la conception de systèmes. Les HCI sont complémentaires aux CSCW qui, toutefois, accordent plus d'importance aux besoins des individus et au travail collectif.

La majeure partie des recherches visant à comprendre le comportement des concepteurs ont été motivées par le développement d'outils. *Bannon et al*. [1989] soulignent le besoin d'évaluer les effets de l'introduction de ces outils sur le comportement humain et d'approfondir l'étude des besoins avant de produire de nouveaux outils. Parmi les travaux les plus importants dans le domaine des CSCW, nous trouvons l'étude des activités ordinaires effectuées par les hommes, qui a pour objectifs l'identification et l'analyse de leurs actions basiques. Ces actions banales sont souvent négligées dans les études du processus de conception. *Karsten et al*.,[1998] soulignent le fait que les effet positifs de la technologie peuvent prendre beaucoup de temps avant d'émerger et que l'adoption et l'usage de ces outils par les acteurs sont plus fortement influencés par le contexte organisationnel et les structures sociales internes que par les propriétés intrinsèques des outils.

Ces outils sont souvent classés selon le mode de travail qu'ils permettent. On distingue deux modes de travail collaboratif caractérisés par deux dimensions : le temps et le lieu de collaboration. Dans le *mode asynchrone,* chacun travaille séparément sur des tâches qui lui sont réservées. La mise à jour des données modifiées se fait périodiquement. Dans le *mode synchrone*, tous les intervenants ont accès simultanément à l'ensemble des données dont la mise à jour se fait simultanément sur tous les postes, dès qu'il y a eu modification. Dans le *mode présentiel,* les acteurs travaillent en face-à-face. Enfin, dans le

mode distribué, les acteurs se trouvent dans des endroits différents et communiquent entre eux à l'aide d'outils de communication [*Ellis et al.*, 1991], [*Grudin*, 1994].

Suivant ces modes de travail collaboratif, différents outils peuvent être utilisés. Ils permettent des niveaux de collaboration différents. Ces outils peuvent être classés en trois catégories : les outils de communication, les outils de conférence, et enfin les outils de gestion du processus collaboratif.

- **Les outils de communication** : ils permettent l'envoi de messages, fichiers ou documents. Ils permettent ainsi le partage d'informations entre les acteurs. Le mail, le fax, les publications web, etc. sont des exemples de ces outils.
- **Les outils de conférence** : ils permettent aussi le partage d'informations mais de manière plus interactive. Comme exemples de ces outils, nous trouvons les tableaux blancs partagés par un ensemble d'acteurs et pouvant être modifiés par chacun, le téléphone, les outils de conférence audio-vidéo, les forums de discussion, le chat…
- **Les outils de gestion de processus collaboratifs** : ils permettent de gérer les activités du groupe, nous trouvons dans cette catégorie d'outils par exemple, les agendas électroniques qui permettent la programmation d'évènements et de les notifier automatiquement aux membres de l'équipe concernés, les systèmes de gestion de projet, les systèmes de workflow qui permettent la gestion collaborative de tâches et documents dans un processus à base de connaissances. Les systèmes de management de connaissances qui permettent de collecter, organiser, gérer et partager différentes formes d'informations.

1.4.5.1 Quelques exemples

Des travaux ont été menés dans le domaine de l'intelligence artificielle (AI). Ces travaux ne se fondent pas sur une théorie cognitive du processus de conception, mais identifient le type de connaissance utilisé pendant le processus de conception (par exemple la connaissance de résolution des problèmes) [*Smithers*, 1998]. Les méthodes actuelles de développement de supports d'aide à la conception se sont focalisées principalement sur les systèmes experts. Les systèmes experts sont plus efficaces dans la résolution de problèmes bien définis : un objectif bien défini, un ensemble clair de conditions initiales, et un procédé ou un ensemble de règles qui permettent d'atteindre cet objectif [*Studer*, 1998].

Il est difficile d'appliquer les systèmes experts aux problèmes de conception car ceux-ci n'ont pas d'objectifs bien définis. Les systèmes experts sont basés sur le stockage d'une grande quantité de données qu'ils utilisent pour résoudre des problèmes [*O'Hara et al.*, 1997], [*Studer*, 1998].

Beaucoup d'outils ont été développés pour aider les concepteurs. Ceux-ci incluent les outils qui saisissent l'historique de la conception et le raisonnement du concepteur. [*Jensen*, 1998], [*Jensen*, 1999], [Lee, 1997].

Jensen classifie les outils qui capturent le raisonnement de conception en deux catégories : capture "hors ligne" et capture "en ligne". Les outils "hors ligne" ne capturent pas la connaissance de conception en tant qu'une activité dans le processus de conception. Ces connaissances sont plutôt structurées et contrôlées par une personne employée spécifiquement pour accomplir cette tâche. Les outils en ligne font la capture des connaissances en tant qu'activité du processus de conception. Les concepteurs passent un temps additionnel pour capturer les connaissances pendant le processus de conception. Cette activité peut, toutefois, aider à économiser le temps de recherche de l'information dans des projets ultérieurs.

Lee propose un cadre pour le développement d'outils de capture du raisonnement en conception, et suggère de prendre en considération les points suivants [*Lee*, 1997] :

- Quels services l'outil pourra fournir ?
- Quelle est la partie du raisonnement à représenter explicitement ?
- Comment représenter, produire, et accéder à des raisonnements et les contrôler efficacement à moindre coût ?
- Comment intégrer le système de raisonnement de conception ?

Il décrit les outils "hors ligne" comme peu pratiques à mettre en œuvre en raison du coût d'entretien élevé. *Lee* divise les parties de raisonnement à décrire explicitement en trois couches principales :

- Couche de décision caractérisant le processus de décision. La couche de décision contient cinq sous-couches : argument, alternative, évaluation, critères, et sujet.
- Couche de l'artefact contenant les informations sur les composants d'un artefact et faisant le lien entre ces composants et la couche de décision.
- Couche des intentions de conception représentant des informations sur les décisions de conception telles que les critères, les stratégies et les objectifs.

L'Issue-Based Information Support (IBIS) développée par *Rittel* à la fin des années 1970 est un exemple d'approches "hors ligne" [*Kunz et al.*, 1979].

Les systèmes d'IBIS ne représentent explicitement que la couche de décision. Elle est constituée de trois composants : sujet, position et argument. Les sujets sont les questions émergentes, les positions sont les réponses proposées à ces questions, et les arguments sont les rapports émis par les concepteurs qui justifient ou contredisent une position donnée.

Le système "Question Options and Criteria" (QOC) est également semblable à IBIS. Cependant, QOC est documenté rétrospectivement, avec un seul concepteur responsable d'identifier les décisions [*McKerlie*, 1994]. QOC et IBIS exigent du concepteur de passer du temps pour apprendre l'outil informatique.

IBIS et QOC enregistrent les décisions des concepteurs ainsi que leurs arguments et, par conséquent, sont utiles pour comprendre, rétrospectivement, un projet de conception, mais pas en fournissant un soutien immédiat aux concepteurs. Ces systèmes n'encouragent pas les concepteurs à concevoir d'une manière particulière, et ne leur fournissent pas des méthodes ou stratégies de conception.

PROSUS (PROcess-based SUpport System) est un exemple d'une approche "en ligne" qui encourage les concepteurs à concevoir d'une manière particulière [*Blessing*, 1996]. PROSUS documente l'historique de différents projets. Il est basé sur une série de cellules de matrice encourageant le concepteur à effectuer des activités (générer, évaluer et sélectionner) pour un ensemble de questions. PROSUS encourage les concepteurs à aborder et enregistrer ces questions dans les cellules, et "permet ainsi de capturer le processus". Cependant, la réutilisation de l'historique documenté de conception est basée sur la conscience des concepteurs de la pertinence des projets.

Jensen et al proposent une combinaison d'une démarche "en ligne" et "hors ligne", afin de capturer les connaissances des concepteurs dans un environnement de travail donné [*Jensen*, 1998]. Pendant la phase conceptuelle, le concepteur crée des unités de conception (basées sur les éléments de la théorie des domaines). Les unités de conception sont employées pour organiser les connaissances sur l'artefact qui peuvent être réutilisées pour des projets futurs.

Ces outils sont avant tout capable de transmettre des données entre les acteurs. Pour pouvoir transformer ces données en informations, ces acteurs doivent être conscient du contexte des données transmises. Le contexte peut être explicité et transcrit avec les données, toutefois, pour pouvoir transformer les informations obtenues en connaissances, les acteurs de la conception doivent pouvoir les interpréter. Cette possibilité

d'interprétation n'est pas transmissible informatiquement puisqu'elle est inhérente aux individus. En effet, comme nous l'avons détaillé au début de ce chapitre, l'interprétation des informations dépend des connaissances déjà détenues par les acteurs, de leurs expériences et leurs compétences.

1.5 Problématique traitée dans la thèse

Nous avons montré que le partage de connaissances individuelles est une composante essentielle du processus de conception collaborative. Il en est une partie intégrante. Ce partage de connaissances est différent du partage de données ou d'informations.

Plusieurs modèles du processus de communication ont été proposés dans la littérature. Des études ont montré que la communication en général, et dans le processus de conception en particulier, doit être vue comme un processus interactif entre les individus ou les groupes intervenants dans ce processus.

Nous remarquons, d'un autre coté, qu'il y a un manque de modèles d'activités, ou modèles de communication permettant de décrire le partage de connaissances dans le processus de conception.

L'objectif de notre travail est donc de mieux comprendre ce processus. Nous voulons mettre en évidence les spécificités d'un partage de connaissances par rapport au partage de données ou d'informations. Dans ce cadre, nous nous intéressons aux connaissances relatives au produit à concevoir, par opposition aux connaissances organisationnelles ou aux connaissances des outils utilisés. Nous considérons que pour comprendre le processus de partage de connaissances produit, nous devons rendre compte de la situation dans sa dynamique en considérant tous les éléments qui y interviennent : l'objectif du processus, les acteurs et leurs discours, les objets mobilisés et l'historique de la situation. Nous cherchons à proposer un modèle qui décrit cette activité de partage de connaissances produit et qui permet de rendre compte de ces différents éléments.

Le modèle visé doit décrire les différentes étapes de ce processus dans leur dynamique, ainsi que leurs modalités d'exécution. Il doit prendre en compte le lien entre les activités de partage de connaissances et les activités de conception.

Comprendre le processus de partage de connaissances permet dans des perspectives à long terme de proposer des recommandations pour l'améliorer et de mettre en évidence les besoins de ce processus à être instrumenté.

1.6 Conclusion

Nous avons effectué une étude bibliographique sur les connaissances et la distinction de ce terme avec les données et les informations. Ces termes sont distincts malgré leur utilisation parfois confuse. Ceci nous a permis de préciser la terminologie que nous utiliserons tout au long de ce mémoire. Nous avons ensuite présenté le contexte général de ce travail de recherche, en l'occurrence le processus de conception collaborative, en donnant un aperçu sur les différentes approches et points de vues utilisés pour étudier ce processus. Nous avons étudié la manière dont les connaissances en conception sont prises en compte dans ces différentes approches. Nous avons notamment vu que le processus de conception est complexe et multidisciplinaire. Il fait intervenir plusieurs champs de connaissances. Ces connaissances sont souvent distribuées entre les acteurs et les outils. La prise en compte des différents champs de connaissances passe par une mise en commun de certaines de ces connaissances. Une multitude d'outils permettant la modélisation et le stockage de données et d'informations existent. Un grand nombre d'outils de communications existent aussi. Ils permettent l'échange de données et d'informations. Cependant, un transfert de données ou d'informations ne garantit pas leur interprétation correcte. En effet, la vision classique de la communication en terme de codage et décodage n'est pas pertinente pour l'étude du partage des connaissances en conception.

Ces constatations nous ont permis de définir notre problématique de recherche qui consiste à analyser le processus de partage de connaissances dans le processus de conception à un niveau de granularité qui permet de comprendre ce processus dans sa différence avec un processus de communication de données, et à proposer un modèle d'activité permettant de décrire le processus de partage de connaissances produit suivi par les acteurs du processus de conception.

Nous choisissons d'effectuer cette étude sur la base d'expériences de conception reproduisant le processus de conception et réalisées en laboratoire, afin d'en extraire les données nécessaires à l'analyse du processus de partage de connaissances entre acteurs.

Dans le chapitre suivant, nous présentons la méthodologie de recherche globale que nous avons suivie durant ce travail de recherche.

Chapitre 2

Approche de recherche

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter et discuter la méthode de recherche que nous avons suivie dans ce travail de thèse. Cet aspect a, en effet, occupé une partie assez importante de notre travail. Nous commencerons par présenter les méthodologies de recherche les plus couramment utilisées dans les travaux sur le processus de conception. Les méthodologies de recherche globales sont généralement utilisées pour modéliser des plans de recherche à long terme, c'est-à-dire des recherches s'étendant sur plusieurs années et englobant, par exemple, plusieurs travaux de thèses. Elles ne peuvent donc pas être suivies en intégralité et avec rigueur dans un seul travail de thèse comme celui que nous présentons dans ce mémoire. C'est pour cela, qu'après discussions des méthodologies de recherche existantes, nous concluons par la méthode de recherche personnelle, déduite de l'ensemble de ces méthodologies, et adaptée à nos objectifs actuels.

2.2 Méthodologies de recherche en conception

Dans cette partie, nous allons décrire les méthodologies les plus utilisées dans la recherche sur le processus de conception.

2.2.1 Méthodologie de recherche de Blessing et al. : DRM

Dans ce qui suit, nous décrivons la méthodologie de recherche globale que nous avons choisie de suivre, en partie, pendant nos travaux. Il s'agit, en l'occurrence, de la méthodologie DRM (Design Research Methodology) proposée par *Blessing et al* [*Blessing,* 1998]. Cette méthodologie est composée de quatre étapes essentielles dans le cycle de recherche (figure 2.1). Une étape préliminaire de définition des "Critères", qui sert à identifier l'objectif du travail de recherche. Cette étape est suivie par une première étape de description qui sert, dans notre cas, à déterminer les facteurs qui influencent le travail collaboratif et comment cette influence se manifeste. Cette étape permet ainsi de fournir une base pour le développement de supports méthodologiques et d'outils de conception collaborative. Nous trouvons, ensuite, une phase de prescription, qui a pour rôle de prescrire des modèles, méthodes et outils, pour améliorer le processus étudié. Enfin, la méthodologie se conclut par une autre étape de description qui sert à valider les résultats des trois premières étapes. Nous allons décrire plus en détail les quatre étapes de cette méthodologie telles que présentées par ses auteurs.

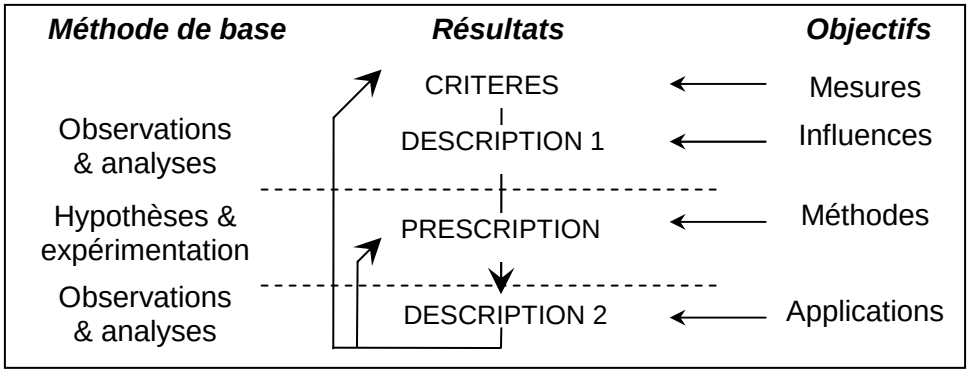


Figure 2.1 : Méthodologie de recherche *DRM* [*Blessing,* 1998].

2.2.1.1 Etape de la définition des critères

Cette étape joue trois rôles dans le processus de recherche. Le premier est de déterminer l'objectif global du travail de recherche mené. Le deuxième est de permettre de trouver les facteurs qui contribuent ou limitent le succès d'une conception donnée. Enfin, le troisième rôle est d'utiliser les critères comme référence d'évaluation d'éventuelles méthodes ou outils proposés. Cette étape est basée, essentiellement, sur des études bibliographiques.

L'idée présentée par *Blessing et al*. est d'identifier les facteurs qui influencent le processus de conception, et de se concentrer sur l'un de ces facteurs pour arriver, à la fin, à prescrire des méthodes ou outils qui facilitent le travail des concepteurs et augmentent leur efficacité, ceci évidemment au regard du facteur étudié.

2.2.1.2 Etape de la première description

Les auteurs de la méthodologie de recherche précisent que la première phase descriptive sert à mieux comprendre les facteurs de succès du processus de développement de produits. Les facteurs à étudier sont ceux définis dans la première étape de la méthodologie.

2.2.1.3 Etape de la prescription

Durant cette étape, l'objectif est de développer soit une méthode soit un outil de travail en se basant sur les résultats de la phase précédente. Ces supports ont pour objectif de soutenir les concepteurs dans leurs démarches. Dans notre cas, l'objectif à terme est de prescrire des spécifications pour un outil informatique qui prendra en compte les résultats de l'analyse faite dans la phase précédente.

2.2.1.4 Etape de la seconde description

Cette étape sert à étudier l'impact des méthodes et outils prescrits dans la phase précédente, sur le processus de conception. Il s'agit d'une étape d'évaluation. L'évaluation doit normalement comporter quatre tâches principales. Premièrement, la validation de la méthode ou de l'outil, c'est-à-dire leurs faisabilité et adéquation au processus de conception. Deuxièmement, la réaction des acteurs vis-à-vis de la méthode ou de l'outil. Troisièmement, l'impact de la méthode sur le comportement des acteurs. Enfin, l'impact de la méthode ou de l'outil proposé sur les résultats des acteurs.

Les quatre phases de cette méthodologie sont donc très liées. Toutefois, il est à noter qu'elles ne peuvent pas toutes être accomplies avec le même niveau de rigueur. Ceci est d'autant plus vrai pour un projet de recherche s'inscrivant dans le cadre d'une thèse limitée par des contraintes de temps et de ressources.

2.2.2 Démarche de recherche CID

Cette démarche a été développée au sein de l'équipe CID (Conception Innovante et Distribuée) de notre laboratoire. Elle a été explicitée dans [*Prudhomme,* 2005] et est décrite sur la figure 2.2.

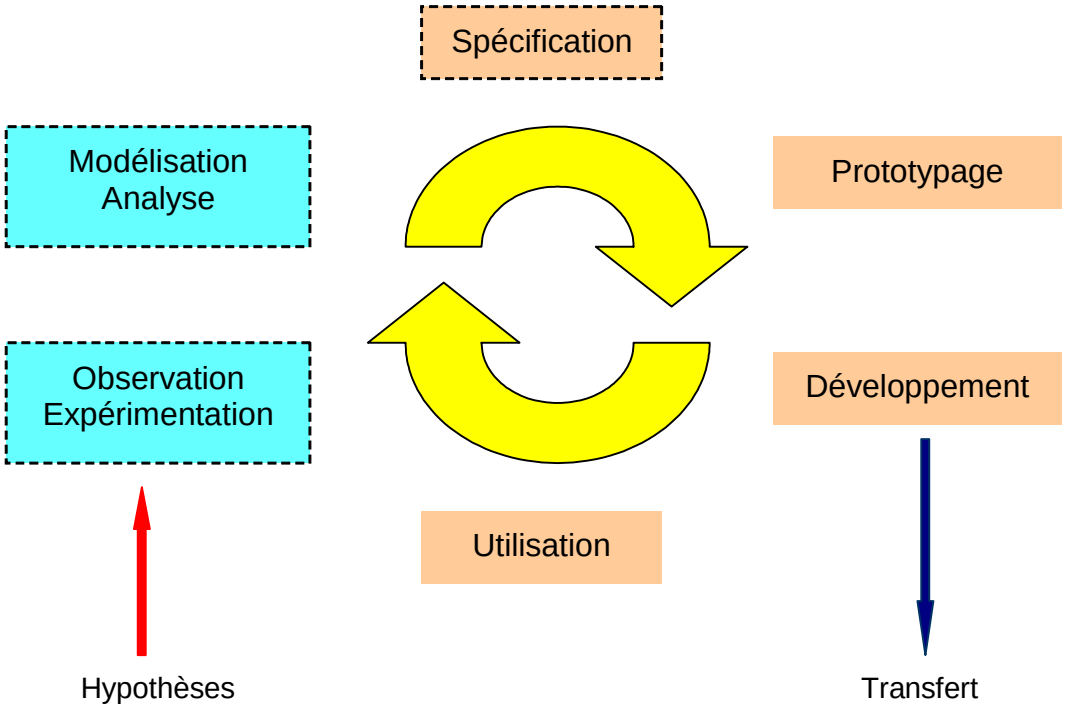


Figure 2.2 : Démarche de recherche CID [*Prudhomme,* 2005].

Cette démarche de recherche est composée de deux grandes parties.

La première partie a pour objectif de proposer des modèles descriptifs et prescriptifs des activités de conception. Elle comporte cinq étapes : l'expérimentation, l'observation, l'analyse, la modélisation et, enfin, la spécification.

La deuxième partie de la démarche concerne le développement d'outils d'aide à la conception. Elle est basée sur les résultats de la première partie et comporte les étapes suivantes : le prototypage, le développement informatique et l'utilisation des outils développés. Cette partie de développement informatique ne fait pas partie de nos intérêts dans ce travail de recherche. Une grande partie de nos travaux s'inscrit dans la première partie de la démarche qui est d'avantage explicitée ci-après, et présentée sur la figure 2.3.

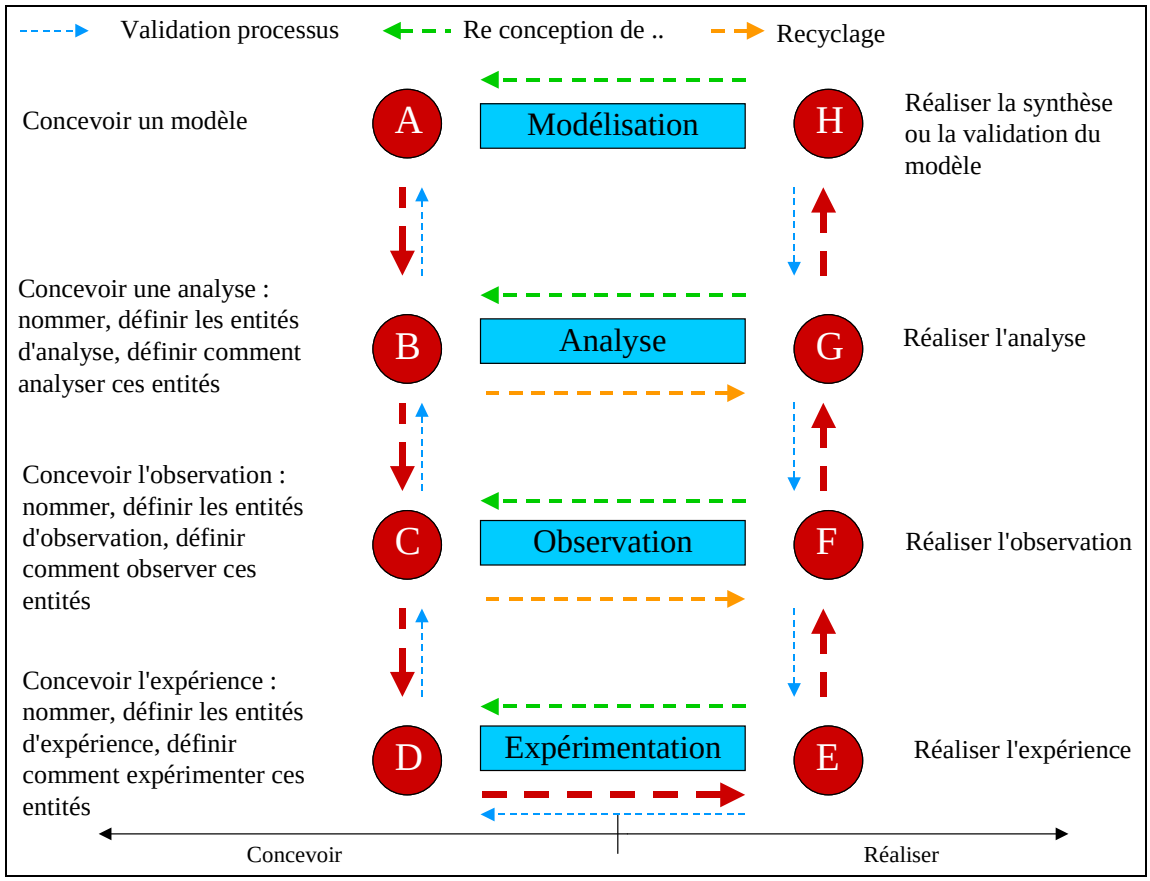


Figure 2.3 : Proposition d'une démarche de recherche en conception [*Choulier, 2004*].

Cette partie de la méthodologie de recherche est présentée comme étant une interrogation sur la manière de réaliser une expérience, et sur les données à analyser. Elle est divisée en quatre étapes de conception (A à D) et quatre étapes d'action/réalisation (E à H) que nous présentons ci-après :

- A : Concevoir (proposer) un modèle.
- B : Concevoir une analyse : nommer, définir les entités d'analyse, définir comment analyser ces entités.
- C : Concevoir l'observation : nommer, définir les entités d'observation, définir comment observer ces entités.
- D : Concevoir l'expérience : nommer, définir les entités d'expérience, définir comment expérimenter ces entités.
- E : Réaliser l'expérience.
- F : Réaliser l'observation.
- G : Réaliser l'analyse.
- H : Réaliser la synthèse ou la validation du modèle.

L'expérimentation consiste à reproduire au mieux un processus de conception en laboratoire, tel qu'il se déroulerait sur le milieu naturel des concepteurs. Elle permet de contrôler certaines variables pour étudier leur influence sur le processus.

A la fin des expériences de conception, beaucoup de données générées sont encore brutes. La question est de savoir lesquelles seront utiles pour notre recherche, et de pouvoir efficacement les collecter. C'est le rôle de l'étape d'observation.

2.2.3 Méthode du protocol analysis

Notre objectif est d'analyser un processus de conception dans lequel les concepteurs partagent des connaissances. Nous avons choisi la méthode expérimentale pour enregistrer des séquences de conception, afin de les analyser ultérieurement. Cette méthode appelée *protocol analysis* par les anglo-saxons est nommée *analyse de protocole* ou *étude de protocole* en français. Cette méthode à été décrite par *Ericson* et *al.* [1993]. Elle a été validée, par la suite, lors d'un atelier comme une méthode d'analyse en conception [*Cross et al.,* 1996]. L'atelier en question avait permis de créer des groupes de chercheurs distincts en conception et de faire la comparaison des résultats des analyses qu'ils avaient faites, distinctement, chacun de son coté, sur la base des mêmes données, issues d'une même expérience. Ceci avait pour but de :

- avoir une vue d'ensemble des connaissances accumulées sur la conception et des chercheurs en conception ;

- chercher un langage commun pour le *protocol analysis*, en vue de détailler les processus de conception ;
- valider le *protocol analysis* comme une technique de recherche ;
- avoir une discussion sur les propriétés et les limites du *protocol analysis* dans le domaine de recherche en conception ;
- discuter des possibilités d'utilisation de la méthode du *protocol analysis* dans le futur, seule ou en combinaison avec d'autres techniques de recherche ;
- former une base de réseau international de recherche et une plate-forme pour une discussion sur ces sujets.

Aujourd'hui, l'utilisation de cette méthode pour améliorer la compréhension du processus de conception est en plein essor dans la recherche en conception [*Baya et al.,* 1996]. L'analyse d'un processus complexe tel que le processus de conception est confrontée à plusieurs difficultés dues au grand nombre de variables qui peuvent influencer les résultats. Le dispositif expérimental, le choix et le nombre d'acteurs, leur expérience et leur culture, la tâche de conception et le domaine de cette tâche, etc. influencent tous les résultats des études de protocoles [*Cross,* 1996]. Le *protocol analysis* permet, entre autres, de contrôler certaines de ces variables afin de faciliter l'analyse et la compréhension du processus de conception. C'est une tâche qui demeure difficile et compliquée. La définition d'une procédure appropriée est nécessaire pour appliquer la méthode. Elle est fondée, essentiellement, sur les comptes-rendus verbaux donnés par les acteurs, de leurs propres activités cognitives. Elle est centrée sur l'analyse de la verbalisation des acteurs. Elle relie ainsi les paroles aux activités cognitives. Cette méthode a été utilisée à cet effet, car il est difficile d'imaginer comment on pourrait examiner les réflexions et raisonnements des personnes, autrement qu'en leur demandant de les verbaliser. Une description plus détaillée de la méthode du *protocol analysis* peut être trouvée dans [Kuate, 2006].

2.3 Méthodes d'observation du processus de conception

Avant l'analyse de processus de conception, les chercheurs doivent passer par une étape d'observation. Celle-ci a pour objectif de capter l'information. Elle est instrumentée par des moyens, tels que les enregistrements audio-vidéo, qui garantissent la conservation de ces informations. Des quantités énormes d'informations peuvent être tirées d'un processus de conception. Les moyens d'observation utilisés constituent des filtres qui ne capturent que les informations d'un certain type. Il convient de définir les moyens adéquats pour extraire de l'expérience toutes les informations utiles pour l'analyse. Cette

étape comporte la capture des informations et leur mise en forme pour qu'elles soient plus faciles à exploiter dans les étapes suivantes de la démarche. Ce sont des informations filtrées et mises en forme qui sortent de cette étape. Toutefois, des retours aux enregistrements bruts d'expériences sont parfois nécessaires pour remettre les informations dans leurs contextes (enregistrement audio-vidéo par exemple).

Plusieurs méthodes sont disponibles pour les chercheurs pour effectuer l'étape de l'observation. Nous présentons ci-après trois méthodes. Cette liste n'est en aucun cas exhaustive, d'autres méthodes peuvent être trouvées dans [*Subrahmanian,* 1992]*,* [*Cross,* 2001].

2.3.1 Observation directe du processus

Cette méthode est inspirée des recherches en sciences sociales. Il s'agit d'une immersion de l'observateur, dans le processus de conception, pendant une durée qui peut être définie selon l'objectif visé. C'est une approche analytique qui se concentre sur le contenu du discours des participants pendant leurs interactions. Elle vise à comprendre les interactions en analysant la signification et les objectifs des communications dans un discours, ainsi que les sujets et les centres de conversation [*Feinman,* 2006].

Les observations peuvent être appliquées soit au travail des équipes de conception, soit aux concepteurs individuels. Dans certains cas, les participants sont invités à penser à voix haute, il s'agit alors de la méthode du "*think aloud*" [*Cross*, 1996], [*Kavakli et al.,* 2002], [*Kuate,* 2006]. Généralement, les observations sont accompagnées de prise de note et d'enregistrements audio ou vidéo, afin d'en garder les traces qui serviront aux étapes d'analyse.

Ces observations sont généralement effectuées en temps réel, soit dans le milieu naturel des concepteurs, soit suite à des expériences de conception provoquées.

L'expérimentation en conception a pour objectif principal d'élargir les connaissances sur l'activité de conception. Elle entre dans le cadre général des études expérimentales. Il y a en effet de nombreux points communs avec les expériences effectuées en sciences dites exactes, pour lesquelles l'expérience permet par exemple d'élaborer un modèle de comportement, de le valider, de déterminer une courbe de réponse d'un système,… Ces objectifs peuvent tout à fait être ceux d'une expérience de conception. Cependant, les expériences de conception font entrer en jeu des processus humains qui ne sont pas tous maîtrisables, ni facilement modélisables. De ce fait, les conditions expérimentales sont définies de manière partielle et approximative par rapport au cas des sciences exactes.

L'hypothèse de reproductibilité des phénomènes, majeure en sciences exactes, ne pourra être considérée dans son ensemble pour ce qui est des expériences de conception.

L'observation sur le terrain a l'avantage d'être réaliste et d'associer les évènements à leurs contextes [Yin, 1994]. Toutefois elles sont moins contrôlables que les expériences faites en laboratoire.

L'observation sur le terrain se décompose en deux types d'observations : l'observation passive et l'observation participante.

Dans l'observation passive, le chercheur garde une distance par rapport au processus de conception qu'il étudie. En effet, son seul rôle est d'observer le processus de conception sans intervention de sa part sur le contenu de ce processus. Ce type d'observation peut garantir une certaine objectivité du chercheur. Toutefois, la simple présence de l'observateur et du matériel d'observation peut modifier le contexte dans lequel il se trouve et perturber son objectivité. En effet, l'observateur se trouve sur le terrain car il possède une mission que les concepteurs connaissent, par conséquent ils agissent en connaissance de cause. Les préjugés des observateurs peuvent aussi avoir certains effets notamment lors de l'analyse des résultats des différentes observations [*Stauffer et al.,* 1991], [*Frankfort-Nachmias,* 1996].

Dans les études de type "observation participante", le chercheur est lui même acteur du processus de conception qu'il étudie. L'observation participante s'effectue sur le terrain, dans le milieu naturel des concepteurs. La principale difficulté de cette approche est de pouvoir gérer la distance nécessaire du chercheur avec la situation et l'implication du concepteur dans le projet [*Blanco,* 1998]. La position de l'observateur par rapport au projet doit être claire et connue par les acteurs intervenant sur le projet. [*Blanco,* 1998] propose un ensemble d'interrogations qu'il faut traiter avant le début du projet : "Le chercheur est-il participant à part entière au projet ? Son action est-elle centrée sur le produit ou sur la méthodologie de conception ? Intervient-il comme consultant, concepteur, observateur, chercheur ? D'autres acteurs de l'entreprise sont-ils partie prenante du projet de recherche ou non ?"

L'intérêt de ce type d'observations est de pouvoir suivre, sur une longue période, un projet de conception.

2.3.2 Observation des traces du processus

Il s'agit de la documentation et de différents objets produits au cours du processus de conception. Ces objets ont été appelés "objets intermédiaires" [*Mer et al.,* 1995], [*Vinck*, 1995], [*Jeantet et al.*, 1996], [*Blanco*, 1998] ou objets de conception comme traduction du

terme anglo-saxon "design objects". Il peut s'agir de plans, d'ébauches, de comptes rendus de revues de conception etc.… Ces objets récupérés a posteriori peuvent permettre de suivre les évolutions du produit durant son processus de développement.

Cette méthode de recueil de données a ses limites. En effet, certains objets créés pendant le processus de conception ne sont pas récupérables. Les concepteurs créent de grandes quantités de croquis, d'ébauches et de brouillons. Certains de ces objets n'ont qu'un rôle instantané comme par exemple l'illustration d'un problème ou un brouillon de recherche de solution quelconque. Ces objets sont souvent abandonnés ou classés sans issues par leurs auteurs. L'observateur n'a plus la possibilité de les récupérer. D'autres objets ne sont pas exploitables. En effet, une grande partie consiste simplement en des brouillons créés et modifiés à la main sans autres informations qu'un schéma mal dessiné, sans date de création, ni auteur précis. L'analyse, a posteriori, de ces objets ne permet pas de reconstituer les actions dont ils sont issus [Blanco, 1998].

Les objets récupérés à la fin du processus de conception, ne peuvent pas renseigner sur toutes les composantes de ce processus. En s'intéressant au processus de conception, le chercheur a généralement pour mission l'étude d'une composante bien précise de ce processus. La question qui se pose est : "est-ce que les objets récupérés contiennent assez d'informations pour pouvoir renseigner sur la composante du processus de conception étudiée ?"

Les objets récupérés à la fin du processus de conception ne constituent une source d'information pour l'analyse du processus de conception que s'ils sont associés au contexte de leur création.

2.3.3 Entretiens

Cette méthode d'observation rétrospective est utile pour recueillir des données relatives à plusieurs cas à la fois en un minimum de temps. Il existe plusieurs formes d'entretiens. Ceux-ci sont généralement classés en trois catégories selon le degré de liberté accordé à la personne interrogée.

Les entretiens ouverts ne lui donnent que le sujet de l'entretien. La personne interrogée peut alors diriger librement l'entretien et agir en tant qu'informateur. Dans les entretiens semi-ouverts, appelés également entretiens focalisés, l'intervieweur pose des questions spécifiques à l'interviewé, mais lui laisse, toutefois, une marge pour s'étendre sur les réponses. Des questions, autres que celles déjà préparées, peuvent être posées par l'intervieweur. Les entretiens semi-ouverts permettent une flexibilité dans les questionnaires. L'intervieweur peut expliquer les questions à l'interviewé et s'intéresser à

d'autres informations révélées par l'entretien lui même. [*Frankfort-Nachmias,* 1996] cité par [*Ahmed,* 2000].

Les entretiens de type enquête sont les plus contrôlés, ils contiennent seulement des questions spécifiques et prennent généralement la forme de questionnaires.

2.4 L'analyse des données

Dans toutes les méthodologies de recherche sur le processus de conception, l'étape d'observation est suivie d'une étape d'analyse. Son objectif principal est d'extraire et de représenter, de façon synthétique, les informations pertinentes pour une meilleure interprétation. C'est aussi une phase de filtrage d'informations selon les objectifs de l'étude. Dans le cas de notre problématique, il nous faudra séparer tous les paramètres relatifs au processus de partage des connaissances, comme par exemple les composantes de ce processus et la fréquence des processus de partage des connaissances dans le processus de conception. Les analyses complètes de nos expériences, conformément à la problématique de partage des connaissances, sont présentées dans le quatrième chapitre.

Les résultats de l'analyse peuvent conduire à la définition d'un modèle. La modélisation est l'opération par laquelle on établit une représentation synthétisée et simplifiée d'un objet, système, phénomène ou processus, afin de faciliter son étude. L'étape de modélisation, dans la démarche présentée, vise à généraliser les résultats obtenus à partir des analyses faites dans l'étape précédente. On obtient un modèle construit sur la base d'un ou de certains cas. Le modèle obtenu peut être exploitable, bien que la généricité ne soit pas garantie. Ce modèle peut utilement être confronté à d'autres résultats, modèles, commentaires ou conclusions de la bibliographie. Si l'on dispose d'un nombre significatif d'analyses cohérentes entre elles, on peut conclure à une certaine légitimité du modèle.

Les étapes d'analyse et d'observation de nos expériences de conception, au regard du processus de partage des connaissances, sont détaillées dans le chapitre 3.

Dans tous les cas, on vise, par abstraction, un niveau de généricité supérieur, avec l'ambition d'appliquer au cas général ce que l'on observe sur un ou des cas particuliers. Le modèle de processus de partage de connaissances issu de nos analyses sera présenté dans le chapitre 4.

2.5 Résumé et discussion des méthodes présentées

Nous avons présenté trois démarches de recherche sur la conception : la DRM de *Blessing et al*, la démarche de recherche de l'équipe CID et le *protocol analysis*. La DRM est une démarche générique, globale et indépendante de l'objectif de recherche visé. Elle peut situer un projet de recherche de longue durée et permet de le guider dès la définition des objectifs de recherche, jusqu'à la recherche de solutions et leur évaluation. Les travaux de recherche tels que celui d'une thèse ne peuvent traiter de la globalité de la méthodologie. La DRM permet de situer ces travaux de recherche par rapport aux différentes étapes, descriptive, prescriptive ou de définition des critères. D'un autre coté, cette démarche n'explique pas l'émergence des questions de recherche sur le processus de conception et ne peut garantir la validité des problématiques de recherche à traiter. D'ailleurs, la première étape de la méthodologie consiste à poser des hypothèses, tirées uniquement de la bibliographie, pour les vérifier pendant la première étape descriptive. Cette procédure peut être qualifiée d'hypothético-déductive. La deuxième partie de la démarche DRM consiste à prescrire des méthodes et outils sur la base des hypothèses posées dans l'étape des critères et modifiées dans la première étape descriptive. Cette procédure peut donc être qualifiée de prescriptive. Enfin, la dernière partie de cette étape consiste en la validation des méthodes et outils prescrits, en les implantant dans des processus de conception identiques à ceux utilisés pendant la première étape descriptive. Il s'agit donc d'une deuxième procédure hypothético-déductive.

La démarche de recherche CID a aussi l'avantage d'être générique. A première vue, cette démarche est prévue pour le développement d'outils informatiques. Elle intègre l'application industrielle des outils proposés. L'étape "transfert" assure le transfert des outils proposés du domaine académique vers le domaine industriel. Toutefois, elle a toujours pour point de départ l'expérimentation. Cette démarche peut être adaptée pour correspondre non seulement au développement d'outils d'aide à la conception, mais aussi pour la définition de modèles descriptifs pour mieux comprendre le processus de conception.

Dans cette démarche, nous retrouvons une procédure déductive qui consiste à postuler certaines hypothèses qui doivent être vérifiées par l'observation et l'analyse d'expériences de conception. La démarche ne donne pas la manière dont émergent ces premières hypothèses, ni la manière de vérifier que ces hypothèses constituent une vraie problématique de recherche, qui répond au besoin d'amélioration du processus de conception. Une autre procédure de la démarche CID consiste à commencer par le montage puis l'analyse d'expériences de conception, puis établir des modèles d'activités qui peuvent conduire à spécifier des outils ou méthodes d'aide à la conception. Il s'agit,

donc, d'une procédure inductive. La démarche contient une deuxième procédure hypothético-déductive qui consiste au transfert et à l'utilisation de la méthode ou de l'outil proposé, ce qui permettra la vérification des hypothèses qui ont conduit à la spécification de l'outil ou de la méthode.

La démarche de recherche CID est sensiblement équivalente à la DRM avec des étapes plus détaillées. Ainsi, l'étape des critères de la DRM est équivalente à l'étape des hypothèses de la démarche de recherche CID. On retrouve aussi la première étape de description de la DRM dans les étapes d'expérimentation, observation, expérimentation et analyse de la démarche CID. La seconde étape descriptive de la DRM est résumée dans l'étape "utilisation" de la démarche CID.

La figure 2.4 résume cette équivalence entre la DRM et la démarche de recherche CID.

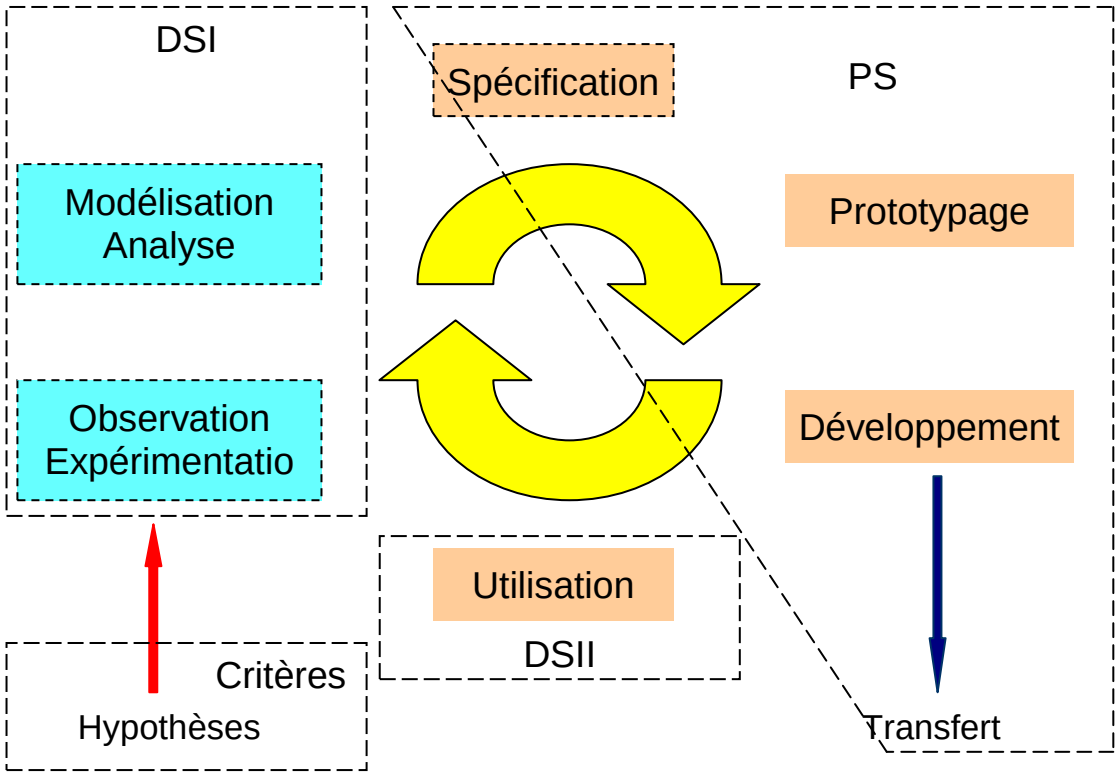


Figure 2.4 : Equivalence entre la DRM et la démarche de recherche CID.

Les étapes de définition des critères de la démarche DRM et celle d'émission des hypothèses de la démarche CID permettent le déclenchement du processus de recherche, mais elles n'expliquent pas l'émergence des questions de recherche. Les deux démarches donnent des directions et de grandes étapes pour l'avancement des travaux de recherche. Toutefois, elles ne donnent pas les outils et moyens nécessaires pour

l'accomplissement des ces différentes étapes. La démarche CID donne plus de détail sur l'étape descriptive. Elle donne des pistes pour se questionner sur les moyens d'accomplir cette étape sans pour autant donner au chercheur explicitement ces moyens.

La méthode du *protocol analysis,* quant à elle, donne explicitement la procédure à suivre pour accomplir un travail de recherche qui vise à comprendre le processus de conception. Toutefois, comme les deux premières démarches, le *protocol analysis* n'explique pas l'émergence des questions et des objectifs de recherche qui vont déclencher un travail de recherche. Cette méthode peut être utilisée dans une démarche inductive qui consiste à concevoir des expériences de conception et à en déduire des hypothèses, ou aussi déductive pour vérifier des hypothèses postulées a priori. Comme nous l'avons indiqué au début de ce chapitre, l'objectif ultime des travaux de recherche sur le processus de conception est de prescrire des méthodes et outils pour assister les concepteurs et optimiser ce processus. Le *protocol analysis* ne précise pas la manière d'atteindre cet objectif, à partir des hypothèses émises, suite à l'analyse des expériences de conception.

Le *protocol analysis* combiné avec la démarche de recherche CID et la DRM peut constituer une démarche plus complète qui peut nous guider dans nos travaux de recherche. Nous présentons dans le paragraphe suivant notre démarche personnelle basée sur une combinaison des trois méthodes présentées.

2.6 Procédure de recherche suivie

L'objectif ultime des recherches sur le processus de conception mécanique est de mieux comprendre cette activité et, par la suite, de spécifier et de développer des méthodes et outils pour assister les concepteurs dans leurs démarches, en se basant sur les facteurs de réussite trouvés. Ceci passe par une identification des facteurs important qui influencent cette activité.

Nos études bibliographiques nous ont permis d'identifier le partage de connaissances comme un facteur important qui influence la compétitivité des équipes de conception. Un partage de connaissances efficace entre les différents intervenants dans le processus de conception mécanique a pour conséquence directe de réduire les délais de développement de produit, en prenant en compte correctement les contraintes relatives aux différents métiers intervenants dans le processus de conception. Nous avons aussi montré que l'étude du partage de connaissances en conception a été abordée uniquement dans une approche informatique et globale et qu'il serait utile d'approcher ce concept par une analyse plus fine. Cette étape correspond à celle des critères de la méthodologie DRM.

Nous avons ensuite conçu et organisé une première expérience de conception pour mieux comprendre le processus de partage des connaissances dans un processus de conception collaborative. L'observation de ces expériences a été faite par un enregistrement audio-vidéo et par récupération de tous les objets et traces laissés par les acteurs à la fin du processus de conception. Cette partie expérimentale est présentée dans le troisième chapitre de ce mémoire.

L'analyse du protocole obtenu à partir de ces observations nous a permis d'extraire certaines hypothèses et de construire un modèle descriptif du processus de partage de connaissances que nous détaillerons dans le quatrième chapitre.

Cette première étape peut être qualifiée d'expérimentale inductive. Elle correspond aux étapes d'expérimentation, observation, analyse et modélisation de la méthodologie de recherche CID. Pour l'accomplir, nous avons utilisé la méthode du *protocol analysis* que nous avons estimée adaptée à cette étude expérimentale. Cette étape de notre démarche de recherche est décrite dans le paragraphe 2.2.3.

Ensuite, les hypothèses et le modèle obtenus à la fin de cette phase ont été confrontés aux données obtenues de l'observation d'une deuxième expérience de conception conçue indépendamment de la première. Cette procédure avait pour but la vérification des hypothèses émises lors de l'analyse de la première expérience. La démarche ainsi suivie peut être qualifiée d'expérimentale-déductive et est détaillée dans le quatrième chapitre.

La troisième étape de notre démarche de recherche consiste à spécifier un micro-outil de partage de connaissances sur la base de ce modèle. Cette étape correspond à l'étape prescriptive de la démarche DRM et à l'étape des spécifications de la démarche CID, et est entamée dans l'annexe A de ce mémoire.

Cette démarche est récapitulée sur la figure 2.5.

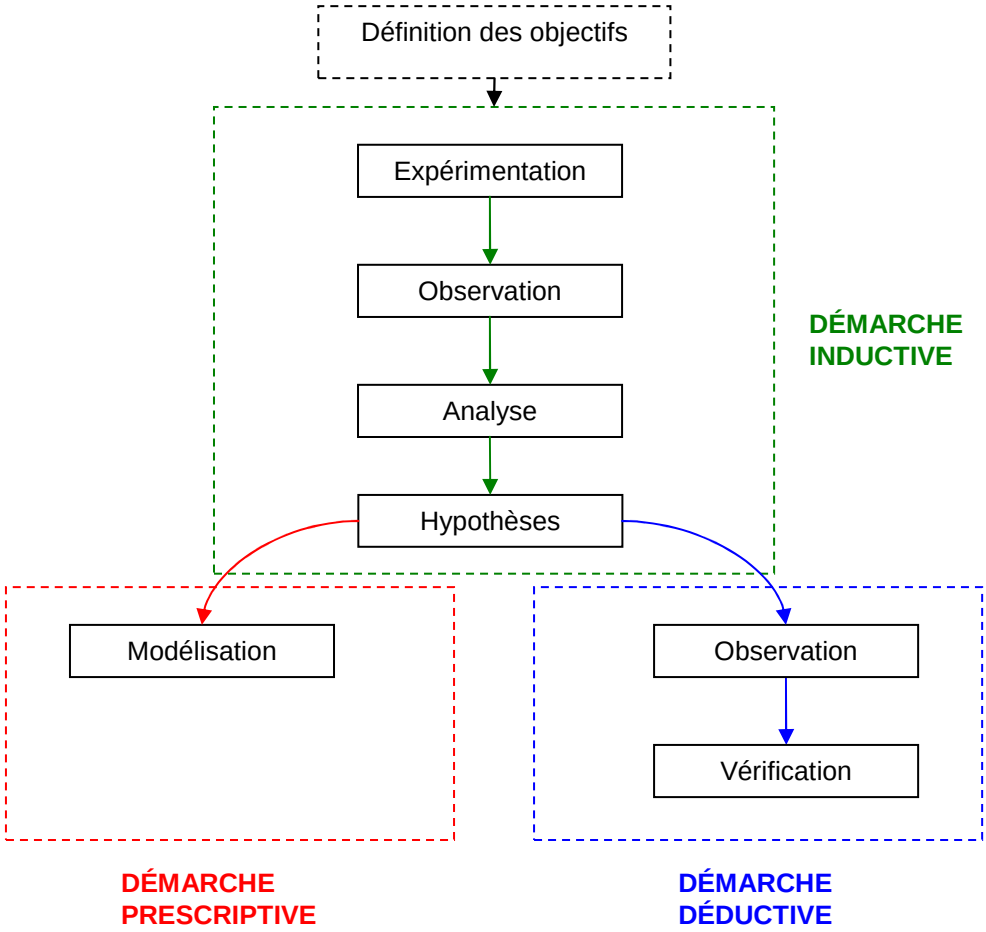


Figure 2.5 : Démarche de recherche suivie.

Nous utiliserons le plan d'exécution représenté sur la figure 2.6, qui nous servira par la suite de cadre pour le montage et l'analyse de nos expériences.

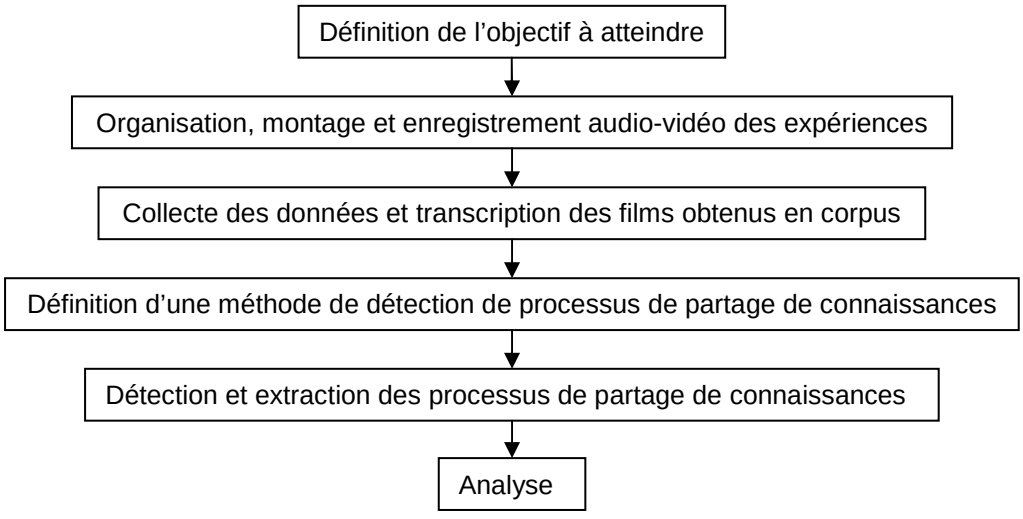


Figure 2.6 : Plan d'exécution de la méthodologie de recherche suivie.

Chapitre 3

Expériences de conception

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous décrivons les deux expériences qui ont servi de base dans notre étude du processus de partage de connaissances.

L'objectif de ces expériences est d'étudier le processus de partage de connaissances dans le processus de conception collaborative.

Dans les équipes de conception collaborative, les concepteurs sont issus de différents domaines. Ils ont des compétences et des objectifs différents dans le processus de conception. Ainsi, ils auront potentiellement besoin de partager des données relatives au produit, mais aussi des connaissances qui reflètent leurs points de vue particuliers sur le produit émanant de leurs différentiels de compétences et de rôles dans l'équipe.

Les expériences de conception que nous avons réalisées devaient, donc, reproduire ce différentiel de connaissances et de rôles naturellement existants dans un processus de conception collaborative industriel.

Nous considérons le partage de connaissances comme un phénomène émergent dans le processus de conception collaborative. Il peut avoir lieu dans les premières phases de conception. Il peut être lié à la compréhension du cahier des charges. Il peut aussi intervenir dans les phases suivantes du processus de conception. Dans ce cas, il sert à communiquer un concept de solution ou une justification de décision.

Les expériences prévues doivent alors idéalement reprendre les différentes phases du processus de conception débutant par la définition du besoin à partir d'un cahier de charges fourni par le client et se terminant par une conception détaillée allant jusqu'à une vérification de la tenue mécanique du produit et sa fabricabilité.

3.2 Description de la première expérience : processus de conception distribuée

La première expérience que nous présentons est distribuée. Elle a été effectuée au laboratoire et a servi aux deux premières parties de notre démarche de recherche, en l'occurrence, les étapes inductive et hypothétique.

3.2.1 Les acteurs

Trois acteurs ont participé à cette expérience. Nous avons attribué un rôle précis à chacun d'entre eux. Ces rôles étaient les suivants : responsable structurel, responsable fabrication, et responsable calcul mécanique. Les acteurs sont des élèves ingénieurs en

fin de cursus de formation d'ingénieur. L'attribution des rôles a été faite en fonction de leurs compétences et de leurs formations respectives.

- *V*. est l'acteur responsable fabrication. Il est issu du département Ingénierie et Management de Process. Il a suivi, entre autres unités de valeurs : gammes de fabrication et moyens innovants de production. En tant que responsable fabrication, il doit veiller à la fabricabilité du produit à un coût minimal avec les procédés classiques de fabrication mécanique. Il doit vérifier le fait qu'en donnant le modèle CAO et les documents accompagnants, un prestataire de service spécialisé arrive à fabriquer le produit sans soucis de compatibilité des matériaux, formes et dimensions avec les règles de la fabrication mécanique. (Vu la nature du produit, il devra aussi transmettre aux autres acteurs la définition et l'explication des différentes contraintes du cahier des charges relatives à l'environnement).
- *C*. est l'acteur responsable structurel. Il est issu du département Mécanique et Conception. Il a suivi les unité de valeurs : méthodologie de conception, CAO et modélisation. En tant qu'ingénieur concepteur, il a en charge la définition géométrique du produit et la garantie des fonctionnalités demandées. Il doit justifier le choix des différentes pièces et liaisons. Il doit chercher des concepts et solutions techniques qui assurent les fonctions demandées et développer le modèle géométrique du produit à l'aide du logiciel de CAO CATIAV5 [*Dassault,* 2004]. Cette représentation doit faciliter le passage vers l'étape suivante du processus de développement du produit, à savoir la fabrication.
- *N*. est l'acteur responsable calcul mécanique. Elle est issue aussi du département Mécanique et Conception. Elle a suivi les unités de valeur : Mécanique et technologie, Résistance des matériaux et Calcul des structures. En tant que responsable calcul, elle a en charge de veiller à la robustesse et l'intégrité physique du produit que l'équipe proposera à la fin de la conception. Elle doit s'assurer que la solution proposée résiste aux conditions de charges prescrites. Elle doit faire attention à ce que les différentes pièces et liaisons soient judicieusement choisies et dimensionnées et que dans son ensemble, le produit proposé respecte les règles pratiques de la résistance des matériaux et des éléments de machines. Pour les différents calculs, elle peut utiliser soit des méthodes de calcul manuel, soit un module de calcul par éléments finis dans CATIA V5. Dans ce dernier, on peut appliquer des contraintes sur une structure, modélisée à l'aide du modeleur géométrique du même logiciel, et vérifier le comportement de la structure par rapport à ces contraintes. A la fin de la

conception, l'acteur responsable calcul mécanique doit rendre une note de calcul qui justifie ses différents choix et actions.

Les deux départements dont les acteurs sont issus, sont distants d'environ 8Km. De fait, les étudiants ont peu d'occasions de se voir dans le cadre scolaire. En particulier, *V* ne connaissait pas *N* et *C* avant cette expérience.

3.2.2 Le produit à concevoir : un étau inclinable

Le produit à concevoir a été choisi de manière à ce que sa conception soit riche en interactions traitant des trois métiers et notamment celui de la fabrication mécanique. Le cahier des charges a été rédigé de façon à induire des situations de partage de connaissances produit (connaissances relatives au produit conçu) entre les acteurs.

Le problème de conception posé a été choisi de façon à ce qu'il soit à la fois ambitieux et réalisable dans les délais exigés et avec les moyens fournis – nous nous sommes inspirés des critères de *Dorst* [1996]. Il s'agit, en l'occurrence, de concevoir un étau inclinable permettant de maintenir des pièces en matières variables pendant leur processus d'usinage (figure 3.1). Les livrables exigés sont un modèle CAO du produit avec un niveau de détail assez fin pour comprendre le fonctionnement complet du dispositif ainsi que les dimensions et formes des différentes pièces. Ce modèle doit être accompagné d'une part, d'une note de calcul qui justifie les dimensions des différentes pièces et le choix des matériaux et, d'autre part, d'un document expliquant le procédé de fabrication des différents éléments constituant le dispositif. Dans le cahier des charges, nous avons intégré volontairement quelques termes spécifiques au métier de fabrication mécanique. Ceci a pour objectif de provoquer des séquences de passage de connaissances tout en étant intégrées dans un processus de conception habituel.

L'étau inclinable à concevoir doit permettre de maintenir des pièces de dimensions et formes variables pendant leur usinage. Il doit être compatible avec les machines d'usinage standard et permettre la rotation de la pièce selon un axe horizontal et un axe vertical, avec une plage de rotation de 60°. La position angulaire de la pièce doit pouvoir être affichée avec une précision minimale de 2/10 de degré. Le cahier des charges détaillé de l'étau à concevoir est joint en annexe 1.

Figure 3.1 : Exemples d'étaux inclinables disponibles dans le commerce.

3.2.3 Protocole expérimental

L'expérience constituait une démarche de conception d'un produit mécanique. Cette démarche était initiée par un cahier des charges et par une réunion avec les trois acteurs.

Trois séances de travail synchrone distribué ont été prévues. Entre ces réunions de travail collectif, les acteurs pouvaient poursuivre leurs travaux individuellement. Les acteurs ont été invités à ne communiquer que par mail hors des réunions de travail synchrone. Ces dernières ont été filmées. Il était important que les échanges d'informations entre concepteurs puissent être isolés et enregistrés. L'échange par mail garantit de garder des traces de ces échanges. L'observateur était inscrit dans la liste de mailing des concepteurs.

Les acteurs étaient libres de chercher toutes les informations qui les intéressent à la bibliothèque de l'établissement ou ailleurs. Ils avaient également accès sans restriction à Internet.

3.2.3.1 Matériel mis en œuvre

La première partie du matériel avait vocation à enregistrer l'expérience. Toutes les réunions de travail synchrone ont été filmées à l'aide de quatre caméras. Une caméra a été dédiée à l'enregistrement de l'espace de travail commun : un écran relié au poste de travail de l'acteur responsable fabrication. Trois autres caméras ont été installées pour enregistrer les propos et gestes des trois acteurs ainsi que leurs postes de travail en parallèle. Les films permettent aussi de situer le contexte de création des documents manuscrits et des consultations de différents documents au cours de la conception.

La seconde partie du matériel était plus précisément destinée à la conception proprement dite. Il s'agit d'un poste de travail pour chaque acteur. Les postes du responsable fabrication et du responsable structurel ont été équipés du logiciel CATIAV5. Les trois postes ont été équipés de différents logiciels de bureautique. Ils ont été reliés entre eux au travers du réseau interne de l'établissement et du logiciel de connexion NetMeeting de Microsoft à l'aide des différentes adresses IP. Ce logiciel permet le partage d'applications, d'un tableau blanc commun, et l'envoi et réception de fichiers entre les acteurs.

Hors des réunions synchrones, les trois acteurs avaient accès aux différents postes de travail pour effectuer leurs travaux. L'acteur responsable calcul mécanique avait aussi accès au logiciel CATIAV5 pendant les périodes de travail asynchrone afin d'effectuer les calculs nécessaires à partir des modèles CAO établis par les responsables fabrication et structurel.

La connexion sonore des trois acteurs a été accomplie à l'aide d'un réseau téléphonique interne, les téléphones étaient équipés de hauts parleurs pour des raisons d'ergonomie et de facilité d'utilisation.

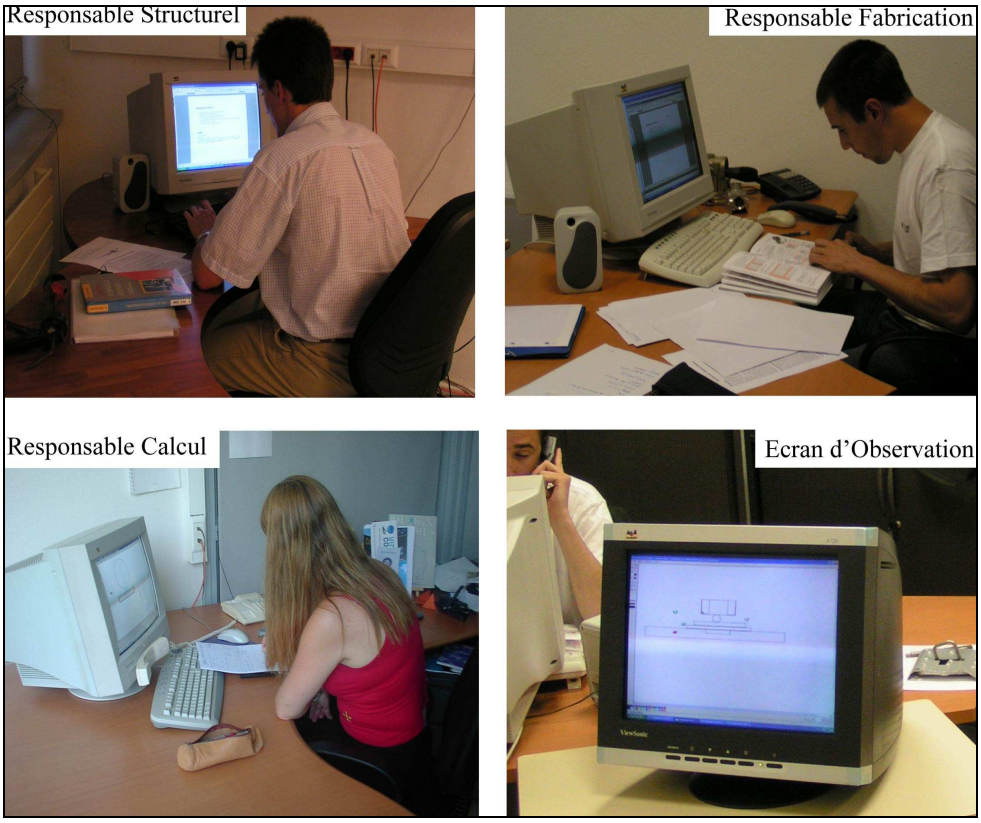


Figure 3.2 : Vue d'ensemble du dispositif expérimental.

3.2.3.2 Données recueillies

Nous avons tenté d'enregistrer les données transitant par l'ensemble des supports. Les enregistrements audio et vidéo sont les premières données recueillies. D'autres supports gardent des traces des données de conception, qu'il s'agisse de données écrites ou numériques.

a) Documents écrits

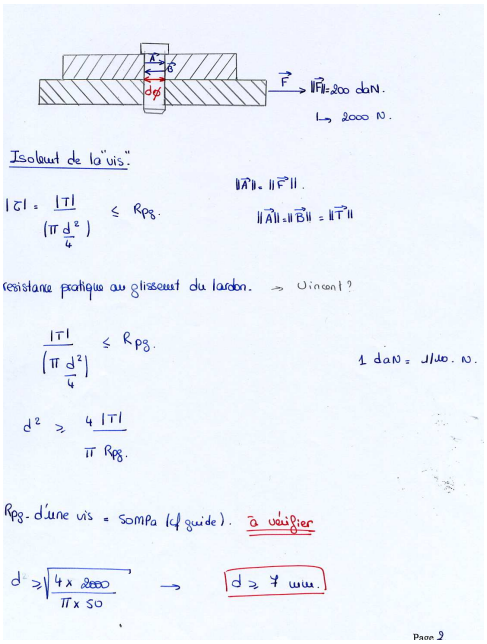
Les documents écrits correspondent notamment aux périodes de travail asynchrone effectué individuellement par les acteurs. Les différents documents écrits produits par les acteurs sont collectés et repérés, suivant leur ordre d'apparition et l'acteur qui les a produit. Cette collecte est faite au début et à la fin de chaque séance de travail synchrone ; au début, pour les documents produits individuellement, et à la fin pour les documents produits en travail synchrone.

Outre les documents physiques recueillis, nous disposons aussi d'un ensemble de documents graphiques produits collectivement à l'aide du tableau blanc partagé de NetMeeting. Nous classons ces documents aussi dans la catégorie de documents écrits vu leur mode de production manuel.

Les acteurs ont aussi utilisé le logiciel de bureautique Word de Microsoft pour produire des rapports ou croquis. Ces documents sont également classés dans la catégorie de documents écrits malgré leur format numérique.

Ces documents sont modifiés continuellement tout le long des séances de conception. Des sauvegardes régulières sont faites pour rendre compte de leur évolution au cours du processus de conception.

La figure 3.3 donne des exemples de documents, manuscrits ou numériques, produits par les acteurs.



Eléments du système :

- Règle angulaire d'inclinaison (tous les 2/10 de d°)
- Règle d'indexation angulaire tous les 15°
- Translation suivant x (axe longitudinal de l'étau)
  0 < x < 70+2*l(mords)+l(desserrage de la pièce)
- Système de fixation sur la table d'usinage (lardons de largeur 10mm g6 (trou taraudé Ø 7 mm), table avec rainures)
- Système pivot pour l'inclinaison de l'étau
- Inclinaison de 0 à 60° (-60 obtenu par retournement de l'étau)

Socles

- Indexage

Tous les 15°

Vis intégrée socle supérieur (vis sans tête, avec bille et ressort) -> positionnement + serrage

Socle inférieur :

- logements tous les 15 °,
- 4 emplacements des lardons (trous débouchants lisses),
- forme cylindrique (garantit le positionnement sur la table, centrage court)

Socle supérieur :

- interface avec socle inf (liaison pivot = arrêt vertical)
- intégration de la liaison pivot (inclinaison)
- Un tiret (en rapport à la règle de l'étau)

Etau

- Liaison pivot avec socle supérieur
- Glissière avec queue d'aronde (femelle) entre les 2 mords
- Règle angulaire (précision 2/10°)
- Pivot (pour la vis)

Mord mobile

- Queue d'aronde (partie mâle)
- Liaison hélicoïdale

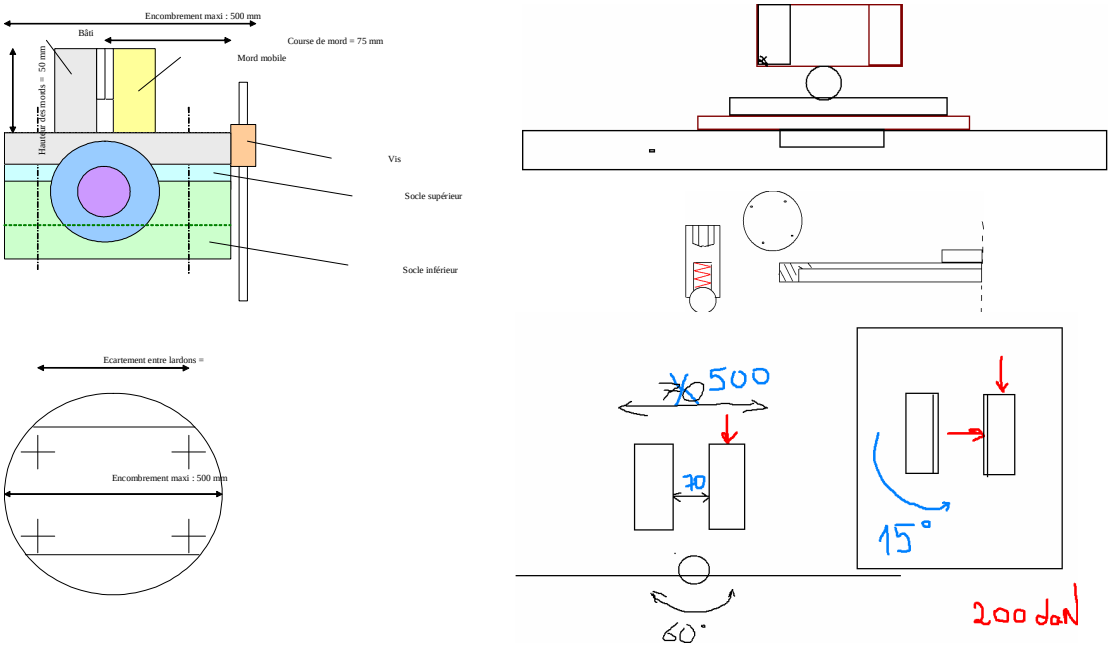


Figure 3.3 : Exemples de documents écrits produits par les acteurs.

b) Modèles géométriques du produit

Les acteurs responsable structurel et responsable fabrication ont réalisé les modèles CAO des différents composants du système proposé et de son environnement constitué notamment par une table d'usinage. Cette modélisation géométrique à l'aide du logiciel CATIA V5 est basée sur les différents schémas et croquis effectués collectivement lors des séances de conception synchrone. Des sauvegardes régulières des différentes

versions des fichiers obtenus sont effectuées afin de rendre compte de l'évolution du produit durant le processus de conception, aussi bien pendant les périodes de travail synchrone qu'asynchrone.

c) Corpus

Toutes les séances de travail synchrone ont été filmées et transcrites. En fonction du temps écoulé, nous notons les acteurs intervenants et les propos qu'ils émettent. L'enregistrement audiovisuel permet aussi de consigner les gestes des acteurs. Toutefois, nous ne nous intéresserons qu'à la transcription verbale

Le tableau 3.1 présente un extrait du corpus obtenu.

Temps	Acteur	Propos
22mn42	C	Euuuh…, 500 si j'ai bien compris c'est l'encombrement maximum de l'étau, donc il faut qu'on ait un système… qui euuuh… ne dépasse pas 500 de euuuh…
	V	Oui y se met dans un cube de 500
	N	Ouais
	C	Hum, d'accord.
	V	Donc il faut qu'il y ait là l'indexage tous les 15°en plus de l'inclinaison de 60?
	N	Alors attends.
	V	Et les 60°? c'est de 0 à 60…
	N	Il faut que, il faut qu'il s'incline de 60 ou quoi
	V	Ouais.
	N	Sur la table.
	V	Euuh…
24mn00	N	Mais attends, il faut…, attends*, (elle lit dans le CDCF : pouvoir afficher…….2/10 ème de degré?)*
	C	Y a un truc là qui correspond pas parce que euuuh…, on a à assurer une indexation tous les 15°et… avec un précision euuuh … de 2/10ème de degré.
	V	Ouais, mais en fait, la précision euuuh… la précision c'est pour l'inclinaison.
	N	Et… qu'elle doit…?
	C	Et quelle différence tu fais avec l'indexation angulaire?
	N	Ouais
	V	En fait l'indexation angulaire c'est tu tournes ton étau par rapport au… à plat en fait je dirais…
	N	Aaah…
24mn43	C	D'accord…

Tableau 3.1 : Extrait du corpus.

3.2.3.3 Déroulement chronologique

L'expérience s'est déroulée sur huit jours. La figure 3.4 décrit les étapes générales de l'expérience.

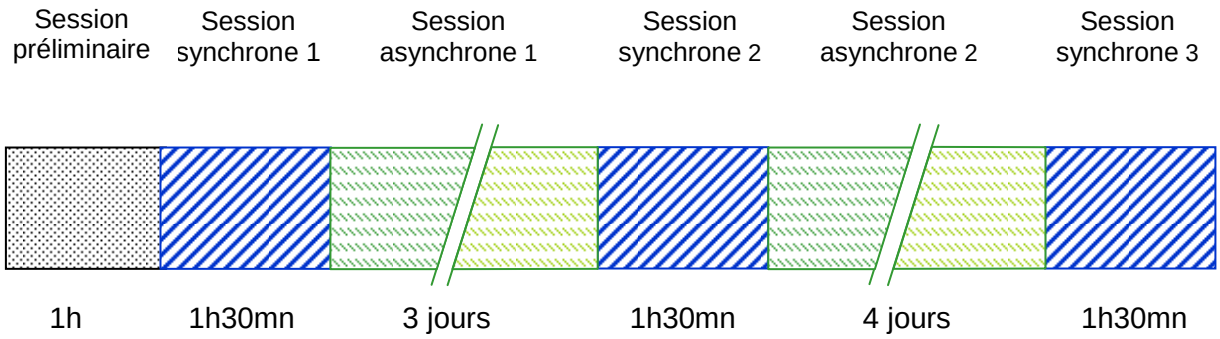


Figure 3.4 : Déroulement général de l'expérience.

Deux exercices d'entraînement préalables ont été planifiés afin d'habituer les acteurs à la manipulation des différents outils utilisés. Il s'agit, en l'occurrence, d'exercices de transmission de problème. Dans le premier exercice, nous demandons au responsable fabrication de décrire le processus d'assemblage par clinchage en utilisant l'environnement distribué : tableau blanc, réunion téléphonique et échange de fichiers. Nous avons fournis au responsable fabrication un schéma de principe de ce processus d'assemblage et un prototype de pièces assemblées selon ce principe.

Dans le deuxième exercice, nous demandons au responsable structurel de décrire aux deux autres acteurs, en utilisant le même environnement distribué, le principe de fonctionnement d'un pistolet d'injection de résine. Nous lui avons fournis à cet effet un plan de principe de ce mécanisme.

Nous avons arrêté les exercices d'entraînement une fois les différents éléments de l'environnement de conception maîtrisés par les trois acteurs. Ceci peut être constaté lorsque les trois acteurs ont échangé des fichiers, utilisé le tableau blanc et partagé une application.

La deuxième étape du protocole expérimental consiste à faire connaître aux différents acteurs des précisions sur leurs rôles, les tâches spécifiques qui leurs sont attribuées et les résultats attendus de chacun d'entre eux et de l'équipe en général. Ces précisions sont faites par un document écrit spécifique à chaque rôle et par une explication verbale individuelle pour chacun des acteurs. Des guides techniques relatifs à chaque métier sont distribués au même moment (Guide de dessinateur industriel, guide du technicien en productique et guide de calcul).

La troisième étape du protocole expérimental consiste à distribuer le cahier des charges relatif à l'étau inclinable aux acteurs. Les interventions des observateurs par la suite

seront restreintes à la résolution de problèmes techniques relatifs au matériel ou pour répondre aux acteurs concernant des imprécisions du cahier des charges.

3.2.4 Description du produit final

Les concepts de solutions adoptés par les acteurs pour résoudre le problème de conception posé sont différents de ceux rencontrés dans le commerce. En effet, pour l'inclinaison selon l'axe vertical, ils ont choisi un plateau tournant. Pour l'inclinaison selon un axe horizontal, ils ont choisi une liaison pivot classique avec un guidage en rotation assuré par des oreilles latérales. L'indexage se fait par un indexeur à bille standard qu'on peut trouver dans le commerce. La mesure de l'angle d'inclinaison se fait par un système de vernier angulaire. La figure 3.5 montre le modèle CAO de la solution donnée par les acteurs à la fin de la conception.

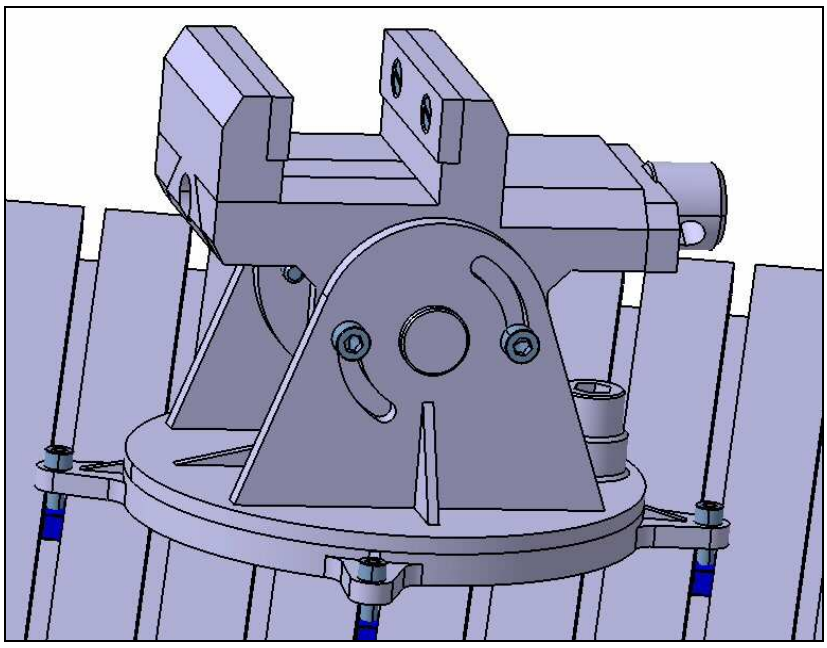


Figure 3.5 : Modèle CAO de la solution proposée par les acteurs.

La fabricabilité du produit a été discutée verbalement, la fabrication de tous les composants du système proposé est prévue par usinage ou soudage. L'expert en fabrication a écarté toute opération de moulage vu son coût.

Le calcul de la résistance mécanique du système a été effectué par l'expert en calcul mécanique à l'aide du module calcul du système CATIA V5. Les résultats de ce calcul sont donnés à l'aide de présentations visuelles et de résultats numériques. Les différents calculs ont été faits pour les différentes versions intermédiaires de la solution proposée par l'équipe.

La figure 3.6 montre deux exemples des résultats de calcul.

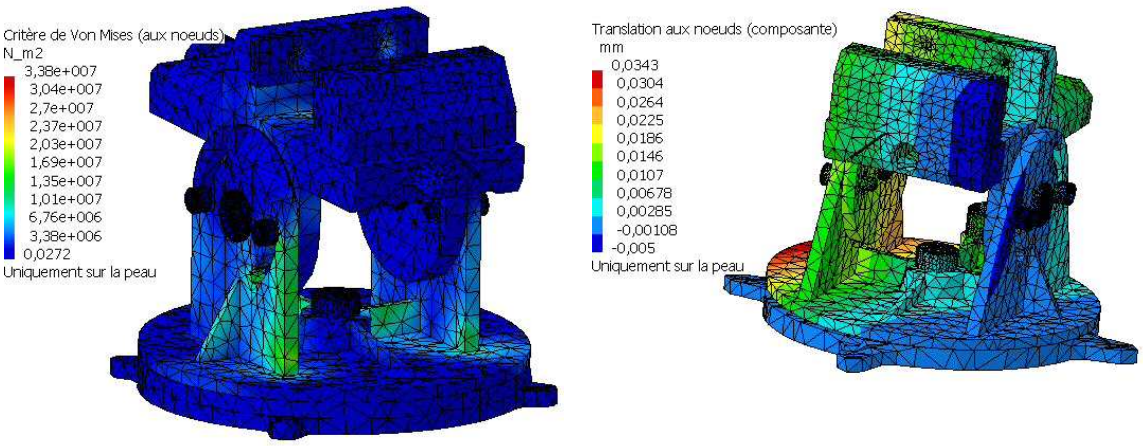


Figure 3.6 : Modèles de calcul par éléments finis de l'étau proposé.

En final, malgré le manque de certains détails de conception dû, notamment, aux contraintes de temps et au manque d'expérience des acteurs, nous pouvons estimer que la solution présentée à la fin de la conception est acceptable. Ce jugement est émis par comparaison aux produits industriels disponibles sur le marché.

3.2.5 Limites du sujet

Il s'agit avant tout d'une expérience de conception dont l'objectif est d'étudier le processus de conception. Dans ce contexte, le sujet de conception lui même n'est pas primordial. Toutefois, il doit obéir à certaines contraintes pour se rapprocher d'un processus de conception industriel (paragraphe 3.1.4). Les acteurs sont au courant du contexte expérimental de l'étude. Ceci leur enlève certaines contraintes notamment sur la qualité et le coût de la solution donnée à la fin de la conception. Pour remédier à ce problème, courant dans les expériences de conception, nous avons recruté les acteurs via la junior entreprise "COSINUS" de l'université. Ils ont, ainsi, été rémunérés pour le travail qu'ils devaient accomplir afin de trouver le meilleur résultat et appliquer au maximum les consignes que nous leurs avons données.

L'expérience ne reprend pas les contraintes stratégiques ou sociales habituelles auxquelles sont soumis les concepteurs dans les entreprises industrielles et qui n'ont pu être intégrées à l'expérience. Celle-ci se limite à reproduire les dimensions techniques du processus de conception, les autres dimensions ne pouvant être reproduites.

3.3 Résultats

3.3.1 Identification des processus de partage des connaissances

Les premières situations de partage de connaissances ont pu être identifiées à l'aide des termes volontairement introduits dans le cahier des charges et que nous pouvons appeler indicateurs. Il s'agit des termes "lardons" et "mordaches" spécifiques au métier d'usinage. Un premier modèle de processus de partage de connaissances a été établi et a permis d'identifier d'autres situations émergentes dans le processus de conception. Ce modèle sera présenté dans le chapitre suivant. Nous présentons, ci-après, quelques situations de partage de connaissances détectées dans le processus de conception de cette expérience.

3.3.2 Présentation de quelques situations de partage de connaissances

Dans ce paragraphe, nous présentons de manière factuelle quatre exemples de situations de partage de connaissances repérées dans cette expérience.

3.3.2.1 Première situation

La première situation concerne une connaissance du métier fabrication. Elle est relative aux "lardons", des pièces spéciales dont seul l'acteur fabrication a connaissance.

(1) *N* demande ce que sont les lardons, sans préciser le destinataire de sa question. *C* affirme qu'il allait poser la même question.
(2) *V* explique verbalement ce que sont les lardons (explication fonctionnelle : "les lardons… c'est des pièces qui te permettent de placer ton étau sur la table d'usinage…").
(3) *C* et *N* affirment qu'ils ne comprennent pas.
(4) *V* les dessine sur le tableau blanc de NetMeeting.
(5) *C* comprend mais pas *N*.
(6) *V* lui donne une explication structurelle.
(7) *N* demande la fonction de ces pièces.
(8) *V* lui donne alors une explication fonctionnelle et comportementale plus détaillé. […].
(9) *N* fait une note de calcul pour vérifier ces lardons (en asynchrone).
(10) Discussion avec *V* qui valide ses résultats de calcul par rapport aux dimensions standard qu'il avait.

3.3.2.2 Deuxième situation

La deuxième situation concerne aussi une connaissance du métier fabrication. Elle est relative aux "mordaches", un terme d'autant plus spécifique qu'il n'y a que les spécialistes du métier usinage qui le connaissent.

(1) *N* demande ce que sont les mordaches.
- Apparemment même *V* ne sait pas ce que c'est.

(2) *C trouve une définition sur Internet et la lit.*
- *V* se rappelle alors du terme. *N* semble avoir compris.

[…].

(3) *C* dessine un schéma de principe.
(4) D'après ce schéma, *V* se rend compte que *C* n'a pas compris où les mordaches doivent être positionnées.
(5) *V* lui réexplique verbalement.
[…].

(6) Encore une fois *C* ne tient pas compte de l'explication dans son schéma.
(7) *V* s'en rend compte.
(8) *V* lui réexplique verbalement.
[…].

(9) *C* reprend un dessin de principe plus détaillé, il dessine les mors et les mordaches, et il propose de faire plusieurs formes de mordaches.
(10) *N* et *V* se rendent compte qu'il n'a toujours pas compris ce que sont les mordaches exactement et comment ils sont fixés sur les mors.
(11) *V* prend la main sur le dessin, il le corrige avec *N.*
(12) *C* affirme avoir compris ce que sont les mordaches.
(13) En fin de conception, *C* modélise le système et tient compte des mordaches telles que expliquées par *V.*

3.3.2.3 Troisième situation

La troisième situation concerne une connaissance relative à un composant mécanique très présent dans les ateliers de fabrication mécanique, en l'occurrence l'indexeur.

(1) *V* demande comment ils envisagent de faire l'indexage.
(2) *C* propose deux disques circulaires avec un pion qui va dans des lumières sur les disques.

(3) *V* dit qu'il a compris ce système.
(4) *V* propose l'indexage à bille (il le décrit comme étant un petit ressort avec une bille).
(5) *C* semble avoir compris.
(6) […]
(7) *C* détaille les fonctions à intégrer au système, V se rend compte que C n'a pas vraiment compris.
(8) *V* réexplique verbalement.
(9) *C* affirme qu'il n'a toujours pas compris.
(10) *V* prend la main sur le tableau, il dessine le système d'indexage et explique au fur et à mesure.
(11) C'est seulement à ce moment là que *C* et *N* comprennent vraiment ce système : ils discutent de la manière à le prendre en compte par rapport aux autres éléments du système.

3.3.2.4 Quatrième situation

La quatrième situation concerne un concept de solution pour mesurer un angle avec une précision de 2/10ème de degrés. Il s'agit, en l'occurrence, du système Vernier non évoqué par ce terme dans l'extrait du corpus ci-dessous.

(1) *C* demande s'il faut mettre la règle sur la partie mobile ou sur la partie fixe de l'étau.
(2) *V* répond qu'il ne sait pas et *N* répond qu'il faut la mettre sur la partie fixe.
(3) *C* se rend compte que de toute façon la question ne se pose pas puisqu'il faut une règle sur chaque partie de l'étau.
(4) *V* lui aussi s'en rend compte mais *N* ne comprend pas.
(5) *V* lui explique verbalement ce qu'il a compris.
(6) *N* ne comprend toujours pas.
(7) *C* lui explique de nouveau, verbalement, la nécessité d'utiliser les deux parties de l'étau pour mesurer l'angle.
(8) *N* ne comprend toujours pas.
(9) *C* reprend le schéma de principe de l'étau et l'utilise pour expliquer graphiquement le système de mesure qu'il propose à *N*.
(10) *N* affirme avoir compris.

3.4 Description de la deuxième expérience : processus de conception en présentiel

Cette expérience a été menée dans le cadre d'une étude précédente. Son objectif initial était l'étude de l'intégration du métier maintenance dans le processus de conception. Nous ne présentons dans ce chapitre q'un résumé de cette expérience. Une présentation plus détaillée peut être trouvée dans [*Schlegel,* 2004].

3.4.1 Les acteurs

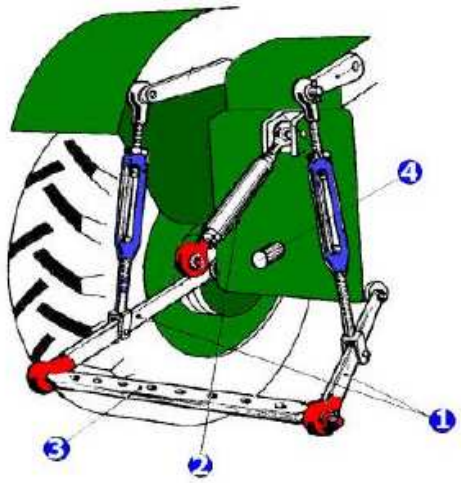
Cinq acteurs ont participé à cette expérience de conception. Des rôles ont été attribués à chacun d'entre eux. Les rôles des acteurs étaient les suivants : un chef de projet, un responsable structurel, un responsable fabrication, un responsable maintenance et un client. Le chef de projet était également responsable fonctionnel. Il avait en charge l'organisation et l'animation des réunions de travail. Il veillait aussi à la définition des fonctions du produit à concevoir et au respect de ces fonctions lors de la phase de conception détaillée.

Le responsable structurel était en charge de la définition géométrique du produit, à l'aide du logiciel de CAO CATIA V5.

Le troisième acteur prenait en charge les données de fabrication et veillait à la fabricabilité du produit à un coût minimal. Il a des compétences plus poussées que les autres acteurs dans le domaine de la fabrication mécanique.

3.4.2 Le produit à concevoir : un broyeur viticole

Le problème de conception posé dans cette expérience concerne un broyeur viticole multi-usage. Ce produit présente des contraintes de maintenance. Ceci rend sa conception riche en interactions traitant de la maintenance dont l'analyse fut le premier objectif de cette expérience. La fonction principale de cette machine est de broyer les matières végétales (sarments, mauvaises herbes) se trouvant entre deux rangs de vignes. Dans le principe de solution imposé aux concepteurs, le broyage est le résultat de la rotation rapide de marteaux autour de l'axe du tambour. En phase d'utilisation, il est traîné par un tracteur vigneron. La fixation au tracteur est effectuée par un système de relevage trois points (figure 3.7).



(1) Bras inférieurs
(2) Troisième point
(3) Barre d'attelage (enlevée lorsqu'un outil est accroché)
(4) Prise de force

Figure 3.7 : Relevage trois points de tracteur.

3.4.3 Protocole expérimental

L'expérience a commencé par la distribution du cahier des charges aux acteurs et par une réunion entre le chef de projet et le client. D'autres réunions ont été organisées au cours du processus de conception : des revues de projet et des revues client. Les revues de projet devaient réunir tous les acteurs de l'expérience, hormis le client. Les revues client réunissaient le client, le chef de projet et parfois l'acteur structurel. Entre ces réunions, les acteurs poursuivaient leurs travaux individuellement. Les acteurs ont été invités à ne pas parler du projet hors des réunions prévues à cet effet.

Les acteurs étaient libres de rechercher toutes les informations qui les intéressent à la bibliothèque de l'université, sur Internet ou par contact direct avec des fournisseurs. L'acteur structurel était, cependant, le seul à consacrer toute la durée de l'expérience uniquement à la conception du broyeur.

Toutes les réunions de conception ont été filmées à l'aide d'une caméra qui enregistrait les propos des acteurs en parallèle.

Le matériel mis à la disposition des acteurs pour accomplir leurs tâches de conception consiste en une Plate-Forme Intégrée de Conception Coopérative (PICCO), outil de conception spécifié, conçu et réalisé dans le cadre du laboratoire M3M. Cette plate-forme permet à la fois un travail individuel, sur un poste de CAO isolé, et une revue de projet par plusieurs personnes autour d'un écran mis à plat au centre de la table de réunion relié au poste CAO, ce qui permet des modifications sur le produit même pendant une revue de projet. Les acteurs ont aussi à leur disposition un tableau blanc, des manuels de conception et catalogues de pièces standard, en plus d'un accès Internet et téléphonique libre.

3.4.4 Données recueillies

Les données recueillies tout au long de l'expérience sont principalement issues des enregistrements audio et vidéo. En plus des traces physiques (des données manuscrites), tous les fichiers numériques sont aussi collectés à la fin de l'expérience. Parmi ceux-ci nous trouvons les modèles géométriques du produit qui sont régulièrement enregistrés pour laisser une trace de son évolution durant le processus de conception.

Les films recueillis à la fin de l'expérience ont été transcrits en corpus. Celui-ci ne tient pas compte de la communication gestuelle durant les réunions. Les traces de la communication gestuelle sont gardées dans le film. Le tableau 3.2 donne un extrait du corpus.

Temps	Acteur	Propos
	Fonctionnel	Hum hum…
	Structurel	Hein, alors on peut également peut-être jouer…euh… alors là, j'ai réfléchi un peu à ça. Donc là le pignon il est pas tout à fait en face là du… de la boîte de transmission pour le moment.
0 :21 :30	Fonctionnel	Hum hum…
	Structurel	Euh… On peut jouer sur… peut-être le fait d'incruster euh… la chaîne mais moi je voudrais bien que la plaque isole.
	Fonctionnel	Ouais.
	Structurel	La chaîne.
	Fabrication	Oui.
	Structurel	Des débris, pourquoi, parce qu'autrement un sarment ça vient… ça peut venir tout coincer.
	Fonctionnel	…
	Structurel	D'accord ?
	Fabrication	Non, c'est clair qu'un sarment…
	Structurel	Donc le but, c'est de capoter ça… et au point de vue euh… au point de vue pivot entre ça et ça, on a un espace libre a l'intérieur.

Tableau 3.2 : Extrait du corpus de la deuxième expérience.

Durant le processus de conception, les acteurs ont eu besoin de justifier leurs idées à l'aide de documents écrits. Ceux-ci ont été collectés et repérés selon leur ordre d'apparition et l'acteur qui les a produit. Le tableau blanc fait également partie des documents écrits par les acteurs. Des captures régulières du tableau blanc permettent d'en garder une trace. L'enregistrement vidéo permet de replacer ces différentes captures de tableau blanc dans le contexte du processus de conception.

La figure 3.8 donne un exemple de documents écrits produits par les acteurs.

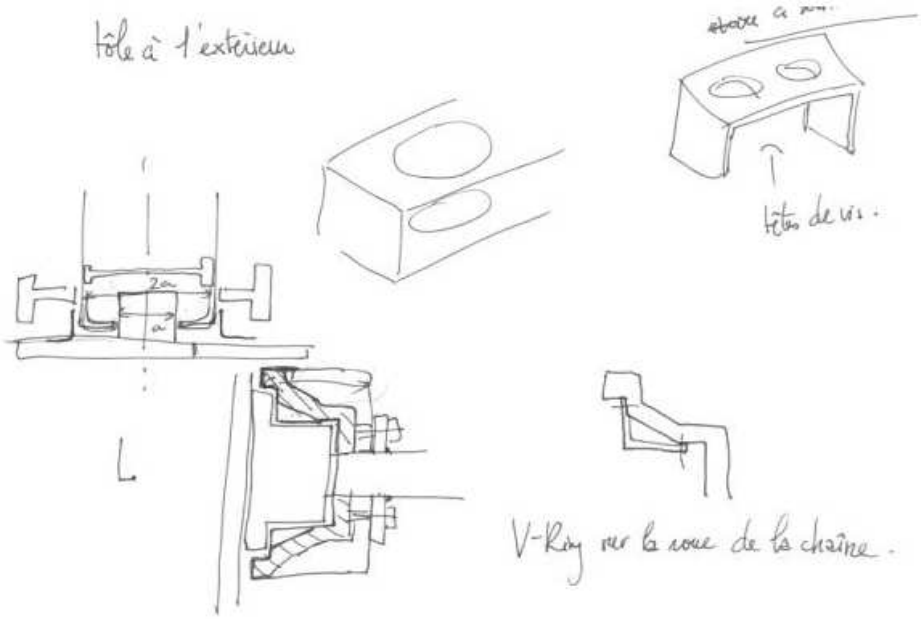


Figure 3.8 : Documents écrits produits par les acteurs.

3.4.5 Description du produit final

Le produit final proposé par les acteurs a été représenté par une maquette numérique en trois dimensions. Outre l'assemblage général, les acteurs ont restitué les modèles géométriques des différentes pièces composant le produit. La figure 3.9 présente quelques modèles géométriques du produit.

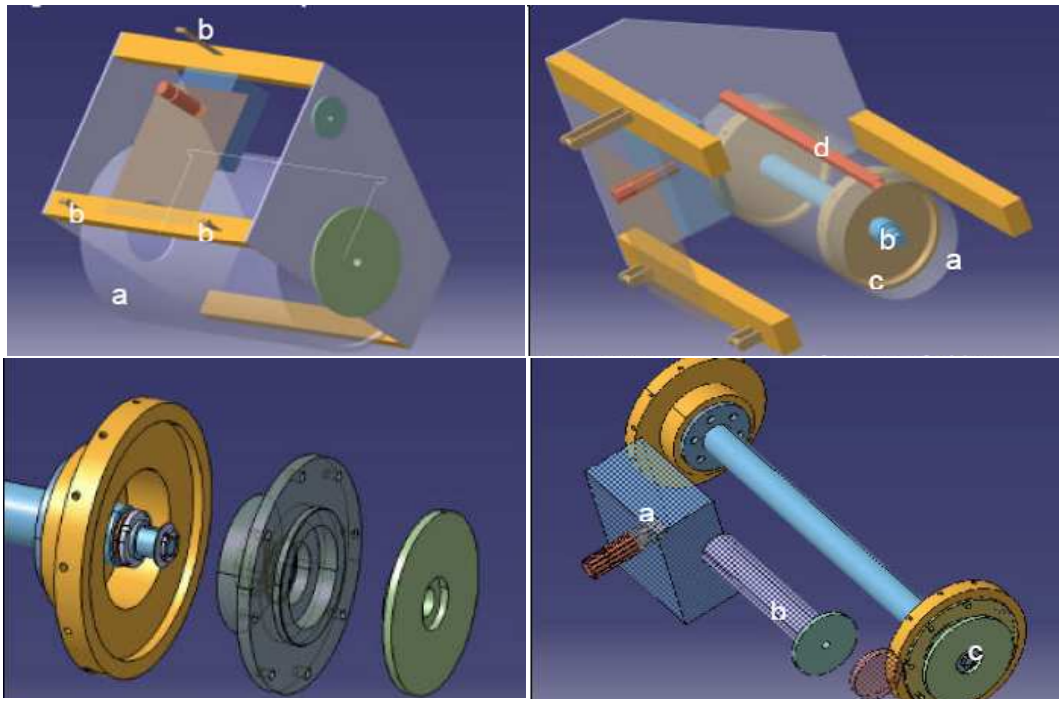


Figure 3.9 : Exemples de modèles géométriques restitués par les acteurs à la fin de l'expérience.

Une description plus détaillée du produit final présenté par les acteurs à la fin de cette expérience peut être trouvée dans des précédents travaux réalisés au laboratoire M3M. [*Schlegel*, 2004], [*Choulier*, 2004].

3.4.6 Résultats

Vu la taille du corpus récupéré de cette expérience, elle a été utilisée dans deux objectifs principaux :

- Valider le modèle du processus de partage de connaissances établi à partir des situations repérées dans la première expérience de conception distribuée en le vérifiant par rapport à un panel de situations plus large.
- Valider le modèle par rapport à une deuxième catégorie de processus de conception qui est la conception en présentiel.

L'analyse de cette expérience a abouti à extraire cinquante trois situations de partage de connaissances. Nous n'estimons pas utile de les présenter intégralement ici mais nous en présentons trois exemples :

3.4.6.1 Premier exemple de processus de partage de connaissances

Cette première situation de partage de connaissances concerne le système d'attache existant sur les véhicules agricoles et qui permet d'articuler différents dispositifs à l'arrière du véhicule suivant l'activité à effectuer. On peut par exemple attacher des dispositifs de labourage, de broyage, etc.

(1) *De* décrit, sur la base d'un schéma fourni avec le cahier des charges, les points d'appuis qui servent à relier le dispositif au tracteur : deux point bas constitués par une barre de relevage et un point d'appui supérieur réglable.
(2) *Sa* lui fait comprendre qu'il connaît déjà ce système.
(3) *De* donne encore (pour *Ch*) une explication du dispositif et de son système de réglage.
[…]
(4) *Sa* affirme qu'il ne comprend pas la structure des attaches demandées dans le cahier des charges.
(5) *Ch* affirme qu'il ne comprend pas de quelles attaches il s'agit.
(6) *De* leur explique verbalement la structure des attaches demandées.
(7) *Sa* affirme ne pas avoir compris.
(8) *De* donne une nouvelle explication : la structure des attaches, comment elles seront liées au tracteur et bloquées par la suite.

(9) *Sa* affirme avoir compris et que ce ne sont pas les même attaches utilisées sur les tracteurs conventionnels qu'il connaît.
[…].

(10) *Sa* modélise les attaches et les intègre au modèle du broyeur (Modélisation acceptée par *De*).

3.4.6.2 Deuxième exemple de processus de partage de connaissances

Cette deuxième situation porte sur les patins, un système qui permet au dispositif articulé à l'arrière des véhicules agricoles de glisser et suivre les irrégularités du sol.

(1) *De* affirme qu'il s'agit d'un dispositif de broyage qui vient lécher le sol et qu'il doit être réglable en hauteur par patin.
(2) *Sa* ne comprend pas exactement en quoi consiste le patin et demande s'il s'agit d'une petite roue.
(3) *De* réexplique verbalement et donne une analogie avec le ski.
(4) *Sa* dit qu'il ne comprend pas la forme.
(5) *De* donne une nouvelle explication verbale de la structure, et la fonction exacte du patin.

[…].

(6) *De* donne un schéma du patin pour plus de précision sur les dimensions.
(7) *Ch* ne comprend pas exactement le fonctionnement du patin.
(8) *Sa* lui donne une explication verbale brève.
(9) *Ch* affirme avoir compris le système et détaille le fonctionnement du patin et les liaisons qu'il a avec le broyeur.
(10) *Ch* propose une solution pour le réglage en hauteur du patin (solution refusée par De parce que le patin est standard alors que la solution préconise de le modifier).

[…].

(11) *Sa* modélise le broyeur avec les attaches nécessaires à la fixation du patin *(solution validée par De).*

3.4.6.3 Troisième exemple de processus de partage de connaissances

Cette troisième situation concerne le système de transmission de puissance habituellement utilisé dans les dispositifs reliés aux véhicules agricoles. Il s'agit, en l'occurrence, d'une liaison par arbre cannelé immobilisé à l'aide d'une goupille montée sur un ressort.

(12) *De* explique qu'il faut laisser une distance de 100mm de vide à l'arrière de la machine pour pouvoir accéder à la liaison avec le tracteur.
(13) *Sa* ne comprend pas pourquoi.
(14) *De* explique que c'est pour permettre le démontage du système et détaille verbalement la séquence de démontage de la liaison avec le tracteur : liaison avec goupille.
(15) *Sa* affirme avoir compris et récite la séquence de démontage en utilisant une dessin de principe. *Ch* n'a toujours pas compris le système et le rôle de la goupille.
(16) *Sa* prend la main et montre sur le schéma de principe la goupille utilisé et le logement qui lui est réservé.
(17) *De* donne une nouvelle explication verbale.
(18) *Ch* semble avoir compris et récite à son tour la séquence de démontage en détaillant le fonctionnement de la goupille et le ressort associé.
(19) *Sa* et *De* confirment cette séquence de démontage détaillée par *Ch.*

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les deux expériences de conception qui ont servi à notre étude. Nous avons tout d'abord commencé par un processus de conception distribué spécialement dédié à l'étude du processus de partage de connaissances. En effet, le cahier des charges contenait des termes spécifiques consciemment intégrés pour encourager les acteurs à partager des connaissances relatives à ces termes. Les situations de partage de connaissances dont certaines ont été présentées dans ce chapitre ont été repérées grâce à ces termes spécifiques, les autres situations dont certaines sont présentées dans ce chapitre, ont été repérées à l'aide du modèle de processus de partage de connaissances élaboré dans le chapitre suivant.

La deuxième expérience de conception présentée dans ce chapitre s'est déroulée en présentiel. Les processus de partage de connaissances repérées dans cette deuxième expérience ont servi à vérifier le modèle proposé.

Les analyses complètes et la modélisation du processus de partage de connaissances seront présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Modélisation du processus de partage de connaissances en conception

4.1 Introduction

Un des enjeux de la conception collaborative est de mettre en commun les différentes idées afin d'accélérer les prises de décision. Cela passe par un partage de connaissances individuelles des différents acteurs. Une équipe qui a en vue tous les critères, contraintes et idées des différents membres, peut plus aisément prendre les décisions concernant les choix de solutions. Cette prise en compte des contraintes, relatives aux différents métiers intervenant sur le produit conçu, permet de réduire les itérations inévitables pour arriver à une solution satisfaisante.

Ainsi, l'efficacité d'une prise en compte des différents points de vues sur le produit est liée à l'efficacité du partage des connaissances entre les acteurs.

Toutefois, à notre connaissance, il n'existe aucun modèle ou théorie qui explique ce processus. Un modèle descriptif du processus de partage de connaissances peut constituer une base pour optimiser ce processus.

Les expériences décrites au chapitre précédent montrent que, dans différents moments du processus de conception, les agents cherchent à mettre en commun certaines de leurs connaissances privées, qu'il s'agisse de situations où existent des différences de connaissances dues à la formation et/ou au métier exercé. Notre objectif, dans ce chapitre, est de comprendre le déroulement de ces processus de partage de connaissances. Ce chapitre présente les premières analyses que nous avons faites à partir des données obtenues de l'expérience. Le premier résultat que nous obtenons de ces analyses est un modèle générique du processus de partage de connaissances. A partir de ce modèle, nous allons explorer les modalités de ce partage de connaissances produit.

4.2 Modèle de base, modèle à trois étapes

Le partage de connaissances est un processus pendant lequel des connaissances des concepteurs passent d'un contexte privé vers un contexte partagé. Ce processus est construit d'une manière itérative et dynamique. La connaissance, telle que nous l'avons définit dans le premier chapitre, est une donnée associée à un contexte et pouvant être interprétée par l'utilisateur. Dans l'usage, l'association d'un contexte à une donnée et l'interprétation sont des capacités cognitives tacites. Dans l'observation des processus de partage de connaissances en conception, la difficulté est de savoir si les acteurs du processus de conception détiennent effectivement des connaissances ou seulement des données et des informations. Nous considérons que la capacité d'utilisation d'une

connaissance, pour effectuer une action, peut être un indicateur de détention de connaissance et non seulement de donnée ou d'information. Le partage implique une **transmission** et une **absorption**. Ainsi, nous pouvons considérer qu'il y a un partage de connaissances dès lors qu'il y a une **transmission** d'information, son **absorption** et son **utilisation** correcte dans une activité de conception [*Horrigue et al.*, 2006]. Une action correctement entreprise sur la base de la connaissance reçue est une condition suffisante pour considérer que l'individu détient une connaissance et non seulement une information ou une donnée, mais il ne s'agit évidemment pas d'une condition nécessaire. Toutefois, cette condition est nécessaire à l'observation du processus de partage de connaissances.

En conclusion, nous pouvons considérer qu'il existe un processus de partage de connaissances observable dès l'existence d'une succession des trois étapes suivantes : transmission, absorption et action. Nous allons détailler ces trois composantes basiques du processus de partage de connaissances.

4.3 Transmission

Dans le dictionnaire "LE PETIT ROBERT", la transmission est définie comme l'action de transmettre, faire passer d'une personne à une autre, d'un lieu à un autre, le plus souvent lorsqu'il y a un ou plusieurs intermédiaires. Transmettre des données ou des signaux, d'un point à un autre, en utilisant un ensemble de moyens spécialisés, telle une ligne de communication, c'est les véhiculer entre les deux points.

Dans un processus de partage de connaissances, la transmission consiste à faire passer une information de l'**émetteur** vers le **récepteur**. Pour que la transmission ait lieu, il faut que l'émetteur détienne l'information requise. Plusieurs modes de transmission sont possibles, parmi lesquels nous citons : le mode verbal, le mode graphique et le mode textuel. Ces modes sont fonction de la configuration spatio-temporelle des acteurs et des moyens et outils de communication qu'ils ont en leur possession. Nous donnons ci-après quelques exemples de séquences de transmission observées dans l'expérience de conception distribuée.

1) "Les lardons en fait, c'est…euh…c'est des pièces qui te permettent de placer ton étau sur la table d'usinage."

2) "Euh, je vais les dessiner là ! Donc en fait, ta table…, donc tu as la vue de dessus là… (*En dessinant sur le tableau blanc de NetMeeting*)."

3) "Les mordaches c'est une protection mise sur les mâchoires d'un étau pour euh, à mon avis ne pas marquer les pièces."

4.3.1 Absorption

L'absorption est l'action d'absorber, ce qui veut dire laisser pénétrer et retenir un fluide, des particules, un rayonnement… absorber une information veut dire la faire pénétrer en soi pour l'assimiler.

Dans le processus de partage de connaissances, on parlera d'absorption d'information, ce qui veut dire la réception de l'information par le récepteur. L'absorption de l'information est une action cognitive qui consiste à recevoir l'information et à la traiter par rapport aux référentiels de connaissances acquis par l'acteur. Etant une action cognitive, elle est souvent implicite. Seuls quelques indices permettent d'identifier cette étape. Ces indices peuvent être soit des indicateurs de validation (paragraphe 4.3.2), soit un indicateur implicite qui consiste à passer à l'étape sans expliciter cette étape d'absorption. Pour que cette étape se déroule correctement, il faut que l'acteur ait les moyens physiques de recevoir l'information, comme par exemple les moyens informatiques d'ouvrir un fichier, et la capacité de lire le langage dans lequel l'information a été codée. Les exemples suivants d'étapes d'absorption sont extraits de nos observations de l'expérience de conception distribuée. Ils concernent tous des étapes d'absorption qui ne se sont pas déroulées correctement :

1) "Ah non mais j'ai pas CATIA sur mon ordinateur moi".

2) "Je vois rien là ".

3) "je vois pas ta main, c'est laquelle, c'est la verte ?".

4.3.2 Action

L'action est ce que fait quelqu'un et ce par quoi il réalise une intention ou une impulsion. C'est le fait de produire un effet, manière d'agir sur quelqu'un ou quelque chose. Dans un processus de partage de connaissances, l'action est le déploiement de l'information transmise par l'émetteur et absorbée par le récepteur pour réaliser une tâche de conception. Nous faisons ici la différence entre l'action effectuée comme mode de transmission et celle faite en application de la connaissance reçue. Ainsi, un graphique fait pour expliquer ce que sont les mordaches fait partie de l'étape de transmission. Un schéma de principe de l'étau, effectué en prenant en compte la connaissance sur les mordaches (dessin des mordaches, réservation d'un volume pour intégrer les mordaches, fixation des mordaches…), est considéré comme application de cette connaissance.

En résumé, nous pouvons décrire un processus basique de partage de connaissance comme suit :

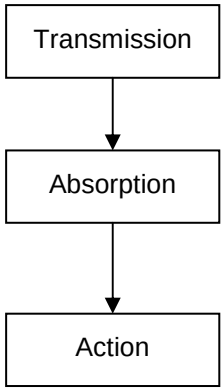


Figure 4.1 : Modèle de base du processus de partage de connaissances.

4.4 Modèle générique

Une vérification de ce modèle initial à trois étapes : transmission-absorption-action, montre qu'il n'est pas suffisant pour décrire les situations observées dans les expériences de conception réalisées. Dans la suite de ce chapitre, nous allons enrichir ce modèle basique et le valider par confrontation aux situations types de partage de connaissances observées. Ainsi, nous ajoutons le **déclenchement** du processus, une **validation intermédiaire** par le récepteur et une **validation finale**.

4.4.1 Déclenchement

Les situations observées montrent l'existence d'une étape préliminaire qui est le déclenchement du processus de partage des connaissances.

Par déclenchement, nous entendons la condition qui va permettre au processus de partage de connaissances d'être activé. En effet, ce processus n'est pas continu dans le temps et durant le processus de conception. Les activités de conception et de partage de connaissances sont fortement liées. En effet, si les acteurs entament un processus de partage de connaissances, c'est dans le but de résoudre les problèmes de conception auxquels ils sont confrontés.

Trois modes de déclenchement d'un processus de partage de connaissances sont possibles : le premier est une **demande explicite** exprimée par un acteur, le deuxième est une **proposition** d'idée nouvelle faite par un acteur et le dernier mode est une **réaction** d'un acteur à une situation.

4.4.2 Validation intermédiaire

Les situations observées mettent aussi en évidence l'existence d'une étape de validation intermédiaire qui intervient après l'étape d'absorption. Il s'agit d'une étape de test du bon déroulement des deux étapes précédentes (transmission et absorption). Cette validation est effectuée par le récepteur qui confirme, implicitement ou explicitement, la réception et l'assimilation de l'information reçue. A ce stade, il est difficile de statuer sur la nature de ce qui a été absorbé : connaissance, ou simple information.

Cette étape permet de donner un indice à l'émetteur pour connaître la suite donnée à son étape de transmission. Si le résultat de la validation est positif, celui-ci reste en attente. Si le résultat de cette validation est négatif, un retour vers l'étape de transmission doit avoir lieu. Une validation implicite consiste à passer à l'étape de l'action sans commentaire. Une validation explicite consiste en des indicateurs non formels dont nous donnons quelques exemples ci après :

1) "Ah c'est ça, ok, ouais c'est ça tu l'as cherché où toi ?".

2) "D'accord"

3) "Je vois pas trop comment tu vas pouvoir euh… mesurer l'angle euh sur euh le socle supérieur".

4.4.3 Validation finale

La validation finale est la dernière étape du processus, elle intervient à la suite de l'étape de l'action. Cette validation est basée sur l'action faite par le récepteur. Le récepteur prend connaissance de cette action et éventuellement réagit. Lorsque l'émetteur estime que la connaissance qu'il a transmise est correctement prise en compte dans l'activité de conception effectuée par le récepteur, il valide explicitement le bon déroulement du processus de partage de connaissances. Nous pouvons considérer cette réaction comme validation explicite positive. Dans le cas contraire, il peut notifier explicitement, avec un retour négatif, que la connaissance qu'il voulait transmettre au récepteur n'a pas été correctement prise en compte dans l'activité de conception. Nous considérons cette réaction comme une non validation. Nous donnons, ci-après, quelques exemples de validations positives et négatives.

1) "Oui mais les mordaches, il faut les comprendre dans les mords en fait… (Validation négative)".

2) "Non mai, mais les mordaches ils sont compris dans les dans les 70… (Validation négative)".

3) "Non mais… cette vis tu la serres après ! Ça positionne, hein… (Validation négative)".

4) "Ça doit être ça parce que dans les euh pour les euh comment pour les lardons standards c'est des diamètres de 7 de 6 donc euh (Validation positive)".

La validation finale, comme la validation intermédiaire, est dans beaucoup de cas implicite, notamment quand elle est positive. Si l'émetteur est d'accord avec l'activité effectuée par le récepteur, un simple silence, un passage à une autre activité ou un changement de sujet ou de conversation peut être considéré comme validation positive. Ceci dépend, évidemment, du contexte et peut être vérifié à partir des enregistrements vidéo des expériences qui, en plus des propos verbaux et graphiques des acteurs, permettent de voir leurs expressions gestuelles et émotionnelles.

Ces trois nouvelles étapes (déclenchement, validation intermédiaire, validation finale) avec les trois premières étapes de base (transmission, absorption, action) nous permettent alors, de déduire un modèle générique qui décrit les processus de partage de connaissances que nous avons observés.

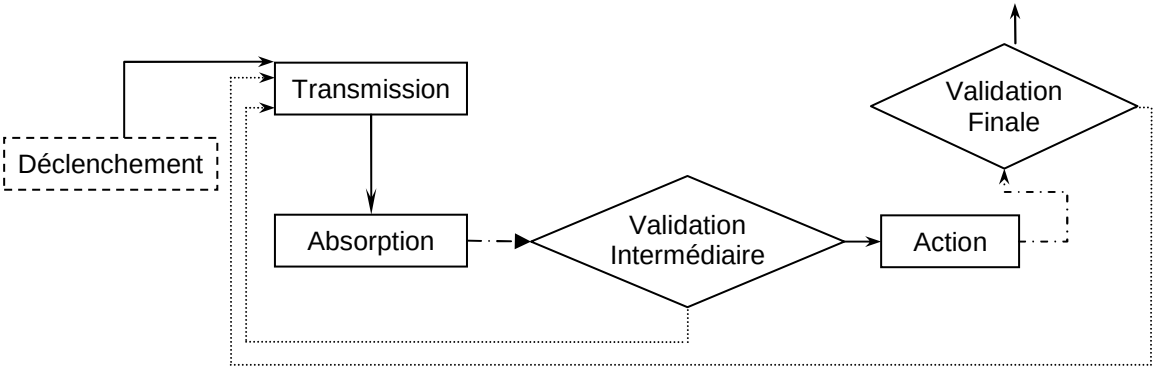


Figure 4.2 : Modèle générique du processus de partage des connaissances.

Les cinq étapes constituant le modèle sont reliées par des flèches continues qui représentent le déroulement séquentiel du processus. Toutefois, les observations des expériences montrent qu'au cours du processus de partage des connaissances, plusieurs retours vers des étapes précédentes sont possibles et nécessaires. Ainsi, des flèches en pointillés modélisent ces retours en arrière. Le modèle du processus de partage des connaissances que nous proposons n'est pas séquentiel mais bouclé.

4.5 Application aux situations observées dans les expériences de conception

Le modèle générique que nous avons proposé est déduit de nos observations expérimentales. Pour le valider, nous faisons un retour sur les différents processus de

partage de connaissances observés (paragraphes 3.3.2 et 3.4.8) et nous les décrivons sur la base du modèle proposé. Nous présentons, ci-après, trois de ces situations de partage de connaissances observées dans l'expérience de conception distribuée (conception d'un étau inclinable pour machines d'usinage).

4.5.1 Première situation

La première situation de partage de connaissances commence par une demande exprimée par l'expert en calcul et le concepteur et destinée à l'acteur expert en fabrication. Cette demande concerne les lardons et constitue alors le déclencheur qui va activer le processus de partage de la connaissance sur les lardons (première étape du processus, figure 4.3). L'expert en fabrication transmet alors verbalement la définition des lardons. Cette définition consiste en une description fonctionnelle qui donne la fonction des lardons dans le montage d'usinage. Il s'agit alors de la première transmission du processus (deuxième étape du processus). Les deux récepteurs, en l'occurrence l'expert en calcul et le concepteur, émettent une validation négative de cette transmission, ce qui signifie qu'il n'y avait pas absorption de l'information (troisième étape du processus). Cette validation intermédiaire négative donne lieu à une nouvelle transmission. Celle-ci consiste en une transmission graphique : l'expert en fabrication fait un schéma des lardons sur le tableau blanc de NetMeeting. C'est la deuxième transmission du processus (quatrième étape du processus). A la suite de cette transmission, le concepteur affirme qu'il a compris. Il s'agit alors de la première validation intermédiaire positive. L'expert en calcul, quant à lui, affirme qu'il n'a pas compris. Ainsi une deuxième validation intermédiaire négative a lieu (cinquième étape du processus). Celle-ci donne lieu à une troisième transmission verbale basée sur le schéma déjà effectué pendant la deuxième transmission. Pendant cette transmission, l'expert en fabrication explique la structure des lardons (sixième étape du processus). L'expert en calcul demande encore un complément de détails sur la fonction des lardons. Nous considérons cette demande comme une validation intermédiaire négative. En effet, la question posée par l'expert en calcul montre qu'il n'a pas assimilé la connaissance sur les lardons. L'étape d'absorption n'a donc pas eu lieu pour cet acteur. L'expert en fabrication explique alors verbalement et en détail la manière dont les lardons assurent la fixation de l'étau sur la table d'usinage. Nous considérons cette quatrième transmission, comme description comportementale des lardons (huitième étape du processus). A la suite de cette transmission, l'expert en calcul affirme qu'il a bien assimilé la connaissance sur les lardons : "d'accord, ok", c'est alors la deuxième validation positive (neuvième étape du processus). Ensuite, pendant la première session de travail asynchrone, l'expert en calcul écrit une note de calcul de vérification pour dimensionner les lardons. C'est l'étape de l'action. En effet, d'un coté,

l'expert en calcul, qui a reçu la connaissance sur les lardons de l'expert en fabrication, utilise cette connaissance pour accomplir une activité de conception qui est le calcul mécanique, d'un autre coté, pour accomplir cette activité de calcul, il est nécessaire d'avoir la connaissance sur les lardons. Suite à cette action, l'expert en fabrication, détenteur initial de la connaissance sur les lardons, valide cette activité de calcul. Il s'agit alors de la validation finale du processus de partage de connaissances (dixième et dernière étape de ce processus).

Ainsi, en utilisant le modèle générique que nous avons proposé, nous pouvons résumer ce premier processus de partage de connaissances par le modèle suivant, où les différentes étapes sont identifiées par leurs numéros.

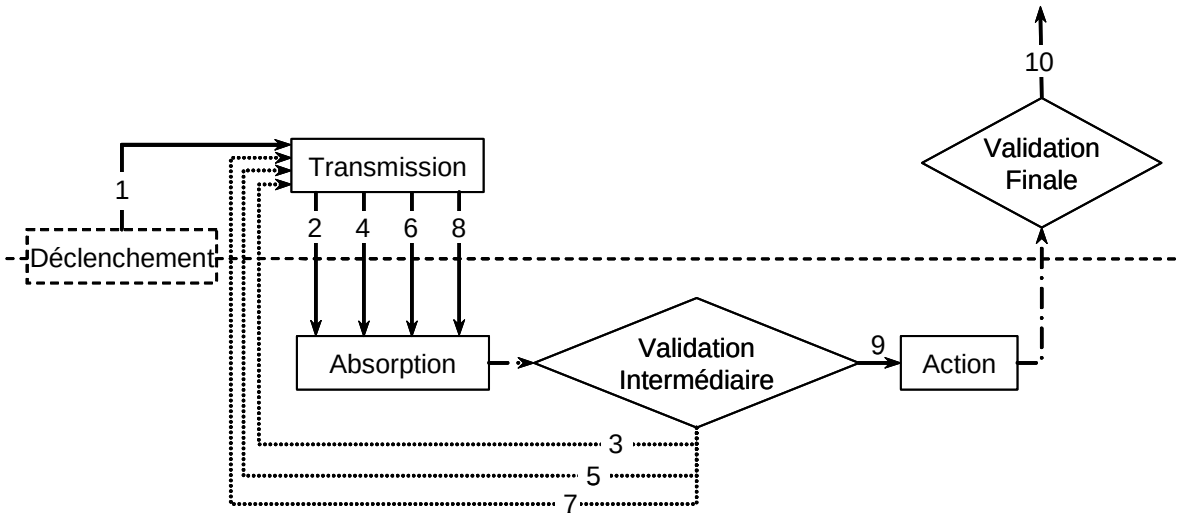


Figure 4.3 : Description de la première situation de partage des connaissances sur la base du modèle générique.

4.5.2 Deuxième situation

Le deuxième processus de partage des connaissances que nous avons relevé dans l'expérience est relatif aux mordaches. Ce processus est plus étendu dans le temps que le premier. En effet, il commence dès les premiers instants de l'expérience (04mn32s de la première session de travail synchrone), et continue jusqu'à la deuxième session. La dernière conversation faisant partie de ce processus a eu lieu à 38mn47s de la deuxième session de travail synchrone. Identiquement au premier exemple (paragraphe 4.4.1), ce processus commence par une demande explicite exprimée par l'expert en calcul et le concepteur. La demande est implicitement destinée à l'expert en fabrication. Cette demande constitue le déclencheur qui va activer le processus de partage de la connaissance sur les lardons (première étape du processus, figure 4.4). Pour l'instant, l'acteur expert en fabrication ne sait pas ce que sont les mordaches. Le concepteur trouve

alors sur Internet une définition et la lit en partageant la page avec les autres acteurs. Il s'agit de la première transmission verbale du processus (deuxième étape du processus). A cet instant, nous pouvons simplement affirmer que les trois acteurs sont possesseurs d'informations et non de connaissances. Suite à cette transmission, l'expert en fabrication se rappelle du terme mordache, l'expert en calcul affirme qu'il a, lui aussi, compris ce terme. Le concepteur qui a trouvé la définition sur Internet ne demande pas plus de précisions de la part de l'expert en fabrication. Il s'agit alors de la première validation intermédiaire (troisième étape du processus). Le concepteur entame alors l'élaboration d'un schéma de principe du système qu'il pourra proposer et schématise les mords et les mordaches. C'est l'étape de l'action. En effet, pour pouvoir effectuer cette activité de conception, qui est l'élaboration du schéma de principe du système, le concepteur a utilisé la connaissance sur les mordaches qu'il a trouvées et qu'il pensait avoir assimilé. Suite à cette action, l'expert en fabrication, que l'on peut considérer comme le seul détenteur de la connaissance sur les mordaches à cet instant, se rend compte que le concepteur n'a pas bien positionné les mordaches par rapport aux mords. Il s'agit alors de la première validation finale négative (quatrième étape du processus). Cette validation négative donne lieu à une nouvelle transmission verbale : l'expert en fabrication explique de nouveau verbalement au concepteur comment il faut positionner les mordaches par rapport aux mords. Il s'agit de la deuxième transmission du processus (cinquième étape du processus). Affirmant qu'il a compris cette fois, le concepteur notifie l'encombrement des différentes pièces sur le schéma de principe. Il s'agit donc de la deuxième action du processus. Suite à cette activité de conception, l'expert en fabrication remarque que le concepteur n'a toujours pas compris la structure des mordaches. Il émet alors une validation négative à l'encontre de l'action faite par le concepteur, c'est la deuxième validation finale négative du processus (septième étape du processus). Ce cycle est répété encore deux fois. Ainsi, l'expert en fabrication effectue une nouvelle transmission verbale (huitième étape du processus) suivie par une validation intermédiaire implicite puisque le concepteur passe directement à une activité de conception qui consiste à proposer plusieurs formes de mordaches. Cette activité est encore conclue par une validation finale négative exprimée par l'expert en fabrication (dixième étape du processus). Finalement, c'est l'expert en fabrication mécanique qui prend la main sur le dessin de principe et le corrige. C'est alors une transmission graphique en effectuant une activité de conception (onzième étape du processus). Cette transmission est suivie par une validation intermédiaire positive puisque le concepteur passe directement à une activité de conception qui est la modélisation de tout le mécanisme sur le système de CAO CATIA V5. Il s'agit alors de la quatrième action entreprise dans ce processus de partage de connaissances (deuxième étape du processus). A la suite de cette action,

nous n'avons pas observé d'indicateurs sur une validation finale positive par l'expert en fabrication. Deux hypothèses peuvent être émises pour justifier cela :

- la première est que cette validation positive est implicite,
- la seconde est que les acteurs n'ont pas eu assez de temps pour rediscuter du sujet. Dans ce cas, la conclusion sur la validation du processus de partage de la connaissance sur les mordaches reste en suspens.

Le modèle suivant représente ce processus de partage de la connaissance sur les mordaches sur la base du modèle générique proposé.

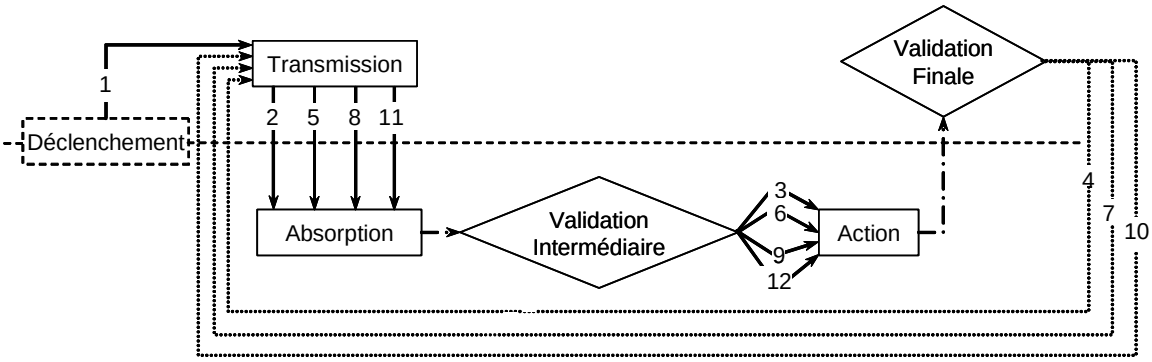


Figure 4.4 : Description de la deuxième situation de partage des connaissances sur la base du modèle générique.

4.5.3 Troisième situation

Le troisième processus de partage de connaissances que nous avons relevé dans l'expérience est relatif au système d'indexage à bille. L'activation de ce processus se fait par une proposition de l'expert en fabrication pour résoudre le problème de l'indexage. C'est le déclencheur de ce processus de partage de connaissances (première étape du processus, figure 4.5). Cette proposition est faite verbalement avec une description structurelle vague. Il s'agit alors de la première transmission du processus (deuxième étape du processus). Le concepteur affirme qu'il a compris : "oui, ah d'accord". Nous considérons cela comme une validation intermédiaire positive. En effet, d'après la réponse du concepteur, celui-ci considère qu'il a assimilé la connaissance sur l'indexeur à bille (troisième étape du processus). Le concepteur entreprend par la suite une activité de conception qui consiste à énumérer les différentes pièces à intégrer au système. Il décrit, verbalement, l'indexeur à bille comme une vis avec une tête en forme de bille. C'est l'étape de l'action du processus de partage de connaissances. Cette action est suivie par une validation finale négative effectuée par l'expert en fabrication (quatrième étape du processus). Cette validation négative est suivie par une nouvelle transmission verbale

(cinquième étape du processus). Le concepteur demande encore des détails sur les fonctions de ce système d'indexage. Il n'a donc pas complètement assimilé la connaissance sur l'indexeur à bille. C'est la première validation intermédiaire négative (sixième étape du processus) suite à laquelle, l'expert en fabrication répond verbalement à la demande du concepteur (septième étape du processus). Le concepteur n'a toujours pas compris et exprime cela par une forme d'étonnement "Hein !", c'est encore une validation intermédiaire négative (huitième étape du processus). Suite à cette validation négative, l'expert en fabrication change de mode de transmission, et schématise le système d'indexage à bille avec son environnement sur le tableau blanc de NetMeeting (neuvième étape du processus). Cette transmission est suivie par une validation intermédiaire positive explicite : "Ouais d'accord, je comprends" (dixième étape du processus). Pendant la deuxième séance de travail asynchrone, le concepteur modélise l'indexeur à bille avec les logements qui lui sont réservés sur le socle inférieur de l'étau. C'est l'activité de conception effectuée par le récepteur en application de la connaissance sur l'indexeur à bille reçue de l'expert en fabrication. Pendant la troisième séance de travail collaboratif synchrone, l'expert en fabrication valide globalement cette modélisation. Une discussion entre les deux acteurs permettra tout de même de changer les cotes pour un souci de standardisation. Toutefois, nous considérons cela comme validation finale positive (onzième étape du processus).

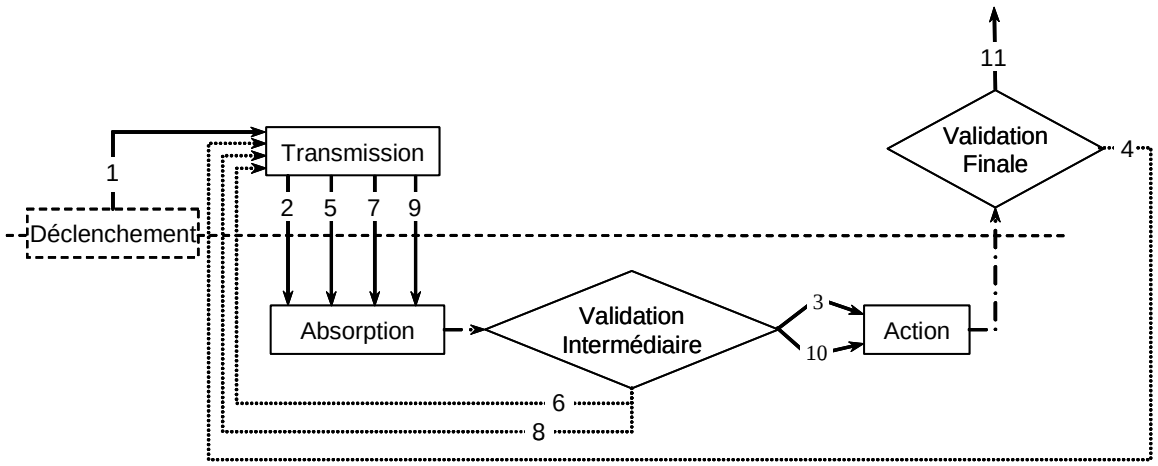


Figure 4.5 : Description de la troisième situation de partage des connaissances sur la base du modèle générique.

4.5.4 Synthèse

Les situations décrites ci-dessus semblent correspondre au modèle générique proposé. Ainsi, nous retrouvons dans ces situations les différentes étapes du modèle. Cependant, une observation globale des différents processus de partage de connaissances, extraits

des deux expériences, montre qu'elles ne se déroulent pas toutes de façon systématique, claire et précise selon le modèle proposé. Dans la section suivante, nous allons donc discuter des modalités d'exécution des différentes étapes du modèle, en fonction des situations observées. Cette discussion permettra par la suite de valider le modèle proposé.

4.6 Discussion et validation du modèle

Nous avons étudié les différentes situations de partage de connaissances observées dans les deux expériences décrites dans le chapitre 2. Ces situations ont été repérées par l'existence d'une action faisant suite à une transmission (l'absorption n'est pas systématiquement observable). Remarquons que nous ne pouvons observer que les étapes du processus explicitement formulées ; certains partages de connaissances peuvent échapper à l'observateur.

4.6.1 Modes de déclenchement

L'activation du processus de partage des connaissances est fortement liée aux activités de conception que les concepteurs sont en train d'exécuter. Ainsi, trois modes de déclenchement ont été observés.

4.6.1.1 Demande de connaissance explicite exprimée par le récepteur

Ce mode de déclenchement intervient lorsqu'un acteur demande explicitement une information. Cette demande peut être soit destinée à un acteur défini si le demandeur pense pouvoir trouver l'information requise, soit sans destination précise. La demande de connaissance est le mode de déclenchement le plus explicite. L'observation des processus de partage de connaissances, qui ont pour déclencheur une demande explicite, est relativement simple puisqu'il suffit d'identifier la question posée par le récepteur. Dans les situations observées, ce mode a été identifié, notamment pour les situations induites par des termes spécifiques introduits dans le cahier des charges.

Exemples :

1) C'est quoi les mordaches, et les lardons ?

2) Ben alors ça ressemble à quoi une bride ?

4.6.1.2 Réaction à des activités de conception d'autres agents

Ce mode de déclenchement a lieu lorsqu'un acteur réagit à l'observation d'une activité de conception, effectuée par un autre acteur, pour exprimer son désaccord. Ce désaccord

est dû à une divergence entre les connaissances de cet acteur et l'activité de conception observée. Ainsi, cet acteur essaye de transmettre la connaissance qui justifie ce désaccord.

Exemples :

1) -Non parce que euh l'indexage à billes il y en a des standards, j'en avais dessiné un avec les cotes et tout !

- Euh ouais ça ne correspond pas à ça ce que tu as en standard ?

- Euh non !

- […]

4.6.1.3 Proposition d'idée nouvelle de l'émetteur

Ce mode de déclenchement d'un processus de partage de connaissances peut être observé lorsqu'un acteur, en l'occurrence l'émetteur, propose une idée pour accomplir une activité de conception. Cette proposition est spontanée et ne relève pas d'une réaction à une activité d'un autre acteur comme dans le deuxième mode de déclenchement.

Exemples :

1) "Si non l'indexage comment on va le faire ?… parce que, attends pour l'indexage j'ai quoi ! Ouais j'ai l'indexage à bille si possible…"

2) "De toute façon c'est … non c'est une question idiote y a deux y a deux règles, y en a une sur chaque euh partie… Non ? Est-ce que vous êtes d'accord ?"

Nous recensons dans le tableau suivant le nombre de situations relatives à chaque mode de déclenchement.

Expérience	Processus de partage de connaissances	Demande	Réaction	Proposition
Conception d'un étau	9	4	2	3
Conception d'un broyeur	53	14	6	33

Tableau 4.1 : Répartition des processus de partage de connaissances en fonction des modes de déclenchement.

Ces statistiques montrent que, pour la deuxième expérience, il y a beaucoup plus de déclenchement de processus de partage de connaissance par propositions que par

demande ou par réaction à des activités de conception. Ceci peut être expliqué par la nature de cette expérience où le chef de projet doit transmettre à l'équipe de conception des informations et des contraintes reçues du client.

4.6.2 Liens entre activités de conception et déclenchement de processus de partage de connaissance

La motivation des acteurs, à entamer un processus de partage de connaissance, est de faire avancer le processus de conception dans lequel ils sont engagés. Ainsi, l'activation du processus de partage de connaissances est liée à une activité de conception qui est, d'ailleurs, présente dans le modèle proposé au travers de l'étape de l'action. Il existe un lien temporel entre l'activité de conception et le processus de partage des connaissances. Par rapport à l'activité de conception, le déclencheur du processus de partage des connaissances peut être soit : in situ, soit prévisionnel, soit rétrospectif.

- Un déclencheur in situ a lieu lorsque le besoin de partager une connaissance est activé par une activité de conception en cours d'exécution. C'est le cas, par exemple, de la situation concernant le système de vernier. C'est en cherchant un système de mesure de l'angle de rotation que les acteurs sont arrivés à définir ce système. Il s'agit d'un dispositif dont le fonctionnement est connu par l'acteur concepteur et fabricant, mais pas par l'acteur calcul. Au fur et à mesure de la définition de ce système, le concepteur l'expliquait à l'acteur expert en calcul. Il s'agit donc d'un processus de partage de connaissances déclenché au cours de l'action de conception.
- Un déclencheur prévisionnel a lieu lorsque le besoin de partager une connaissance est activé par les prévisions d'une activité de conception qui n'a pas encore lieu, et dont l'exécution est supposée nécessiter la connaissance à partager. Ce type de lien a pu être observé dans la situation de partage de connaissance sur l'indexeur à bille. Lorsque cette situation a été activée, le traitement de l'indexage n'était pas en cours de discussion. Une fois cette connaissance "partagée", elle a été mise de coté et reprise ultérieurement pour effectuer une activité de conception, qui consiste en la modélisation géométrique de l'indexeur et des logements qui lui sont réservés dans le socle.
- Un déclencheur rétrospectif a lieu après qu'une activité de conception soit accomplie. Il s'agit en général d'une justification de choix de conception. Nous avons pu observer ce type de lien, par exemple, dans la situation correspondant aux brides : le concepteur ayant proposé un système de brides pour gérer la rotation horizontale, a dû par la suite justifier ce choix de conception aux autres

acteurs. Cette justification a entraîné un partage de connaissances, notamment avec l'acteur responsable du calcul qui ne connaissait pas ce système.

4.6.3 Modes de transmission

La transmission de l'information contenant la connaissance nécessite des supports tels qu'une ligne de communication. Le support de transmission dépend du type de l'information à transmettre lors d'une réunion. La conversation orale est la méthode de communication la plus couramment employée. Elle permet de transmettre des messages de niveau de complexité variable en les verbalisant. Cependant, dans un contexte de conception mécanique, l'échange d'informations sous forme graphique est un support de travail indispensable, car il permet de fixer des idées géométriques qui sont difficilement verbalisables. Un schéma est, en effet, souvent plus explicite qu'un long discours.

Dans les processus de partage de connaissances que nous avons relevés, nous avons pu identifier trois modes de transmission que les acteurs ont utilisés. Il s'agit des modes verbal, graphique et textuel. Dans un même processus de partage de connaissances, nous avons pu observer une variation entre les trois modes. Cette variation dépend des résultats des étapes de validation partielle par le récepteur, ou finale par l'émetteur lui-même. Par exemple, pendant le premier et le deuxième processus de partage de connaissances, nous avons assisté à des transmissions verbales et graphiques. Le changement du mode de transmission se fait selon un modèle particulier que nous pouvons appeler cycle d'essais-erreurs. En effet, l'émetteur commence toujours par une transmission verbale. Ensuite, en fonction des résultats des étapes de validations, il peut modifier le mode de transmission. Si la validation est positive, il peut passer à l'étape suivante du processus. Si le résultat est négatif, l'émetteur doit changer son mode de transmission, il passe généralement à une transmission graphique.

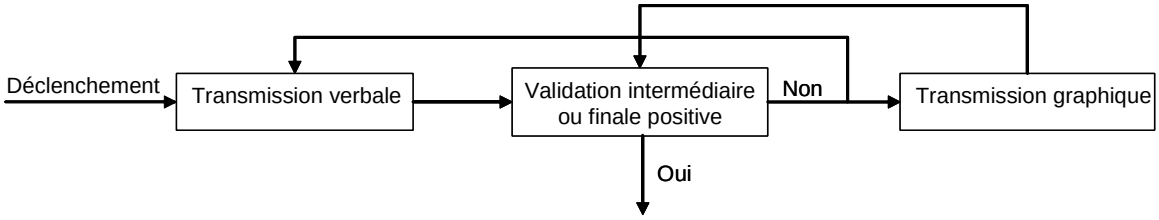


Figure 4.6 : Cycle de recherche de mode de transmission par l'émetteur.

La première transmission verbale n'est pas toujours efficace. Elle est généralement complétée par une transmission graphique. Dans certaines situations, les itérations sont nombreuses avant que l'émetteur change son mode de transmission, comme, par exemple, dans la première situation où trois transmissions verbales sont faites inefficacement avant de passer à une transmission graphique qui s'avère plus efficace.

Le tableau suivant résume les statistiques des variations de mode de transmission dans les différents processus observés.

Expérience	Nombre total de processus de partage de connaissances	Nombre total de transmissions	Nombre de transmissions verbales	Nombre de transmissions graphiques
Etau	9	96	69	27
Broyeur	53	335	172	163

Tableau 4.2 : Répartition des transmissions selon les modes verbal et graphique.

Ces statistiques montrent que le mode de transmission verbal est celui qui est le plus utilisé : 72% dans le cas de l'expérience distribuée et 51% dans le cas de l'expérience de conception en présentiel. Ceci peut être expliqué par la facilité d'utilisation de ce mode qui ne nécessite aucun outil ou support avancé à part le téléphone, auquel les acteurs sont habitués, contrairement aux transmissions graphiques qui nécessitent une instrumentation plus avancée (tableau blanc partagé par exemple). Dans le processus de conception en présentiel, les représentations graphiques sont beaucoup plus simples à partager (croquis à main levée, tableau blanc, etc.). Les acteurs les utilisent alors plus fréquemment que dans le processus distribué pour transmettre graphiquement des informations.

Généralement, pendant un processus de partage de connaissances, plusieurs transmissions des deux types, verbal et graphique, sont nécessaires. Le nombre de transmissions dépend de plusieurs paramètres tels que, par exemple, les acteurs émetteurs, les acteurs récepteurs et la nature de la connaissance transmise. Nous avons relevé le nombre de transmissions qui ont été effectuées pendant les processus de partage de connaissances dans les deux expériences en fonction de trois paramètres : l'acteur émetteur, le mode de déclenchement, et le sujet de la connaissance : connaissance relative au système à concevoir ou au milieu extérieur. Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant.

Acteur	Moyenne des transmissions par processus
Sa	8,57
De	6,06
Ch	8,44

Tableau 4.3 : Moyenne des transmissions selon l'acteur émetteur.

Mode de déclenchement	Nombre des transmissions par processus
Réaction	8,17
Demande	7,69
Proposition	6,58

Tableau 4.4 : Moyenne des transmissions en fonction du mode de déclenchement.

Type de connaissance	Nombre des transmissions par processus
Système	7,42
ME	4,20

Tableau 4.5 : Moyenne des transmissions en fonction du type des connaissances.

Nous remarquons que l'acteur *De* utilise en moyenne 30% de transmissions en moins que les deux autres acteurs pour chaque processus de partage de connaissances. Cette dépendance par rapport aux acteurs n'est pas remarquable.

La deuxième dépendance que nous pouvons constater est celle entre le nombre de transmissions et le type de connaissances (milieu extérieur, système). Lorsque la connaissance concerne le système ou une partie du système à concevoir, les acteurs ont besoin de plus de transmissions pour partager la connaissance que dans le cas où celle-ci concerne le milieu extérieur.

Notons que ces différences restent valables si nous ne considérons que les processus de partage de connaissances qui se sont "bien" déroulés, c'est-à-dire ceux qui ont abouti à l'étape d'action et celle de validation finale positive.

Toutefois, nous n'avons pu recensé aucun lien entre le nombre de transmissions et le mode de déclenchement du processus de partage de connaissances.

Nous avons aussi étudié la dépendance du nombre de transmissions graphiques et verbales en fonction des trois paramètres, l'acteur émetteur, le mode de déclenchement et le domaine de la connaissance (système, milieu extérieur). Nous avons relevé les statistiques suivantes :

Type de déclenchement	Type de transmission	Pourcentage par rapport au nombre total des transmissions
Proposition	Verbal	54%
	Graphique	46%
Demande	Verbal	51%
	Graphique	49%
Réaction	Verbal	43%
	Graphique	57%

Tableau 4.6 : Répartition du type de transmissions en fonction du type de déclenchement.

Type de connaissance	Type de transmission	Pourcentage par rapport au nombre total de transmissions
Système	Verbal	49%
	Graphique	51%
Milieu Extérieur	Verbal	76%
	Graphique	24%

Tableau 4.7 : Répartition du type de transmission en fonction du type de connaissance.

Acteur	Type de transmission	Pourcentage par rapport au nombre total de transmissions
Sa	Verbal	29%
	Graphique	71%
De	Verbal	68%
	Graphique	32%
Ch	Verbal	39%
	Graphique	61%

Tableau 4.8 : Répartition du type de transmissions selon l'acteur émetteur.

Nous remarquons que les acteurs *Ch* et *Sa* utilisent plus le mode graphique que l'acteur *De*. Deux explications de cette différence peuvent être données. La première est qu'une grande partie des situations où les acteurs *Ch* et *Sa* sont émetteurs ont lieu après la première phase du processus de conception, c'est-à-dire une fois qu'une première maquette numérique du produit ait été produite. Ces acteurs ont alors utilisé cette maquette (en plus des autres objets graphiques déjà existants) pour transmettre

différentes informations. La seconde est liée au fait que les informations transmises par *De* sont majoritairement des informations complémentaires au cahier des charges existant - lequel comporte des schémas.

Dans le cas où le processus est déclenché par réaction à une activité de conception, il y a plus de transmission graphique que verbale. Ceci peut être expliqué par le fait que ces activités de conception sont, le plus souvent, des tâches de modélisation et que, pendant la transmission, l'émetteur utilise ces modèles pour expliquer ses idées.

Dans le cas où le processus concerne une connaissance sur le produit ou sur une partie du produit à concevoir, il y a plus de transmissions par mode graphique que dans le cas de processus de partage de connaissance qui concerne le milieu extérieur. Plusieurs supports graphiques concernant le produit (plans, schémas, croquis) existent déjà et les acteurs les utilisent pour partager des connaissances alors que, dans le cas de connaissances concernant le milieu extérieur, il existe rarement de support graphique pour les illustrer. Ainsi, dans le cas d'une transmission de connaissance sur les vignes, aucun graphique n'était disponible pour la transmettre. Toutefois, dans certains cas, ces supports existent comme, par exemple, dans le cas du tracteur et de la sortie de puissance où un croquis était fourni avec le cahier des charges et a été utilisé pour transmettre cette connaissance.

Dans la suite, nous allons nous intéresser de plus près au mode de transmission graphique. En utilisant ce mode de transmission, les acteurs mettent en œuvre des graphiques pour partager des connaissances. Nous allons, donc, étudier la nature et le rôle de ces objets graphiques.

4.7 Rôle des objets dans le processus de partage de connaissances

Dans ce paragraphe, nous allons montrer l'existence d'objets intermédiaires qui sont construits pour supporter le processus de partage de connaissances. Ces objets seront appelés "Objets de Connaissance" ou "Knowledge Objects". Pour mettre en évidence le rôle de ces objets de connaissances, nous allons nous baser sur les différentes situations observées dans les deux expériences. Nous mettrons en évidence, notamment, la différence entre ces objets et les objets intermédiaires de conception [*Mer et al.,* 1995], [*Vinck,* 1995], [*Jeantet,* 1998], [*Blanco,* 1998], [*Movahedkhah,* 2006].

4.7.1 Rôle des objets graphiques dans le processus de conception

Des travaux sur le rôle des dessins et croquis dans le processus de conception ont déjà été présentés. Dans le protocole de Delft [*Cross et al.,* 1996], *Archer* [1976] cité dans [*Mazijoglou,* 1996] a établi la relation entre les dessins et les pensées des concepteurs. Ainsi, pour lui, le dessin est un outil économique de modélisation. C'est un moyen rapide pour avoir une idée sur ce qui se passe dans la tête du concepteur.

Akin et *al.* [1996] s'intéressent aux dessins produits en tant qu'activité de conception. Ils proposent un codage de l'activité des concepteurs en six types : dessiner, écrire, réfléchir, examiner, écouter et parler. Le concepteur peut évidemment faire simultanément deux types de ces activités. Ils ont ensuite étudié les liens entre les décisions prises et le type d'activité du concepteur. Ils ont proposé, plus particulièrement, une corrélation entre les décisions prises et les croquis dessinés par le concepteur.

Ullman et *al.* [1996] s'intéressent aux dessins et objets comme moyens d'affinage des définitions des alternatives de solutions, et comme langage de communication de ces alternatives entre les concepteurs.

Cross et *al.* [1996] présente les croquis et dessins seulement comme moyen pour schématiser l'architecture du problème, ou présenter un planning d'organisation des tâches de conception.

Mazijoglou et *al*. [19*96*] ont étudié les productions graphiques des concepteurs comme traces des "actes de dessins". Ceux-ci sont considérés comme activités de conception. Ils ont proposé une typologie des actes de dessins, tels que les dessins symboliques, alphanumériques, les illustrations orthographiques et les illustrations perspectives. Pour ces auteurs, les dessins sont des éléments de l'espace de travail de conception. Cet espace de travail est constitué par les canaux de communication interpersonnels dont disposent les concepteurs, et l'espace partagé constitué par les outils et média utilisables par les concepteurs pour établir les dessins. L'espace partagé correspond aux différents espaces de dessin : tableaux, papiers…. Les auteurs ont proposé une représentation de l'espace de travail de conception. Ils ont remarqué que la configuration de cet espace influe de manière importante sur l'activité des concepteurs.

Aucune de ces études ne fait le lien entre les objets intermédiaires, en particulier les objets graphiques, et le concept de partage de connaissances entre les acteurs.

4.7.2 Rôle des objets graphiques dans le processus de partage de connaissances

Pour étudier le rôle des objets graphiques dans le processus de partage des connaissances, nous allons partir des situations observées. Dans la première situation, la transmission graphique consiste en un schéma des lardons dessiné par l'expert en fabrication. Dans la deuxième situation, la transmission graphique se fait en agissant directement sur le dessin de principe de l'étau. La différence que nous faisons entre le premier et le deuxième graphique, est que le premier n'a servi qu'à la transmission de la connaissance alors que le deuxième a servi à effectuer une activité de conception, en l'occurrence, à la définition du produit à concevoir (l'étau). Nous appellerons le premier graphique un "Objet de Connaissance" ou "Knowledge Object" (KO) par opposition aux "Design Objects" qui servent à l'évolution du produit pendant le processus de conception. (Les "Knowledge Objects" sont produits et ne servent que pendant le processus de partage de connaissances). Dans un même processus de partage de connaissance, les deux types d'objets peuvent intervenir.

Les deux schémas suivants donnent deux exemples d'objets de connaissances.

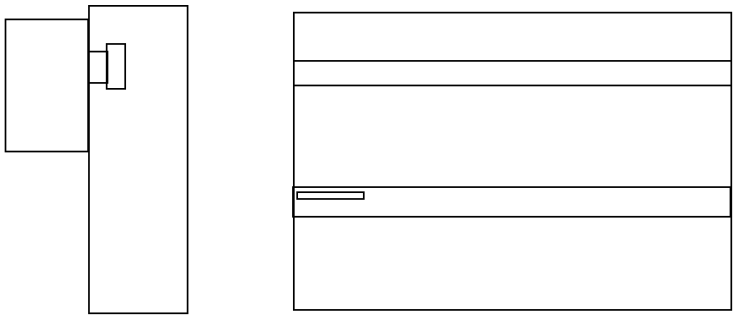


Figure 4.7 : Objet de connaissance sur les lardons.

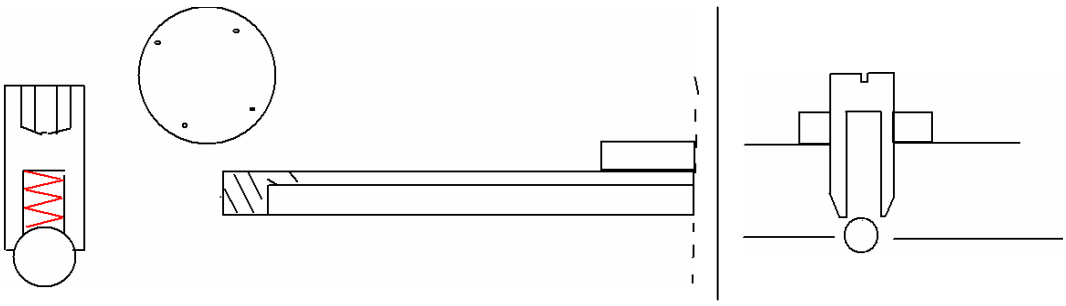


Figure 4.8 : Objet de connaissance sur l'indexeur à bille.

Le premier dessin correspond au premier processus de partage de connaissances observé. Il concerne les lardons. Le deuxième dessin correspond au processus de partage de connaissance sur l'indexeur à bille. Ces dessins n'ont servi qu'à la

transmission des connaissances respectives sur les lardons et sur l'indexeur à bille. Les acteurs n'ont accédé à ce dessin que pendant les périodes de temps où leurs conversations faisaient partie du processus de partage de connaissances. C'est cette caractéristique qui permet de les appeler "objets de connaissances".

Les figures 4.9 et 4.10 représentent les graphiques qui ont servi à la transmission de la connaissance sur les mordaches.

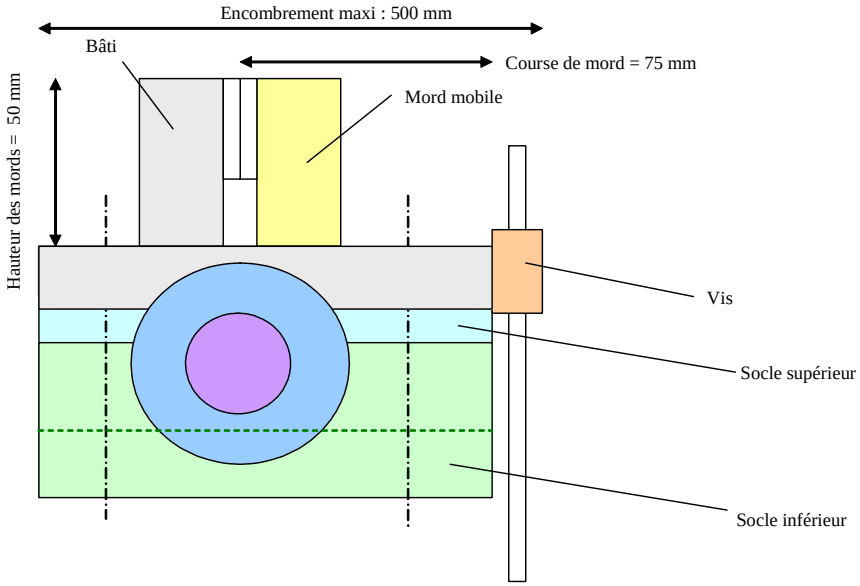


Figure 4.9 : Premier objet de conception ayant servi au partage de la connaissance sur les mordaches.

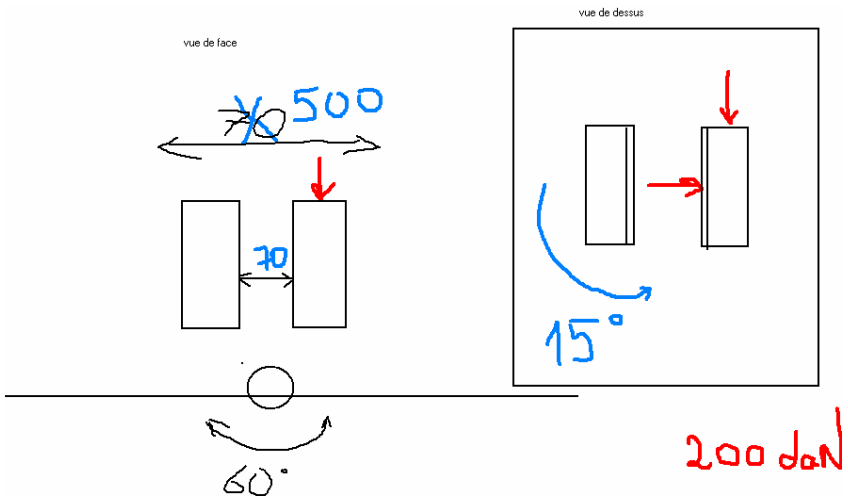


Figure 4.10 : Deuxième objet de conception ayant servi au partage de la connaissance sur les mordaches.

Ces schémas n'ont pas servi uniquement au partage de la connaissance sur les mordaches. En effet, il s'agit des premiers schémas de principe de l'étau entier. Ils ont

servi à des transmissions graphiques de la connaissance sur les mordaches, mais aussi à une activité de conception qui est l'établissement d'un schéma de principe du produit.

Nous avons étudié les objets graphiques utilisés dans les deux expériences de conception pour partager des connaissances. Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

Expérience	Nombre total de processus de partage de connaissances	Nombre de transmissions graphiques	Nombre de KO	Nombre de DO
Conception d'un étau	9	27	18	9
Conception d'un broyeur	53	163	3	160

Tableau 4.9 : Répartition des transmissions graphiques selon le type de l'objet graphique utilisé.

Dans le cas de l'expérience de conception distribuée, nous remarquons une utilisation plus confirmée des objets de connaissances (KO) : 63% des transmissions graphiques sont faites à l'aide d'objet de connaissances et le reste (27%) à l'aide d'objets de conception (DO).

Ces statistiques sont à l'opposé de celles que nous pouvons déduire de la deuxième expérience, à savoir l'expérience de conception en présentiel. En effet, 98% de transmissions graphiques se déroulent à l'aide de DO alors que seulement 2% des transmissions graphiques se déroulent à l'aide de KO. Cette différence entre les deux expériences est due à la nature de l'expérience en présentiel où des objets ont été partagés en permanence. Ces objets ont été utilisés pour les transmissions graphiques et les acteurs n'ont pas eu besoin de créer de nouveaux objets pour transmettre graphiquement des informations.

Dans le cas de l'expérience distribuée, les objets de connaissances ont été créés à l'aide du tableau blanc de NetMeeting ou à l'aide des outils graphiques de Microsoft Word. Dans le cas de l'expérience de conception en présentiel, ces objets ont été crées à main levée sur le tableau blanc ou sur du papier malgré la disponibilité de moyens plus sophistiqués tels qu'un système de CAO. Ainsi, ces objets n'ont pas eu besoin d'une instrumentation sophistiquée. D'autre part, leur "durée de vie" étant très courte, ils sont utilisés uniquement pendant le processus de partage de connaissances. Lorsqu'il s'agit de schémas numériques sur le tableau blanc de NetMeeting, les acteurs n'y accèdent plus dès lors que le processus de partage de connaissances est bouclé. Lorsqu'il s'agit de représentations physiques sur le tableau blanc ou du papier par exemple dans le cas de

processus en présentiel, ces objets sont systématiquement abandonnés et aucun archivage ne leur est prévu. Un éventuel retour sur le processus de partage de connaissance est parfois synonyme de création d'un nouvel objet qui est très proche du premier. C'est le cas, par exemple, du processus de partage de connaissance sur l'indexeur à bille. Un premier schéma a été créé pour une transmission graphique par KO suite à laquelle une validation intermédiaire positive a eu lieu. Ensuite, le processus a été interrompu, puis le récepteur a effectué une activité de conception sur la base de la connaissance partagée. Nous avons ensuite assisté à une validation finale négative puis à une nouvelle transmission graphique pendant laquelle l'émetteur a dû créer un nouveau KO.

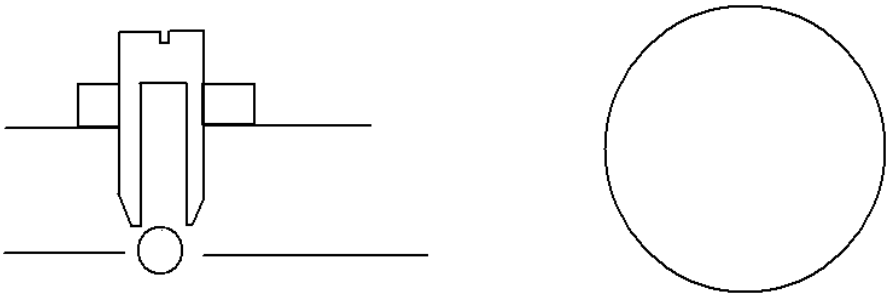


Figure 4.11 : Premier objet de connaissance sur l'indexeur à bille.

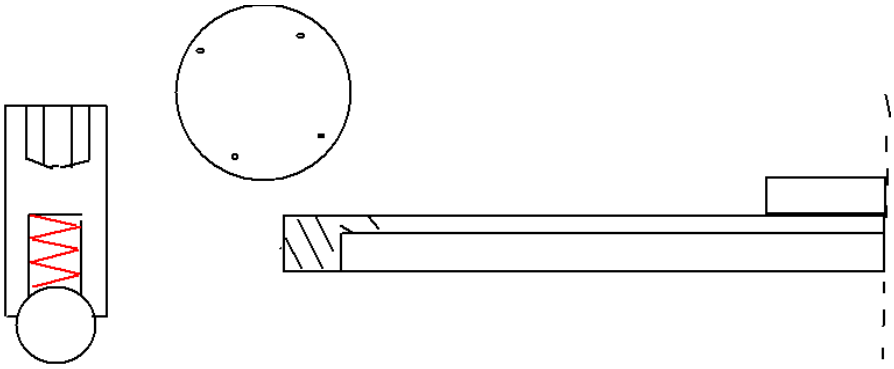


Figure 4.12 : Deuxième objet de connaissance sur l'indexeur à bille.

4.8 Aspect dynamique : notion de rôles

Les processus de partage de connaissances observés et le modèle générique proposé mettent en évidence l'existence de différentes actions exécutées par différents acteurs du processus de conception. Exécuter certains types d'actions dans une organisation affecte aux acteurs des rôles donnés qui peuvent changer au cours du temps et attribuer au processus un aspect dynamique. Dans ce paragraphe, nous définissons les rôles et nous étudions leurs implications dans le processus de partage de connaissances et sur le modèle générique proposé.

4.8.1 Qu'est ce qu'un rôle ?

Un rôle est un ensemble de prescriptions qui définissent ce que le comportement d'un membre d'une organisation, occupant une position donnée, doit être [As*hforth,* 2001]. *Goffman* [1959] cité par *Hermann* [2004]*,* définit un rôle comme un ensemble d'activités exécutées par un individu. Une spécification imprécise ou non claire des rôles peut engendrer des ambiguïtés de fonctionnement et des conflits dans une organisation [*Bostrom,* 1980].

4.8.2 Les rôles dans les systèmes collaboratifs

Le concept de rôles a été appliqué pour concevoir des systèmes collaboratifs. Toutefois, dans certains cas, cette application n'a pas été précédée d'une définition précise de ce concept [*Edwards,* 1996], [*Leland* et *al.,* 1988], [*Smith* et *al.,* 1998]. L'efficacité de ces systèmes n'est pas garantie si les clauses définissant les rôles des agents sont elles mêmes vagues et irrégulières [*Kahn,* 1964].

Les rôles dans les systèmes informatiques, supports de l'activité de conception collaborative distribuée, ont pour objectif de structurer le processus de communication entre les acteurs. Une structure de rôles bien établie augmente l'efficacité et la cohésion des acteurs et leur sens de responsabilité et par conséquent leur sensibilisation aux interactions. *Strijbos* et *al.* [2003] ont conçu une expérience impliquant cinquante sept personnes séparées en dix groupes de tailles différentes, dont cinq avaient des instructions pour utiliser les rôles, et cinq avaient des instructions pour se baser sur leurs intuitions et leurs expériences précédentes. Les résultats de leur expérience ont montré qu'une structure de rôles bien définie augmente la conscience des participants, de leurs interactions et de leur efficacité, en augmentant leur cohésion et leur sens de responsabilité.

Dans le système de production collaborative de documents "Quilt", par exemple, trois rôles ont été définis : le rôle d'auteur, de lecteur, et celui de commentateur. Les auteurs sont autorisés à créer des documents, données… et à modifier ce qu'ils ont créé eux-mêmes. Les lecteurs, par contre, sont autorisés à consulter les documents créés par les auteurs sans possibilité de modifications. Les commentateurs sont autorisés à consulter les documents et à ajouter des notes sur les marges des documents qu'ils consultent, [*Leland et al., 1988*].

Pour les sciences sociales, la structuration a pour effet de faciliter le travail et la communication au sein des organisations et de réduire leur complexité, et. Les rôles sont

un type spécifique de structure, qui émerge des observations des comportements des agents impliqués et des interactions entre eux.

4.8.3 Les mécanismes de rôles [*Hermann*, 2004]

Les rôles dans les communautés sont généralement informels, émergents et implicites. Leur développement est dynamique contrairement aux rôles formellement établis dans les organisations structurées. Le développement de rôles consiste en différents mécanismes dont nous présentons ci-après quelques exemples :

- Assignement de rôle : il existe deux types d'assignement de rôles : actif et passif. Un assignement actif peut avoir lieu lorsqu'une personne assigne un rôle concret à une autre personne. Un assignement passif de rôle peut avoir lieu lorsqu'une personne prend un rôle concret et que d'autres personnes acceptent une prise de rôle complémentaire plus ou moins explicitement.
- Prise de rôle : le terme prise de rôle est utilisé pour une personne qui agit en respectant des caractéristiques d'un rôle spécifique. Une personne peut décider de prendre un rôle, elle a aussi la possibilité d'accepter le rôle ou pas. Elle peut aussi développer une attitude personnelle envers les exigences du rôle, notamment si elle a déjà pris le rôle. Cette attitude peut aussi être appelée "distance au rôle". Elle n'implique pas un refus total du rôle ou une attitude qui n'est pas compatible avec les exigences du rôle.
- Permettre à quelqu'un de prendre un rôle : une personne peut prendre un rôle sans que ce soit une réponse à une demande exprimée par d'autres personnes. De même, un individu peut réclamer la prise d'un rôle déjà existant. Il peut aussi introduire un nouveau rôle. Si les personnes qui ont le droit d'assigner certains rôles, acceptent que quelqu'un prenne ce rôle, cette prise de rôle est approuvée. Ceci peut aussi être interprété comme assignement passif de rôle.
- Changement de rôle : une personne peut, en principe, remplir plusieurs rôles. Elle peut par exemple s'occuper de l'organisation du processus dans une organisation virtuelle et, dans un deuxième temps, peut remplir un autre rôle ordinaire (concepteur par exemple). Les autres agents peuvent être pris par surprise si à certains moments, elle organise le processus, et à d'autres moments elle ne le fait plus et remplit son autre rôle alors que cela est nécessaire. Il est alors important que les participants comprennent le changement de rôle et en soient conscients.

D'autres mécanismes de rôles existent aussi, nous mentionnons par exemple la création de rôles, la définition de rôles ou le conflit inter-rôles. Une description plus détaillée de ces mécanismes de rôles peut être trouvée dans [*Hermann*, 2004].

4.8.4 Les rôles dans les processus de partage de connaissances

Un processus de partage de connaissances met en interaction différents agents du groupe de conception. Nous avons modélisé ce processus par un modèle composé de six actions à accomplir par les agents participant au processus. Parallèlement à ces actions, les agents remplissent des rôles différents. Dans ce paragraphe, nous allons étudier les distributions des rôles sur les agents, dans un processus de partage de connaissances, et le changement éventuel de ces rôles au cours du processus.

Les premières analyses des processus de partage de connaissances observés montrent qu'il existe deux rôles principaux : le rôle d'émetteur et celui de récepteur. Le rôle d'émetteur est concerné par les tâches de transmission et validation finale. Le rôle de récepteur est concerné par les tâche de réception, validation intermédiaire et action. La tâche de déclenchement du processus peut être effectuée soit par l'émetteur, soit par le récepteur, en fonction du mode de déclenchement (figure 4.13). Cette étape de déclenchement détermine la distribution initiale des rôles sur les agents et un certain nombre de mécanismes de rôles que nous allons détailler en fonction du mode de déclenchement.

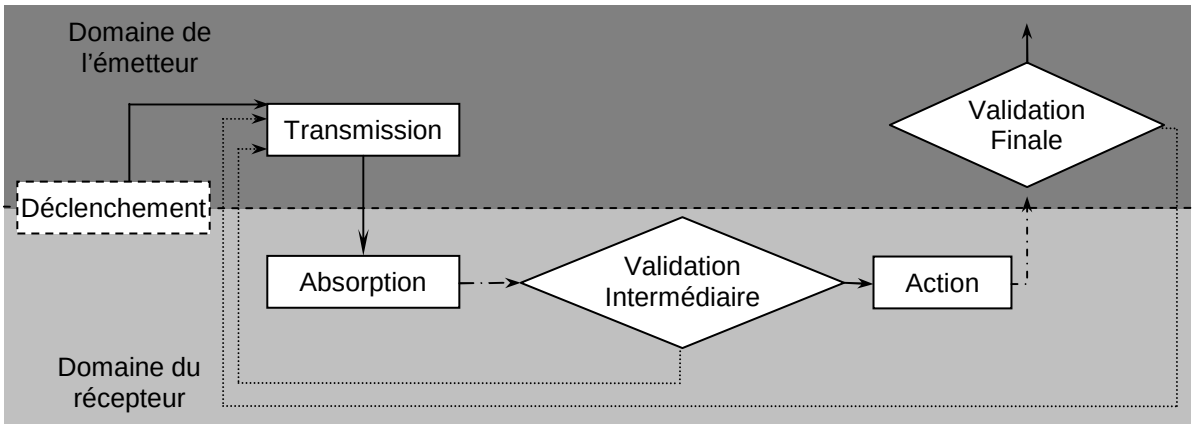


Figure 4.13 : Modèle générique du processus de partage des connaissances avec distribution des rôle émetteur/récepteur.

4.8.4.1 Cas d'un déclenchement par demande explicite exprimée par un agent

Lorsqu'un agent demande une connaissance, il prend explicitement le rôle de récepteur (prise de rôle). Deux cas se présentent alors. Dans le premier, l'agent récepteur dirige sa demande explicitement vers un autre agent, dans ce cas, c'est un assignement actif de rôle. Dans le second cas, la demande émise par l'agent récepteur n'est pas destinée à un agent en particulier. Dans ce cas, il n'y a pas d'assignement de rôle. Si un autre agent répond à la demande de l'agent récepteur, il s'agira, alors, d'une prise de rôle.

a) Premier exemple : acceptation de rôle

N : C'est quoi les mordaches, et les lardons ?

C : J'allais poser exactement la même question.

C : Mordaches, alors si…

V : Les lardons au fait, c'est…euh…c'est des pièces qui te permettent de placer ton étau sur la table d'usinage, sur la table de la machine en faite.

Dans cet exemple, l'agent *N* (Expert en calcul) émet une demande de deux connaissances, l'une concerne les lardons, l'autre concerne les mordaches (les deux processus de partage de connaissances relatifs à ces deux connaissances sont éloignés et distincts dans le corpus, c'est pour cette raison que nous avons analysé séparément les deux situations). Avec cette demande de connaissance, l'agent *N* prend le rôle de récepteur. Le rôle d'émetteur reste ouvert puisque la demande de l'agent récepteur n'est pas destinée à un autre agent en particulier. En affirmant que lui aussi allait poser la même question, l'agent *C* (Concepteur) prend lui aussi le rôle de récepteur. Etant donné que nous somme dans une situation où l'équipe est formée de trois agents, le rôle d'émetteur est automatiquement et implicitement assigné à l'agent *V* (Expert en fabrication). Celui-ci accepte ce rôle en répondant positivement à la demande des deux agents récepteurs.

b) Deuxième exemple : refus de rôle

N : Et… les lard euh… les mordaches c'est quoi ?

V : Alors les mordaches, euh…

C : Il faut faire une petite recherche Internet ?

V : Ouais je pense… les mordaches je sais pas ce que c'est…

Dans cet exemple, l'agent *N* émet de nouveau une demande de la connaissance sur les mordaches. Avec cette demande de connaissance, l'agent *N* prend le rôle de récepteur. Cette demande est implicitement destinée à l'agent *V* (Expert en fabrication) puisque le troisième acteur (*C)* avait déjà annoncé qu'il ne savait pas ce que sont les mordaches. Il s'agit alors d'un assignement implicite de rôle. L'agent *V,* refuse ce rôle en annonçant qu'il ne détient pas cette connaissance.

4.8.4.2 Cas d'un déclenchement à cause d'un désaccord avec des activités de conception

Lorsqu'un agent est en désaccord avec une activité de conception effectuée par un autre agent, et qu'il veut transmettre une connaissance justifiant ce désaccord, il prend lui même le rôle d'émetteur (prise de rôle), et demande à l'agent qui a effectué l'activité de conception de prendre le rôle de récepteur (assignement actif de rôle).

Exemple :

V : Non parce que euh l'indexage à billes il y en a des standards, j'en avais dessiné un avec les cotes et tout !

C : Euh ouais ça ne correspond pas à ça ce que tu as en standard ?

V : Euh non !

[…]

4.8.4.3 Cas d'un déclenchement par proposition d'une idée nouvelle

Lorsqu'un agent propose une idée nouvelle qui a pour conséquence de devoir partager une connaissance avec d'autres agents, il prend lui même le rôle d'émetteur (prise de rôle) et demande, implicitement, aux autres agents de prendre le rôle de récepteur (assignement passif de rôle).

Exemple :

V : Sinon l'indexage comment on va le faire ?… parce que, attends pour l'indexage j'ai quoi ! Ouais j'ai l'indexage à bille si possible…

C : A billes ?

V : Ouais… en fait c'est un petit ressort avec une bille et…

C : Oui.

V : Et sur euh sur ton socle…

C : Ah d'accord.

N : Ouais…

V : Euh…

N : Donc dans tous les cas il sera manuel.

C : Ca sera manuel.

V : Ouais.

Dans cet exemple, l'agent *V* propose une idée nouvelle de solution pour le problème de conception concernant l'indexage. Cette proposition est destinée à toute l'équipe. En effet il ne désigne pas explicitement un agent destinataire de sa proposition.

En posant la question "A bille ?", l'agent *C* montre qu'il ne connaît pas ce type d'indexeur et, implicitement, qu'il est prêt à remplir le rôle de récepteur. C'est une prise de rôle. L'agent *C,* par la suite, remplit parfaitement ce rôle de récepteur en effectuant des validations intermédiaires, qu'elles soient négatives ou positives, mais surtout en engageant des activités de conception qui prennent en compte cette connaissance sur l'indexeur à bille. Ces activités de conception ont consisté, par exemple, à l'établissement d'une nomenclature structurelle et fonctionnelle, et la modélisation géométrique de l'étau sur le système de CAO CATIAV5.

L'agent *N,* par contre, prend le rôle de récepteur plus tard dans le processus. Cette prise de rôle est faite en engageant des validations intermédiaires successives. Toutefois, ce même agent entreprend une action qui ne fait pas partie de son rôle de récepteur. En effet, suite à une activité de conception faite par l'agent *C* (1er récepteur), l'agent *N* valide cette action. Cette validation peut donc être qualifiée comme finale. Cette validation positive va perturber le processus puisque, en contradiction avec cette validation, l'émetteur va émettre une validation finale négative.

Plus loin dans ce même processus, l'agent *N* entreprend une nouvelle action, normalement associée au rôle de l'émetteur, en l'occurrence, une transmission verbale dirigée vers l'agent *C* : *"Avec un système de bille…".* Cette action va perturber le déroulement normal du processus. En effet, l'agent *C*, conscient que l'agent *N* a elle aussi le rôle de récepteur, lui fait savoir, explicitement, qu'elle perturbe son raisonnement : *"tu m'as perturbé…attends…avec une bille et un ressort."*

Ainsi le simple fait de constater un changement de rôle peut alerter sur le risque de perturbation du processus.

4.8.5 Changement de rôles dans le processus de partage de connaissances

Nous avons étudié le changement de rôle dans les processus de partage de connaissances dans les deux expériences, nous avons relevé les situations où il y a eu un changement de rôle en fonction de l'acteur émetteur et du mode de déclenchement. Les tableaux suivants illustrent les résultats obtenus.

Acteur	Nombre de situations avec Changement de rôles	% par rapport au nombre total
De	7	31%
Ch	0	0%
Sa	3	14%

Tableau 4.10 : Répartition des situations avec changement de rôles en fonction de l'acteur émetteur initial.

Mode de déclenchement	Nombre de situations avec Changement de rôles	% par rapport au nombre total
Proposition	9	29%
Demande	1	7%
Réaction	0	0%

Tableau 4.11 : Répartition des situations avec changement de rôles en fonction du mode de déclenchement.

Nous remarquons que les changements de rôles ont lieu uniquement lorsque *De* est émetteur. Ceci peut être expliqué par la nature de l'expérience. En effet, *De*, le chef de projet, vient juste de recevoir toutes les informations du client, et il a pour rôle de les transmettre aux autres membres de l'équipe. Ces informations seront complétées par un autre acteur.

Nous remarquons aussi que les changements de rôle ont lieu uniquement en cas de déclenchement par proposition. Ceci peut être expliqué par le fait que dans le cas de situations déclenchées par les deux autres modes, le récepteur n'est pas détenteur de la connaissance en cours de partage, il ne peut, donc, pas prendre le rôle d'émetteur. Alors que dans le cas d'un déclenchement par proposition, l'émetteur ne sait pas, a priori, si l'autre membre détient la connaissance ou pas et il se peut que le récepteur se rende compte au milieu du processus que l'information qu'il est en train de recevoir n'est pas

"vraie" par rapport à son référentiel de connaissances. Ceci peut alors déclencher un changement de rôles au cours du processus de partage de connaissances.

4.9 Typologie des connaissances partagées

Dans ce travail de thèse, nous nous intéressons au partage des connaissances produit dans le processus de conception. Un produit peut être défini comme étant *"une entité physique qui a une double existence, l'actuelle, susceptible d'évoluer pour aboutir de plus en plus vers une structure unique, et la future, censée remplir une fonction générale"* [*Perttula et al.*, 2004]. Quand un produit est un élément qui s'intègre dans un système (ensemble, sous-ensemble, composant) chaque élément peut être considéré comme un produit à part entière. Il assure un service requis par le sous-ensemble sur lequel il est monté [*Perrin*, 2001].

4.9.1 Fonctions, comportements et structure d'un produit

Selon *Gero et al.* [2004], les produits sont composés d'éléments dotés de certaines propriétés. Ils possèdent une ou plusieurs fonctions et comportements, et une structure. Ces caractéristiques sont appelées domaines ou mondes (il ne s'agit pas des mondes de l'approche sociotechnique). Nous les décrivons brièvement ci-après.

4.9.1.1 La structure

D'après *Qian* cité par [*Perrin*, 2001], les structures peuvent être décrites à l'aide de quatre variables principales :

- **Eléments constitutifs :** Un élément peut être une entité physique ou logique. Les éléments manipulés peuvent être primitifs ou complexes. Un élément primitif ne peut être décomposé, tandis qu'un élément complexe est lui-même composé d'éléments primitifs.
- **Attributs d'éléments constitutifs :** Les éléments constitutifs possèdent plusieurs propriétés, ou attributs (couleur, forme…). Ces attributs peuvent représenter des grandeurs de nature continue (largeurs ou poids par exemple), ou discrète (matières par exemple).
- **Relations entre éléments constitutifs :** Les éléments constitutifs d'une structure sont en relation. Les relations entretenues entre les éléments physiques peuvent, par exemple, être de nature géométrique (configuration de pièces d'un appartement) ou topologique (interconnexions entre les différentes pièces d'une machine).

- **Processus s'appliquant aux éléments constitutifs :** Dans certains domaines, comme la conception logicielle ou la conception de procédés chimiques, la structure à décrire comporte des processus. Un processus est constitué d'une séquence d'actions qui s'appliquent à des éléments constitutifs.

4.9.1.2 Le comportement

Toute structure est caractérisée par un certain comportement. Le comportement des structures se manifeste lorsque les produits sont soumis à des sollicitations extérieures. Une sollicitation extérieure peut être due à l'interaction du produit avec un autre objet, à l'environnement dans lequel se trouve le produit ou à l'application d'une action sur le produit.

4.9.1.3 Les fonctions

La raison d'être d'un produit est de remplir une fonction donnée. La norme X 50-150 de l'AFNOR définit une fonction comme étant : "l'action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en terme de finalité". Dans cette définition, le mot finalité doit être opposé à la notion de "moyens". Les fonctions doivent exprimer un résultat attendu et non la solution permettant d'obtenir ce résultat. Il est bien entendu très rare qu'un produit ne remplisse qu'une seule fonction. Il est possible de classer les fonctions en trois grandes catégories (*Tassinari* cité par [*Perrin* 2001]).

- Les fonctions principales de service sont les fonctions de service ou l'usage pour lesquelles le produit a été réalisé et qui contribuent au service attendu par l'utilisateur.
- Les contraintes (fonction d'adaptation) expriment des limitations de liberté de conception. Les contraintes ont plus souvent pour origine : l'environnement, la technologie, les règlements et les normes.
- Les fonctions techniques sont les fonctions internes au produit, résultant d'un type de réponses structurelles, et déterminées lors de l'analyse fonctionnelle d'un produit. L'identification de ce type de fonction n'est pas possible sans connaissance des solutions qui seront adoptées, sauf si certaines contraintes imposent un certain type de solution. En revanche, lors de l'analyse fonctionnelle d'un produit existant, il est presque toujours utile d'identifier les fonctions techniques.

Ainsi les produits permettent de satisfaire des besoins et possèdent une structure qui, dans un contexte donné, manifeste un certain comportement.

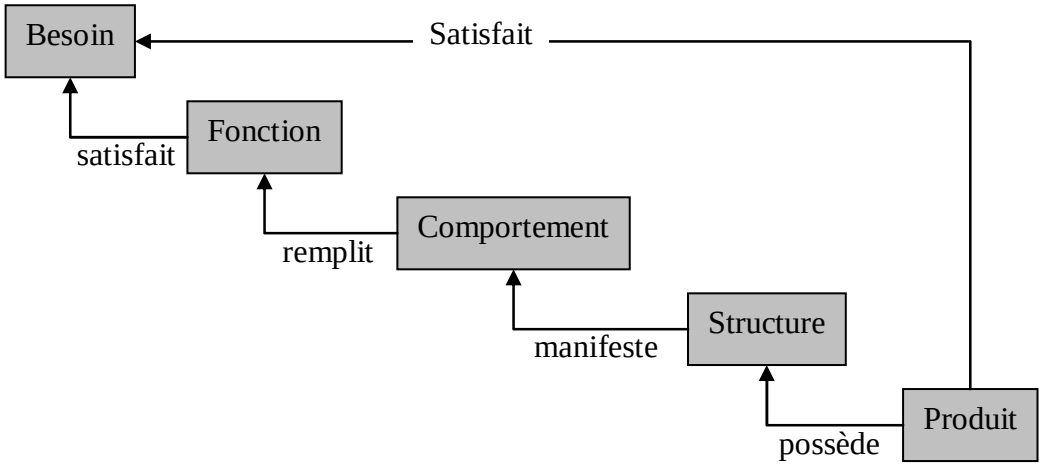


Figure 4.14 : Lien entre le besoin et le produit [*Perrin*, 2001].

Le processus de conception est décrit comme une navigation permanente et itérative entre ces trois domaines (fonctionnel, comportemental et structurel) [Figure 4.15].

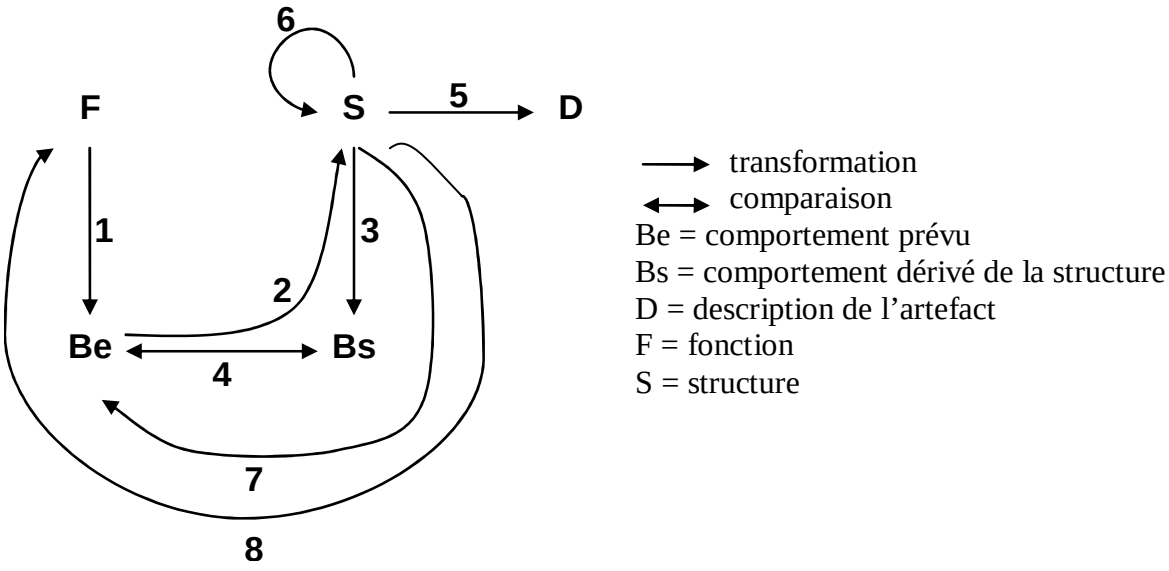


Figure 4.15 : Modèle FBS de *GERO et al.* [2004].

Les différents processus considérés dans le modèle FBS de GERO sont décrits ci-après :

1. Formulation : transforme le problème de conception, exprimé par une fonction (F) en comportement (Be), qui est attendu pour permettre cette fonction.

2. Synthèse : transforme le comportement prévu (Be) en structure de solution (S) qui est (prévue) censée manifester ce comportement désiré.

3. Analyse : détermine le comportement (Bs) de la structure synthétisée (S) dans le processus 2.

4. Évaluation : compare le comportement dérivé de la structure (Bs) au comportement prévu (Be) pour préparer la décision d'accepter la solution de conception.

5. Documentation : produit la description de conception (D) pour construire ou fabriquer le produit.

6. Type 1 de reformulation : provoque des changements de l'espace d'état de la conception, en termes de variables de structure ou gammes des valeurs pour elles.

7. Type 2 : provoque des changements de l'espace d'état de la conception, en termes de variables de comportement attendu ou gammes des valeurs pour elles.

8. Type 3 : provoque des changements dans l'espace d'état de la conception, en termes de variables de fonction.

Ainsi, en échangeant des informations concernant le produit, les concepteurs utilisent une ou un ensemble de ces trois caractéristiques. Ils utilisent des règles qui consistent au passage d'une caractéristique à l'autre. Durant les processus de partage de connaissances que nous avons observés dans les deux expériences de conception, nous avons analysé le contenu des informations transmises en fonction de ces caractéristiques. Le tableau suivant illustre le pourcentage des différents domaines dans les informations échangées pendant les processus de partage de connaissances observés.

Domaine	Pourcentage par rapport au nombre total des informations
Fonction	6%
Comportement	18%
Structure	60%
Règle	17%

Tableau 4.12 : Répartition des transmissions en fonction du domaine.

Ces statistiques montrent que la plupart des informations utilisées pour partager des connaissances concernent les structures. Les règles et le comportement sont généralement utilisés pour justifier des choix.

Nous avons aussi étudié l'utilisation des différents domaines pour chacun des acteurs.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Acteur	Domaine	Pourcentage
Sa	Fonction	7%
	Comportement	13%
	Structure	61%
	Règle	19%
De	Fonction	4%
	Comportement	25%
	Structure	52%
	Règle	19%
Ch	Fonction	6%
	Comportement	18%
	Structure	68%
	Règle	8%

Tableau 4.13 : Répartition des transmissions en fonction du domaine et de l'acteur émetteur.

Nous remarquons, tout d'abord, que les domaines apparaissent partagés par les acteurs. En effet, il n'y avait pas de répartition de métiers selon les domaines. Quelques différences peuvent toutefois être notifiées.

L'acteur *Sa* utilise moins de transmissions avec des comportements. Cette différence peut être expliquée par la nature de l'expérience qui fait que c'est cet acteur qui propose des solutions et que les acteurs *De* et *Ch* émettent des évaluations de ces solutions. Les évaluations passent par les règles. Les acteurs *De* et *Ch* utilisent donc plus des règles que l'acteur *Sa*. Nous rappelons ici que les règles définissent le passage d'un monde à un autre et ne sont pas des règles propres au métier tels que dans le modèle de la conception distribuée où les règle sont internes aux modules ou aux mondes.

Nous remarquons que l'acteur *De* utilise moins de transmissions sur la structure que les deux autres acteurs. Nous pouvons expliquer cette différence par le fait que la plupart des processus de partage des connaissances où *De* était l'acteur émetteur ont eu lieu pendant la première phase du processus de conception où la structure du produit n'est pas encore définie.

4.10 Conclusion

Nous avons analysé des situations de partage de connaissances observées dans les expériences de conception réalisées et décrites dans le chapitre précédent. Nous avons proposé un premier modèle de base à 3 étapes : transmission, absorption et action. Ce

modèle s'est avéré insuffisant pour décrire les processus de partage de connaissances observés. Nous l'avons enrichi en proposant un modèle générique plus complet construit sur la base de nos premières constatations. Ce nouveau modèle contient trois nouvelles étapes : le déclenchement du processus, la validation intermédiaire de la transmission et, enfin, la validation finale du processus. Nous avons ensuite validé ce modèle en l'appliquant aux différentes situations observées dans les expériences.

Certaines situations sont complètes, elles passent par toutes les étapes du processus de partage de connaissances, dès le déclenchement jusqu'à la validation finale suite à une action effectuée par le récepteur. Ce sont ces situations complètes qui ont permis d'établir les premières ébauches du modèle du processus de partage de connaissances et de le perfectionner par la suite. Toutefois, certaines situations de partage de connaissances observées sont incomplètes. Par exemple, la deuxième situation, relative aux mordaches, est "court-circuitée" par l'émetteur qui, après plusieurs tentatives de transmission échouées, exécute lui-même l'action de conception.

Nous avons ensuite, mis en évidence les modalités de l'exécution des différentes étapes du modèle générique proposé. Nous avons relevé trois modes de déclenchement : une proposition spontanée, une demande explicite et, enfin, une réaction à une activité de conception exécutée par d'autres acteurs. Nous avons aussi montré l'existence de lien entre les processus de partage de connaissances et les activités de conception. Nous avons relevé trois liens chronologiques entre le déclenchement de ces processus et les activités de conception en cours : in situ, prévisionnel, et rétrospectif.

La transmission s'effectue suivant deux modes principaux : verbal et graphique. Nous avons remarqué des différences dans l'utilisation de ces modes dans le cas de processus de conception distribuée et en présentiel. En effet, dans le deuxième cas de processus de conception les acteurs utilisent beaucoup plus de transmissions graphiques que dans le premier cas. Pendant la transmission graphique, les acteurs utilisent deux types d'objets : les objets de conception (Design Object) servant à la fois au processus de partage de connaissances et à l'exécution d'une activité de conception, et des objets graphiques servant uniquement au processus de partage de connaissances et que nous avons appelé objet de connaissances ou "Knowledge Object" par analogie avec les "Design Object" (DO). Ces KO ont une durée de vie très courte. Ils sont systématiquement abandonnés dès la fin du processus de transmission de connaissances et n'ont besoin que d'une instrumentation basique (schéma à main levé, tableau blanc, etc.).

Nous avons mis en évidence l'existence de deux rôles dans ce processus de partage de connaissances : le rôle d'émetteur et celui de récepteur. Les actions du modèle générique

sont distribuées sur ces deux rôles. Nous avons montré qu'ils ne sont pas figés dans le temps : leurs attribution et états dans le temps sont gérés par différents mécanismes. En effets, nous avons observé plusieurs changements de rôles qui donnent au processus un aspect dynamique.

Nous trouvons aussi des situations où tous les acteurs se mettent en situation de récepteurs. Il s'agit, dans ce cas, d'indisponibilité de la connaissance comme, par exemple, la connaissance sur les tables d'usinage des machines standard et l'entraxe des rainures sur ces tables, nécessaire pour accomplir une activité de conception qui est la définition du socle inférieur de l'étau.

Un changement de rôles non prévu peut perturber le déroulement normal du processus de partage de connaissances que ce soit du coté de l'émetteur ou celui du récepteur. Dans certains cas, les acteurs expriment cette perturbation explicitement.

Nous avons ensuite analysé les transmissions dans les processus de partage de connaissances en fonction de leur contenu par rapport aux domaines fonction, comportement, structures et règles. L'ensemble de ces domaines était partagé par les acteurs : ils n'y avait pas de répartition de métiers selon les domaines. Nous notons surtout la forte importance des interventions portant sur la structure. Cette importance est encore plus forte dans le cas où la connaissance concerne le système que dans le cas où elle concerne le milieu extérieur.

Conclusion générale

Nos travaux de recherche présentés dans ce mémoire portent sur le processus de partage de connaissances produit en conception mécanique. Nous souhaitons comprendre comment les acteurs du processus de conception procèdent pour partager des connaissances relatives à leurs métiers spécifiques.

Nous avons commencé, au travers de nos études bibliographiques, à définir ce que nous entendons par connaissances en conception. Nous avons, en particulier, éclairci les différences entre les termes, connaissances, informations et données. Les données sont des symboles décrivant des situations données. Les informations sont des données dont l'utilisateur est conscient du contexte. Les connaissances sont des informations que l'utilisateur peut interpréter. Ces trois termes sont donc liés et ne peuvent être définis dans l'absolu.

Nous avons ensuite étudié la prise en compte des connaissances dans les différentes approches pour étudier le processus de conception mécanique. Nous avons notamment présenté certaines approches prescriptives telles que celle de *Pahl* et *Beitz*. Certaines études montrent qu'en suivant cette approche, les connaissances utilisées dépendent de la phase de conception dans laquelle les acteurs se trouvent. Toutefois, nous avons estimé qu'une typologie des connaissances basée sur les phases de conception ne peut être pertinente compte tenu que même pendant une même phase de conception, les acteurs effectuent plusieurs types d'activités et mobilisent donc plusieurs types de connaissances. Le modèle de conception distribuée et celui de l'approche sociotechnique considèrent que les connaissances sont inclues dans les mondes de la conception bien que la définition de la notion de mondes soit largement différente entre ces deux approches. Toutefois, un partage de connaissances entre les mondes de la conception est nécessaire pour l'émergence du produit.

La conception collaborative a pour objectif de mettre en commun les connaissances individuelles des différents intervenants sur le produit. Le modèle de communication basé sur l'envoi et la réception d'informations n'est pas suffisant pour décrire les interactions entre les acteurs du processus de conception. Ce modèle ne tient pas compte de la notion de co-construction.

Certaines typologies des connaissances existent. Nous avons présenté celles qui font la dichotomie entre connaissances explicites et implicites, procédurales et déclaratives, actives et latentes, actives et passives, statiques et dynamiques, superficielles et profondes. Ce sont les trois premières typologies qui nous intéressent en particulier puisque nous nous focalisons sur les connaissances partagées et donc explicitées, des connaissances relatives au produit donc déclarative et mises en application dans le processus de conception, donc actives.

Nous avons conclu ce premier chapitre par la définition du processus de partage de connaissances comme objectif pour nos travaux de recherche. Ce choix est motivé par l'importance du partage de connaissances dans le processus de conception et l'absence de modèles d'activité permettant de le comprendre.

Pour atteindre cet objectif, nous avons présenté différentes approches de recherche pouvant nous guider dans notre étude. Nous avons tout d'abord présenté l'approche DRM (Design Research Methodology) proposée par *Blessing* et *al.* Cette méthodologie est globale et ne permet pas de donner les moyens d'exécuter chacune des étapes la constituant. Nous avons ensuite présenté la méthodologie de recherche utilisée au sein du laboratoire M3M et celle du *protocol analysis*. Nous avons combiné ces trois méthodes pour en extraire une approche personnelle adaptée à nos objectifs et nos moyens. Notre approche est constituée de trois grandes parties : la première est inductive et consiste à concevoir une expérience de conception, à observer le travail des concepteurs, à analyser les processus de partage de connaissances observés, et enfin à émettre nos premières hypothèses sur le déroulement de ce processus. La deuxième est hypothétique et consiste à trouver un modèle du processus de partage de connaissances, basé sur les hypothèses émises dans la première partie. La troisième partie de la démarche consiste à observer une nouvelle expérience offrant un panel de données plus large et des conditions de conception différentes de la première expérience.

Nous avons réalisé une première expérience de conception distribuée impliquant trois concepteurs débutants, qui sont des étudiants en fin de cursus, dans la conception d'un étau inclinable, destiné au maintien des pièces pendant leur processus d'usinage.

Un différentiel de connaissances à été volontairement créé entre les acteurs de cette expérience : ceux-ci ont des formations différentes et occupent des métiers différents dans l'expérience. Des termes spécifiques à ces métiers ont été introduits dans le cahier des charges pour accentuer ce différentiel de connaissances.

Nous avons collecté un grand nombre de données de ce processus de conception, telles que les échanges entre acteurs, que nous avons transcrits en corpus, et les différents

objets produits et échangés. Nous avons ensuite analysé cette expérience pour extraire les différents passages ayant un lien avec un partage de connaissances. Ce premier repérage de situations de partage de connaissances est fait sur la base de critères introduits dans le cahier des charges et faisant appel à des connaissances spécifiques au métier de fabrication.

Sur la base de ces premières situations, nous avons établi un premier modèle simple du processus de partage de connaissances, constitué de trois étapes : transmission, absorption et action.

Ce premier modèle confronté aux mêmes situations de départ se voit insuffisant pour décrire le processus de partage de connaissances. Nous avons alors proposé un deuxième modèle plus complet qui, en plus des trois étapes du premier modèle, contient une étape de déclenchement permettant de nous rendre compte de l'activation du processus, de l'étape de validation intermédiaire qui permet de rendre compte du bon déroulement ou pas des étapes de transmission et d'absorption et enfin une étape de validation finale basée sur l'étape de l'action et permettant de rendre compte du bon déroulement du processus de partage de connaissances.

Nous avons ensuite appliqué ce modèle pour extraire toutes les situations ayant eu lieu dans la première expérience. Celles-ci sont au nombre de neuf.

Nous avons aussi étudié une deuxième expérience de conception plus longue que la première et initialement conçue pour d'autres objectifs. Elle se déroule en présentiel et implique des concepteurs plus expérimentés que ceux de la première expérience (enseignants en mécanique à l'université). Elle avait pour sujet de concevoir un broyeur agricole. Nous avons utilisé le modèle générique proposé pour repérer toutes les situations de partage de connaissances dans cette deuxième expérience. Contrairement à la première expérience, ces situations sont naturellement émergentes et n'ont pas été volontairement provoquées. Elles sont au nombre de cinquante trois.

L'ensemble des situations relevées dans les deux expériences nous a permis d'étudier les modalités d'exécution des différentes étapes du modèle.

Nous avons ainsi relevé trois modes pouvant déclencher un processus de partage de connaissances : une demande explicite exprimée par un membre de l'équipe de conception, une réaction à une activité de conception, et enfin une proposition spontanée.

Nous avons aussi observé deux modes de transmission : verbal et graphique. Les situations observées pendant l'expérience distribuée ont montré que les acteurs suivaient

une approche d' « essai-erreur » pour choisir leur mode de transmission, en commençant par le mode verbal qui est le plus facile et spontané à utiliser.

Une comparaison entre les deux expériences étudiées a montré que pendant l'expérience en présentiel, les concepteurs utilisent beaucoup plus les transmissions graphiques que pendant l'expérience distribuée, et ne suivent pas l'approche d' « essai-erreur » pour choisir le mode de transmission. Nous avons interprété cette différence par la facilité de partager des objets graphiques dans le cas du processus de conception en présentiel.

La transmission graphique passe par des supports que nous avons classés en deux catégories : les objets de conception et les objets de connaissance que nous avons appelés « Knowledge Objects » par analogie avec les « Design Objects ». Si les premiers servent à accomplir une activité de conception et sont, en même temps, utilisés par les acteurs comme support pour la transmission graphique, les seconds ne servent qu'à la transmission graphique pendant le processus de partage de connaissances. Nous avons montré que ces objets ont une durée de vie courte. Ils sont abandonnés par les concepteurs dès que la transmission est achevée. Nous avons constaté que ces objets sont beaucoup plus utilisés pendant le processus de conception distribué que pendant le processus de conception en présentiel où des objets de conception ont été partagés en permanence et utilisés pendant les processus de partage de connaissances, les acteurs n'avaient pas besoin de créer de nouveaux objets supports de leur transmissions graphiques.

Les étapes de validation, qu'elle soit intermédiaire ou finale, positive ou négative, sont souvent implicites. Nous avons aussi mis en évidence que les concepteurs participant à un processus de partage de connaissances peuvent occuper deux rôles bien définis : le rôle de l'émetteur et celui de récepteur. Les différentes étapes du modèle sont distribuées entre ces deux rôles. Ainsi, les étapes de transmission et de validation finale sont exclusivement faites par l'émetteur, les étapes d'absorption, de validation intermédiaire et d'action sont faites par le récepteur. L'étape de déclenchement peut être faite soit par l'émetteur, soit par le récepteur selon le mode de déclenchement de chaque processus.

Le processus de partage de connaissances est, toutefois, dynamique. Ainsi plusieurs mécanismes de rôles ont lieu : assignation de rôles, acceptation ou refus de rôle, changement de rôles, etc. Ces mécanismes, notamment le dernier, peuvent affecter le bon déroulement du processus.

Nous avons aussi établi les liens pouvant exister entre les activités de conception et les processus de partage de connaissance. Nous avons classifié ces liens en trois types : le premier est un lien prévisionnel consistant à partager une connaissance en prévision

d'une activité de conception ultérieure, le deuxième est un lien in situ consistant à partager une connaissance pour pouvoir exécuter une activité de conception en cours, et enfin le troisième type de lien est rétrospectif et consiste à partager une connaissance pour le besoin d'une activité de conception déjà exécutée. Ce type de lien sert généralement à la justification des choix de conception.

Tous les processus de partage de connaissances observés ne suivent pas intégralement le modèle que nous avons proposé. En effet, certains sont incomplets, notamment l'étape de validation finale n'est pas toujours observée. Dans d'autres processus, l'émetteur prend la main et exécute lui même l'action pour accélérer l'activité de conception concernée.

Nous avons aussi étudié la nature des connaissances partagées pendant le processus de conception dans les deux expériences. Nous avons proposé une première dichotomie basée sur la différence entre connaissances relatives au milieu extérieur et celles relatives au produit à concevoir.

Nous avons aussi établi une typologie des informations transférées pendant l'étape de transmission basée sur le modèle Fonction-Comportement-Structure. Nous pouvons affirmer qu'il existe des connaissances relatives aux fonctions, aux comportements, aux structures et enfin d'autres relatives aux règles, c'est à dire à des connections entre ces trois mondes. Cela nous conduit à nous interroger sur la possibilité de considérer les domaines fonctions, comportements et structures, comme des mondes comportant les connaissances nécessaires à la conception des produits. Des connaissances entre les mondes existent aussi bien que ce type de connaissances a été peu observé dans les deux expériences de conception réalisées. Nous pensons que des protocoles plus directifs peuvent aider à les expliciter et les observer.

D'autres travaux futurs peuvent être envisagés pour compléter ce travail. Nous proposons d'effectuer une deuxième validation des résultats obtenus par l'étude d'un panel plus large de processus de partage de connaissances, issus d'autres types de processus de conception tels que le suivi de processus industriel impliquant des concepteurs plus expérimentés. Ceci permettrait, par exemple, de définir des liens plus pertinents entre les activités de conception et les processus de partage de connaissances. Nous pensons en particulier à des liens sémantiques. La validation de notre modèle proposé par ce type de données pourra aboutir à la définition des modes d'échec dans le processus de partage de connaissances. Les modes d'échec trouvés, combinés avec les modèles SADT et UML que nous avons proposés sont des recommandations et spécifications d'outils

permettant de faciliter et d'accélérer le processus de partage des connaissances produit en conception.

Nous nous interrogeons aussi sur les situations de partage de connaissances qui ont eu lieu mais que nous n'avons pu observer à cause de l'absence de l'étape d'action. En effet, nous pensons qu'un processus de partage de connaissances peut effectivement avoir lieu sans que l'émetteur mobilise la connaissance reçue pendant le processus de conception en cours. Il s'agit alors d'une connaissance passive (paragraphe 1.2.2.3). Pour pouvoir observer de tels processus de partage de connaissances, il est nécessaire d'effectuer des expériences de conception avec des protocoles plus directifs qui demanderaient aux concepteurs d'effectuer une action sur la base de chaque information reçue. Cette demande peut être faite dans une expérience annexée à l'expérience principale.

Références Bibliographiques

[Ahmed, 1999] S. Ahmed, L.T.M. Blessing, K.M. Wallace, ***"The Relationship Between Data, Information and Knowledge based on an Observation of Engineering Designers"***. Design Theory and Methodology, ASME, Las Vegas, Nevada, September 1999.

[Ahmed, 2000] S. Ahmed, ***"Understanding the use and reuse of experience in engineering design"***, PhD thesis, Cambridge University Engineering Department, 2001.

[Akin et al., 1996] O. Akin, C. Lin, ***"Design protocol data and novel design decisions",*** in "Analysing design activity", N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst (Eds), J. Wiley and sons, England, 1996.

[Archer, 1976] B. Archer, ***"The three Rs"***, Lecture delivered at Manchester Regional Centre for Science and Technology, 7 May 1976.

[Ashforth, 2001] B.E. Ashfort, ***"Role Transitions in Organizational Life: An Identity-based Perspective"***, Mahwah, 2001

[Asimow, 1962] M. Asimow, ***"Introduction to Engineering Design"***, J.B. Reswick (Eds), Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1962.

[Bannon et al., 1989] L.J. Bannon, N. Bjorn-Andersen, B.D. Thomsen ***"Computer Support for Cooperative Work: An appraisal and critique"***. Information Systems for Organisational Effectiveness (EURINFO '88), Amsterdam, 1989.

[Baya et al., 1996] V. Baya, L. J. Leifer ***"Understanding information management in conceptual design"***, in "Analysing design activity", N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst (Eds), J. Wiley and sons, England, 1996.

[Béguin, 1994] P. Béguin, ***"Travailler avec la C.A.O. en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments"***, Thèse de doctorat en Ergonomie, Paris, Laboratoire d'Ergonomie, CNAM. 1994.

[Belkadi et al.,2004] F. Belkadi, E. Bonjour, M. Dulmet, ***"Vers un modèle de situation support à la conception collaborative"***, Actes du colloque Coopération, Innovation et Technologies (CITE'2003), Troyes, France, Décembre 2003.

[Beuscart, 1998] R. Beuscart, ***"Travail coopératif et réseaux"***, Informatique et Santé : Springer-Verlag, Vol. 10, pp. 3-10, France, Paris, 1998.

[Blanco, 1998] E. Blanco, ***"L'émergence du produit dans la conception distribuée, vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécanique"***, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Industriel, décembre 1998.

[Blessing, 1996] L.T.M. Blessing, ***"Design Process Capture and Support"***, Proceedings of the 2nd WDK Workshop on Product Structuring, Vol. 2, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, pp. 109-121, June 1996.

[Blessing et al., 1998] L.T.M. Blessing, A. Chakrabarti, K.M. Wallance, ***"An overview of descriptive studies in relation to a general design research methodology"***, in "Designers - the Key to Successful Product Development", Darmstadt, Germany. E. Frankenberger, P. Badke-Schaub, H. Birkhofer (Eds), Springer Verlag, pp. 42-56, 1998.

[Bohn, 1994] R.E. Bohn, **"*Measuring and Managing Technological Knowledge",*** Sloan Management Review, Vol. 36, N°1, pp. 61–73, 1 994.

[Bostrom, 1980] R. P. Bostrom, ***"Role conflict and ambiguity: Critical variables in the MIS user-designer relationship"***, Proceedings of the 17th annual computer personnel research conference, pp. 88-115, Miami, Florida, United States, 1980.

[Boujut 2000] J.F. Boujut, ***"Intégration produit-process en conception : organisation et outils"***, Rapport d'activité, programme PROSPER : Systèmes de production, Stratégies, Conception, Gestion, 2000.

[Boujut et al., 2002] J.F. Boujut, P. Laureillard, ***"A Co-operation Framework For Product-Process Integration In Engineering Design"***, Design Studies, Vol. 23, N°6, pp.497-513, 2002.

[Boy, 1991] G. Boy, ***"Intelligent Assistant Systems"***, Knowledge-Based Systems, G. Boose and B. Gaines (Eds), Vol. 6, London, Academic Press, 1991.

[Brissaud et al., 1998] D. Brissaud, O. Garro, ***"Conception distribuée, émergence"***, dans "Conception de produits mécaniques - Méthodes, modèles et outils", sous la direction de M. Tollenaere, Editions HERMES, pp.105-114, Paris, 1998.

[Brissaud et al., 2003] D. Brissaud, O. Garro, O. Poveda, ***"Design process logic capture and support by abstraction of criteria"***, Research in Engineering Design, Vol.14, pp.162-172, 2003.

[Brna, 1998] P. Brna, ***"Models of Collaboration"***, Proceedings of the Workshop on Informatics in Education, XVIII Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação Rumoa Sociedade do Conhecimento in Belo Horizone, Brazil, disponible à l'URL http://www.scre.ac.uk/personal/pb/papers/bcs98paper/bcs98.html

[Bucciarelli, 1984] L.L. Bucciarelli, ***"Reflective practice in engineering design"***, Design Studies, Vol.5, N°3, pp. 185-190, 1984.

[Bucciarelli, 2001] L.L. Bucciarelli, ***"Design Knowing and Learning: A socially Mediated Activity"*,** in "Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education", C. Eastman, M. McCracken, W. Newstetter (Eds), Atlanta, GA, USA, 2001.

[Chai et al., 2003] K.H. Chai, M. Gregory, Y.J. Shi, ***"Bridging islands of knowledge: a framework of knowledge sharing mechanisms"***, International Journal of Technology Management, Vol. 25, N°8, pp. 703-727, 2003.

[Chartier, 2007] J. Chartier, ***"Développement de pratiques collaboratives à distance en ingénierie de produit"***, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Industriel, manuscrit provisoire non publié à la date de consultation (décembre 2007).

[Checkland, 1981] P. Checkland, ***"Systems Thinking, Systems Practice"***, Wiley (Eds), Chichester, 1981.

[Choulier, 2004] D. Choulier, ***"Couples of design acts, a way for identifying elementary design tasks"***, Proceedings of the International CIRP Design Seminar, Cairo, Egypt, may 2004.

[Christiaans, 1992] H.H.C.M. Christiaans, ***"Creativity in Design: The Role of Domain Knowledge in Designing"***, Doctoral dissertation, Delft University of Technology, Delft, 1992.

[Collingwood, 1982] R.G. Collingwood, ***"The Principles of Art"***, Oxford University Press, 1982.

[Cooley, 1988] M. Cooley, ***"From Brunelleschi to CAD-CAM"***, in "Design After Modernism", J. Thackara (Eds), Thames and Hudson, London, 1988.

[Court, 1995] A. Court, ***"The Modeling and Classification of Information for Engineering Designers",*** PhD thesis, University of Bath, 1995.

[Cross, 1989] N. Cross, ***"Engineering Design Methods"***, John Wiley and Sons (Eds), Chichester, 1989.

[Cross et al., 1996] N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst, ***"Introduction: the Delft protocol workshop",*** in "Analysing design activity", N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst (Eds), J. Wiley and sons, England, 1996.

[Cross, 1997] N. Cross, ***"Descriptive models of creative design: application to an example"***, Design Studies, Vol.18, N°4, pp 427 – 440, 1997.

[Cross, 2001] N. Cross, ***"Design cognition: results from protocol and other empirical studies of design activity"***, in "Design knowing and learning, Cognition design education", C.M. Eastman, W.M McCracken, W.C. Newstetter (Eds), Georgia institute of technology, Atlanta, 2001.

[Darke, 1979] J. Darke, ***"The primary generator and the design process"***, Design Studies, vol.1, N°1, pp.36-34.

[Darses, 1996] F. Darses, P. Falzon, ***"La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive",*** dans "Coopération et Conception", G. De Terssac, E. Friedberg (Eds), Octarès, Toulouse, 1996.

[Darses, 1997] F. Darses, ***"L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception"***, dans "Ingénierie concourante : de la technique au social", P. Bossard, C. Chanchevrier, P. Leclair (Eds), Economica, Paris, 1997.

[Darses et al., 2001] F. Darses, F. Détienne, P. Falzon, W. Visser, ***"A Method for Analysing Collective Design Processes"***, Rapport de recherche RR-4258 de l'INRIA-Rocquencourt, Equipe EIFFEL, disponible à l'URL http://www.inria.fr/rrrt/rr-4258.html

[Dassault 2004] Dassault SYSTEMES, CATIA V5, 9 quai Marcel Dassault, 92150 Suresnes, 2004, http://www.3ds.com

[Dendien, 2004] J. Dendien, ***"Le trésor de la langue française informatisé"***, ATILF (Analyse et traitement Informatisé de la langue française) - CNRS/Université Nancy 2, 44, avenue de la libération, 54063 Nancy, 2004, disponible à l'URL http://www.atilf.inalf.fr

[Diaz, 2005] A. Diaz, ***"Supporting Divergences in Knowledge Sharing Communities"***, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré – Nancy et Universidad Nacional de La Plata (Argentine), spécialité informatique, octobre 2005.

[Dillenbourg et al, 1996] P. Dillenbourg, M.J. Baker, A. Blaye, C. O'Malley, ***"The evolution of research on collaborative learning",*** in "Learning in Humans and Machines: Towards an Interdisciplinary Learning Science", P. Reimann & H. Spada (Eds), Pergamon, Oxford, pp. 189-211, 1996.

[Dix et al., 2003] A. Dix, J. Finlay, G. Abowd, R. Beale ***"Human-Computer Interaction"***, 3rd Edition, Prentice Hall.

[Donnellan, 2004] B. Donnellan, B. Fitzgerald, ***"Towards a knowledge typology for new product development engineering processes"***, Proceedings of the Engineering Management Conference, IEEE International, Vol.2, pp. 630-634, October 2004.

[Dorst, 1996] K. Dorst, ***"The design problem and its structure"***, in "Analysing design activity", N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst (Eds), J. Wiley and sons, England, 1996.

[Edwards, 1996] W.K. Edwards, ***"Policies and Roles in Collaborative Applications"***, Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, Boston, Massachusetts, USA, pp.11-20, November 1996.

[Ellis et al., 1991] C.A. Ellis, S.J. Gibbs, G. Rein, ***"Groupware, some issues and experiences"***, Communications of the ACM, Vol.34, N°1, pp. 39-58 , January 1991.

[Ericson et al., 1993] K.A. Ericsson, H.A. Simon ***"Protocol Analysis: Verbal reports as data",*** A Bredford Book, *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts, 1993.

[Feinman, 2006] A.C. Feinman, ***"From Discourse analysis to Groupware Design"****, PhD thesis,* Faculty of the Graduate School of Arts and Sciences, Brandeis University, Michtom school of Computer Science, May 2006.

[Frankfort-Nachmias, 1996] C. Frankfort-Nachmias, D. Nachmias, ***"Research methods in the social sciences"***, Arnold (Eds), London, 1996.

[French, 1971] M.J. French, ***"Engineering Design: The Conceptual Stage"***, London: Heinemann Educational, 1971.

[French, 1985] M.J. French, ***"Conceptual Design for Engineers"***, London, Springer-Verlag, 1985.

[Gardoni, 1999] M. Gardoni***, "Maîtrise de l'information non structurée et capitalisation de savoir et savoir-faire en Ingénierie intégrée. Cas d'étude Aérospatiale",*** Thèse de doctorat, Université de Metz (EADS), 1999.

[Garro, 1995] O. GARRO, ***"Une expérience de conception distribuée"***, Le communicationnel pour concevoir, Eutopia Production, Paris, France, 1995.

[Gero et al., 2004] J. Gero, U. Kannengiesser, ***"The situated function-behaviour-structure framework"***, Design Studies, Vol.25, N°4, pp. 373-391, July 2004.

[Gettier, 1963] E. Gettier, ***"Is Justified True Belief Knowledge?"***, Analysis, Vol. 23, N°6, pp.121-123, June 1963.

[Goffman, 1959] E. Goffman, ***"The presentation of self in everyday life"***, Doubleday (Eds), Garden city, New York, 1959.

[Grant, 1997] E. Grant, ***"The International Transfer of Manufacturing: Linking Content and Process"***, PhD thesis, Cambridge University, 1997.

[Gray, 1989] B. Gray, ***"Collaborating: Finding Common Ground for Multiparty Problems"***, Jossey-Bass (Eds), San Francisco, May1989.

[Grudin, 1994] J. Grudin, ***"Computer supported cooperative work: history and focus"***, IEEE Computer, Vol.27, N°5, pp. 19-26, May 1994.

[Guttieriez et al., 2003] B. Gutierrez, P. Esquirol, J. Erschler, ***"Coopération pour la planification et l'affectation des activités dans les processus socio-techniques"***, Rapport LAAS N°03371, 2003.

[Hermann et al., 2004] T. Hermann, I. Jahnke, K.U. Lose ***"The Role Concept as a Basis for Designing Community Systems"***, in "Cooperative Systems Design", F. Darses, R. Dieng, C. Simone, M. Zacklad (Eds), IOS Press, Amsterdam, Netherlands, 2004.

[Horrigue et al., 2004] A. Horrigue, T. Boudouh, J.P. MICAËLLI, M. FERNEY ***"La conception collaborative : éléments d'analyse"***, Congrès International de Mécanique Avancée (CIMA'2004), BOUMERDES, Algérie, novembre-décembre 2004.

[Horrigue et al., 2005] A. Horrigue, T. Boudouh, M. FERNEY ***"Conception collaborative : identification et facteurs de succès"***, Congrès International de Génie Industriel (CIGI'2005), Besançon, France, juin 2005.

[Horrigue et al., 2006] A. Horrigue, T. Boudouh, D. Choulier ***"Knowledge sharing observation and modelling in distributed design teams"***, Proceedings of the 9th International Design Conference (Design 2006), Dubrovnik, Croatia, May 2006.

[Jakobson, 1963] R. Jakobson, ***"Essais de linguistique générale"***, Éditions de Minuit, Paris, 1963.

[Jeantet et al., 1996] A. Jeantet, H. Tiger, D. Vinck, S. Tichkiewitch, ***"La coopération par les objets intermédiaires dans les équipes intégrées de conception de produits"***, dans "Coopération et Conception", G. De Terssac, E. Friedberg (Eds), Octarès, Toulouse, 1996.

[Jeantet, 1998] A. Jeantet, ***"Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception"***, sociologie du travail, N°3, pp. 291-316, 1998.

[Jeantet et al.,1998] A. Jeantet, J.F. Boujut, ***"Approche sociotechnique des processus de conception"***, dans "Conception de produits mécaniques - Méthodes, modèles et outils", sous la direction de M. Tollenaere, Editions HERMÈS, Paris, 1998.

[Jensen, 1998] T. Jensen, ***"Capturing and Reuse of Design Knowledge during the Conceptual design Process: Illustrated with a Snap-Fit Joint"***, Proceedings of the International Workshop on Computer Aided Conceptual Design (CACD'98), Lancaster, 1998.

[Jensen, 1999] T. Jensen, ***"Function Modelling in a Design Support System",*** PhD thesis, Technical University of Denmark, 1999.

[Johnson, 1992] P. Johnson, ***"Human Computer Interaction"***, McGraw-Hill (Eds), 1992.

[Kahn, 1964] R.L. Kahn, D.M. Wolfe, R.P. Quinn, J.S. Snoek, R.A. Rosenthal, ***"Organizational Stress: Studies in Role Conflict and Ambiguity"***, John Wiley and Sons (Eds), New York, 1964.

[Karsten et al., 1998] H. Karsten, M. Jones, ***"The Long and Winding Road: Collaborative IT and organisational change"***, Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'98), pp. 29 – 38, Seattle, Washington, USA, 1998.

[Kavakli et al., 2002] M. Kavakli, J.S. Gero, ***"The structure of concurrent cognitive actions: a case study on novice and experts designers"***, Design Studies, Vol.23, N°1, pp. 25 – 40.

[Kuate, 2006] G. Kuate, ***"Analyse d'activités de conception : contribution à la traçabilité des intentions de conception dans les modèles CAO"***, thèse de doctorat, spécialité Sciences pour l'ingénieur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2006.

[Kunz et al., 1979] W. Kunz, H.W.J. Rittel, ***"Issues as elements of information systems",*** Working Paper No.131, Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley, California, 1979, disponible à l'URL https://wiki.internet2.edu/confluence/download/attachments/17306/WP-131.pdf

[Kvan, 2000] T. Kvan, ***"Collaborative design: what is it?"***, Automation in Construction, Vol.9, N°4, pp. 409-415, New-York, Elsevier, 2000.

[Lasswell, 1948] H.D. Lasswell, ***"Structure et fonction de la communication dans la société"***, dans "Sciences de l'information et de la communication", D. Bougnoux (Eds), Larousse, Paris, 1993, pp. 698-703.

[Laureillard, 2000] P. Laureillard, ***"Conception intégrée dans l'usage : mise en oeuvre d'un dispositif d'intégration produit-process dans une filière de conception de pièces forgées"***, thèse de doctorat, spécialité Génie Industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.

[Lee, 1997] J. Lee, ***"Design Rationale Systems: Understanding the Issues"***, IEEE Expert, May/June, pp. 78- 85, 1997.

[Legardeur, 2003] J. Legardeur, C. Merlo, I. Franchistéguy, C. Bareigts, ***"Coordination et coopération dans les processus de conception"***, Colloque AIP Priméca, La Plagne, avril 2003.

[Leland et al., 1988] M.D.P. Leland, R.S. Fish, R.E. Kraut, ***"Collaborative Document Production Using Quilt"***, Proceedings of the Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'88), Portland, OR, USA, pp. 206-215, 1988.

[Lesca et al., 1995] H. Lesca, E. Lesca, ***"Gestion de l'information"***, dans "Information et Adaptation de l'Entreprise", Masson (Eds), Paris, 1995.

[Lonchampt, 2004] P. Longchamp, ***"Co évolution et processus de conception intégrée de produits : modèle et support de l'activité de conception"***, thèse de doctorat, spécialité Génie Industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble, Juin 2004.

[Marsh, 1997] J.R. Marsh, ***"The Capture and Utilisation of Experience in Engineering Design"***, PhD thesis, Cambridge University, 1997.

[Mattessich, 1992]. P.W. Mattessich, B.R. Monsey, ***"Collaboration: What Makes It Work"***, Amherst H. Wilder Foundation, St. Paul, MN, 1992.

[Mazijoglou et al., 1996] M. Mazijoglou, S. Scrivener, S. Clark ***"Representing design workspace activity - Importance of drawing and sketching"***, in "Analysing design activity", N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst (Eds), J. Wiley and sons, England, 1996.

[McGregor, 2002] S.P. McGregor, ***"Describing and Supporting the distributed Workspace : Towards a prescriptive process for Design Teams"***, PhD thesis, University of Strathclyde, Department of Design, Manufacture and Engineering Management, Glasgow, Scotland, UK, 2002.

[McKerlie et al., 1994] D. McKerlie, A. MacLean, ***"Reasoning with Design Rationale: Practical Experience with Design Space"***, Design Studies, Vol.15, N°2, pp. 214-227, 1994.

[McQueen, 1998] R.J. McQueen, ***"Four views of Knowledge and Knowledge Management"***, Proceedings of the American Conference on Information Systems, Maryland, USA, E. Hoadley and I. Benbaast (Eds), Association of Information Systems, pp. 609-611, August 1998.

[Mer et al., 1995] S. Mer, A. Jeantet, S. Tichkiewitch, ***"Les objets intermédiaires de la conception : modélisation et communication"***, dans "Le communicationnel pour concevoir", J. Caelen et K. Zreik (Eds), Europia, 1995.

[Mer, 1998] S. Mer, ***"Les mondes et les outils de la conception, pour une approche socio-technique de la conception de produit"***, thèse de doctorat, spécialité Génie Industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1998.

[Mer, 2003] S. Mer, ***"The structural engineer in the design office: a world, its objects, and its work practices, in Everyday engineering - An ethnography of design and innovation"***, D. Vinck (Eds), The MIT press Cambridge, Massachusetts, London, 2003, translated from "ingénieurs au quotidien : ethnographie de l'activité de conception et d'innovation", PUG, 1999.

[Mintzberg, 1982] H. Mintzberg, ***"Structure et dynamique des organisations"***, Les Éditions d'Organisation, Paris, 1982.

[Movahedkhah, 2006] R. Movahedkhah, ***"Contribution à l'analyse du processus de conception collaborative et distribuée, en vue du développement des systèmes multi-agents"***, thèse de doctorat, spécialité Sciences pour l'Ingénieur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2006.

[Myers, 1991] J. Myers, ***"Cooperative learning in heterogeneous classes"***, Cooperative Learning, Vol.11, N°4, July 1991.

[Nonaka et al., 1995] I. Nonaka, H. Takeuchi, ***"The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation"***, Oxford University Press, Oxford, 1995.

[O'Hara et al., 1997] K. O'Hara, N. Shadbolt, ***"Interpreting generic structures: Expert Systems, Expertise and Context"***, in "Expertise in Context", AAAI Press, California, Vol.1, pp. 449-472, 1997.

[Orel et al, 1992] T. Orel, K. Zreik, ***"Conception : quelques repères historiques"***, Revue sciences et techniques de la conception, Vol.1, N°1, pp.7-20, 1992.

[Pahl et al., 1977] G. Pahl, W. Beitz, ***"Engineering Design: A systematic Approach"***, Springer-Verlag, 1977.

[Pavard, 1994] P. Pavard, ***"Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception"***, Editions Octares, 1994.

[Perrin, 2001] J. Perrin, ***"Conception entre science et art. Regards multiples sur la conception"***, Publié sous la direction de J. Perrin, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2001.

[Perttula et al., 2004] M. Perttula, M. Salonen, K. Ekman, ***"Solution Search Strategies Used by Design Teams in the Early Design Phases"***, Proceedings of the 6th International Conference on the Design of Cooperative Systems (COOP'04), Hyères, France, May 2004.

[Pierreval, 1990] H. Pierreval, ***"Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production"***, Editions Hermès, Paris, 1990.

[Plantinga, 1992] A. Plantinga, ***"Warrant and Proper Function"***, Oxford University Press, New York, 1992.

[Polyani, 1966]. M. Polyani, ***"The Tacit Dimension"***, Doubleday and Company (Eds), London, 1966.

[Prudhomme et al., 2005] G. Prudhomme, D. Brissaud, D. Choulier, ***"Clustering engineering design research: A methodological framework"***, International Conference on Engineering design (ICED'2005), Melbourne, Australia, 2005.

[Puleo 2003] M. Puleo, ***"It's not just Summer reading anymore: building bridges through the year between school and public librarians"***, NMRLS Introduction to Dynamics Youth Library Services Workshop, April 2003, disponible à l'URL http://www.nmrls.org/youth/idyls03.html

[Riley al., 1959] M.W. Riley, J.W. Jr. Riley ***"Scaling and the Clarification of Concepts"*** in "Use of Judgments as Data in Social Work Research", Proceedings of a Conference held by the Research Section of the National Association of Social Workers, June 8-13, 1958, A.W. Shyne (eds), National Association of Social Workers, pp. 79-88, New York, 1959.

[Roschelle et al., 1995] J. Roschelle, S. Teasley, ***"The construction of shared knowledge in collaborative problem solving"***, in "Computer Supported Collaborative Learning", C.E. O'Malley (Eds), pp.69-97, Springer-Verlag, Heidelberg, 1995.

[Rose, 2004] B. Rose, ***"Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO²MED (COllaborative COnflict Management in Engineering Design), Prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP"***, thèse de doctorat, spécialité Automatique, Traitement du Signal, Génie Informatique, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2004.

[Sardas et al. 2002] J.C. Sardas, J. Erschler, G. De Terssac, ***"Coopération et organisation de l'action collective"*** dans "Coopération et connaissance dans les systèmes industriels", sous la direction de R. Soënen, J. Perrin, Hermès-Lavoisier, Paris, 2002.

[Schlegel, 2004] D. Schlegel, ***"Contribution à l'intégration du métier maintenance dans le processus de conception : une approche expérimentale"***, thèse de doctorat, spécialité Sciences pour l'Ingénieur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, décembre 2004.

[Shannon, 1948] C.E. Shannon, ***"A Mathematical Theory of Communication"***, The bell System Technical Journal, Vol.27, pp.379-423, 623-656, July-October 1948. Disponible à l'URL http://plan9.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf

[Skyrme, 1997] D.J. Skyrme, ***"Knowledge management: Oxymoron or Dynamic Duo?"***, Managing Information, Vol.4, N°7, pp.24-26, 1997. , disponible à l'URL http://www.skyrme.com/pubs/kmoxy.htm

[Smith et al., 1998] R.B. Smith, R. Hixon, B. Horan, ***"Supporting flexible roles in a shared Space"***, Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'98), pp.197–206, Seattle, WA, 1998.

[Smithers, 1998] T. Smithers, ***"Towards a knowledge level theory of design process"***, in "Artificial intelligence in design 98", J.S. Gero, F. Sudweeks (Eds), Kluwer academic publishers, 1998.

[Soubie et al., 1996] J.L. Soubie, F. Duratto, C. Chabaud, ***"La conception de la coopération et la coopération dans la conception"***, dans "Coopération et Conception", G. De Terssac, E. Friedberg (Eds), Octarès, Toulouse, 1996.

[Stauffer et al., 1991] L. Stauffer, D. Ullman, T. Dietterich, ***"Protocol Analysis of Mechanical Engineering Design"***, Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED 87), Boston, MA, W.E. Eder (Eds), The American Society of Mechanical Engineers, Vol.1, 1987.

[Strijbos et al., 2003] J.W. Strijbos, R. Martens, W. Jochems, ***"The Effect of Roles on Group Efficiency"***, Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning, B. Wasson, R. Baggetoun, U. Hoppe, S. Ludvigsen (Eds), Bergen, Norway, 2003.

[Studer, 1998] R. Studer, V.R. Benjamins, D. Fensel, ***"Knowledge Engineering: Principles and Methods"***, Data and Knowledge Engineering, Vol.25, pp. 161-197, 1998.

[Subrahmanian, 1992] E. Subrahmanian, ***"Notes on empirical studies of engineering tasks and environments"***, NSF Xerox Design Research Institute, Cornell University, 1992.

[Subrahmanian et al., 1993] E. Subrahmanian, S. Finger, T. Mitchell, ***"A Report on the NSF-EDRC Study of Product Design Processes in Selected Japanese Companies"***, Pittsburgh, PA, CMU, 1993.

[Suh, 1990] N.P. Suh, ***"The principle of design"***, Oxford University Press, New York, 1990.

[Tang,1991] J.C. Tang, ***"Findings from observational studies of collaborative work"***, International Journal of Man–Machine Studies, Vol.34, pp.43-160, 1991.

[Trognon et al., 1992] A. Trognon, C. Brassac, ***"L'enchaînement conversationnel"***. Cahiers de Linguistiques Française, Vol.13, pp. 76-107, 1992.

[Ullman et al., 1996] D.G. Ullman, D. Herling, A. Sinton, ***"Analysis of protocol data to identify product information evolution and decision making process"***, in "Analysing design activity", N. Cross, H. Christiaans, K. Dorst (Eds), J. Wiley and sons, England, 1996.

[Uluoglu, 2000] B. Uluoglu, ***"Design Knowledge Communicated in Studio Critiques"***, Design Studies, Vol.21, N°1, pp.33-58, January 20 00.

[Vance et al., 1998] D. Vance, J. Eynon, ***"On the Requirements of Knowledge Transfer Using Information Systems: A Schema Whereby Such Transfer is Enhanced"***, Proceedings of the Americas Conference on Information Systems, E. Hoadley and I. Benbaast (Eds), Association of Information Systems, pp.632-634, Maryland, USA, August 1998.

[Vinck, 1995] D. Vinck, ***"Sociologie des sciences"***, Editions Armand Colin, 1995.

[Visser, 2001] W. Visser, ***"Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive"***, Rapport de recherche RR-4257 de l'INRIA-Rocquencourt, Equipe EIFFEL, 2001, disponible à l'URL http://www.inria.fr/rrrt/rr-4257.html

[Wigg, 1999] K.M. Wigg, ***"Successful Knowledge Management is an Integrated Whole - Not an Assembly of Individual Pieces"***, Proceedings of Knowledge '99, London, Vol.1, pp.179-202, February 1999.

[Yannou, 2001] B. Yannou, "Préconception de produits, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Mécanique, juin 2001.

[Yin, 1994] R.K. Yin, ***"Case Study Research"***, 2nd edition, Applied Social Research Methods Series, Vol.5, SAGE Publications, London, 1994.

Annexes

Annexe A : Vers un modèle prescriptif du processus de partage de connaissances.

Annexe B : Cahier des charges de conception d'un étau inclinable.

Annexe C : Cahier des charges de conception d'un broyeur multiusage.

Annexe D : Récapitulatif des situations de partage de connaissances dans l'expérience de conception d'un broyeur multiusage.

Annexe E : Compléments de modèles SADT et UML du processus de partage de connaissances.

Annexe A

Vers un modèle prescriptif du processus de partage de connaissances

A.1 Introduction

Dans le dernier chapitre de ce mémoire, nous avons étudié le processus de partage de connaissances en conception mécanique : les composantes de ce processus ont été détaillées, ainsi que les modalités de déroulement de ses différentes étapes. Cette étude descriptive nous a permis de mieux comprendre le processus de partage des connaissances en conception et le comportement des concepteurs pendant ce processus. Elle nous a aussi permis de mettre en évidence la complexité de ce processus et la difficulté de partager certaines connaissances.

Dans cet annexe, nous proposons une modélisation plus formelle de ce processus à l'aide de la méthode SADT et du langage UML. Cette modélisation reste, toutefois, descriptive.

A.2 Modélisation SADT du processus de partage de connaissances

SADT (Structured Analysis and Design Technique, c'est-à-dire analyse structurée et technique de conception) est une méthode de modélisation générale utilisée à la fois au niveau des systèmes physiques, des systèmes d'information et des systèmes de décision. SADT prend en compte deux aspects dans la description des systèmes. Le premier aspect est relatif aux transformations, fonctions, activités, tâches, traitements, opérations, etc., qui s'effectuent dans le système quelle que soit sa nature. Le second aspect concerne les éléments, objets, données, informations, matériaux, etc., qui sont manipulés par les activités [*Pierreval,* 1990].

La méthode SADT constitue, donc, un langage universel que nous pouvons appliquer pour traduire le modèle générique que nous avons proposé dans le quatrième chapitre de ce mémoire.

La figure A.1 présente le niveau 0 du processus de partage de connaissance. Il s'agit du niveau le plus haut de la méthode SADT présentant le processus dans sa globalité en donnant les entrées du processus (flèches de gauche), les sorties (flèches de droite), les

contrôles (flèches du sommet) qui sont soit des données qui déclenchent ou inhibent, soit des paramètres ou des consignent qui régissent la transformation, et enfin, les mécanismes (flèches inférieures), qui désigne les personnes, les services, les ressources ou tout autre élément qui supporte ou effectue la fonction.

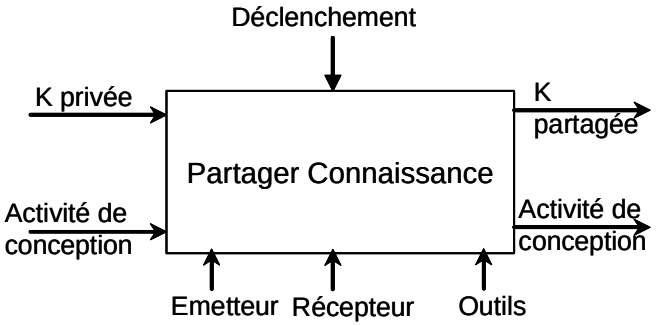


Figure A.1 : Modèle SADT de niveau 0 du processus de partage de connaissances.

Considéré comme une boîte noire, un processus de partage de connaissances a deux points d'entrée : le premier est une connaissance privée implicite détenue par une partie de l'ensemble des acteurs participant au processus de conception, et le deuxième est une activité de conception qui n'est pas correctement accomplie à cause de l'indisponibilité de la connaissance chez les acteurs qui doivent l'accomplir. Ce processus est contrôlé par l'étape de déclenchement.

Pour accomplir un processus de partage de connaissances, trois mécanismes sont nécessaires : un ou plusieurs acteurs occupant le rôle d'émetteur, un ou plusieurs acteurs occupant le rôle de récepteur et des outils supports de l'activité (outils de communication, de dessin, objets, etc.).

A.2.1 Niveau 1

En détaillant cette boite "noire" selon le modèle générique du processus de partage de connaissances présenté dans le dernier chapitre de ce mémoire, nous pouvons proposer le modèle SADT de la figure A.2.

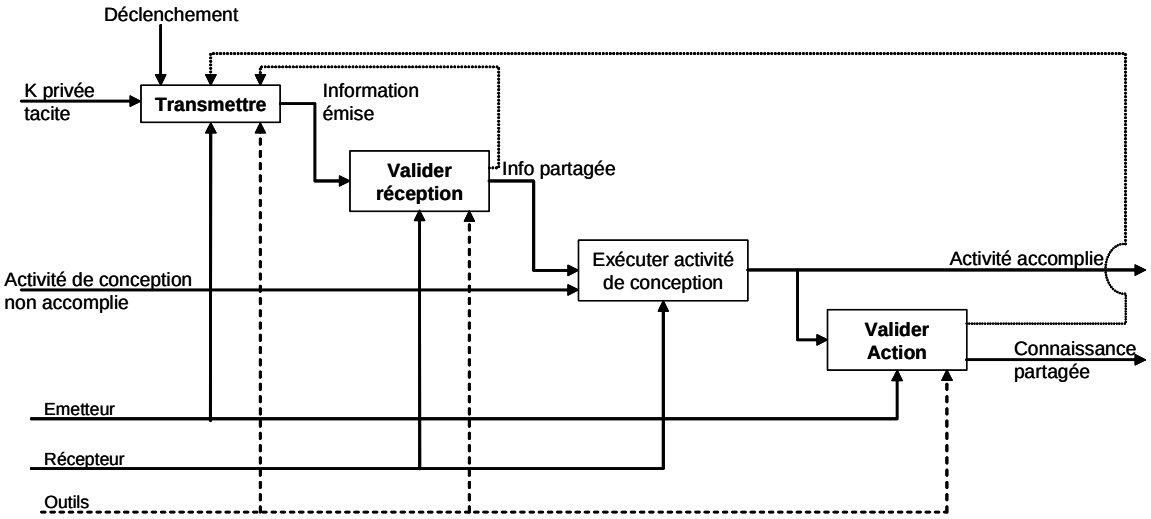


Figure A.2 : Modèle SADT de niveau 1 du processus de partage de connaissances.

Ce diagramme SADT tient compte des activités explicitement observables dans les processus de partage de connaissances étudiés dans le quatrième chapitre de ce mémoire.

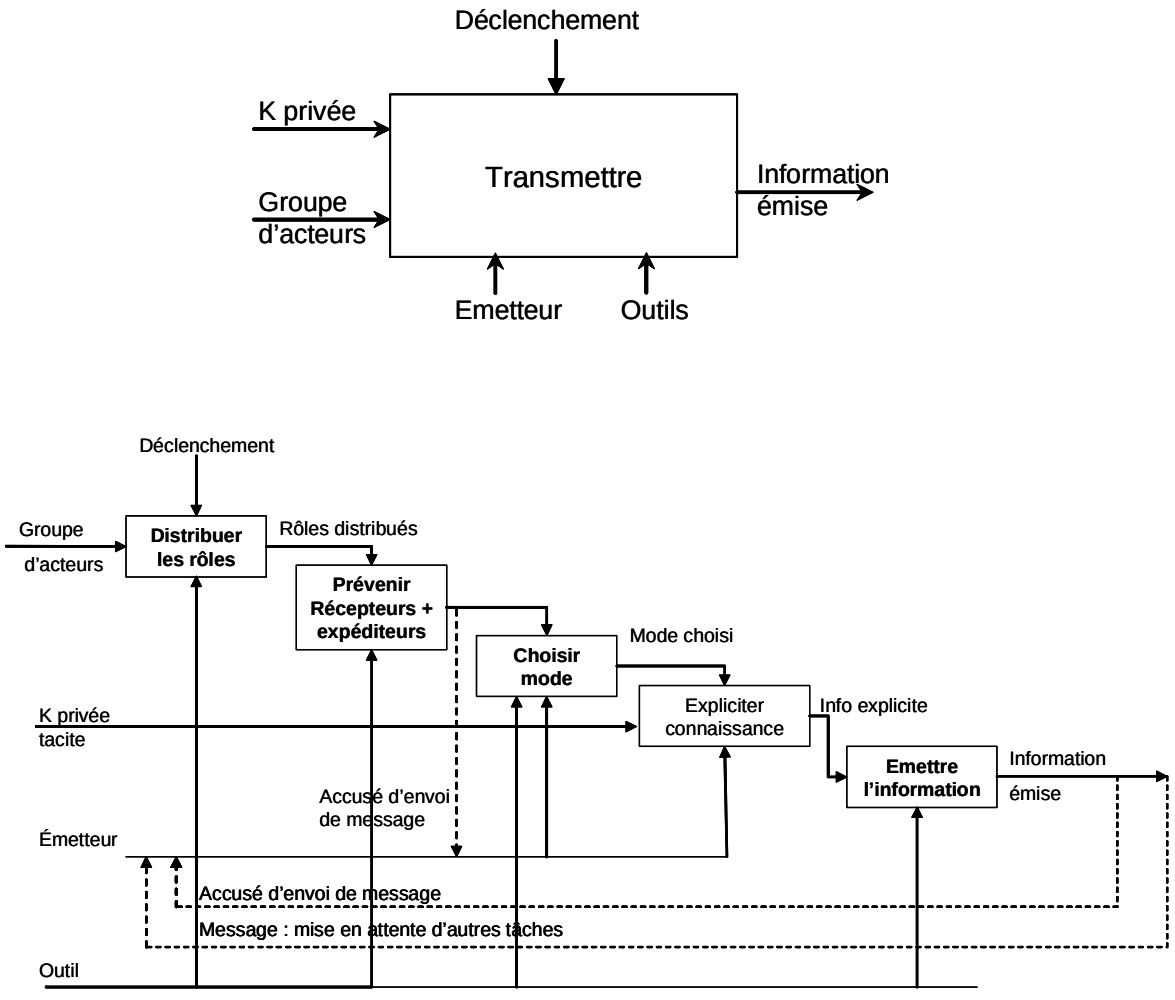
La transmission est une étape effectuée par l'émetteur, elle est activée par le déclencheur du processus de partage de connaissances. A l'entrée de cette étape, l'émetteur est supposé détenir une connaissance privée. A la sortie nous obtenons une information explicite. L'étape d'absorption est implicite et ne figure donc pas dans notre modèle SADT. L'information explicite reçu par le récepteur lui permet de valider ou pas la réception. Si la réception de l'information est validée, nous pouvons affirmer que l'émetteur et le récepteur partagent une information. Dans le cas contraire, un retour arrière est renvoyé vers l'émetteur qui entreprend une nouvelle étape de transmission.

Après validation de la réception, l'émetteur peut exécuter l'activité de conception sur la base de l'information reçue. Cette activité de conception ne fait pas partie du processus de partage de connaissances proprement dit, mais d'une activité permettant à l'émetteur de valider le processus de partage de connaissances. Cette activité permet aussi à l'observateur de détecter si le processus de partage de connaissances a bien eu lieu ou s'il s'agit tout simplement d'un processus de partage d'informations.

La validation de l'action permet donc de confirmer le partage de connaissances entre l'émetteur et le récepteur. Un défaut de validation entraîne un retour vers l'étape de la transmission. Ainsi à la sortie du processus de partage de connaissances, la connaissance privée initialement détenue par l'émetteur devient une connaissance partagée avec le récepteur et l'activité de conception initialement non accomplie pour défaut de connaissance chez le récepteur devient une activité de conception accomplie.

A.2.2 Niveau 2

Les différentes boites constituant le niveau 1 du modèle SADT du processus de partage de connaissances peuvent être décomposées à un niveau de détail plus fin. Nous donnons dans la figure A.3 un exemple de niveau 1 de diagramme SADT correspondant à l'étape "transmettre".



FigureA.3 : Modèle SADT de niveau 2 de la tâche "transmettre".

La transmission d'une information est activée par le déclenchement du processus de partage de connaissances. Ce déclenchement permettra, en premier lieu, de distribuer les rôles de récepteur et d'émetteur dans le groupe. Cette étape est faite implicitement. Une fois les rôles sont définis dans le groupe, l'émetteur choisit le mode de transmission qu'il va utiliser pour transmettre au récepteur la première information. Le choix de mode entraîne ensuite l'explicitation de l'information dans ce mode et enfin l'émission de l'information.

Nous donnons dans la figure A.4 un exemple de niveau 2 de diagramme SADT correspondant à la tâche "valider réception".

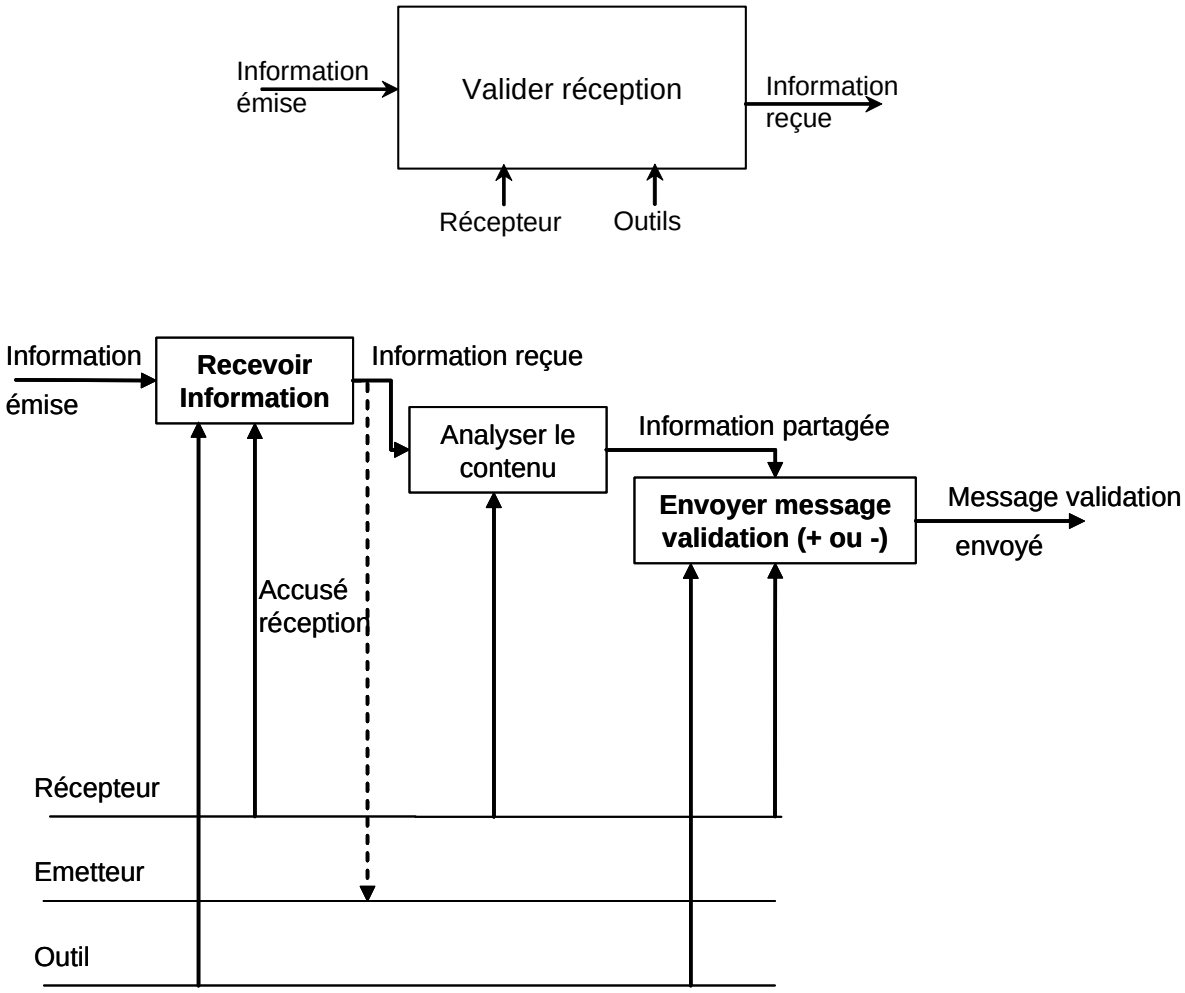


Figure A.4 : Modèle SADT de niveau2 de la tâche "valider réception".

La validation de la réception est une tâche effectuée par le récepteur. L'entrée de cette étape est une information explicite émise par l'acteur émetteur. A la sortie, nous obtenons un message de validation explicite ou implicite vers l'émetteur. A cet instant, nous pouvons affirmer que l'information initialement explicitée par l'émetteur est bien reçue par l'acteur récepteur.

D'autres modèles SADT des premier et deuxième niveaux peuvent être trouvés en annexe.

A.3 Modélisation UML

Les diagrammes SADT présentés dans la section précédente peuvent être traduits en langage UML qui est plus adapté à une compréhension multidisciplinaire. Ce langage est utilisé à la fois par les communautés informatique et mécanique et peut donc constituer un passage plus facile vers une étape prescriptive afin de définir des outils supports au processus de partage de connaissances.

La figure A.5 représente un exemple de cas d'usage relatif au deuxième niveau qui correspond à la tâche "distribuer rôles". D'autres diagrammes sont présentés en annexe.

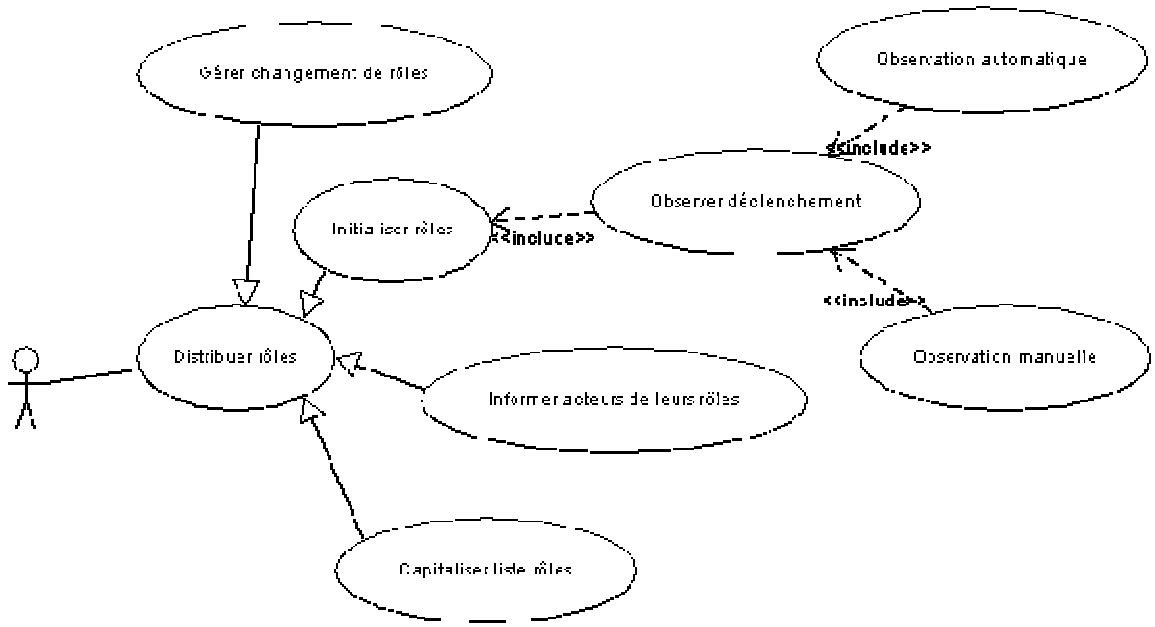


Figure A.5 : Cas d'usage de la tâche "distribuer rôles".

A.4 Conclusion

Les modélisations SADT et UML ont été établies avec une facilité relative. Elles restent, toutefois, descriptives et se limitent à un objectif de décrire, plus en détail, le processus de partage de connaissances tel qu'il est pratiqué par les acteurs des deux expériences de conception réalisées. Cette modélisation plus fine pourra permettre, par la suite, de déterminer les *"facteurs d'échec"* du processus de partage de connaissance et le passage vers un modèle prescriptif et des recommandations qui pourront être implémentées dans un micro-outil d'aide au partage de connaissances produit dans le processus de conception collaborative.

Annexe B

Cahier des charges de conception d'un étau inclinable

Nous vous demandons de concevoir un étau inclinable qui permet de maintenir des pièces en matières variables pendant leur processus d'usinage.

Nous demandons de nous fournir un modèle CAO du produit à l'aide de la station de travail CATIA V5 à votre disposition. En plus du matériel bureautique et informatique dont vous avez pris connaissance précédemment, vous avez à votre disposition un guide de dessin industriel, un guide de calcul mécanique et un guide de productique.

Les caractéristiques fonctionnelles, techniques et géométriques du produit à prendre en compte sont les suivantes :

B.1. Caractéristiques fonctionnelles

- Maintenir des pièces de dimensions et formes variables.
- Permettre le positionnement des pièces ayant des dimensions s'inscrivant dans un cube de 70mm de coté.
- Permettre la rotation de la pièce selon les trois axes.
- Etre facilement transportable.
- Le poids ne doit pas dépasser 10kG.
- Permettre une inclinaison jusqu'à 60° selon les deux axes horizontaux, et 180° selon l'axe vertical.
- Pouvoir afficher la position exacte de la pièce dans l'espace (au moins les angles α, β, et γ selon les 3 axes en degré avec une précision minimale de 5/10 de degré).
- Etre fabricable avec les moyens standard de fabrication mécanique.
- Ne pas demander des machines ou matériaux spéciaux pour le fabriquer.
- Avoir un coût de fabrication modéré : à estimer avec les moyens dont vous disposez.

B.2. Caractéristiques géométriques

- En position de rangement, le produit doit pouvoir s'inscrire dans un cube de 500mm de coté.
- Etre adapté aux vis de serrage sur les tables standard des machines d'usinage.

B.3. Caractéristiques techniques

- Résister à des efforts d'usinage dans les trois directions, ces efforts peuvent atteindre 200 daN selon n'importe quelle direction. Il est de votre responsabilité d'appliquer les coefficients de sécurité que vous jugez adéquats.
- Etre adapté à différents matériaux.
- Etre adapté à toutes les machines d'usinage standard.
- Ne pas détériorer les pièces maintenues.
- Résister aux chocs.
- Résister aux conditions extrêmes de travail dans les ateliers (température, humidité…) et aux produits utilisés pendant l'usinage (Lubrifiants et copeaux).
- Ne pas être dangereux pour le personnel.
- Etre manipulable à mains nues.
- Temps de mise en place court. (ne dépasse pas 5 min).
- Résister à un usage intensif.
- Etre d'un entretien facile : graissage, nettoyage, maintenance nécessaire.
- Réglage facile et stable de la position des pièces.

Annexe C

Cahier des charges de conception d'un broyeur multiusage

Suite à l'observation du travail des broyeurs de bas coté de l'équipement des ponts et chaussées, il nous est venu l'idée d'utiliser ce genre d'outils pour l'entretien des vignes.

La fonction principale de cet outil sera donc de broyer différents matériaux végétaux qui se trouvent tout au long du cycle végétatif de la vigne :

- Bois lignifié (sarments), résidu de la taille.
- Couverture végétale (mauvaise herbe, blé).

Le principe de solution retenu sera donc le suivant : des marteaux mobiles autour d'un tambour entraîné en rotation doivent atteindre un vitesse suffisante pour casser les fibres.

On aboutit à des vitesses tangentielles de l'ordre de 5 mètres/seconde, pour des marteaux parcourant un cercle de 0.5 m de diamètre.

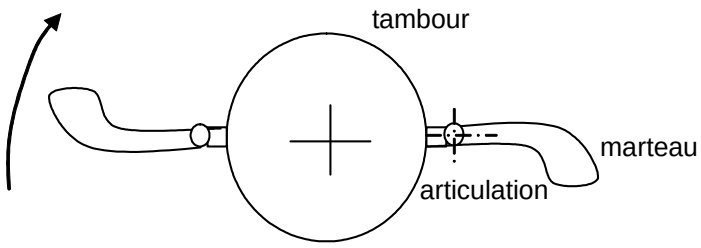


Figure C.1 : Schéma de principe du broyeur.

On souhaite réutiliser des composants éprouvés, à savoir les marteaux utilisés par les chantiers mobiles, dont le schéma est donné en figure C.2. Ces marteaux sont disposés en quinconce autour du tambour, de manière à ce qu'ils ne se touchent pas, mais pour qu'il n'y ait pas non plus de zone non broyée.

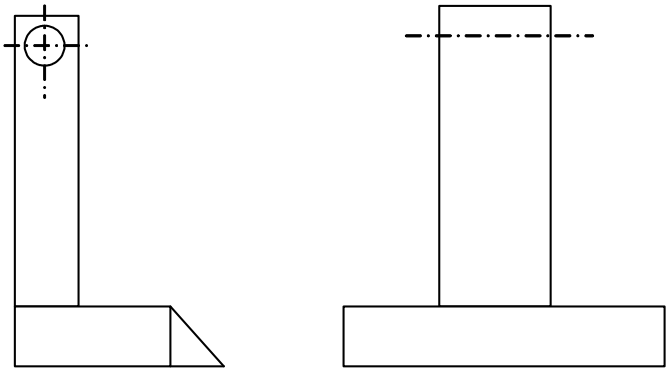


Figure C.2 : Schéma des marteaux.

On souhaite utiliser cet outil sur un porte outil vigneron possédant un système de relevage de la classe III, dont les trois points d'attache standard sont cotés sur la figure C.3. A chaque point d'attache sera associé un tube de diamètre 15 mm, de longueur 40 mm, bloqué à chaque extrémité. L'accès vers l'avant de ces points d'attache devra être dégagé.

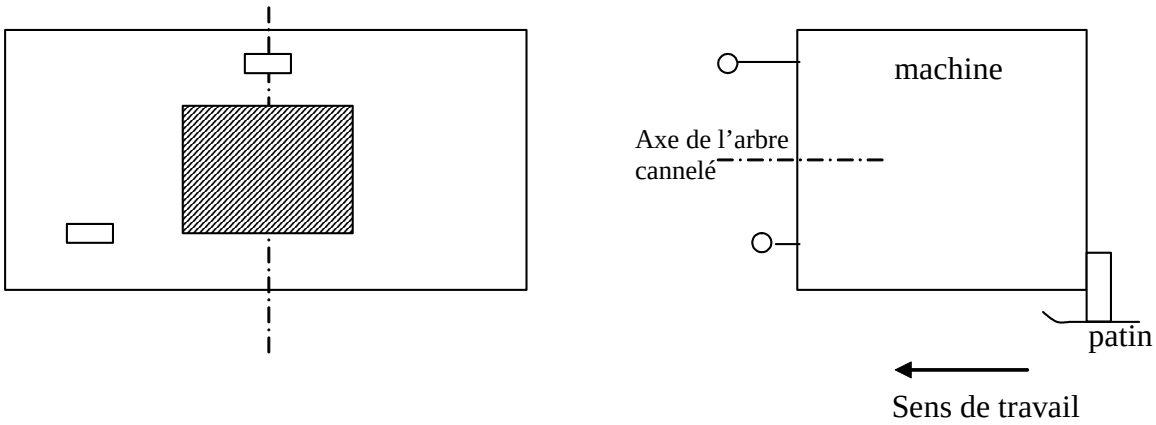


Figure C.3 : Cotation de l'attelage, de l'arbre cannelé, situation du patin.

Cet outil sera traîné derrière le vigneron ; la matière à broyer entrera par l'avant. Cet outil devra pouvoir absorber des andains de sarments d'une hauteur de 25 cm sans les défaire. La hauteur des marteaux par rapport au sol sera donnée par des patins suivant le broyeur et par le mécanisme de relevage.

On souhaite utiliser l'énergie mécanique dispensée par la prise de force du porte outil : pour cela, un arbre de transmission à cardans standard est utilisé. Sa longueur peut varier pendant l'utilisation. La seule contrainte qu'il impose est que l'arbre de transmission à cardans puisse venir se monter sur un arbre cannelé, qui « sort de la machine ». Cet arbre cannelé doit être accessible pour l'arbre de transmission, ce qui signifie que l'on doit avoir un cône de demi angle au sommet de 15° complètement dégagé de tout obstacle.

L'axe de ce cône doit rester dans une certaine zone également définie, pour que l'arbre de transmission reste dans une plage de déformation acceptable.

Pour pouvoir approcher le plus possible des ceps, cet outil devra présenter un encombrement externe le plus proche possible de sa largeur de travail, fixée à 90 cm.

Cet outil est prévu pour travailler dans des conditions extrêmement poussiéreuses, peut subir des chocs violents, venant de l'extérieur (rencontre avec un cep, un poteau en béton, …) ou des matières à broyer, par exemple lors de la rencontre d'un affleurements de roche cachés par la végétation.

Les opérations de maintenance minimales seront les suivantes :

- Remplacement des marteaux lorsque leur usure est excessive (tous les 50 heures de fonctionnement en mauvaises conditions).
- Enlèvement des fils de fer et autres fils polymères présents dans les rangs et pouvant s'enrouler autour du tambour (et des organes supportant ce tambour le cas échéant, dans la mesure où ces fils peuvent être de petite taille, de l'ordre du 1/10ème, ils peuvent « remonter » dans les mécanismes).

D'autres opérations sont à prévoir en fonction de la conception du système, attendu qu'en raison des conditions de travail, des opérations de graissage des palier sont en général prévues quotidiennement pour « chasser les impuretés » des palier. Un changement de joint doit être considéré comme une opération courante suite à l'absorption de l'un des fils présentés plus. De tels fils carbonisés peuvent mener à un remplacement fréquent des paliers concernés.

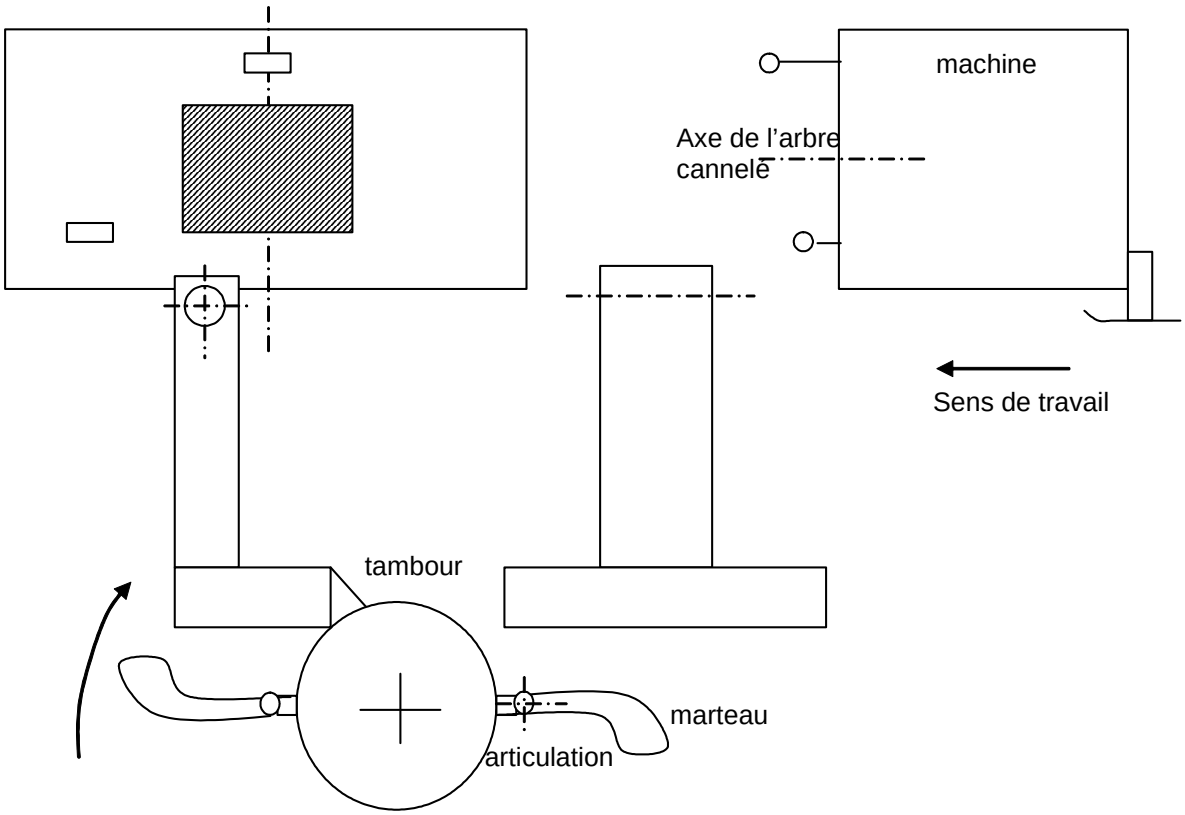


Figure C.4 : Schéma d'ensemble du dispositif de broyage.

Annexe D

Récapitulatif des situations de partage de connaissances dans l'expérience de conception d'un broyeur multiusage

N°	Sujet	Emetteur	Récepteur	Changement de rôle	Mode de déclenchement	Trans-missions	Nombre de trans-missions	KO/DO	Fonction	Comportement	Structure	Règle	ME	ME/ Système	Validation finale
1	Principe de solution du broyeur	De	Sa, Ch	O	Proposition	V V V V V V V V G V	10	DO	X	XXXXX	X		XXXX X	Système	N
2	Système polyarticulé pour liaison avec le tracteur : 3points d'appuis	De, Sa	Sa, Ch	O	Proposition	G G G V	4	DO DO DO	X	XX	XXX			ME	O
3	Patin : liaison avec le sol	De	Sa, Ch	O	Proposition	V V V V G V V V	8	D0	X X		XXXXX	BS		Système	N
4	Marteaux	De	Sa, Ch	N	Proposition	G G G V G G G G V	9	DO DO DO DO DO DO DO		XXXX	XXXXXX	BS SB SB SB		Système	O
5	Cardan	Sa, Ch	De	N	Demande	G G V V V	5	DO DO			XXXX	FS	X	ME	N
6	Hauteur de travail : 250mm	De	Sa, Ch	N	Proposition	V V G G	4	DO DO	X		XX	FS		Système	O
7	Recouvrement marteau	Sa	De, Ch	N	Proposition	V V V V G G G G G G	10	DO DO DO DO DO DO		XXX	XXXXXXX			Système	O
8	Trappes de protection	De	Sa, Ch	N	Proposition	G V	2	DO			XX	BS		Système	O

N°	Sujet	Emetteur	Récepteur	Changement de rôle	Mode de déclenchement	Trans-missions	Nombre de trans-missions	KO/DO	Fonction	Comportement	Structure	Règle	ME	ME/ Système	Validation finale
9	Tracteur : capacité de supporter de grands poids	De, Sa	Sa, Ch	O	Proposition	V V V	3				X	BS	X	ME	N
10	Articulation des marteaux	Sa	De, CH	N	Proposition	G V V V	4	DO		XXX		SB SB SB		Système	O
11	Articulation des marteaux 2 : système de rappel.	De	Sa, Ch	N	Demande	V V V G	4	DO		XX	XX			Système	N
12	Risque de casse à cause des fils de fer et en polyéthylène	De	Sa, Ch	O	Proposition	V V V V V V	6		X	XXXX	X			ME	O
13	Protection à l'arrière	Sa, Ch	De	O	Demande	V V V V V V	6			X	XXXXX	FS	X	Système	O
14	Réglage patins	De, Sa	Sa	N	Demande	V V V	3			X	XX	FS		Système	O
15	Tolérance sur les alésages	De	Sa, Ch	N	Proposition	V V	2					SS BS		Système	N
16	Système de maintien des marteaux	De, Ch	Sa, Ch	O	Proposition	V V	2				X	BS FS		Système	O
17	Système de réglage des patins	De, Sa	Ch	O	Proposition	G V V V V V V V V V	10	DO			XXXXXXX X	SB BS SB		Système	O
18	Points d'attache	De	Sa, Ch	N	Demande	V V V V G V V	7	DO		X	XXXXXXX X		X	Système	O
19	Eléments intrus dans les articulations	De	Sa, Ch	N	Proposition	V V V	3			X	X	SB BS SB	X	ME	O
20	Attaches cylindriques (Positionnement)	De	Sa, Ch	N	Proposition	G V V G G	5	DO			XXXX	SF SS		Système	O

N°	Sujet	Emetteur	Récepteur	Changement de rôle	Mode de déclenchement	Trans-missions	Nombre de trans-missions	KO/DO	Fonction	Comportement	Structure	Règle	ME	ME/ Système	Validation finale
21	Arbre de transmission (Positionnement)	De	Sa, Ch	N	Réaction	G V V V V V V V V	9	DO		XX	XXXXXXX	BS BS		Système	O
22	Goupille spécifique (arbre de transmission)	De, Sa	Ch	O	Proposition	V V V V V V	6		X	XXXX	XXXX	BF		Système	N
23	Logement pour marteaux de remplacement et outils	De	Sa, Ch	N	Demande	V V V V V V V V V V	10			XXXX	XXXXX	BS		Système	N
24	Solution pour marteaux à position modulable	Sa	De, Ch	N	Demande	V V V V	4			XX	XXXX	SB		Système	Neg
25	2ème solution pour marteaux à position modulable	Ch	De, Sa	N	Réaction	V G	2	DO			XXXX	SF		Système	Neg
26	Patins : usure	Sa	De, Ch	N	Demande	V V G V	4	DO	XX	X	XXX	SF	X	Système	N
27	Solution globale	Sa	De, Ch	N	Demande	GGGGG GG	7	DO DO DO DO DO DO DO			XXXXXXX XX			Système	N
28	Solution pour la transmission de mouvement	Sa	De, Ch	N	Proposition	GGGGG GGGGG GGVVVV GGVG	20	DO DO DO DO DO DO DO	X		XXXXXXX XXXXXXX XXXXX	SB SB SB SF SB		Système	N
29	Paliers lisses à rotule	Sa	De, Ch	N	Proposition	GVVVVV GGGVG G	12	DO DO DO DO KO DO DO		X	XXXXXXX XXX	BS BS BS FS		Système	N
30	Solution pour pallier le problème résistance à la torsion	Ch	Sa, De	N	Proposition	GGGGG G	6	DO DO DO DO DO DO			XXXXXX			Système	O

N°	Sujet	Emetteur	Récepteur	Changement de rôle	Mode de déclenchement	Trans-missions	Nombre de trans-missions	KO/DO	Fonction	Comportement	Structure	Règle	ME	ME/ Système	Validation finale
31	Solution démontable	De	Sa, Ch	N	Proposition	VGGVVVGVV	9	DO DO DO		XXX	XXXXXXX	FS		Système	O
32	Principe réducteur	Sa	De, Ch	N	Proposition	VGGV	4	DO DO	XX		XX	SF		Système	N
33	Bavettes	Sa	De, Ch	N	Proposition	VGVGV	5	KO KO		XX	XXXXX	SB		Système	N
34	Flasques sur l'arbre	Ch	Sa, De	N	Réaction	VVVVGGGVG	9	DO DO DO DO		XX	XXXXXXX	SF SB		Système	O
35	Ecrou riveklé	Ch	De, Sa	N	Demande	VVVVVVVGGVVGGGGG	16	DO DO DO DO DO DO DO DO	XXX	XXXX	XXXXXX			Système	O
36	Solution pour étanchéité : joint, épaulement, circlips…	Sa	De, Ch	N	Proposition	GGVGGG	6	DO DO DO DO DO	XXX	X	XXXX	SB BS	X	Système	N
37	Roue spécifique	Ch	Sa, De	N	Réaction	VGGGGGGGGGGGVVGVGV	18	DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO	X		XXXXXXXXXXXXXXX	SB		Système	O
38	Solution pour faciliter le démontage de la roue	Ch	Sa, De	N	Proposition	VGGGGGGVV	10	DO DO DO DO DO DO		X	XXXXXXXXX		X	Système	O
39	Solution pour protection de la chaîne	Sa	De, Ch	N	Demande	GGGGGGGGGGG	11	DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO	XX	XXXXX	XXX	SF SF		Système	N
40	Clavetage spécial	Sa	De, Ch	N	Proposition	GGVVVGV	7	DO DO DO		X	XXXXX	SS SS		Système	N
41	Solution pour cartérisation	Sa	De, Ch	N	Demande	GGGGGGGGGGGGGGG	15	DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO			XXXXXXXXXXXX	SB SF SB SB		Système	N
42	Solution pour démontage de l'ensemble	Ch	De, Sa	N	Réaction	GGGVGVG	7	DO DO DO DO DO		XX	XXXXX	SF		Système	O

N°	Sujet	Emetteur	Récepteur	Changement de rôle	Mode de déclenchement	Trans-missions	Nombre de trans-missions	KO/DO	Fonction	Comportement	Structure	Règle	ME	ME/ Système	Validation finale
43	Solution pour changement marteaux	Ch	De, Sa	N	Réaction	GGGG	4	DO DO DO DO		XX	X	BS	X	Système	O
44	Solution pour fixation tubes	Sa, Ch	De	N	Demande	VVVVGG	6	DO DO	X	XX	XXX			Système	O
45	Système de limitation d'effort	Ch	De, Sa	N	Proposition	V V V V	4		X	XXX				Système	N
46	"Bande borgne"	Sa, De	Ch	N	Proposition	V V V V	4		X	X	XXX	SB		Système	N
47	Tôle pour cartérisation	Sa, De	Ch	N	Proposition	V G V V	4	DO			XXX	BS		Système	N
48	Fixation du capot	Sa	De, Ch	N	Proposition	GGGGG GGGGG GGG	13	DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO DO		XX	XXXXXXX XXX	SF SB SB		Système	N
49	Double cartérisation	De	Sa, Ch	N	Proposition	GGGGG VGGG	9	DO DO DO DO DO DO DO DO DO			XXXXX	FS	XXX	Système	O
50	Fixation des volets	Sa	De, Ch	N	Demande	V G G G G V V V	8	DO DO DO DO	X	X	XXXXX			Système	N
51	Système de trépieds	De	Sa, Ch	N	Proposition	GGGG	4	DO DO DO DO		X	X	SF	X	Système	O
52	Dispositif de graissage	De	Sa, Ch	N	Proposition	VVVGGV VVGG	10	DO DO DO DO	XX	XX	XXXX	BS FS		Système	O
53	"Disque tambour"	De	Sa, Ch	N	Proposition	VVVVGG G	7	DO DO DO	XX		XXX	FS FS		Système	O

Tableau D.1 : Récapitulatif des situations de partage de connaissances produit dans l'expérience de conception en présentiel – conception d'un broyeur multiusage.

V : Transmission verbale.
G : Transmission graphique.
DO : Design Object (Objet de conception).
KO : Knowledge Object (Objet de connaissance).

O : Oui.
N : Non.
X : 1 occurrence.
F : Fonction.

B : Behaviour (Comportement).
S : Structure.

Annexe E

Complément de modèles SADT et UML du processus de partage de connaissances en conception collaborative

E.1. Diagramme SADT de niveau1 de la tâche "Exécuter activité de conception"

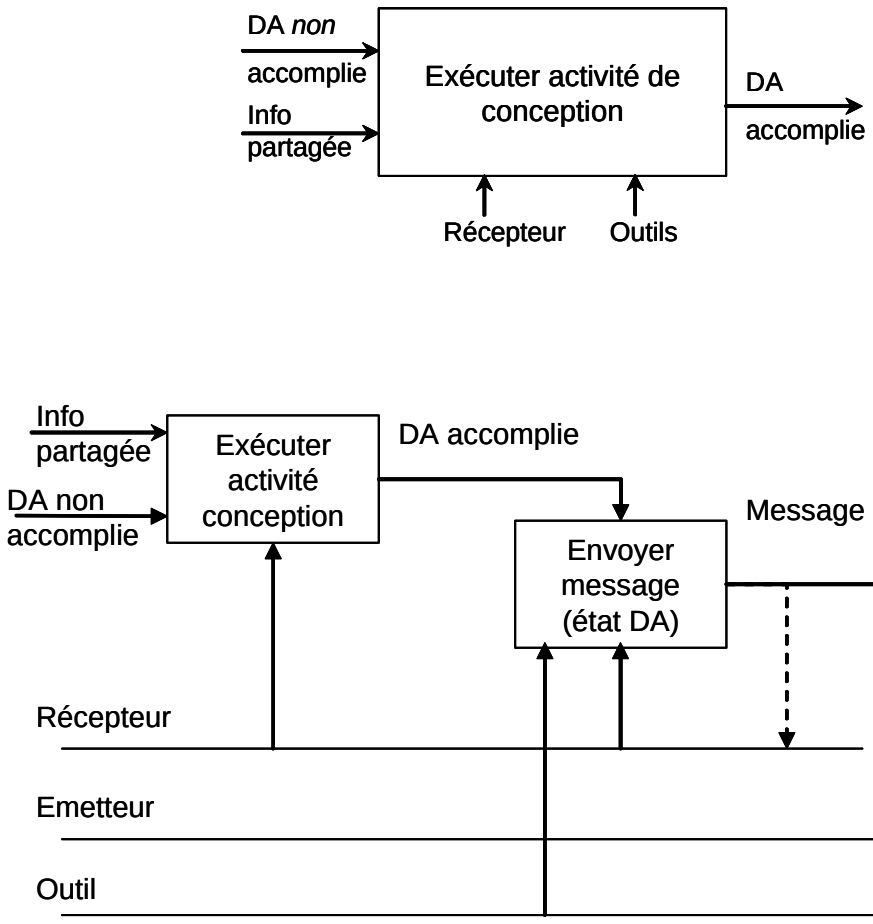


Figure E.1 : Modèle SADT de niveau1 de la tâche " exécuter activité de conception ".

E.2. Diagramme SADT de niveau1 de la tâche "Valider processus"

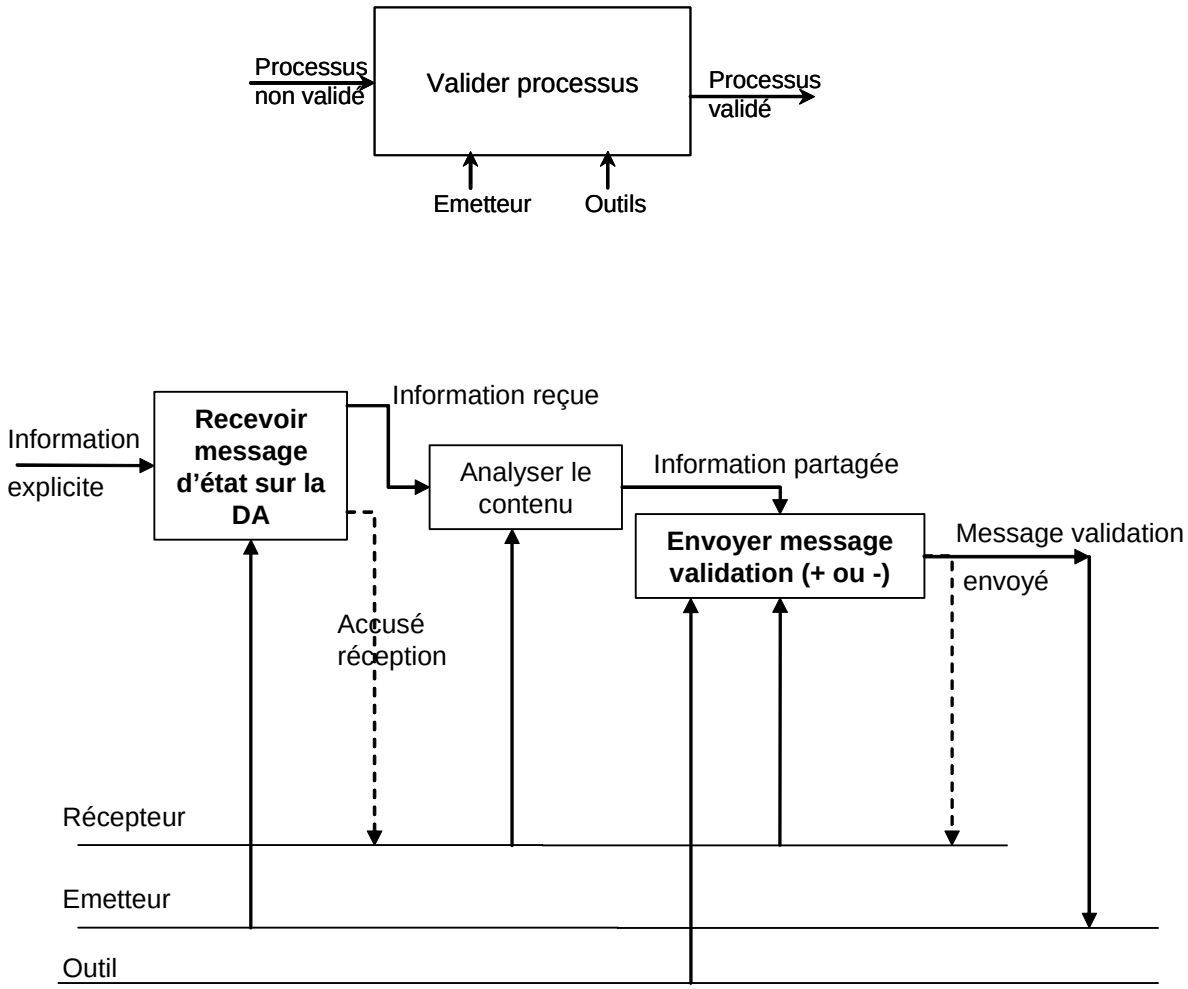


Figure E.2 : Modèle SADT de niveau1 de la tâche "valider processus".

E.3. Cas d'usage de la tâche "Choisir mode"

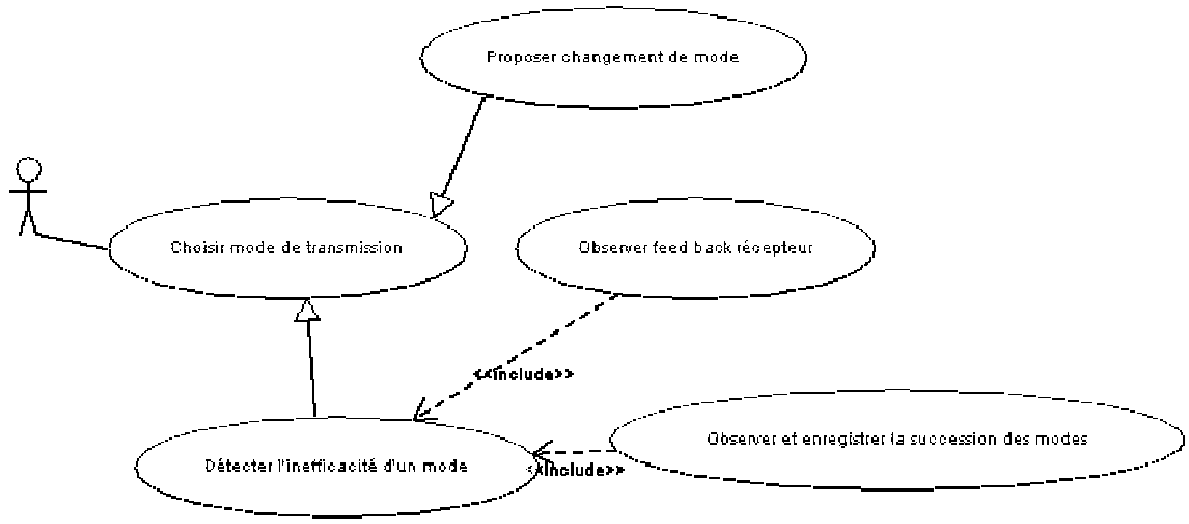


Figure E.3 : Cas d'usage de la tâche "Choisir mode".

E.4. Cas d'usage de la tâche "distribuer rôles"

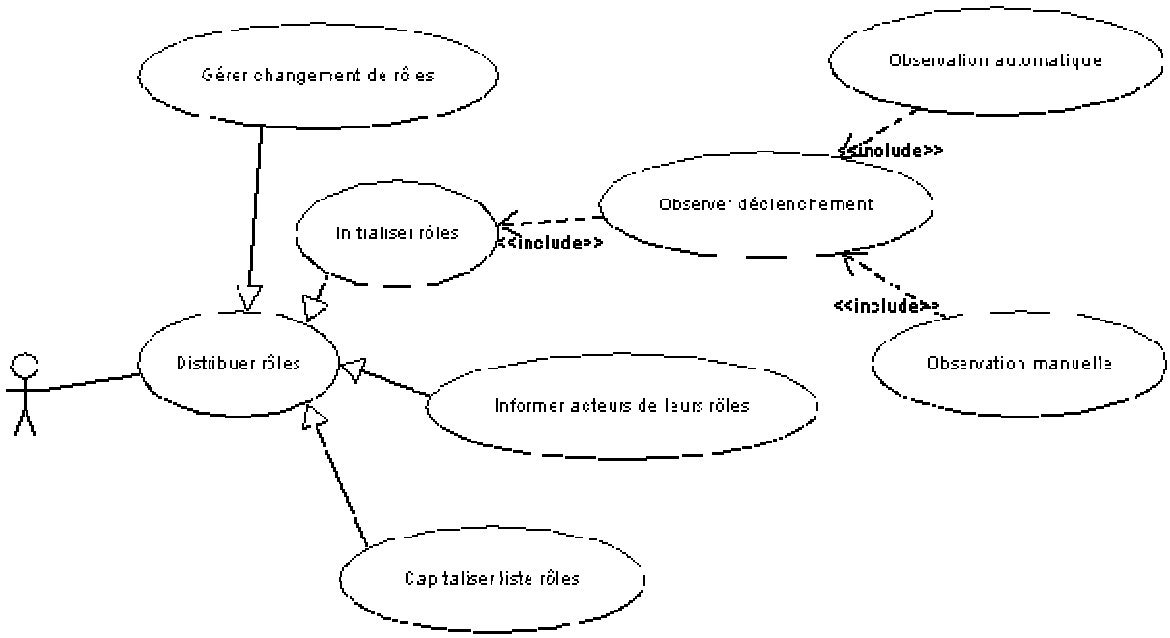


Figure E.4 : Cas d'usage de la tâche "Distribuer rôles".

E.5. Cas d'usage de la tâche " Superviser Processus"

Le diagramme de cas d'usage suivant représente la modélisation d'une tâche supplémentaire qui consiste à superviser le processus de partage de connaissances. Cette tâche pourra être supportée par un micro outils d'aide au partage de connaissances et qui permet de capitaliser ce processus et ses différentes composantes. L'approfondissement de l'étude et le développement d'un tel micro-outil s'inscrivent dans les perspectives de ce travail.

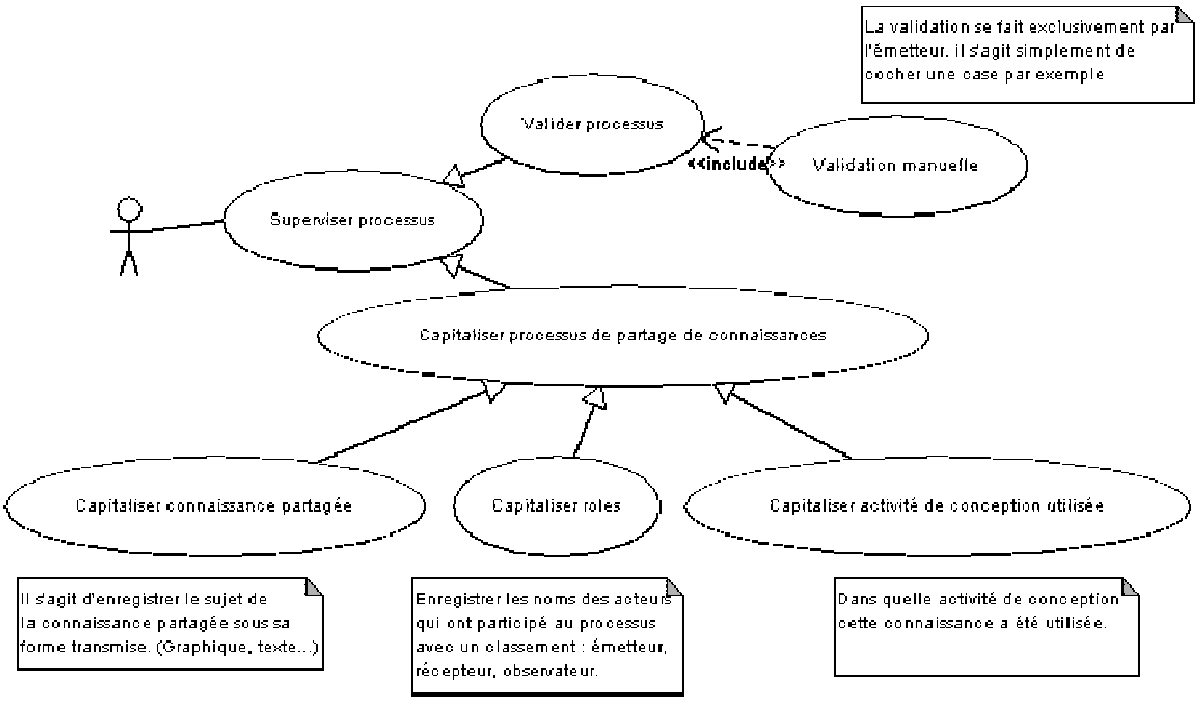


Figure E.5 : Cas d'usage de la tâche " Superviser Processus"

Résumé : Le processus de conception mécanique est basé sur la mobilisation de connaissances de différents intervenants sur le produit. La distribution dans les structures actuelles des entreprises entraîne la distribution des connaissances mobilisées pendant le processus de conception. Une prise en compte des points de vue des différents intervenants passe par le partage de certaines de leurs connaissances individuelles.
Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans ce contexte et portent sur l'étude du processus de partage de connaissances en conception collaborative. Nous considérons que le développement d'outils supports au partage de connaissances doit être précédé par une observation de la manière dont ce processus se déroule réellement dans les équipes de conception. Nous avons réalisé deux expériences de conception provoquées en laboratoire : la première est distribuée et a été conçue de façon à provoquer des situations de partage de "connaissances produit" entre les acteurs du processus, la seconde est colocalisée et les situations de partage de connaissances qui ont eu lieu durant sont complètement émergentes. Nous avons ensuite proposé un modèle du processus de partage de connaissances basé sur les situations observées pendant la première expérience. Il consiste en une succession de cinq étapes : le déclenchement, la transmission, l'absorption, la validation intermédiaire, l'action et, enfin, la validation finale. Ensuite, ce modèle a été validé au regard des processus de partage de connaissances observés dans la deuxième expérience. Ainsi certaines situations observées suivent parfaitement le modèle, d'autres sont incomplètes ou confuses. Nous avons aussi réalisé une étude qualitative et quantitative des modalités d'exécution des étapes de ce processus. Ainsi, nous avons recensé trois modes de déclenchement : proposition spontanée de l'émetteur, demande explicite par le récepteur, réaction à une activité de conception. Deux modes de transmission ont été trouvés : le mode verbal et le mode graphique. Nous avons étudié les liens entre le déclenchement du processus de partage de connaissances et les activités de conception mobilisant ces connaissances. Nous avons aussi montré que la distribution des rôles (émetteur / récepteur) sur l'ensemble des acteurs dépend du mode de déclenchement du processus.
Le modèle proposé est itératif et dynamique : des retours vers des étapes précédentes et une dynamique des rôles pendant le processus sont possibles. Ce modèle a aussi la particularité de faire la distinction entre le partage de données ou d'informations et le partage de connaissances.
Notre contribution a été complétée par une modélisation, à l'aide des outils SADT et UML, qui permettra, par la suite, de spécifier des micro-outils d'aide au partage de "connaissances produit" dans les équipes de conception collaborative distribuées.
Mots clefs : Conception collaborative, connaissances, partage de connaissances, processus, modélisation, expériences de conception.

Abstract: The mechanical design process is based on mobilizing knowledge of various agents. The distribution in the current structures of the companies involves the distribution of the knowledge mobilized during the design process. Taking into account the different points of view of the various agents require sharing some individual knowledge.
This thesis relates to the study of the knowledge sharing process in collaborative design. We consider that the development of tools to support knowledge sharing must be preceded by an observation of the way in which this process really proceeds in design teams. We carried out two design experiments: the first is distributed and was set up in order to create situations of product knowledge sharing between the actors of the process, the second experiment is collocated and the situations of division of knowledge which took place in it are completely emergent. We proposed a model of the knowledge sharing process based on the situations observed during the first experiment. It consists of a succession of five stages: release, transmission, absorption, intermediate validation, action and final validation. This model was validated comparing to knowledge sharing situations observed in the second experiment. Thus some situations observed follow the model perfectly, others are incomplete or confused. We also made a qualitative and quantitative study of the terms of execution of this process stages. Thus, we listed three modes of release: spontaneous proposal of the transmitter, explicit demand by the receiver, reaction to a design activity. Two modes of transmission were found: verbal and graphic. We studied the links between the release of the knowledge sharing process and the design activities mobilizing this knowledge. We also showed that the distribution of roles (receiver/transmitter) on agents depends on the release mode of the process. The model we suggested is iterative and dynamic: feed-backs and a dynamic of roles during the process are possible. This model takes into account the differences between data or information sharing and knowledge sharing. Our contribution was supplemented by SADT and UML models which will allow, thereafter, specifying micro-tools to support product knowledge sharing process in the distributed collaborative design teams.
Key words: Collaborative design, knowledge, knowledge sharing, process, modelling, design experiments.