



HAL
open science

Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive

German Ruiz-Dominguez

► To cite this version:

German Ruiz-Dominguez. Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2005. Français. NNT: . tel-00429652

HAL Id: tel-00429652

<https://theses.hal.science/tel-00429652>

Submitted on 3 Nov 2009

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

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

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque

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

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPG

Spécialité : « Génie Industriel »

préparée au laboratoire **3S Sols, Solides, Structures de Grenoble –France**

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

« Organisation Industrielle et Systèmes de Production »

présentée et soutenue publiquement

par

German Alonso RUIZ DOMINGUEZ

le 3 Novembre 2005

Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive

Directeur de thèse :
Jean-François BOUJUT

PROPOSITION DE JURY

M. Gabriel RIS,
M. Jean-François PETIOT,
M. Jean-François BOUJUT,
Me. Françoise DARSES
M. Daniel BRISSAUD

Professeur à l'ESIAL-UHP,
MCF à l'ECN, HDR,
Professeur à l'INPG,
MCF au CNAM,
Professeur à l'INPG,

Rapporteur
Rapporteur
Directeur de thèse
Examinatrice
Examineur

Table de matières

TABLE DE MATIERES	I
LISTE DES ILLUSTRATIONS	III
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1. LES PROCESSUS DE COOPERATION ENTRE ACTEURS DANS LA CONCEPTION.	5
1. INTRODUCTION.....	5
2. LE PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE	6
2.1. <i>La conception</i>	6
2.2. <i>Conception concourante</i>	8
2.3. <i>Conception distribuée</i>	9
2.4. <i>Conception à distance</i>	10
3. LA COOPERATION ENTRE ACTEURS DE LA CONCEPTION	11
3.1. <i>Définition de coopération</i>	11
3.2. <i>Coopération dans les modèles de processus</i>	15
3.3. <i>Coopération dans les modèles d'activité</i>	17
3.4. <i>Coopération dans les modèles socio-techniques</i>	20
4. MODELES DE COLLABORATION	22
5. QUESTIONS DE RECHERCHE	28
6. CONCLUSIONS	29
CHAPITRE 2. CHOIX D'UNE APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	31
1. INTRODUCTION.....	31
2. METHODOLOGIES DE RECHERCHE EN CONCEPTION.....	31
2.1. <i>Une approche de conception</i>	32
2.2. <i>Approche ethnographique de l'Université de Stanford</i>	33
2.3. <i>Une méthode de recherche socio-technique</i>	33
2.4. <i>Méthodologie de recherche en conception</i>	34
2.5. <i>Le cadre méthodologique de la recherche en conception mécanique</i>	35
2.6. <i>Une observation sur les méthodologies de recherche en conception</i>	36
3. METHODES D'ANALYSE DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION	38
3.1. <i>Analyse de protocoles (Analyse de corpus)</i>	39
3.2. <i>Analyse ethnographique</i>	44
4. DESCRIPTION DE L'APPROCHE DE RECHERCHE ADOPTEE	47
5. CONCLUSION	49
CHAPITRE 3. DECRIRE LE PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE : ANALYSE DE PROTOCOLES.....	51
1. INTRODUCTION.....	51
2. CADRES DE COOPERATION.....	52
2.1. <i>Le cadre organisationnel</i>	52
2.2. <i>Le cadre temporel</i>	53

2.3.	<i>Le cadre spatial</i>	54
2.4.	<i>Le cadre conceptuel</i>	54
3.	OBJETS PARTAGES	55
4.	EXPERIENCES DE CONCEPTION	57
4.1.	<i>Expérience distribuée médiatisée</i>	58
4.2.	<i>L'expérience co-localisée</i>	62
4.3.	<i>Analyse au niveau macroscopique</i>	63
4.4.	<i>Analyse microscopique des expériences de conception</i>	75
5.	APPORTS ET LIMITES DE CETTE APPROCHE	96
6.	CONCLUSION	99
CHAPITRE 4. DECRIRE LE PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE : ANALYSE QUALITATIVE		101
1.	INTRODUCTION.....	101
2.	DIMENSIONS DU PROCESSUS DE CONCEPTION	102
2.1.	<i>Les cadres de coopération</i>	102
2.2.	<i>Les dimensions du processus de conception (essai de typologie)</i>	110
2.3.	<i>D'autres éléments importants au déroulement du processus</i>	129
3.	ANALYSE QUALITATIVE DES DIMENSIONS	135
4.	VERS UN MODELE DE CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE	143
4.1.	<i>Le cadre FBS situé et le situationnisme</i>	144
4.2.	<i>Vers un modèle hybride cognitif collectif</i>	145
4.3.	<i>Exemple d'une situation collaborative à distance avec le modèle hybride cognitif collectif</i>	147
4.4.	<i>Comparaison avec les modèles de collaboration</i>	152
5.	DISCUSSION SUR LES APPORTS ET LIMITES DE CETTE APPROCHE.....	153
6.	CONCLUSION	154
CHAPITRE 5. INSTRUMENTATION ET SUPPORT DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION COLLABORATIVE.		157
1.	INTRODUCTION.....	157
2.	REFLEXIONS POUR L'INSTRUMENTATION ET SUPPORT DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE.....	158
2.1.	<i>L'importance de la synchronisation cognitive en conception à distance</i>	158
2.2.	<i>L'inadéquation de la dimension graphique des environnements de conception actuels</i>	161
2.3.	<i>Importance d'Awareness</i>	163
3.	VERS UN ENVIRONNEMENT D'AIDE A LA CONDUITE DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION ...	165
3.1.	<i>La dimension Processus</i>	167
3.2.	<i>La dimension Acteurs</i>	169
3.3.	<i>La dimension Produit</i>	171
3.4.	<i>La dimension Problème</i>	173
3.5.	<i>Modélisation de l'environnement de travail virtuel</i>	174
4.	CONCLUSION	176
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....		179
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		183

Liste des illustrations

Figures

Figure 1.1. Le gain en temps de l'approche concurrente versus l'approche séquentielle	9
Figure 1.2. Le modèle de conception distribuée d'après [Brissaud & Garro 96].	10
Figure 1.3. Distance virtuelle pour les équipes selon [Larsson 05].	11
Figure 1.4. Le processus de conception selon [Pahl & Beitz 96].	15
Figure 1.5. Le processus de conception selon [Ulrich & Eppinger 00].	16
Figure 1.6. Le noyau du processus de conception d'après [Pugh 90].	16
Figure 1.7. Le cadre Fonction, Structure et Comportement, d'après [Gero 90].	17
Figure 1.8. Le cadre FBS modifié pour la conception mécanique.	18
Figure 1.9. Le cadre situé FBS selon [Gero & Kannengiesser 04].	19
Figure 1.10. Les relations moyens-finalité et les niveaux d'abstraction selon [Rasmussen <i>et al</i> 94].	19
Figure 1.11. Le modèle de la conception selon [Darses 97].	20
Figure 1.12. Le système taxonomique pour la conception et développement distribué du produit selon [Gierhardt <i>et al</i> 99].	23
Figure 1.13. Le modèle de collaboration d'après [Kvan 00].	24
Figure 1.14. Le modèle de collaboration en conception selon [Chiu 02].	25
Figure 1.15. Le cadre D4D (design for distribution) d'après [MacGregor 02].	26
Figure 1.16. Les types de collaboration selon [Lahti <i>et al</i> 04].	27
Figure 1.17. Le modèle de collaboration basé sur des résistances électriques selon [Ostergaard <i>et al</i> 04].	28
Figure 2.1. Le cadre de recherche [Duffy & O'Donnell 98].	32
Figure 2.2. Approche ethnographique de l'Université de Stanford [Minneman 91].	33
Figure 2.3. L'approche socio-technique des laboratoires 3S-CRISTO [Boujut & Tiger 02]. .	34
Figure 2.4. La Design Research Methodology [Blessing 02].	35
Figure 2.5. Le cadre méthodologique pour la recherche en conception mécanique [Brissaud <i>et al</i> 03].	36
Figure 3.1. Schéma indiquant le paramètre varié et la variable d'observation	55
Figure 3.2. Type de remorque VTT à concevoir.	58
Figure 3.3. Schéma de la disposition des concepteurs dans l'expérience distribuée médiatisée.	60
Figure 3.4. Planning des réunions	60
Figure 3.5. Aperçu des vidéos réalisées pour l'expérience de conception distribuée.	61
Figure 3.6. Aperçu de la vidéo réalisée pour l'expérience co-localisée.	63
Figure 3.7. Profil graphique de la réunion 1 de l'expérience distribuée.	70
Figure 3.8. Profil graphique de la réunion 1 de l'expérience co-localisée.	70
Figure 3.9. Profil graphique de la réunion 2 de l'expérience distribuée.	70
Figure 3.10. Profil graphique de la réunion 2 de l'expérience co-localisée.	70
Figure 3.11. Profil graphique de la réunion 3 de l'expérience distribuée.	70
Figure 3.12. Profil graphique de la réunion 3 de l'expérience co-localisée.	70
Figure 3.13. Profil graphique de la réunion 4 de l'expérience distribuée.	70
Figure 3.14. Profil graphique de la réunion 4 de l'expérience co-localisée.	70
Figure 3.15. Profils graphiques de l'expérience distribuée.	71
Figure 3.16. Profils graphiques de l'expérience co-localisée.	71

Figure 3.17. Distribution d'activités de la réunion 1 de l'expérience distribuée.	72
Figure 3.18. Distribution d'activités de la réunion 1 de l'expérience co-localisée.	72
Figure 3.19. Distribution d'activités de la réunion 2 de l'expérience distribuée.	72
Figure 3.20. Distribution d'activités de la réunion 2 de l'expérience co-localisée.	72
Figure 3.21. Distribution d'activités de la réunion 3 de l'expérience distribuée.	72
Figure 3.22. Distribution d'activités de la réunion 3 de l'expérience co-localisée.	72
Figure 3.23. Distribution d'activités de la réunion 4 de l'expérience distribuée.	72
Figure 3.24. Distribution d'activités de la réunion 4 de l'expérience co-localisée.	72
Figure 3.25. Répartition globale des activités mises en œuvre à la réunion 3 de l'expérience distribuée.	83
Figure 3.26. Distribution d'activités de conception pour la réunion 3 (Expérience distribuée).	84
Figure 3.27. Distribution d'activités de conception groupées de la réunion 3 (Expérience distribuée).	86
Figure 3.28. Distribution d'activités de gestion de l'interaction à la réunion 3 de l'expérience distribuée.	87
Figure 3.29. Distribution d'activités par rapport à l'usage du dispositif technique (réunion 3, expérience distribuée).	90
Figure 3.30. Activités de conception par concepteur (Réunion 3, expérience distribuée).	92
Figure 3.31. Gestion de l'interaction en fonction des rôles pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.	93
Figure 3.32. Répartition de l'usage des outils au cours de la réunion 4.	94
Figure 3.33. Diagramme d'enchaînement schéma-argumentation.	95
Figure 4.1. Représentation du cadre spatial de l'expérience distribuée.	107
Figure 4.2. Représentation du cadre spatial de l'expérience distribuée.	108
Figure 4.3. Notre variable d'observation représentée par des objets intermédiaires.	109
Figure 4.4. Le carré de conception selon [Hatchuel et al 04].	110
Figure 4.5. Illustration de l'usage des outils (tableau blanc).	115
Figure 4.6. Exemple de représentation du processus (document produit par le chef de projet).	118
Figure 4.7. Exemples de représentation du produit.	118
Figure 4.8. Illustration des matériaux à utiliser.	119
Figure 4.9. Nomenclature des pièces de la liaison proposée par le concepteur liaisons.	121
Figure 4.10. Proposition de solution pour le basculement.	122
Figure 4.11. Modélisation CAO de pièces à partir des plans 2D.	123
Figure 4.12. Illustration de l'usage du cahier des charges.	125
Figure 4.13. « Conversation latérale » du chef de projet avec le designer-ergonome.	131
Figure 4.14. Collaboration entre le chef de projet et le designer-ergonome.	133
Figure 4.15. Le devis partagé par le concepteur châssis.	134
Figure 4.16. Châssis de la remorque : a) avant le devis, b) après le devis.	135
Figure 4.17. Graphique pour la réunion 1 de l'expérience distribuée.	136
Figure 4.18. Graphique pour la réunion 2 de l'expérience distribuée.	136
Figure 4.19. Graphique pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.	136
Figure 4.20. Graphique pour la réunion 4 de l'expérience distribuée.	136
Figure 4.21. Distribution d'activités de l'expérience distribuée.	138
Figure 4.22. Comparaison de données pour la réunion 1 de l'expérience distribuée.	140
Figure 4.23. Comparaison de données pour la réunion 2 de l'expérience distribuée.	140
Figure 4.24. Comparaison de données pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.	140
Figure 4.25. Comparaison de données pour la réunion 4 de l'expérience distribuée.	140
Figure 4.26. Le cadre situé FBS selon [Gero & Kannengiesser 04].	144

Figure 4.27. Le contexte du situationnisme selon [Gero & Kannengiesser 04].....	145
Figure 4.28. Illustration du modèle hybride cognitif collectif.	146
Figure 4.29. Extrait de la séquence de « l'effet séquentiel ».	148
Figure 4.30. Première esquisse du concepteur châssis.....	150
Figure 4.31. Modification de l'esquisse du concepteur châssis.....	150
Figure 4.32. Illustration d'un extrait de l'effet séquentiel à travers le modèle hybride cognitif collectif.	150
Figure 4.33. Les types de collaboration selon [Lahti <i>et al</i> 04].....	153
Figure 5.1. Diagramme que présente l'effet séquentiel.	162
Figure 5.2. Schéma d' un processus performant de conception avec awareness.	164
Figure 5.3. Exemple de vue fonctionnelle de la dimension du processus.....	169
Figure 5.4. Exemple de la vue fonctionnelle de la dimension de l' acteur.	171
Figure 5.5. Exemple de la vue fonctionnelle de la dimension du produit.....	173
Figure 5.6. Exemple de vue fonctionnelle de la dimension du problème.	174
Figure 5.7. Modélisation UML de classes de l'environnement de travail virtuel.....	175
Figure 5.8. Exemple de l'environnement de travail virtuel avec les vues fonctionnelles des dimensions de la conception	176

Tableaux

Tableau 3.1. Extrait de la grille d'analyse thématique.....	64
Tableau 3.2. Profils thématiques des réunions des expériences de conception.	67
Tableau 3.3. Extrait du codage d'une des séances de conception.....	69
Tableau 3.4. Activités de conception d'après [Hohmann 02].	76
Tableau 3.5. Gestion de l'interaction selon [Hohmann 02].	79
Tableau 3.6. Actions sur le dispositif technique d'après [Hohmann 02].	80
Tableau 3.7. Extrait du corpus avec le système de codage.	81
Tableau 3.8. Fréquence d'activités avec le système de codage microscopique pour la réunion 3 de l'expérience de conception distribuée.	82
Tableau 4.1. Dimensions du processus de conception	112
Tableau 4.2. Comparaison de données pour la réunion 1 de l'expérience distribuée.	139
Tableau 4.3. Comparaison de données pour la réunion 2 de l'expérience distribuée.	139
Tableau 4.4. Comparaison de données pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.	139
Tableau 4.5. Comparaison de données pour la réunion 4 de l'expérience distribuée.	139
Tableau 4.6. Extrait 1 du corpus de l'expérience distribuée.	149
Tableau 4.7. Extrait 2 du corpus de l'expérience distribuée.	149
Tableau 4.8. Extrait 3 du corpus de l'expérience distribuée.	149
Tableau 4.9. Extrait 4 du corpus de l'expérience distribuée.	150
Tableau 5.1. Dimensions et catégories de la conception.....	166

Introduction

La coopération est un aspect important dans la conception collective. L'introduction des approches d'ingénierie simultanée et concourante fait que l'organisation du secteur industriel est obligée de confronter plusieurs domaines d'expertise. Le but est d'anticiper des conflits, de réduire le temps de mise sur le marché et de concevoir des produits qui répondent aux attentes du client. Aujourd'hui, la conception est organisée par projets. Les acteurs travaillent ensemble pour intégrer divers aspects, par exemple : qualité, coût, performance du produit, maintenance, etc. De cette manière, l'étude et la mise en place de processus collaboratifs sont importantes pour le bon fonctionnement des projets.

Il est maintenant admis que la conception est une activité collective à laquelle participent plusieurs acteurs de différents domaines. De ce fait, des aspects traditionnellement absents dans des processus individuels, se retrouvent au premier plan, tels que la coordination des acteurs, la création de connaissances inter-métiers, les processus d'apprentissage, de confrontation de points de vue, de négociation, d'argumentation, etc. Plusieurs approches ont été utilisées pour étudier la nature de la conception collective. Quelques travaux se focalisent sur les aspects sociaux, certains considèrent les aspects cognitifs, et d'autres analysent les aspects de coopération.

De plus, la transformation de l'environnement économique au cours des dernières années a fait que le secteur industriel cherche à évoluer pour se rendre plus compétitif. Le marché local autrefois approvisionné par des entreprises locales est maintenant inondé de produits de pays qui ne sont pas voisins de ce marché. Pour fournir un produit à moindre coût les entreprises utilisent les ressources là où la main d'œuvre et les matières premières sont « bon marché ». Cependant leur produit doit satisfaire des niveaux de qualité de plus en plus élevés. L'entreprise étendue est née lors de l'éclatement de l'entreprise en fonction de l'utilisation des sites distants pour la conception, la fabrication, l'assemblage et la distribution de son produit. Sites appartenant à l'entreprise, aux fournisseurs ou aux clients.

De cette manière, la conception collective n'est plus une affaire co-localisée. Elle devient petit à petit en conception à distance pour tirer profit des ressources éloignées pour concevoir un produit autour de trois aspects : qualité acceptable, à moindre coût et dans un délai court. Pour

arriver à terme, l'entreprise se structure par projet et la phase de conception fait intervenir simultanément l'ensemble des métiers de l'entreprise ainsi que des acteurs dédiés à la gestion de projets.

Ainsi le cadre général dans lequel s'inscrivent nos travaux de recherche est celui de la caractérisation de l'activité de conception à distance, particulièrement les processus de coopération. Notre objectif ultime est de spécifier des environnements de travail collectif qui répondent au mieux aux enjeux actuels du travail collaboratif, notamment en ce qui concerne la gestion de l'activité coopérative synchrone. Notre but est de mettre en évidence les spécificités ou les particularités de la situation distante par rapport aux activités des concepteurs. Pour cela nous présentons pour la première fois une approche comparative partant de deux situations expérimentales contrôlées : une situation à distance et une situation co-localisée.

Les activités de recherche de l'équipe Conception Intégrée du Laboratoire Sols, Solides, Structures visent à fournir des méthodes, des modèles et des outils pour la conception concourante et la co-conception dans un contexte de conception simultanée. De telle sorte que l'équipe cherche à améliorer la conception et le développement des systèmes mécaniques. Ce mémoire de thèse présente les résultats de nos travaux de recherche au sein de l'équipe Conception Intégrée et il est divisé en cinq chapitres au cours desquels sont traités les différents aspects de notre problématique.

Le chapitre 1 définit le contexte de nos travaux de recherche. La conception y est traitée dans ses variantes de conception concourante et conception à distance. Nous y présentons une analyse critique sur plusieurs types de modèles de conception. Il s'achève sur les questions de recherche auxquelles nous tentons de répondre à l'aide de nos travaux de thèse.

Le chapitre 2 traite sur plusieurs méthodologies de recherche en conception ainsi que notre démarche de recherche par rapport à celles-ci. Il présente une brève description des méthodes pour analyser l'activité de conception, pour se focaliser sur deux méthodes en particulier : l'analyse de protocoles et l'analyse qualitative.

Le chapitre 3 présente une description des expériences de conception sur lesquelles se basent les résultats de cette thèse. Ce chapitre utilise une analyse de protocoles pour l'étude des expériences de conception. Nous présentons des résultats à deux niveaux : un niveau macroscopique et un niveau microscopique. Une analyse fine des interactions entre les

concepteurs nous a permis de découvrir l'effet que les outils de communication génériques ont sur la conception de produits mécaniques.

Le chapitre 4 nous permet de présenter une étude complémentaire à celle de l'analyse de protocoles. Nous utilisons ici une approche descriptive qualitative dérivée d'une technique ethnographique pour analyser des interactions. Nous proposons un modèle du phénomène de coopération à travers des objets partagés (création d'une compréhension partagée). Ensuite, en lien avec les résultats de l'analyse, nous ajoutons une classification en quatre dimensions que nous considérons indispensables à la création d'une conscience de groupe et que débouchera sur la proposition d'un environnement informatique de travail collaboratif.

Le chapitre 5 offre une perspective pour l'instrumentation et le support de l'activité de conception collaborative à distance. Plus particulièrement la dimension de création d'une compréhension commune (*awareness*) Ceci est dérivé d'une réflexion sur la conception collective à distance, l'importance de la compréhension partagée et la dimension graphique dans le processus de conception. Ensuite nous proposons un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception basé sur des vues fonctionnelles des quatre dimensions de la conception pour faciliter la conscience du groupe et l'*awareness*.

Ce mémoire se termine par un certain nombre de conclusions issues de notre travail et la présentation de quelques perspectives pour la suite de cette recherche.

Chapitre 1.

Les processus de coopération entre acteurs dans la conception.

1. Introduction

Au cours des dernières décennies les processus de conception ont radicalement évolué. L'organisation de la conception est passée d'une structure séquentielle à une structure intégrée pour répondre aux besoins des clients. Cette évolution cherche à trouver des organisations pour travailler dans des délais courts, avec des budgets limités et une augmentation de la complexité du produit. En même temps le produit doit répondre aux besoins de qualité du client [Ulrich & Eppinger 00]. L'organisation séquentielle de la conception a donc laissé la place à des structures intégrées où des activités de conception, analyse, test et fabrication sont impliqués dans des étapes préliminaires du développement du produit. Les processus de *Concurrent Engineering* permettent aux entreprises de réaliser de manière effective, des décisions mieux informées, et par conséquent, de réduire les temps de réalisation et prévenir des changements coûteux de dernière minute.

La confrontation des points de vues des différents acteurs est ainsi inévitable. Elle est même désirable pour concevoir un meilleur produit. De plus, la mondialisation a permis aux entreprises d'utiliser des ressources distantes avec cet objectif. Par contre, les équipes formées doivent coopérer et collaborer pour mener à bien le projet de conception en dépit de l'éloignement géographique. En conséquence, l'étude des processus collaboratifs est un aspect important pour la réussite du processus de conception.

Ce chapitre présentera le contexte de la conception collaborative et de la conception à distance. Ensuite nous donnons la définition de coordination et de coopération. Après, nous réaliserons une analyse critique de plusieurs modèles de conception par rapport aux processus de coopération et nous présenterons plusieurs modèles de collaboration proposés dans la littérature. En dernier, nous présenterons quelques questions qui guident nos travaux de recherche.

2. Le processus de conception collaborative à distance

2.1. La conception

La conception est devenue une activité complexe. Cela fait longtemps qu'elle n'est plus considérée comme une activité individuelle. Maintenant, il est accepté que la conception soit une activité sociale complexe [Bucciarelli 88], [Minneman 91], [Larsson 05]. En milieu industriel la conception est bien une activité collective. Plusieurs acteurs de divers services travaillent ensemble pour mener à bien le projet de conception. Ainsi la confrontation des points de vue de plusieurs acteurs, souvent complémentaires, permet d'arriver à des compromis pour concevoir le produit. Toutefois, si la conception est collective, il ne faut pas oublier la complémentarité que les activités individuelles apportent aux activités collectives et vice versa.

Il existe plusieurs définitions de conception [Gero 90], [Pugh 90], [Pahl & Beitz 96], [Ulrich & Eppinger 00]. En reprenant toutes les définitions et avec l'esprit de proposer une définition simple, nous proposons la définition suivante. La conception est un processus qui permet de transformer des besoins en la description d'un produit. Les besoins peuvent être exprimés par le client ou par la propre organisation. Il s'agit de définir des fonctions qui vont satisfaire le besoin, de déterminer des composants qui répondent aux fonctions et de « construire » le système proposé avec les composantes déterminées.

Il existe plusieurs typologies de conception. [Pahl & Beitz 96] proposent une typologie par rapport à la nouveauté des concepts utilisés dans le processus de conception :

- Conception variante : dans ce type de conception la fonction et le principe de solution restent les mêmes, seule la taille et la disposition des pièces varient.
- Conception adaptative : un principe de solution est adapté pour un problème nouveau ou modifié. Le principe de solution reste pratiquement le même mais la conception originale des composants ou des ensembles est nécessaire.
- Conception originale : de nouveaux principes de solution sont utilisés pour répondre à un problème déjà posé ou à un nouveau problème. La particularité est qu'un nouveau principe de solution est produit.

[Deneux 02] propose de diviser la conception originale en conception innovante et conception créative. La première serait celle où la décomposition du problème est connue mais il n'existe

pas d'alternative connue pour tous les sous-problèmes, tandis que la deuxième serait celle où la décomposition du problème est abstraite et dont il n'existe pas de solution a priori.

Traditionnellement la conception a été considérée comme une activité individuelle où le concepteur était totalement maître du processus et que lui seul concevait le produit pour ses clients. Cette acceptation a changé radicalement. D'une part, grâce à des études des chercheurs qui se sont intéressés à l'activité collective, notamment avec des études ethnographiques. D'autre part, à la thèse avancée par [Simon 81] dans laquelle toute personne qui crée une nouvelle chose ou objet est un concepteur. La création de cette nouvelle chose ou objet est pour Simon un objet artificiel par rapport aux objets créés par la nature. Ainsi Simon postule qu'il doit exister une science pour l'artificiel. De plus, [Simon 73] à travers l'approche de traitement d'information symbolique, affirme que la résolution d'un problème part du postulat que le problème est mal défini (ou il a une définition incomplète). Il faut structurer préalablement le problème pour ensuite le résoudre une fois défini.

A partir de cette notion des chercheurs en psychologie et en ergonomie empruntent l'idée du problème mal défini pour conduire ses recherches. Ainsi dans le domaine de l'ergonomie cognitive [Darses 04] et [Visser 04] identifient quelques caractéristiques des tâches de conception comme une activité de résolution de problèmes :

- Le problème est complexe.
- Les spécifications du cahier des charges sont incomplètes, les contraintes ne sont pas stabilisées.
- La résolution du problème nécessite de plusieurs domaines d'expertise.
- La solution à un problème de conception n'est pas unique, elle fait partie d'un ensemble de solutions acceptables.
- La génération de toutes les solutions est impraticable.
- L'évaluation de la solution ne peut se faire que de façon partielle, sur la base de simulations
- La solution définitive est difficile à évaluer en fonction de la difficulté à déterminer si la solution satisfait les spécifications et à quel moment cet objectif est atteint.
- La définition du problème ainsi que l'élaboration s'effectuent en interaction.

- Il n'y a pas un chemin prédéterminé vers la solution.

2.2. Conception concourante

Les dernières années ont témoigné une évolution dans l'organisation des processus de conception. Nous avons passé d'une organisation séquentielle à une organisation intégrée pour répondre aux besoins du client en termes de coût, délai et qualité. Dans l'organisation séquentielle le processus de conception était vu comme un processus linéaire. Cette linéarité est l'enchaînement d'une série de phases, l'une après l'autre, jusqu'à la définition totale du produit. Le résultat d'une phase de la conception est l'entrée ou le point de départ de la phase postérieure. Si une phase ne fournit pas un résultat satisfaisant, elle transmet ses résultats à la phase prétendante. Celle-ci doit aboutir à un nouveau résultat en prenant en compte cette information dans la production de la nouvelle solution. Ainsi une itération est réalisée dans le processus. Chaque phase « travaille » pour ses propres objectifs sans contribuer directement dans les activités d'une autre phase. Une phase ne démarre que lorsque la phase précédente est terminée.

Cette approche séquentielle est abandonnée par les organisations, comme nous l'avons précédemment dit, pour devenir plus compétitives. En effet, les entreprises ont réalisé que cette structure provoquait des problèmes pour la conception de produits innovantes [Brossard *et al* 97]. Des nouvelles organisations du processus de conception ont vu le jour à partir de l'introduction de l'ingénierie concourante et simultanée. Le but est de faire évoluer le processus de conception dans trois niveaux :

- Réduire les délais en mettant les tâches en parallèle.
- Augmenter la qualité en intégrant toutes les contraintes liées au produit tout au long de son cycle de vie et au plutôt dans le processus de conception.
- Diminuer le coût, en faisant bien le plus vite, en évitant les re-bouclages et en optimisant le produit globalement.

La Figure 1.1 présente un schéma du gain de temps de l'approche concourante vers l'approche séquentielle. Nous pouvons remarquer que la parallélisation de tâches permet de démarrer plus vite certaines tâches. Cependant ceci impose que toutes les activités sont indépendantes les unes des autres. Ce qui n'est pas forcément exact. Une certaine activité peut avoir besoin des résultats d'une autre. En conséquence, si cette activité démarre avant d'avoir toutes les informations nécessaires pour sa réalisation, elle sera « conduite » comme la

résolution d'un problème mal défini, d'où intérêt de faire participer les responsables de cette activité pour prendre en compte leurs contraintes dans la réalisation de l'activité précédente. Nous sommes d'accord avec [Prudhomme 99] qui affirme que la conception est donc une activité parallèle et intégrée.

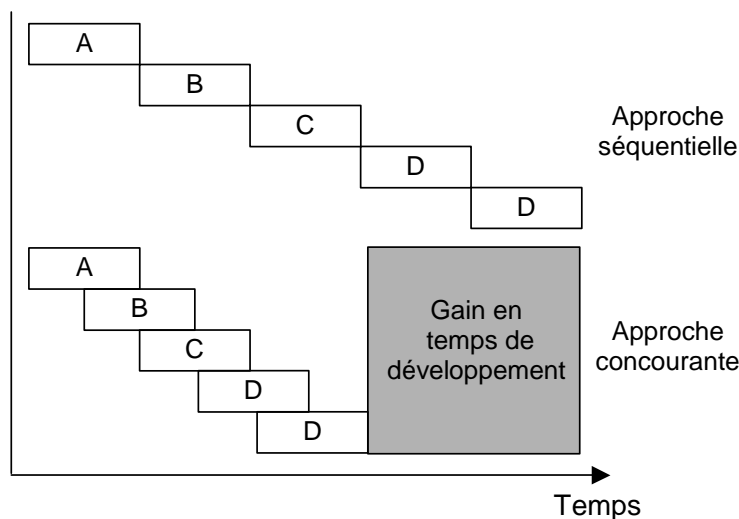


Figure 1.1. Le gain en temps de l'approche concurrente versus l'approche séquentielle

Telle que nous l'avons remarqué en dessus, la conception est une activité collective. Plusieurs acteurs agissent ensemble pour aboutir à un objectif commun : la conception du produit. Ainsi la conception devient activité sociale qui fait intervenir de nombreux acteurs qui ont des règles d'action, des comportements, des objectifs et des contraintes différentes. Par conséquent, la confrontation des points de vue et la négociation font émerger le produit des interactions entre les concepteurs.

2.3. Conception distribuée

[Brissaud & Garro 96] ont mis en évidence que la conception collective est distribuée. Le processus de conception est le résultat de l'interaction entre plusieurs acteurs, Figure 1.2. Chacun d'entre eux possède son propre objectif particulier et raisonne avec son propre langage en fonction du service auquel il appartient. Cependant le réseau résultant des acteurs a un objectif global : la conception du produit. Ainsi, le produit se développe et émerge au fur et à mesure des échanges entre les différents modules.

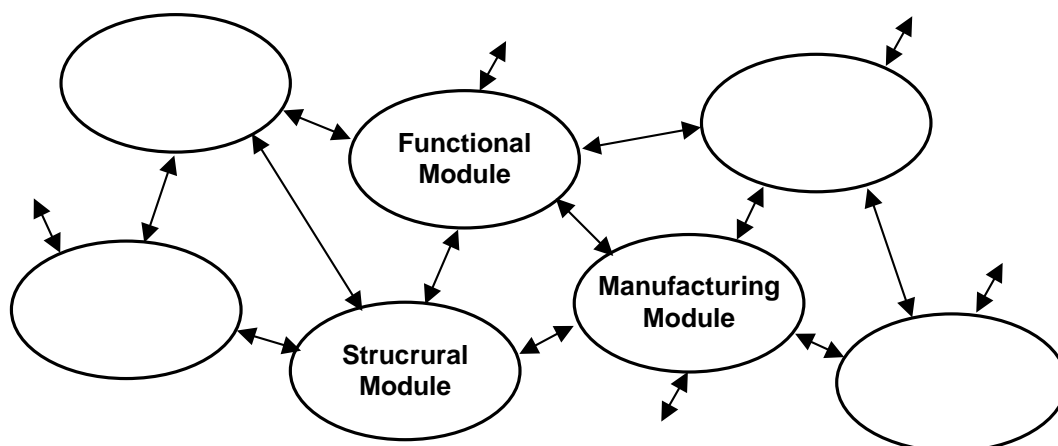


Figure 1.2. Le modèle de conception distribuée d'après [Brissaud & Garro 96].

L'approche adoptée par [Brissaud & Garro 96] ressemble aux propositions de [Hutchins 95] sur la cognition distribuée. Ainsi la conduite d'un système n'est pas, dans le cas de Hutchins un avion, l'affaire d'une seule personne, mais l'ensemble d'actions des composantes. De la même manière, la solution d'un processus de conception émerge de l'interaction entre les acteurs de la conception.

2.4. Conception à distance

Avec la transformation économique qui a amené la mondialisation, l'approche concurrente est maintenant utilisée pour relier des sites distants. L'entreprise étendue fait appel à des ressources qui ne sont pas situées dans un même endroit. Comme nous l'avons dit auparavant, les ressources peuvent être dans des sites de l'entreprise, des fournisseurs ou des clients. De telle sorte que les coûts et risques encourus dans le développement d'un nouveau produit sont diminués ou repartis entre les participants du projet [Baird *et al* 00]. Ceci implique que les projets de conception sont réalisés par des équipes dont les membres ne sont pas dans localisés dans le même endroit, même pas dans la même entreprise. C'est pour cette raison que les équipes nécessitent d'une structure commune pour travailler collectivement.

[Larsson 05] montre une représentation de la distance et des variables pour différencier les équipes co-localisées et les équipes distribuées, Figure 1.3. Il faut noter qu'il a des études dans le domaine de la gestion qui font remarquer qu'il existe un rayon de co-présence collaborative. Ces études constatent que les personnes collaborent rarement si elles sont séparées pour une distance de plus de 50 pieds.

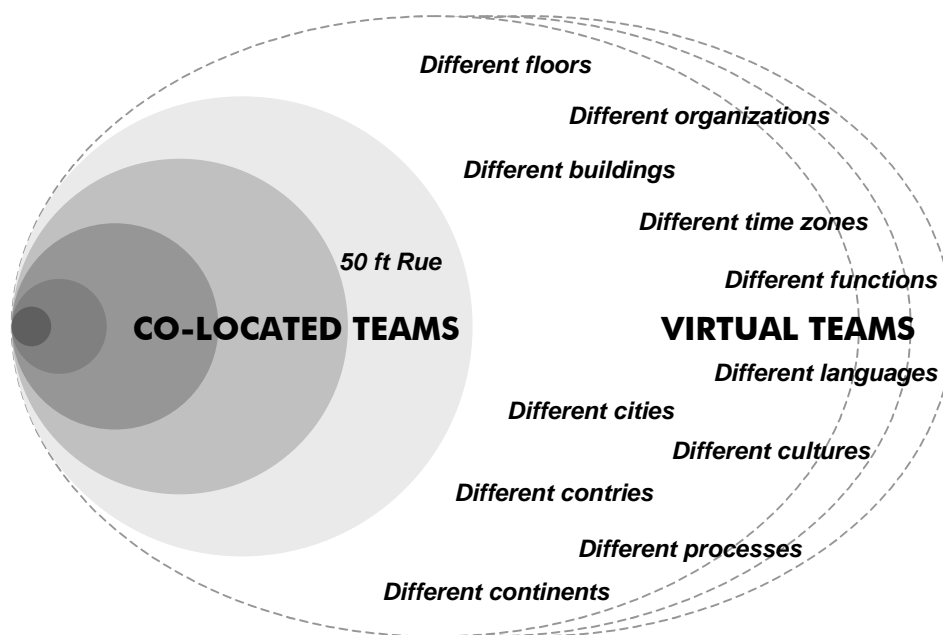


Figure 1.3. Distance virtuelle pour les équipes selon [Larsson 05].

La conception à distance ou distribuée est donc la pratique de la conception où les acteurs du projet de conception sont éloignés géographiquement. Les concepteurs qui se trouvent dans cette situation manquent de certains repères que leurs collègues en situation co-localisée disposent. Par exemple, les gestes qui indiquent que notre interlocuteur a compris ce que nous sommes en train de dire, son rejet ou acceptation par des signes à une solution, les éléments environnants qui ont des informations tel qu'un tableau blanc, des notes, des documents, etc. De plus, il existe d'autres barrières de communication ou de compréhension si les acteurs sont d'une organisation différente de la notre ou d'une autre culture. Ainsi les aspects de coopération et collaboration entre acteurs sont de capitale importance dans la conception distribuée pour le bon déroulement du processus. Le projet dépend de ces aspects. De plus une compréhension commune des buts du projet de conception, des activités à réaliser, ainsi que du produit assurent un processus de conception performant.

3. La coopération entre acteurs de la conception

3.1. Définition de coopération

Tel que nous l'avons dit auparavant, la conception est une activité collective. De ce fait les acteurs doivent se coordonner et coopérer pour réaliser leur travail. Le premier point s'attache aux aspects de gestion, tandis que le deuxième point s'attache aux aspects du travail collaboratif. Une définition simple de coordination est celle proposé par [Kvan 00]. L'auteur propose que la coordination soit caractérisée par une relation formelle et l'arrangement de

missions compatibles. La division des rôles ainsi qu'une certaine planification sont exigées. Sardas propose la définition suivante de coopération :

« Au sens le plus général, la coopération est l'action collective orientée vers un même but, au travers de laquelle des sujets contribuent au même résultat » [Sardas *et al* 00].

De telle sorte que la coopération permet d'accomplir un travail qu'un individu ne peut pas réaliser tout seul. En conséquence la coopération est une action collective. [Schmidt 90] propose de caractériser les relations de travail coopératif en fonction des distances dans l'espace et dans le temps :

- Coopération à distance ou de proximité : les acteurs coopérant dans le même lieu peuvent interagir librement tandis que des acteurs coopérant à distance sont contraints dans leurs interactions principalement par la disponibilité et le temps de réponse du moyen de communication.
- Coopération synchrone et asynchrone : les différentes sous-tâches d'un effort coopératif peuvent être réalisées simultanément ou différées. La durée de l'intervalle entre les actions coopératives peut varier aussi.
- Coopération collective et distribuée : dans la modalité de coopération collective, plusieurs acteurs coopèrent ouvertement et de manière consciente. Au contraire, dans la modalité de coopération distribuée les acteurs sont semi-autonomes. Ils coopèrent au travers d'un moyen d'un espace commun d'information. De plus, les acteurs n'ont pas forcément conscience de l'existence des autres acteurs et de leurs activités.
- Coopération directe ou médiatisée : dans le premier type les acteurs interagissent en réalisant des échanges de l'information symbolique ; ils communiquent. Au contraire, dans la coopération médiatisée les acteurs coopèrent via un système technique.

Dans le cas de la conception mécanique, plusieurs chercheurs ont analysé les aspects de la coopération entre les acteurs. Dans la suite nous allons présenter quelques uns de ces études. [Jeantet 98] a étudié la coopération entre les acteurs par moyen des objets intermédiaires. Suite à ses études Jeantet propose trois types de caractéristiques des objets intermédiaires : la médiation, la traduction et la représentation. C'est à dire les objets permettent aux concepteurs d'agir ensemble. Ensuite ils permettent de faire la transition d'un état du produit à un autre. Finalement, ils représentent le produit ou une partie de celui-ci. De plus, l'auteur propose

deux types d'objets intermédiaires : d'une part, les objets ouverts facilitant la coopération, et d'autre part, les objets fermés favorisant la prescription

Pour sa part, [Crestani *et al* 01] présente une étude de la communication et de la coopération entre concepteurs. En ce qui concerne la communication les auteurs font une analyse qualitative des messages électroniques échangés entre les concepteurs. Ensuite la nature de la coopération entre les concepteurs est analysée au moyen de graphes de coopération. Ceci a pour objectif d'identifier des structures organisationnelles et le rôle des acteurs dans la prise de décisions. [Boujut & Blanco 03] analysent la coopération et ils avancent l'hypothèse de que les objets intermédiaires permettent la coopération entre les acteurs. Ils ont analysé un cas sur la conception d'un essieu pour un camion. De plus ils ont analysé le rôle des esquisses dans le processus d'évaluation.

Par ailleurs, [David 04] propose un outil pour supporter la prise de décision dans le cadre du management de processus coopératifs complexes. L'outil mobilise une série de 4 phases pour réduire la complexité organisationnelle et structurer le travail coopératif. Ces phases sont : une analyse des flux d'information et les interactions entre les activités d'un processus coopératif pour réduire la complexité des groupes de travail. Ensuite, développer une connaissance précise des modes d'organisation et de coopération des groupes et entre les groupes. Après un ensemble d'indicateurs de performance sont établis, Finalement, une optimisation de l'organisation du travail en fonction des résultats d'évaluation est proposée. [Kanjaâ *et al* 04] proposent un outil de management pour analyser la coopération des équipes multidisciplinaires. L'outil se base sur trois aspects de la coopération : l'approche d'équipe, la coordination et le support informatique. Au sein de ces aspects les auteurs développent une classification de 10 catégories sur 6 niveaux de détail. Le résultat est un outil graphique de type radar où l'on peut regarder les niveaux de détail sur les catégories. Pour leur part, [Kristensen *et al* 04] proposent un autre outil de management pour analyser les modes de collaboration à distance. Les auteurs définissent 4 types de collaboration et ils les analysent par rapport aux certains aspects : temps, efficacité, flux, présence, adéquation et ressources. A partir de là, ils analysent le retour des investissements que les entreprises peuvent avoir quand elles utilisent un mode de collaboration particulier avec une combinaison spécifique des aspects proposés.

[Pol *et al* 05] analysent la collaboration en conception dans une PME qui développe des assemblages mécano-collés. Ils ont identifié plusieurs facteurs qui influent sur la

collaboration. Ceux-ci sont : l'organisation, les outils informatiques, la gestion du projet, la gestion de connaissances, la gestion de compétences, les méthodes et outils, l'individu et le réseau d'acteurs. De plus ils classent ces facteurs comme des facteurs liés à la conduite du projet ou au facteur humain. [Rose & Lombard 05] proposent un outil informatique pour la gestion de conflits en conception collaborative de produits. A travers de la caractérisation des connaissances mobilisées par les concepteurs, les auteurs proposent la gestion de conflits entre les concepteurs. D'un autre côté, [Larsson 05] étudie les aspects sociaux de la coopération entre les acteurs de la conception dans des environnements distribués. Ses découvertes se situent principalement sur deux aspects. D'abord, la collaboration entre les membres d'une équipe est la production active du sens par les concepteurs plutôt que l'échange d'informations, d'opinions ou de données. Ensuite, il a travers des interactions entre concepteurs il a découvert ce qu'il nomme « *Know-Who* » : les interactions que permettent aux personnes de « savoir qui sait », de « savoir à qui demander » et de « savoir sur qui confier ».

D'un autre côté, divers modèles du processus de conception sont proposés dans la littérature. Ces modèles sont classifiés généralement en prescriptifs ou descriptifs. Le premier type de modèle représente un processus de conception efficace et efficient. Le modèle est une approche systématique pour la conception. Il est le résultat de la combinaison de l'expertise de l'auteur du modèle ainsi que d'une réflexion sur la composition du processus de conception. Ce type de modèle offre des méthodes et guides d'action à réaliser pour le concepteur. L'exemple le plus illustratif de ce type de modèle est présenté dans [Pahl & Beitz 96]. Un modèle descriptif est le résultat d'une étude systématique d'une grande variété de processus de conception. Il est la représentation du processus de conception de comment il a été réalisé par les concepteurs. [Minneman 91] présente un exemple de ce type de modèle. [Blessing 96], [Blessing *et al* 98] et [Visser 04] présentent un excellent résumé des divers modèles de conception. Par la suite, nous analyserons l'aspect de la coopération dans les modèles de conception. Cependant, nous allons le faire en proposant une classification alternative pour les modèles de conception. Au lieu de les classer en modèles prescriptifs ou descriptifs, nous les classerons en modèles de processus, en modèles d'activité et en modèles socio-techniques.

3.2. Coopération dans les modèles de processus

Nous considérons que beaucoup de modèles de conception sont centrés autour de la notion de phases ou étapes. Pour ces modèles le processus de conception se compose de plusieurs phases qui doivent être réalisées de manière séquentielle et itérative jusqu'au moment où la solution proposée remplit les fonctions exigées par le cahier des charges.

Le modèle le plus connu de ce type de modèles est celui de [Pahl & Beitz 96], Figure 1.4. La consécution de quatre phases ou étapes compose le processus de conception. Ces étapes sont la clarification de la tâche (*clarification of the task*), la phase conceptuelle (*conceptual design*), la formalisation de la solution (*embodiment design*) et la conception détaillée (*detail design*). Le modèle proposé par les auteurs est basé sur l'approche systémique et orientée au problème. De telle sorte qu'un problème est défini de manière abstraite. Ensuite il est transformé en concepts concrets à partir d'une spécification par étapes impliquant des fonctions, des principes physiques et des principes de solution. Chaque étape préconise des activités à réaliser dans un certain ordre pour arriver à une solution satisfaisante. Le bon déroulement du projet garantit cette solution.

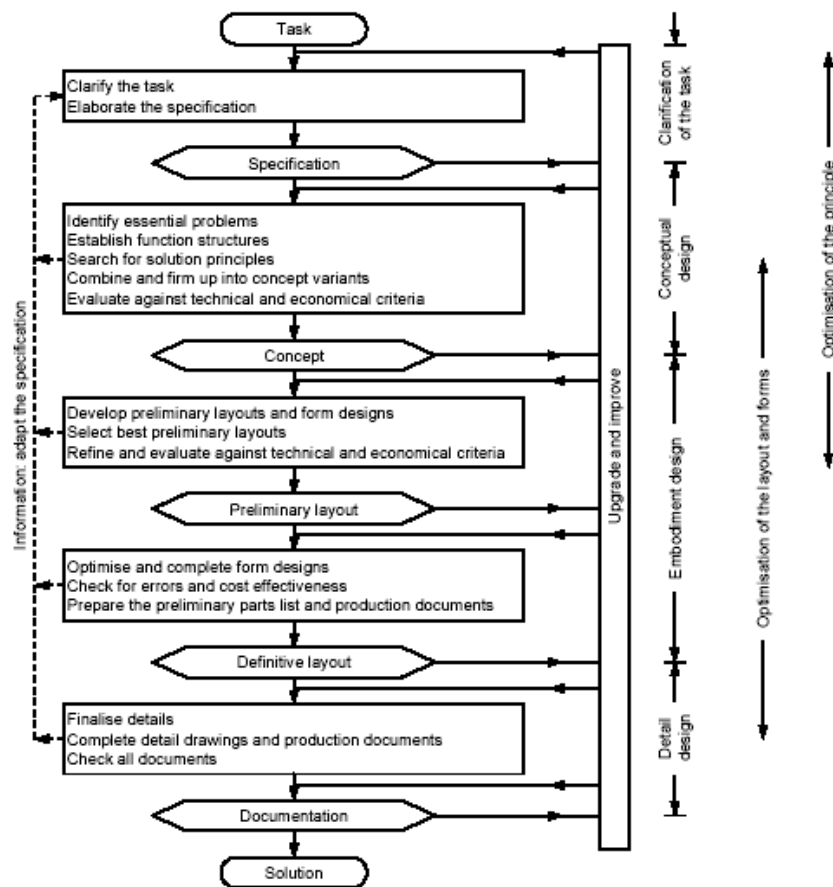


Figure 1.4. Le processus de conception selon [Pahl & Beitz 96].

[Ulrich & Eppinger 00] proposent un processus générique de développement du produit articulé en six phases (Figure 1.5). Le processus commence avec une phase de planning, laquelle est un lien direct avec les activités de R&D et les activités de développement technologiques. Le résultat de cette phase est la mission du projet, laquelle devient l'entrée pour initier la phase de développement du concept qui va guider l'équipe de conception. Dans cette approche chaque phase correspond à un état de définition du produit. Dans chaque phase il existe une série d'activités que les concepteurs doivent faire pour compléter le processus de conception. Les auteurs notent que ce processus est générique et celui-ci doit être adapté au contexte particulier de chaque entreprise.

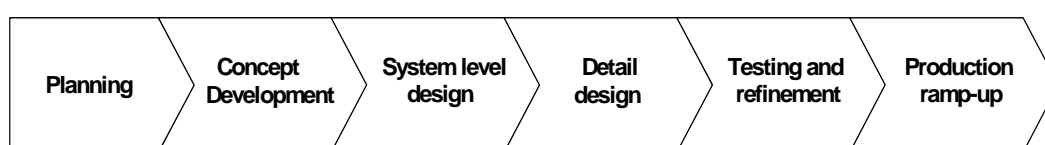


Figure 1.5. Le processus de conception selon [Ulrich & Eppinger 00].

La conception selon [Pugh 90] est une activité holistique laquelle implique une série d'étapes qui vont de la définition du besoin jusqu'à la vente du produit, Figure 1.6. Le noyau du processus de conception suppose beaucoup de travail collectif de la part des concepteurs, souvent avec différents domaines et perspectives, mais qui travaillent vers un but commun. De plus, ce but implique certains besoins du client.

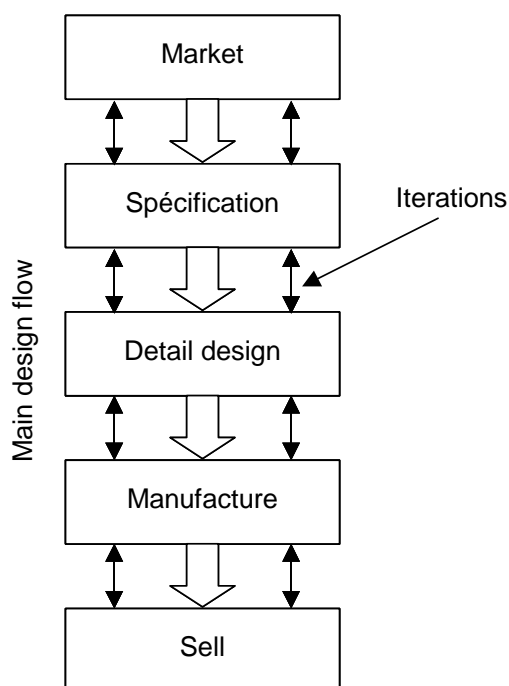


Figure 1.6. Le noyau du processus de conception d'après [Pugh 90].

Les modèles précédents proposent une série d'activités au niveau macroscopique pour le processus de conception. De telle sorte que l'organisation de la conception est au niveau global. La coopération entre les acteurs n'est pas écartée dans ce type de modèles mais elle n'est pas formalisée. En conséquence, ils laissent le libre choix aux concepteurs de coopérer entre eux. La coopération se passe entre les acteurs à partir de volontés individuelles.

3.3. Coopération dans les modèles d'activité

Insatisfaits avec le niveau de représentation des modèles des phases, d'autres chercheurs ont essayé de modéliser plus finement la conception. Ils ont proposé des modèles de conception basés sur l'activité. Leur objectif est de se focaliser sur l'activité plutôt que sur les livrables du processus de conception.

[Gero 90] propose un modèle de conception qui représente les connaissances que les concepteurs mobilisent lors de la conception qu'il a nommé le cadre FBS (*Function, Behaviour and Structure*), voir Figure 1.7. Ces connaissances peuvent être représentées par des variables de fonctions, du comportement et de la structure. A travers la réalisation plusieurs activités (de transformation ou de comparaison) Gero postule que la conception est la transformation des fonctions en une description d'un concept. Cependant, cette transformation ne peut être faite directement. Elle doit passer par une structure qui évoque les composants d'un produit et leurs relations. L'auteur a identifié 8 activités : la formulation du problème, la synthèse d'une structure, l'analyse du comportement de la structure, l'évaluation de deux comportements, la reformulation en termes de fonction, comportement et structure et la production de la description du produit.

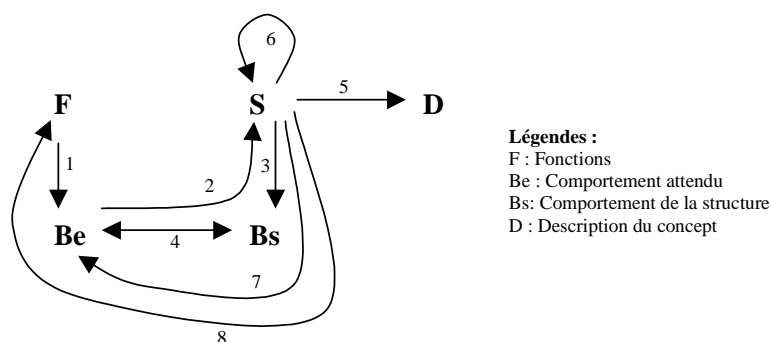


Figure 1.7. Le cadre Fonction, Structure et Comportement, d'après [Gero 90].

Nous signalons que Gero est un chercheur dans le domaine de l'architecture. Par conséquent, ce modèle ne prend pas en compte les activités après la conception d'un bâtiment. Ainsi le

modèle proposé s'avère généraliste si nous le transposons dans d'autres domaines. Pour adapter le modèle dans le domaine de la conception mécanique, il faut en tenir compte dans ce type d'activités pour rendre la fabrication du produit réalisable. C'est pour cette raison que nous proposons une évolution du modèle précédent pour celui de la Figure 1.8. Dans l'approche d'organisation séquentielle de la conception, le produit doit être fabriqué à partir de la description du produit. Cependant, le processus de fabrication doit être établi en fonction des caractéristiques du produit (Me). Toutefois ce processus de fabrication sera réalisé avec les moyens disponibles par l'entreprise et il peut varier un peu de la description initiale (Ma). A partir du processus réel le produit sera fabriqué. Nous pouvons établir des relations d'évaluation entre le produit, sa description et sa fabrication de manière similaire à celle du processus pour arriver à la description du concept du produit.

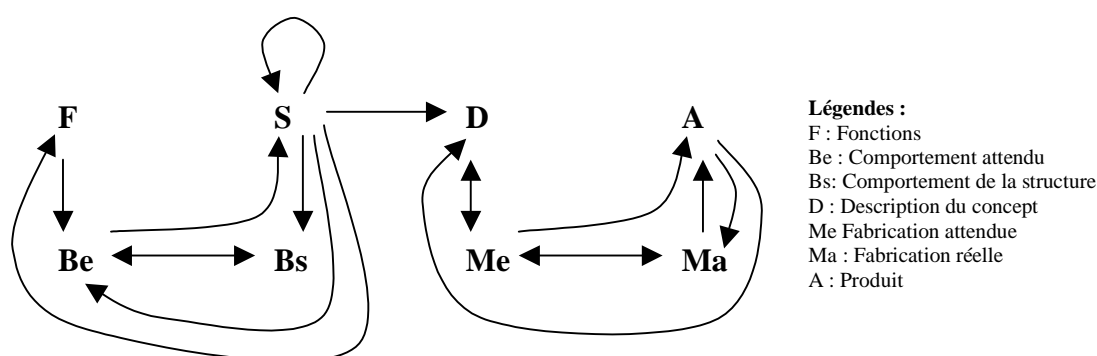


Figure 1.8. Le cadre FBS modifié pour la conception mécanique.

Néanmoins dans une approche d'ingénierie concurrente, l'objectif est de prendre en compte les contraintes des autres acteurs de la conception plus tôt dans le processus de conception. En conséquence, les activités de définition du processus de fabrication du produit doivent être réalisées en même temps que celles de la définition du produit. Ainsi il est nécessaire que la partie droite du cadre FBS modifié soit réalisée en même temps que la partie gauche.

Comme évolution du cadre FBS, [Gero & Kannengiesser 04] proposent un modèle enrichi pour prendre en compte la notion de situation ou contexte dans le processus de conception, Figure 1.9. Pour arriver à ces objectifs les auteurs proposent de modéliser le contexte comme une interdépendance entre le concepteur et son environnement. Ceci est représenté par l'interaction entre trois mondes : le monde extérieur, le monde interprété et le monde attendu tandis que les processus sont un processus d'interprétation, un processus de focalisation et un processus de d'action.

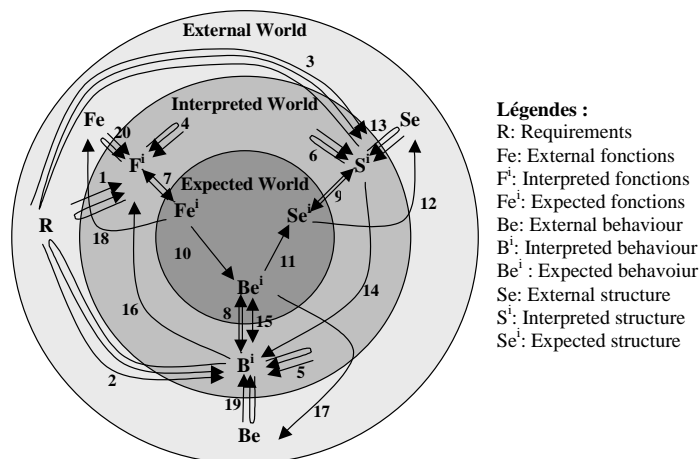


Figure 1.9. Le cadre situé FBS selon [Gero & Kannengiesser 04].

Un autre modèle d'activité est proposé par [Rasmussen *et al* 94]. L'auteur utilise les niveaux d'abstraction pour représenter le travail à réaliser. Ce modèle est proposé sous une approche cognitive. Il expose que l'accomplissement d'une tâche peut être fait à travers les relations entre les moyens et les finalités d'une part, et la décomposition d'une entité en composantes d'autre part. De telle sorte que le produit a une finalité différente de celle d'un sous-ensemble ou d'un composant. Ainsi, chaque niveau de décomposition ou abstraction a ses propres objectifs ou propos, ses propres flux d'information ou énergie, ses propres fonctions, ses propres processus et sa propre configuration matérielle.

MEANS- ENDS RELATIONS	PROPERTIES REPRESENTED
Purposes and values : Constraints posed by environnement	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Physics-based proprieties and causes of malfunction are propagating buttom-up</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Purpose-based proprieties and reasons for proper functions are propagating top-down</p> </div> </div>
Priority measures : flow of masse, energy, information, people, and monetary value	
General work activities And functions	
Specific work processes and physical processes equipment	
Appearance, location and configuration of material objects	

Figure 1.10. Les relations moyens-finalité et les niveaux d'abstraction selon [Rasmussen *et al* 94].

En prenant les niveaux d'abstractions comme principe de base, [Darses 97] propose un modèle de conception qui intègre plusieurs points de vue dans le processus de conception, Figure 1.11. Traditionnellement, le déroulement de la conception est vu comme un passage

séquentiel entre les différentes étapes du processus. En conséquence l'affinement de la solution évolue dans le temps. La solution est de plus en plus détaillée au fur et à mesure de l'avancement du projet. De plus, l'approche séquentielle présuppose que la solution se développe dans un axe abstrait-concret à travers des transformations linéaires et séquentielles. Ceci implique que la solution de chaque niveau d'abstraction produit une solution validée à la fin de chaque étape. Cependant, l'auteur a montré par ailleurs que les représentations de la solution mobilisées par les concepteurs à un moment donné sont un mélange de représentations de plusieurs niveaux d'abstraction. Par conséquent, Darses propose de modifier la représentation du processus de conception pour en obtenir une plus adéquate. L'auteur constate que les concepteurs opèrent en mêlant spontanément plusieurs niveaux d'abstraction : structurel, fonctionnel physique. Ainsi une solution n'est pas composée des représentations d'un seul niveau d'abstraction, mais elle est composée de spécifications de tous niveaux d'abstraction.

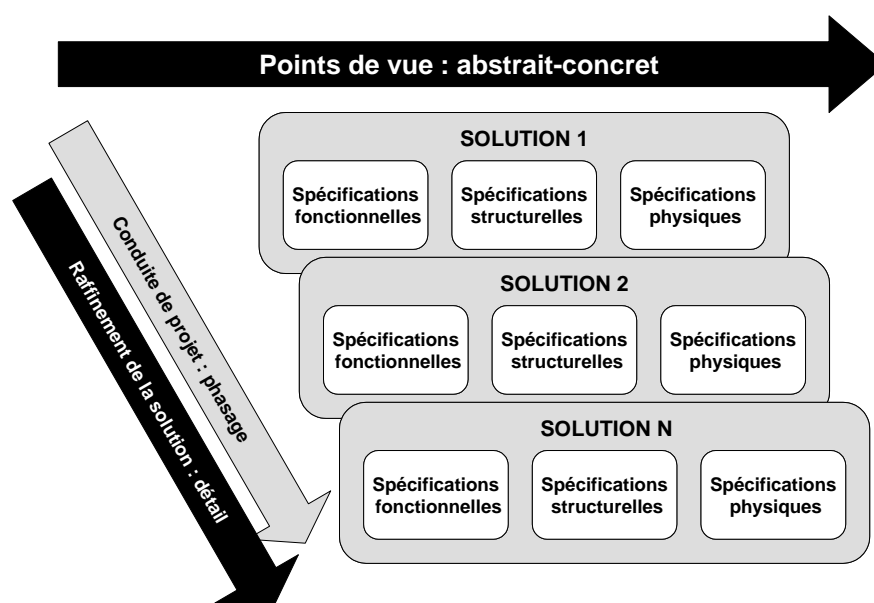


Figure 1.11. Le modèle de la conception selon [Darses 97].

3.4. Coopération dans les modèles socio-techniques

D'autres modèles existent pour décrire le processus de conception. Ceux-ci sont dérivés d'une autre approche pour la recherche en conception. L'approche utilise généralement les méthodes de l'ethnographie pour étudier les processus de conception. Ainsi plusieurs chercheurs sont allés sur le terrain (à l'entreprise) pour devenir des concepteurs eux-mêmes.

De ce fait, les résultats obtenus se basent sur des observations des processus de conception réels et non sur des processus créés « artificiellement » pour être étudiés.

Bucciarelli [Bucciarelli 88] a été un des premiers chercheurs en utiliser les méthodes ethnographiques dans le domaine de la conception mécanique. Il présente deux études dans son article. L'une porte sur la conception des modules photovoltaïques pour transformer la radiation solaire en électricité et l'autre porte sur la conception des appareils médicaux de rayons X. Le résultat de ses observations amène Bucciarelli à dire que le processus de conception est un processus collectif, donc un processus social. A savoir, le processus de conception est une construction sociale par l'interaction des concepteurs. Les différents participants, avec des responsabilités distinctes, négocient leurs intérêts et arrivent à des compromis sur la production des artefacts. Les acteurs coopèrent pour réaliser ce qui a été dit précédemment sans être totalement d'accord avec les différentes vues sur la conception.

Minneman [Minneman 91] analyse des situations : d'une part, un projet industriel de conception sur une photocopieuse et d'autre part, des expériences de conception qui se focalisent sur l'étude de la communication dans des activités de conception distribuée. Pour réaliser ses études l'auteur a utilisé une technique particulière de l'analyse ethnographique, à savoir l'analyse vidéo. Deux résultats se dégagent du travail de Minneman. D'un côté, un cadre pour l'analyse de l'activité de conception basé sur les objets avec lesquels les concepteurs travaillent et la temporalité du travail réalisé. D'un autre côté, un ensemble de pratiques que les concepteurs mettent en œuvre pour la réalisation de leur travail. En ce qui concerne les pratiques de l'activité de conception, quatre pratiques ont été identifiées comme cruciales dans le processus de conception : la négociation de compréhension, le maintien de l'ambiguïté, l'adéquation des communications techniques pour les destinataires et la manipulation de représentations communes. Comme nous pouvons le constater ces pratiques s'attachent aux aspects de la coopération entre concepteurs.

Vinck [Vinck 99] présente un recueil d'articles qui sont le fruit de la collaboration entre des sociologues du laboratoire CRISTO (Centre de Recherche : Innovation Socio-Technique et Organisations), les mécaniciens du laboratoire 3S (Sols, Solides et Structures). L'auteur expose donc plusieurs études de terrain réalisées notamment par des doctorants au sein de ces deux laboratoires. Dans ce recueil nous pouvons trouver des analyses ethnographiques dans le domaine du calcul numérique, de la conception d'une turbine de peinture pour l'industrie automobile, la conception d'un nouvel équipement pour l'industrie aéronautique, de la

conception de pièces forgées d'essieux, etc. Une particularité de ces études est l'utilisation du concept des objets intermédiaires. Cette notion est un résultat de ces études de terrain pour analyser la coopération entre les acteurs.

La caractéristique principale des modèles socio-techniques de la conception est sa fonction descriptive. Ainsi ces modèles nous « exposent » comme les concepteurs ont coopéré dans le processus de conception. Cette description est très détaillée et fine. Cependant les analyses réalisées avec une approche ethnographique visent à décrire qu'une partie du processus de conception, Notamment des moments forts ou frappants du processus.

4. Modèles de collaboration

L'étude des situations collaboratives s'est développée dans les dernières années. Notamment l'étude de situations de conception à distance, principalement aux domaines de la conception mécanique et la conception architecturale. Plusieurs modèles de collaboration sont issus de ces études. Par exemple, suite à une étude dans l'industrie automobile, Gierhardt [Gierhardt *et al* 99] propose un système taxonomique pour la conception et le développement distribué du produit (Figure 1.12). Ce système repose sur trois modules principaux : une matrice de caractéristiques de distribution, un tableau de conditions limites et une matrice de solutions. La matrice de caractéristiques de distribution définit 15 caractéristiques typiques d'un processus distribué, ainsi que les conditions possibles pour chacune des caractéristiques et les problèmes dérivés du processus de conception distribué. Le tableau de conditions limites est utilisé pour analyser les facteurs qui agissent sur la conception du produit et le processus du développement en général. Cette analyse identifie les limites du processus en fonction des circonstances du développement du processus de conception. La matrice de solutions est une base de données pour stocker les problèmes dérivés du processus de conception distribuée ainsi que pour suggérer des solutions possibles à tels problèmes.

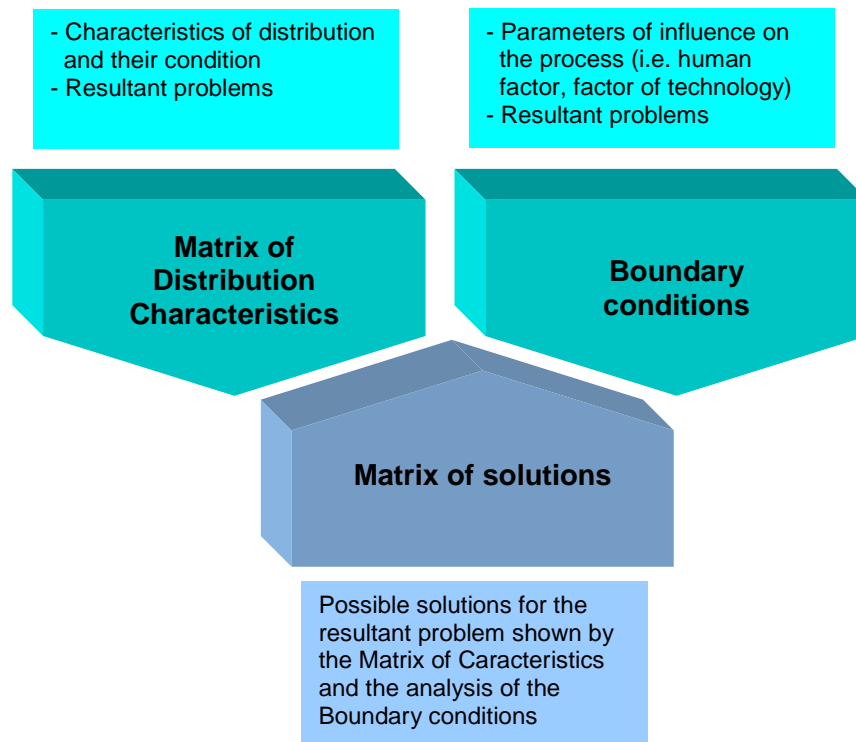


Figure 1.12. Le système taxonomique pour la conception et développement distribué du produit selon [Gierhardt et al 99].

Dans le domaine de la conception architecturale, Kvan [Kvan 00] propose un modèle de collaboration en conception présenté dans la Figure 1.13. L'auteur affirme que la conception collaborative consiste en actions parallèles des experts. Chacune de ces actions est de courte durée, et elles sont encadrées par des activités communes de négociation et d'évaluation. Ainsi l'activité de conception elle-même est discrète, individuelle et parallèle, pas nécessairement liée. Les concepteurs agissent en tant qu'experts considérant des aspects de conception de leurs perspectives. L'expertise des acteurs peut évoluer pendant une session de conception au fur et à mesure de leur compréhension mutuelle et de l'apprentissage qu'ils font de leur participation.

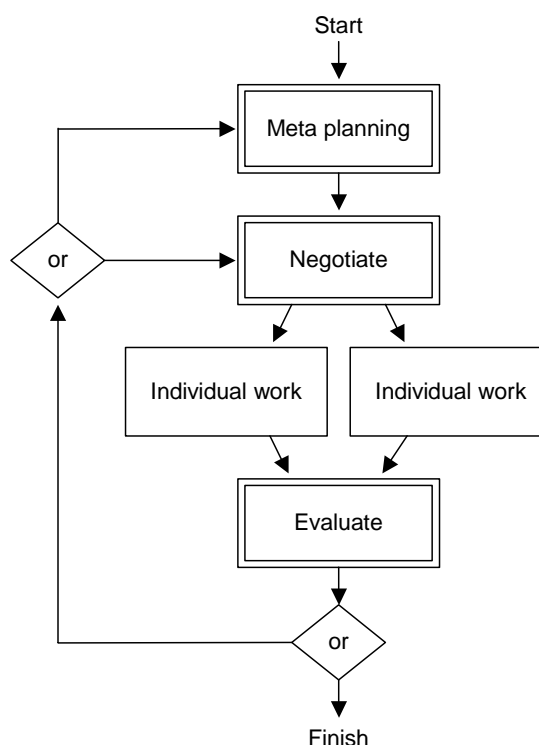


Figure 1.13. Le modèle de collaboration d'après [Kvan 00].

Chiu [Chiu 02] propose un modèle de conception collaborative basé sur la prise de décision (Figure 1.14). L'information de conception est fournie de la phase initiale vers la phase finale jusqu'au moment où le processus de prise de décision est achevée. Ainsi le cycle de circulation de l'information implique la consultation, la négociation, la prise de décisions et finalement la réflexion. La négociation est considérée en tant qu'une tâche importante de la prise de décisions en la conception collaborative. La consultation est une activité de vérification des décisions à prendre. La réflexion vise à confirmer le résultat de la prise de décision et à initier un autre cycle dans le traitement de l'information. Au sein du processus les stimulus et l'attitude des participants sont également critiques à la prise de décision. L'auteur propose que ce modèle aide à comprendre comment la collaboration en conception peut accélérer le processus par l'organisation efficace ainsi que la communication à travers des possibles systèmes assistés par ordinateur.

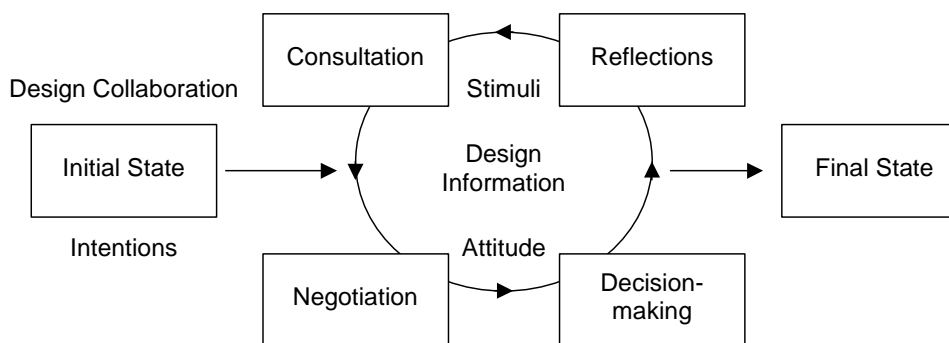


Figure 1.14. Le modèle de collaboration en conception selon [Chiu 02].

MacGregor [MacGregor 02] présente un cadre prescriptif pour les activités de conception collaboratives à distance. A travers l’analyse de plusieurs cas d’étude l’auteur propose que le déroulement des processus de conception à distance soit réalisé à travers quatre phases (voir Figure 1.15). La première phase (P0) vise la construction d’une infrastructure pour la distribution. De telle sorte que cette phase soit une pré-phase avant le processus de conception distribué qui doit être réalisée avec une organisation indépendante d’un projet spécifique de distribution. Néanmoins les résultats de cette phase sont importants pour assurer le succès du processus. Deux étapes doivent être réalisées pour construire cette infrastructure : d’une part, la modélisation du processus actuel, qui doit caractériser l’organisation de l’activité en termes du travail distribué, et d’autre part, la formation des participants au processus distribuée, c’est à dire, une formation aux outils de communication à distance. La deuxième phase (P1) a pour but la définition du contexte du projet. Cette phase implique la spécification du projet de conception en termes de distribution. La détermination de conditions limites et conditions sans limites pour le déroulement du projet produit une stratégie spécifique pour la conception. Ces conditions sont établies à l’aide d’une matrice de caractéristiques définie par l’auteur, et similaire à celle de [Gierhardt *et al* 99]. Le résultat de cette phase est l’adaptation de l’infrastructure distribuée au projet de conception. La troisième phase (P2) implique la mise en place de l’infrastructure distribuée définie à la phase précédente, l’allocation de ressources en termes de personnel ainsi que de matériels nécessaires pour le projet de conception. La dernière phase (P3) contrôle l’évolution du projet de conception et produit des actions correctives en réponse aux problèmes rencontrés. Pour ce faire, cette phase développe des mesures proactives et réactives, en fonction de la conscience du groupe (*awareness*) et avec la possibilité de changer le contexte ou d’infrastructure.

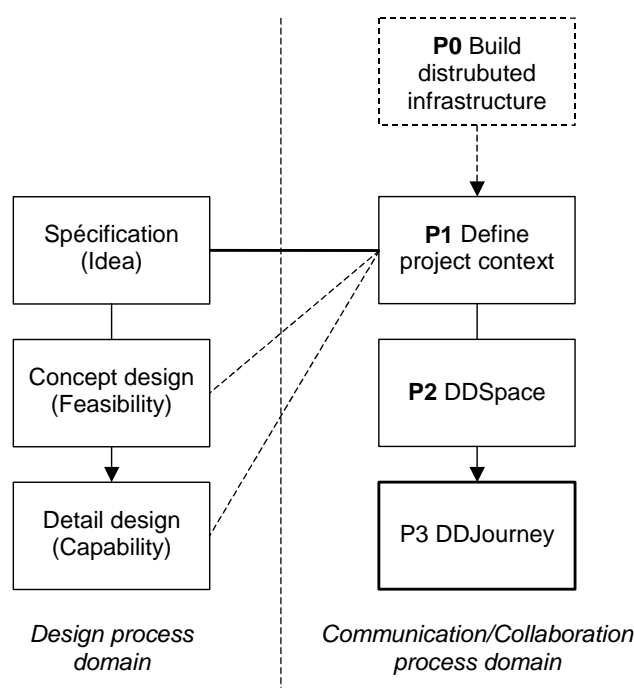


Figure 1.15. Le cadre D4D (design for distribution) d'après [MacGregor 02].

Lahti [Lahti *et al* 04], à travers l'analyse d'une situation d'apprentissage, propose les modèles de trois types de collaboration dans la conception collaborative assistée par ordinateur. D'abord l'auteur a constaté qu'au sein du processus développé par une équipe de conception, les acteurs n'ont pas développé un objet partagé de conception, et que les activités des acteurs étaient très faiblement intégrées (Figure 1.16a). Ce processus a été identifié comme coordination. Ensuite, une autre équipe a développé une séquence de coopération (Figure 1.16b). L'équipe a développé un haut niveau d'organisation du processus et elle a partagé un objet de conception. Finalement, la Figure 1.1c montre le processus de collaboration d'une troisième équipe. La collaboration était très intense, les membres ont développé un objet partagé de conception et ils ont contrôlé le processus de conception à travers la production de nombreux pour organiser le processus de conception. Les auteurs ont caractérisé le niveau de collaboration entre les acteurs, au moyen du cadre pour analyser la collaboration proposée par [Engeström 92].

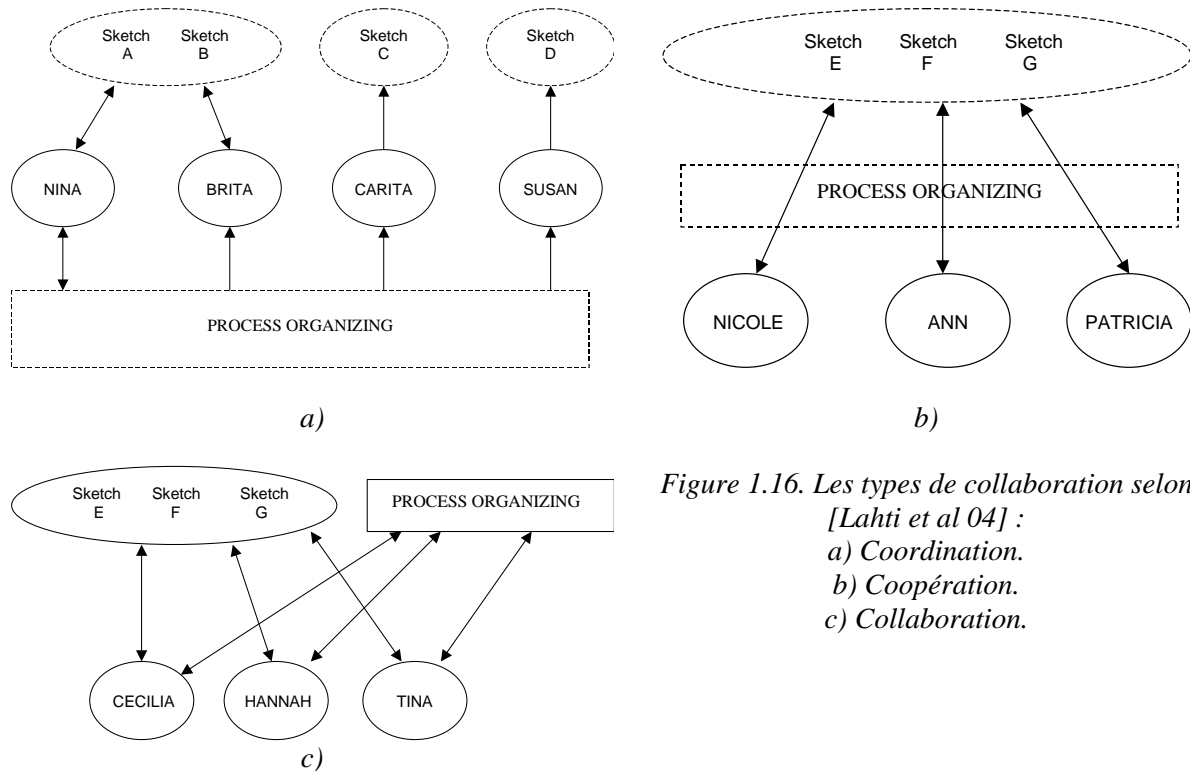


Figure 1.16. Les types de collaboration selon [Lahti et al 04] :
 a) Coordination.
 b) Coopération.
 c) Collaboration.

Ostergaard [Ostergaard *et al* 04] présente un modèle de conception collaborative basé sur le concept de résistance électrique (Figure 1.17). Les auteurs utilisent l’hypothèse qu’il y a des facteurs qui affectent la collaboration en conception, tels que la composition de l’équipe de conception, la nature du problème, l’information disponible, la communication, la distribution et l’approche de conception. Ces facteurs peuvent jouer comme des éléments de résistance ou de conductance en ce qui concerne l’accumulation de connaissances actives pendant le processus de conception. La connaissance active est définie par les données de conception. Elle est la connaissance explicite du processus de conception et elle se trouve généralement aux représentations des artefacts de conception. L’accumulation de ce type de connaissances joue comme le courant du circuit électrique. D’un autre côté, la tension électrique est l’effort qui oblige le courant à circuler. Cette tension électrique est représentée par la connaissance passive, qui est la connaissance en ce qui concerne la connaissance du processus de conception. L’expertise des connaissances du processus de conception permet la connaissance et la manipulation de la connaissance active. Des exemples de connaissance passive sont l’expérience du concepteur, les livres, les catalogues, les procédures, etc. Il faut noter qu’un processus de conception s’organise d’une certaine façon par rapport aux tâches. Celles-ci peuvent être conduites en série ou en parallèle en fonction de sa simultanéité. Ainsi les concepts de résistances en série ou en parallèle sont introduits au modèle, pour la conduite de

tâches de conception, avec les mêmes propriétés que dans un circuit électrique. Ainsi la performance du processus de conception est représentée par la combinaison du courant, de la résistance totale du circuit électrique et de la tension électrique.

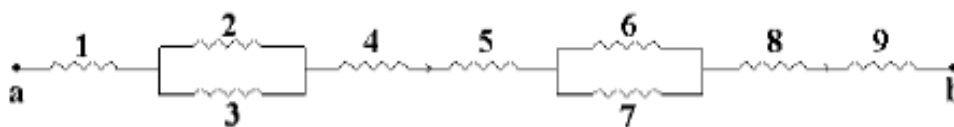


Figure 1.17. Le modèle de collaboration basé sur des résistances électriques selon [Ostergaard et al 04].

En passant en revue les modèles précédents, nous constatons que le niveau de gestion de l'activité de conception varie. Certains modèles décrivent le processus à un niveau macroscopique [Gierhardt *et al* 99], [MacGregor 02], [Ostergaard *et al* 04] et d'autres modèles à un niveau microscopique [Kvan00], [Chiu 02], [Lahti *et al* 04]. Le premier niveau vise à la gestion de tâches tandis que le deuxième vise à la gestion d'activités. A la différence des autres modèles présentés, le modèle de [Ostergaard *et al* 04] est issu d'une réflexion sur la littérature actuelle en ce qui concerne la collaboration. Ceci peut être un handicap pour le modèle (mais en même temps un atout en fonction de la exhaustivité de littérature analysée par Ostergaard). Ainsi, le modèle ne démérite pas et il ouvre une voie intéressante pour l'analyse des processus de conception collaborative distribuée. Un constat intéressant est ce presque tous les modèles de collaboration ne prennent pas en compte l'environnement des concepteurs. En effet, des aspects comme des ordinateurs, des tableaux blancs, des chaises, de bureaux, des documents, des outils, etc, n'apparaissent pas dans les modèles précédents. Ce constat nous permet de dire que le paradigme de l'approche du traitement humain de l'information est toujours très présent dans la recherche. Seulement le modèle proposé par [Lahti *et al* 04] est le seul à étudier les interactions des acteurs en prenant compte des artefacts mobilisés par les concepteurs. Notamment, Lahti utilise les dessins réalisés par les concepteurs pour modéliser le niveau de coopération entre les acteurs.

Par la suite nous procéderons à l'annonce de nos objectifs ainsi qu'à l'établissement des questions de recherche qui ont guidé nos travaux de thèse.

5. Questions de recherche

Les sections précédentes ont identifié le contexte dans lequel la conception à distance est réalisée. A savoir, la conception est collective, il existe une distribution de connaissances

entre les acteurs, il existe une confrontation de points de vue et les concepteurs sont éloignés géographiquement les uns des autres. Ainsi nos objectifs principaux sont, d'une part, étudier et comprendre l'activité de conception collaborative, et d'autre part, utiliser notre compréhension pour aider les concepteurs à mieux collaborer. De cette manière, notre travail consiste principalement à comprendre comment les concepteurs coopèrent. Il s'agit de faire une caractérisation d'un processus de conception à distance en mettant l'accent sur les aspects de coopération entre les acteurs.

Ceci nous amène à identifier la problématique de notre travail de recherche. Ainsi nous avons défini des questions de recherche qui ont cadré et guidé nos travaux. Ces questions sont les suivantes :

Quels sont les mécanismes de coordination et les processus de coopération entre les acteurs de la conception à distance ?

Comment est réalisée la synchronisation cognitive entre les concepteurs ?

Comment les acteurs arrivent à développer une compréhension partagée des aspects de la conception ?

6. Conclusions

Dans ce chapitre nous avons brièvement étudié l'évolution de la conception au cours des dernières années. Nous avons constaté que les entreprises ont été amenées à reconsidérer leur façon de s'organiser pour structurer le processus de conception. La situation précédente a conduit à l'introduction de l'ingénierie concurrente et simultanée dans les processus de conception.

Ce chapitre nous a permis de caractériser le contexte de notre recherche au sein de l'équipe Conception Intégrée du laboratoire Sols, Solides et Structures. A travers les chapitres suivants nous tenterons de répondre aux questions de recherche posées dans ce chapitre. Nos travaux ont pour but de mieux comprendre l'activité de conception dans un environnement distribué, de comprendre les processus de coopération entre les acteurs. De plus, nous pensons utiliser cette connaissance pour l'assistance des concepteurs à distance. Pour ce faire nous allons caractériser deux situations de conception, une expérience distribuée et une expérience localisée.

Chapitre 2.

Choix d'une approche méthodologique

1. Introduction

Dans ce chapitre nous exposons tout d'abord plusieurs méthodologies de recherche qui existent en conception. Nous cherchons ici à situer nos travaux par rapport à celles-ci. Nous discutons ensuite pourquoi il est important d'adhérer à un cadre théorique méthodologique. En suite nous décrivons certaines approches empiriques utilisées pour étudier la conception : l'analyse de protocole du corpus et l'analyse qualitative. Nous présentons, dans cette partie, plusieurs études réalisées à l'aide de ces deux approches. Pour finir, nous présentons et discutons l'approche adoptée dans nos travaux de recherche : une combinaison de l'analyse de protocole et de l'analyse qualitative.

2. Méthodologies de recherche en conception

La conception est une activité sociale et cognitive qui se déploie dans un contexte dynamique et chaque projet de conception est, par définition, unique. Cette unicité a deux principales causes. Premièrement, le but de la conception est de créer des artefacts qui n'existent pas encore. Deuxièmement, chaque activité de conception se déroule dans un contexte différent et avec différents acteurs. La nouveauté de l'artefact peut être la totalité ou juste une partie. Le contexte varie selon les organisations, les stratégies de l'entreprise, les marchés, les technologies employées, etc. ainsi que les acteurs.

Nous utilisons des modèles de conception plus ou moins formels pour nous aider à concevoir des produits qui répondent au mieux aux attentes du client. Cependant, l'activité de conception ne présente pas de théorie établie comme dans d'autres domaines de connaissances tels que la chimie, l'électricité, la physique, etc. Ainsi, les résultats d'études portant sur les processus de conception ne peuvent pas être vérifiés par d'autres chercheurs si les conditions d'expériences et les démarches de recherche ne sont pas assez précisément explicitées. Aussi, passons-nous maintenant en revue quelques méthodologies de recherche en conception proposées par plusieurs chercheurs pour tenter de remédier à cette situation.

2.1. Une approche de conception

Plusieurs chercheurs ont proposé des méthodologies de recherche en conception pour pallier ce manque de rigueur scientifique dans la démarche de recherche. Certaines sont présentées comme nouvelles, d'autres comme une simple extension d'une méthodologie de recherche structurée dans un laboratoire de recherche. Duffy [Duffy & O'Donnell 98] propose un cadre pour la recherche en conception. Celui-ci est suivi par le laboratoire CAD de l'Université de Strathclyde. Duffy explique la mission de son laboratoire comme :

« to develop a fully integrated computing environment which supports design and its management based upon a fundamental understanding of design » [Duffy & O'Donnell 98]

Ainsi tous les travaux de recherche du laboratoire sont orientés vers le développement d'outils informatiques pour la conception. Les auteurs divisent le cadre en deux parties : une partie descriptive et une partie prescriptive, voir Figure 2.1. La première partie propose de modéliser une situation réelle pour établir un modèle descriptif des phénomènes qui reflète la pratique de conception. Si nécessaire, ce modèle est utilisé ensuite pour développer un modèle d'information plus détaillé ainsi que des modèles et des outils informatiques. A chaque étape il est possible de faire une comparaison ou une évaluation par rapport aux modèles plus anciens ou à la réalité à fin d'augmenter la compréhension du processus de conception. La partie descriptive considère une situation idéale et la décline dans des modèles prescriptifs de phénomènes, d'information et informatiques. Il va sans dire que de tels modèles peuvent aussi être comparés avec d'autres modèles en vue d'une amélioration. Les auteurs mettent l'accent sur le fait qu'il est possible de démarrer le cycle de recherche depuis n'importe quel point du cadre.

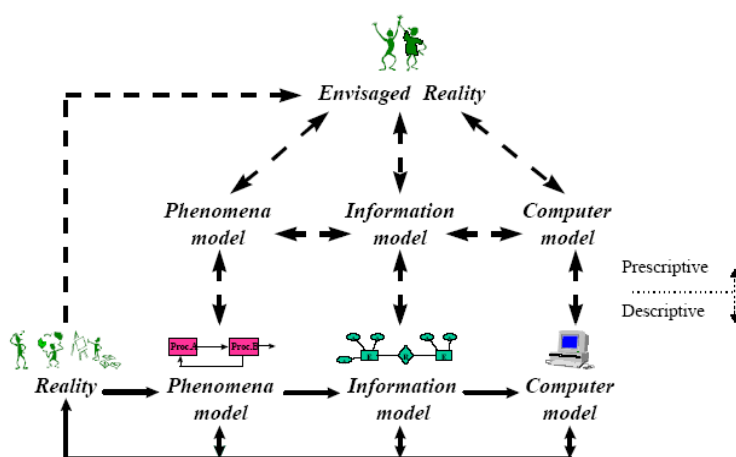


Figure 2.1. Le cadre de recherche [Duffy & O'Donnell 98].

2.2. Approche ethnographique de l'Université de Stanford

L'approche de recherche initiée par Tang [Tang 89] et Minneman [Minneman 91] puis reprise par d'autres chercheurs au Département de Génie Mécanique de l'Université de Stanford est une approche ethnographique. Cette approche se base sur des itérations autour du processus de conception. Il en ressort trois étapes principales : l'observation du processus, l'analyse du processus et l'intervention sur le processus (Figure 2.2). Ces itérations sont réalisées par la méthode d'analyse des interactions issue de l'anthropologie sociale et la sociologie, mobilisées dans une démarche de recherche-action. La recherche-action est une approche de recherche qui a pour but de participer à l'action et de créer des connaissances ou des théories à propos de cette action [Coughlan & Coughlan 02]. Cependant Minneman propose d'ajuster le cycle de recherche en fonction de l'objectif de l'étude. D'une part l'intervention, avec une analyse peu approfondie du processus de conception, d'autre part l'analyse, avec une étude approfondie de la situation du processus de conception.

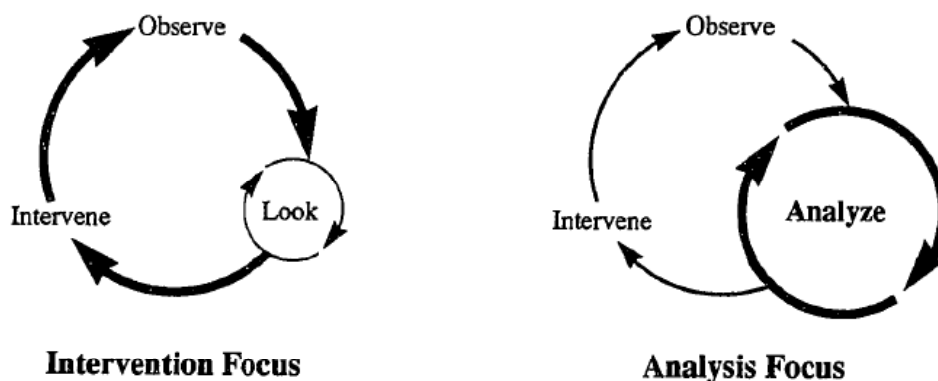


Figure 2.2. Approche ethnographique de l'Université de Stanford [Minneman 91].

2.3. Une méthode de recherche socio-technique

Les mécaniciens et sociologues des laboratoires 3S et CRISTO travaillent ensemble depuis plus une dizaine d'années sur l'étude de la conception. Cette collaboration a poussé les chercheurs en mécanique à aller sur le terrain avec des sociologues et à utiliser les méthodes de recherche basées sur l'ethnographie pour étudier la complexité de l'activité de conception [Boujut & Tiger 02], notamment la méthode de recherche-action. En effet, plusieurs chercheurs vont sur le terrain, là où l'action se produit et ils participent eux-mêmes au processus de conception. Ils ont donc à la fois la casquette de chercheurs et de concepteurs. Il en résulte une analyse et une modélisation fine du processus de conception grâce à un point de vue de « l'intérieur ». A partir de là, les chercheurs produisent des outils d'aide à la conception. Ces outils sont testés soit dans des expériences réalisées en laboratoire soit dans

un contexte industriel, Figure 2.3. Cependant l'introduction de ces outils dans le contexte industriel modifie les conditions « normales » de travail et génère des perturbations non prévues initialement dans le processus de conception ou le comportement des concepteurs.

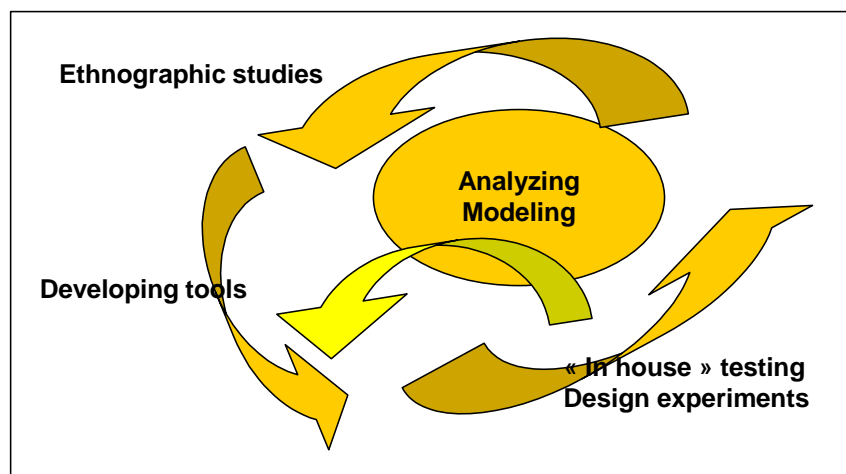


Figure 2.3. L'approche socio-technique des laboratoires 3S-CRISTO [Boujut & Tiger 02].

Cette approche est similaire à celle proposée par Stanford. Cependant, Boujut et Tiger proposent des outils ou autres moyens issus des résultats d'études ethnographiques pour aider les concepteurs pendant le processus de conception. Ils font remarquer que pour réaliser une boucle de recherche, il faut considérer une période d'au moins 5 ou 6 années.

2.4. Méthodologie de recherche en conception

Blessing [Blessing 02], [Blessing & Chakrabarti 02] propose une Méthodologie de Recherche en Conception (Design Research Methodology ou DRM) pour pallier à trois lacunes cruciales : le manque d'une vue d'ensemble de la recherche actuelle et la non utilisation des résultats dans la pratique et le manque de rigueur scientifique. La DRM propose un cadre théorique pour une conduite de recherche par étapes (Figure 2.4). La première étape a pour but d'identifier des critères et variables pertinentes et mesurables. Ceci dans l'optique d'évaluer la réussite du projet de recherche. La seconde étape est la conduite d'une étude descriptive pour la compréhension du processus et l'identification des facteurs qui influencent les critères déterminés à l'étape précédente. L'objectif de la troisième étape est de produire la situation souhaitée en appliquant une méthode proposée à partir des résultats de la deuxième étape. Enfin, la quatrième étape a pour but d'évaluer la méthode proposée sur deux points : l'évaluation de l'applicabilité de la méthode et l'évaluation des résultats par rapport aux critères de la réussite du projet de recherche.

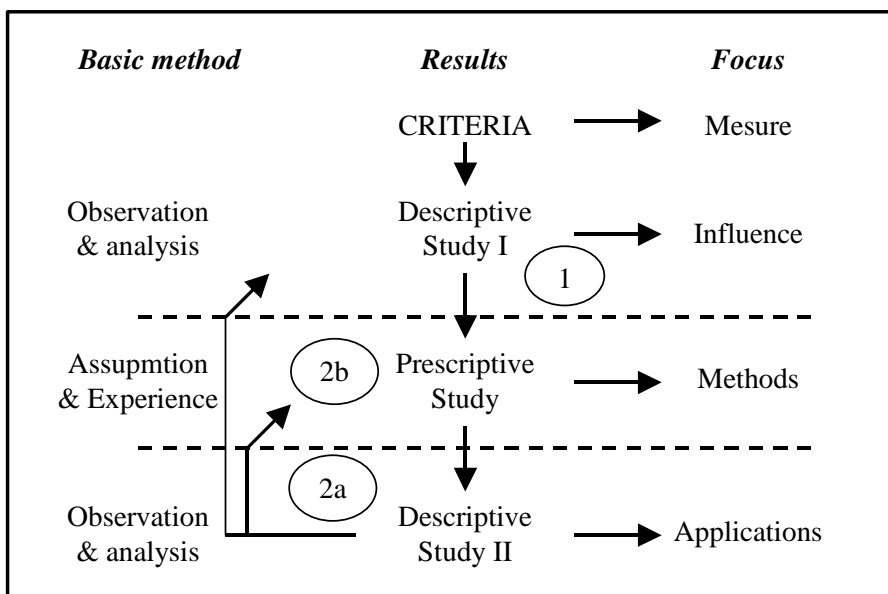


Figure 2.4. La Design Research Methodology [Blessing 02].

Les auteurs font la distinction entre plusieurs types de recherche en fonction des objectifs du projet. Si la finalité du projet de recherche est de décrire un état actuel du processus de conception, alors seules les étapes 1 et 2 sont réalisées. Si la finalité du projet est d'élaborer une méthode, alors les étapes 1, 2 et 3 sont réalisées. On procède de cette façon jusqu'au moment où le type de projet exige l'exécution d'un cycle complet et l'exécution de retours aux études descriptives et prescriptives pour l'amélioration de la boucle de recherche. Une autre caractéristique mise en avant par les chercheurs à propos de la méthodologie de recherche en conception est la possibilité pour les étapes d'être exécutées en parallèle.

2.5. Le cadre méthodologique de la recherche en conception mécanique

Il existe un autre cadre méthodologique développé pour faire de la recherche en conception mécanique. [Brissaud *et al* 03] présente neuf activités qui gravitent autour des objectifs de recherche. Les auteurs mettent en avant qu'en dépit d'un ordre naturel du déroulement du projet de recherche (sens des aiguilles d'une montre sur la Figure 2.5), la séquence n'est pas claire et certaines activités peuvent être réalisées en parallèle ou omises pour être développées postérieurement. Ainsi, au début du cycle, le cadre n'est pas établi et dépend du projet de recherche.

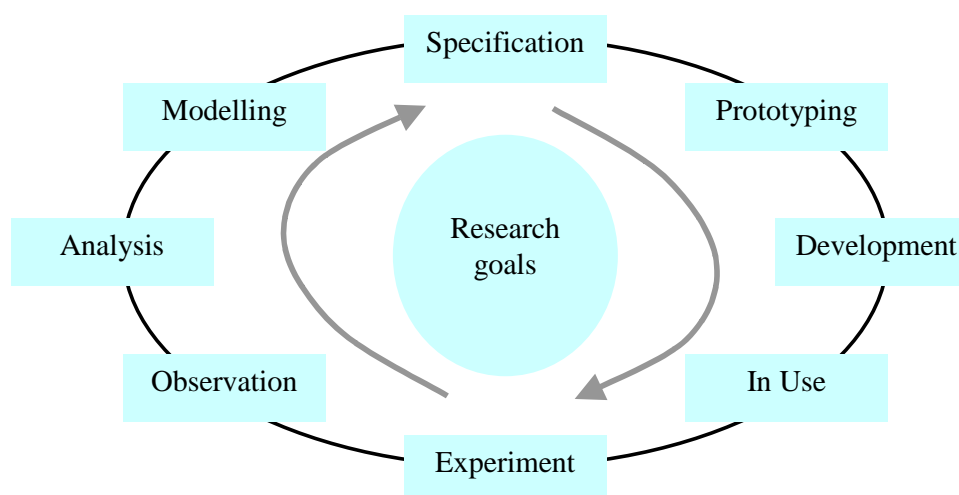


Figure 2.5. Le cadre méthodologique pour la recherche en conception mécanique [Brissaud et al 03].

Les auteurs proposent au moins trois types d'approche avec ce cadre méthodologique : l'étude scientifique, les sciences pour l'ingénieur, et le travail d'ingénierie. La première approche a pour objectif de fournir aux chercheurs des modèles explicatifs du processus de conception. Cette approche implique les activités d'observation, d'analyse et de modélisation pour sa démarche. La deuxième approche a pour objectif le développement d'un artefact. Elle concerne les activités d'analyse de littérature (ou des expériences précédentes), de spécification des caractéristiques de l'artefact et finalement de la réalisation d'un prototype. La troisième approche a pour objectif de transformer le prototype développé dans l'approche précédente vers des utilisateurs potentiels ou dans l'industrie. Il est clair qu'un projet de recherche à long terme doit inclure toutes les activités du cadre méthodologique. Un projet de recherche est donc constitué d'un ensemble de « sous-projets ». Un projet de recherche d'un doctorant ne peut donc que se limiter à quelques activités du cadre méthodologique.

2.6. Une observation sur les méthodologies de recherche en conception

Il existe dans la communauté de recherche une discussion sur la légitimité de considérer la conception comme une science. La psychologie, la chimie, la physique, la biologie, les mathématiques, etc. sont des domaines qui ont des théories qui leur sont propres. Ce n'est pas aujourd'hui le cas de la conception. La finalité d'une théorie est de modéliser et prédire certains phénomènes dans un champ d'application donné. Il n'existe pas de théorie globalement acceptée pour la conception et il est nécessaire d'utiliser des méthodes de recherche empruntées à d'autres sciences pour étudier cette activité.

Dans la communauté de recherche en conception, il existe une volonté de la part des chercheurs d'établir une démarche rigoureuse et scientifique afin de permettre la construction d'une théorie, au même titre que pour les domaines cités précédemment. Il est évident que le but est de générer des connaissances sur la conception et pour la conception [Love 02]. Ainsi nous commençons à voir apparaître des cadres méthodologiques tels que les cadres précédents. L'objectif est de fournir un support méthodologique pour effectuer la recherche, homogénéiser et valider les résultats des études réalisées. Ceci nous semble tout à fait louable.

En ce qui concerne les cadres méthodologiques révisés, nous pouvons les classer en deux catégories : moyen terme et long terme. Dans la première catégorie nous trouvons ceux proposés par Duffy & O'Donnell et Minneman. Ces cadres peuvent être appliqués pour un projet de recherche relativement court. Les autres cadres peuvent inclure les premiers cités. En effet, toutes les étapes ou toutes les activités ne peuvent pas être réalisées dans un projet de recherche relativement court comme un doctorat. Ainsi les cadres méthodologiques proposés par Boujut & Tiger, Blessing & Chakarbarti et Brissaud *et al* semblent plus adéquats pour les activités de recherche d'un laboratoire que pour celles d'un doctorant.

Par rapport à la structuration interne des étapes, les cadres ne fournissent pas un descriptif des activités. Cependant il est clair que cette structure change en fonction du projet de recherche et de ses objectifs. Elle varie aussi par rapport aux techniques et aux méthodes utilisées pour le projet de recherche. Des cadres méthodologiques révisés, seuls les deux derniers explicitent réellement le besoin d'avoir un but ou des objectifs de recherche. Cependant il se peut que dans certains cas il ne soit pas possible d'explicitier des objectifs quantifiables et mesurables mais on doit cependant répondre à d'autres questions de recherche [Eckert *et al* 03].

Le fait d'utiliser des techniques et méthodes provenant d'autres domaines pour faire la recherche en conception mécanique n'est pas gênant. Nous pouvons justifier leur utilisation et nous assurer que ces outils sont solidement construits et utilisés régulièrement. La conception mécanique est une activité humaine complexe où il existe des interactions entre éléments humains, matériels et conceptuels. Ainsi il faut beaucoup d'astuce pour appréhender cette activité complexe.

Dans un autre ordre d'idées, si nous prenons le cadre méthodologique proposé par Blessing, notre projet de recherche passe par trois étapes : définition de critères (questions de recherche dans notre cas), étude descriptive d'un processus de conception distribuée et début de

prescription d'un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception. Si nous prenons le cadre proposé par Brissaud, notre projet est une étude de sciences. Nous sommes plutôt de l'avis qu'un projet de recherche peut commencer n'importe où dans un cadre de recherche méthodologique et que le sujet de recherche se construit et évolue tout au long du processus de recherche. Ainsi le fait d'avoir des critères de réussite pour le projet de recherche est un handicap pour saisir les opportunités qui émergent au jour le jour. Nous sommes plutôt d'avis qu'il faut avoir, dans certains cas, des questions de recherche qui cadrent le projet dans son ensemble sans pour autant brider la neutralité de l'émergence de nouvelles idées.

3. Méthodes d'analyse de l'activité de conception

Il est maintenant admis que la conception mécanique est une activité complexe. Elle a aussi plusieurs facettes [Eckert *et al* 03]. Ainsi, pour étudier toutes ces facettes, nous avons besoin de plusieurs techniques et méthodes d'analyse en fonction de l'aspect étudié : des études empiriques, des statistiques, des analyses de protocoles, modèles mathématiques, etc.

[Waldron & Waldron 96] fait une revue des méthodes employées pour étudier la conception :

L'entretien : cette technique est utilisée traditionnellement pour étudier le comportement humain. Il consiste à poser des questions à un individu sur un sujet déterminé. Il existe plusieurs types d'entretiens : l'entretiens structuré, l'entretien orienté au problème, l'entretien descriptive et l'entretien dirigé.

L'analyse de protocoles : un protocole est défini comme la description des activités (ordonnées par rapport au temps) dans laquelle un sujet s'engage tout en exécutant une tâche. Le type d'analyse est fonction du nombre de personnes impliquées dans la tâche : la méthode « *think-aloud* » pour un individu et les protocoles de discussion pour un groupe de personnes.

La méthode dépositionnelle : cette méthode est une combinaison des avantages de l'analyse de protocole et de l'entretien. L'individu doit rendre compte au chercheur de la logique de leurs actions (décrire ce qu'il a fait à un moment donné et pourquoi).

L'étude de cas : cette méthode fournit une information détaillée sur le résultat d'un processus de conception. Cependant l'information sur le déroulement du processus est moins approfondie.

La méthode rétrospective : Cette approche est similaire à celle de l'étude de cas, mais on ajoute de l'information chronologique sur le processus de conception et on explicite comment les décisions majeures sont prises. Après avoir vérifié les données obtenues, les chercheurs peuvent interagir avec les concepteurs pour obtenir plus de détails sur le processus.

L'observation du processus : Les techniques utilisées pour l'observation du processus viennent de l'anthropologie et la sociologie. Ces techniques peuvent amener le chercheur à être simplement un observateur mais il peut aussi aller jusqu'à participer au processus en tant que concepteur. Normalement ces techniques utilisent les notes d'observation comme données de base.

En fonction de notre projet de recherche et des données que nous disposons, notre intérêt se porte sur deux méthodes d'analyse : l'analyse de protocoles et l'observation du processus.

3.1. Analyse de protocoles (Analyse de corpus)

L'analyse de protocoles est une technique qui a ses origines dans les années 20. C'est une méthode de recherche en psychologie [Cross *et al* 96]. Cette technique a été conçue comme une méthode pour « découvrir » le processus de résolution de problèmes. Au début la technique était un peu limitée car le chercheur devait prendre note des verbalisations des individus. Cependant, avec l'introduction des enregistrements audio d'abord et des enregistrements vidéo ensuite, la technique a pu disposer de données riches et fiables pour l'analyse. Nous présentons ci-après des études réalisées à l'aide de cette technique.

3.1.1. Approche processus de conception

En ce qui concerne les approches d'analyse de protocoles, une des premières études sur la conception avec cette technique a été réalisée par Ullman [Ullman *et al* 88]. Les auteurs proposent un modèle à partir de l'accumulation de tâches et d'épisodes pour explorer et expliquer la conception mécanique. Les résultats obtenus ont été l'illustration des plusieurs formes d'expertise en conception, les modes d'utilisation des outils CAO, les implications des résultats pour l'enseignement et sur l'automatisation de certaines tâches dans la conception.

Plusieurs approches utilisées par les chercheurs pour étudier les processus de conception sont présentées dans [Cross *et al* 96]. Cet ouvrage est une compilation d'articles présentés au Workshop « *Research in Design Thinking II – Analysing Design Activity* » sur le protocole de

Delft. Le protocole est issu d'une expérience qui avait comme sujet la conception d'un dispositif d'attache ou fixation pour permettre d'attacher un sac à dos sur un vélo. En réalité il y avait deux protocoles : un individuel et un autre collectif. Les chercheurs avaient à disposition comme données les deux protocoles, les vidéos d'enregistrement et les dessins réalisés pendant le processus de conception. Ils avaient libre choix d'analyser un seul protocole ou d'analyser les deux en fonction de leurs domaines d'intérêt ainsi que le libre choix de la méthode utilisée pour analyser ces protocoles. Les approches utilisées vont des aspects cognitifs individuels jusqu'aux aspects collectifs, en passant par l'organisation du processus, l'émergence des décisions, la comparaison de la productivité, la gestion de l'information, la comparaison de paradigmes, l'exploration la collaboration au sein d'une équipe, le rôle de l'argumentation en conception, l'analyse des interactions entre concepteurs et objets, etc.

Par ailleurs Gero propose une méthodologie où il utilise l'analyse de protocoles pour étudier le processus de conception. Il estime qu'il y a peu de recherches dont l'objectif est de comprendre les mécanismes de la conception [Gero & McNeill 98]. Il réalise une étude comparative entre l'analyse du protocole de Delft et l'analyse d'une collection de protocoles portant sur la phase conceptuelle pour un produit électronique. Le système de codage utilisé par Gero est composé de trois catégories : le niveau d'abstraction, le raisonnement sur la fonction, le comportement et la structure, les macro-stratégies et les micro-stratégies. Le processus de conception est représenté de manière graphique. Les variations entre les catégories d'analyse sont montrées en fonction du temps. Cependant, il faut noter que les études sont des analyses de protocoles individuels. Il est vrai qu'à certains moments du processus le concepteur est amené à travailler individuellement pour résoudre un détail particulier. Néanmoins nous pensons que la conception est une activité sociale, donc collective où la solution émerge tout en étant négociée par les acteurs.

Une analyse sur la conception d'un système de bridage pour le contournage de pièces en bois dans l'industrie de l'ameublement a été réalisée par Blanco [Blanco 98]. L'expérience s'organisait autour de trois métiers (un protocole collectif) représentés par des modules différents : le module fonctionnel, le module structurel et le module fabrication. L'étude portait sur la compréhension de l'apparition ou émergence des solutions dans les processus de conception distribuée. L'auteur a mis en évidence certains mécanismes de l'émergence du produit à partir de notions de conjecture et d'évaluation : les critères mobilisés évoluent et sont négociés par les acteurs à travers des registres de référence.

Girod a réalisé une étude des activités aux processus de sélection collective de concepts dont l'objectif était de développer un support pour la prise de décision indépendante du contexte [Girod *et al* 00]. Il a identifié 12 activités principales à travers l'observation de trois équipes de conception : deux groupes d'étudiants et un groupe de professionnels.

Garro [Garro *et al* 01] a proposé le concept d'actes de conception pour la modélisation et l'analyse des interactions entre concepteurs. Par rapport aux actes de langages qui décrivent les interactions langagières d'un point de vue pragmatique, les actes de conception décrivent les interactions réalisées entre concepteurs au cours du processus de conception. Ces actes sont basés sur deux actions : la production ou la demande. Ces deux actions sont déclinées en seize actes de conception : s'il y a demande ou production d'information, de solution, d'évaluation, d'organisation, d'accord (ou désaccord) ou de décision. Plusieurs auteurs ont repris les actes de conception, notamment [GRACC 01] où les auteurs ont utilisé le système de codage pour analyser une expérience distribuée, [Anghel *et al* 03] et [Boudouh *et al* 04] où les auteurs ont repris le système de codage pour étudier les interactions entre les concepteurs, les classifier et déterminer leurs origines. [Pena *et al* 03] et [Pena 05] ont repris aussi les actes de conception pour analyser les phases dans un processus de conception et proposer des outils d'aide à la conception.

D'autre part, Motte a réalisé une étude sur l'application spécifique de la méthode « *think-aloud* » aux phases de conception d'ensemble et de conception détaillée [Motte *et al* 04]. Les auteurs indiquent que la plupart des études d'analyse de protocoles portent sur la conception conceptuelle, ainsi ils ont testé la pertinence de la méthode dans ces phases. Ainsi, Motte propose, en guise de résultats, un système de codage et vérifie que les activités cognitives dans les phases de conception d'ensemble et conception détaillée sont différentes de celles de la conception conceptuelle. Chakrabarti rapporte une étude sur la manière dont les besoins sont identifiés, clarifiés et utilisés au processus de conception et aussi sur la manière dont ils influent la qualité des résultats [Chakrabarti *et al* 04]. L'étude indique que même les concepteurs expérimentés laissent un certain nombre de besoins complètement ou partiellement insatisfaits.

Lonchamp [Lonchamp 04] a analysé le corpus d'une expérience de conception pour étudier la représentation du problème et son évaluation. A partir de ses résultats, l'auteur propose un modèle de l'activité de conception basé sur l'approche co-évolutive dans laquelle le problème et de sa solution évoluent en parallèle. Le modèle est basé sur les notions de domaines et

d'activités. Ainsi les représentations du problème et les solutions évoluent tout au long du processus de conception en fonction de quatre activités : la reformulation du problème, la définition, la conjecture, et l'évaluation.

3.1.2. Approche psychologique

Comme nous l'avons signalé ci-dessus, l'analyse de protocoles est une technique issue de la psychologie pour étudier la résolution de problèmes. Cependant elle peut être utilisée pour étudier la conception. Certaines études sur la conception se sont focalisées sur les aspects psychologiques des concepteurs. Ainsi Suwa a réalisé plusieurs études dans le domaine de l'architecture sur l'importance des représentations externes (à l'esprit) pour concrétiser les idées dans les phases préliminaires de conception [Suwa & Teversky 97], [Suwa *et al* 98] et [Suwa *et al* 00]. Les résultats présentés par Suwa indiquent que les concepteurs utilisent les dessins et brouillons comme mémoire externe. En effet, ils gardent traces de leurs idées afin de s'y référer ultérieurement. De plus, l'aspect visuel peut participer à l'émergence des nouvelles idées ou solutions.

La manière dont les équipes de conception traitent les problèmes dans la conception est une problématique étudiée par Stempfle [Stempfle & Badke-Schaub 01] et [Stempfle & Badke-Schaub 02]. En utilisant comme base quatre opérations cognitives basiques, les auteurs proposent un modèle collectif générique de l'activité de conception. Ce modèle est confronté à l'analyse d'expériences de conception mécanique pour le valider. Les chercheurs établissent le fait que les méthodologies de conception sont plutôt concentrées sur le produit final (le résultat du processus). Celles-ci doivent prendre en compte le travail au jour le jour des concepteurs et tenir en compte des contraintes de temps, surcharge cognitive du concepteur en fonction de multiples projets développés, etc.

3.1.3. Approche ergonomique

Des ergonomes cogniticiens ont utilisé l'analyse de protocoles pour étudier eux aussi la conception mécanique. Darses propose un méthode d'analyse cognitive de tâches pour l'étude de la conception collective, notamment les activités coopératives réalisés par les concepteurs. [Darses *et al* 01]. Darses propose que les acteurs impliqués dans la conception ne soient pas impliqués de la même façon au processus de conception. Quelques-uns sont impliqués dans des activités de co-conception tandis que d'autres participent à des activités distribuées de conception [Darses 97]. Dans les situations de conception distribuée les acteurs sont

simultanément, mais pas ensemble, impliqués dans le même processus collectif. Ainsi ils réalisent des activités collectives par moyen de la coordination. Dans les situations de co-conception les acteurs développent la solution ensemble, ils partagent le même but. Un mécanisme primordial dans la co-conception est la synchronisation cognitive. La synchronisation cognitive, [Darses 97] et [Darses *et al* 01] permet aux acteurs d'accomplir deux objectifs : d'une part, elle permet d'assurer que chacun concepteur a la connaissance des faits en fonction de l'état de la situation et d'autre part, elle permet de s'assurer de partager une connaissance commune par rapport au domaine. Ainsi la synchronisation cognitive vise à établir un contexte de connaissances mutuelles et à construire une référence opératoire commune.

D'autres chercheurs ont utilisé la synchronisation cognitive dans leurs études. Hohmann [Hohmann 02] a réalisé l'étude d'une expérience de conception distribuée pour analyser l'utilisation des outils pendant le processus de conception. L'auteur a trouvé une différence entre les activités réalisées pendant les phases asynchrones et pendant les phases synchrones. Les phases asynchrones consistent à modéliser en 3D et à rédiger des documents tandis que les phases synchrones sont orientées vers des activités d'évaluation et de co-production. Hohmann affirme que les activités de synchronisation cognitive sont fondamentales au cours des réunions de conception. De plus, elle affirme aussi que les activités de co-production sont supportées par des représentations graphiques. Guibert [Guibert 04] a réalisé l'analyse d'une expérience de conception co-localisée. Cette analyse porte sur les rôles des annotations dans le processus de conception. Les résultats de cette étude montrent que les concepteurs annotent essentiellement des documents numériques. Les objets annotés sont des images, des représentations plus ou moins figuratives de la solution ou d'un élément de solution. De plus, les annotations ont un rôle dans la conception car elles permettent l'établissement d'un contexte partagé de connaissances en stockant des informations sur le problème et la solution.

D'Astous a réalisé des analyses sur des réunions techniques d'évaluation dans la conception de logiciels [D'Astous *et al* 04]. Les résultats de l'analyse montrent que les activités réalisées ne correspondent pas aux activités prescrites pour ce type de réunions. Aussi, la synchronisation cognitive joue-t-elle un rôle important dans les réunions, notamment pour les activités d'évaluation dont les représentations partagées sont nécessaires. Les auteurs ont, en outre, trouvé que l'argumentation joue un rôle primordial pour l'évaluation et que la logique de conception ou *design rationale* est explicitée par le processus d'argumentation.

3.1.4. Approche de l'ingénierie de connaissances

L'analyse de protocoles est également utilisée dans le domaine de l'ingénierie de connaissances. Betbeder présente une étude sur une activité médiatisée collective dans un contexte d'apprentissage pour la capitalisation de connaissances [Betbeder & Tchounike 01]. Ils proposent des résultats divisés en deux groupes. Le premier groupe porte sur l'organisation de l'activité d'apprentissage. Le second groupe porte sur l'aspect technique. Nous ne discuterons pas ces résultats ici. Salembier, dans [Salembier *et al* 01], présente une ré-évaluation critique des démarches d'analyse majoritairement utilisées actuellement et qui visent la compréhension des activités coopératives et à leur instrumentation. Ceci permet aux auteurs de tirer quelques conséquences dans le domaine de l'ingénierie de connaissances pour l'assistance des activités d'apprentissage.

Une analyse sur la conception collaborative dans un environnement d'apprentissage virtuel est présentée par Lahti [Lahti *et al* 04]. L'objectif de l'étude était d'examiner l'intensité de la collaboration et de montrer comment des équipes de conception partagent leur processus de conception dans un environnement virtuel. Les auteurs identifient trois patrons pour le processus de conception : coordination, coopération, et collaboration. Ce dernier patron montre que les concepteurs participaient fortement au processus et qu'ils interagissent fortement autour des objets.

3.2. Analyse ethnographique

L'autre approche utilisée pour analyser les données disponibles est l'ethnographie. L'ethnographie propose des techniques de recueil de données dans lesquelles le chercheur est impliqué, d'une certaine manière, au processus qu'il analyse. La finalité de ces techniques est la compréhension de l'activité quotidienne des individus [Blomberg *et al* 93]. En ce qui concerne sa participation, le chercheur peut être immergé dans le milieu et participer pleinement aux activités ou simplement être présent sur les lieux comme observateur. Cependant des situations intermédiaires où la part d'observation et de participation peuvent varier sont envisageables. Ainsi nous pouvons observer plusieurs niveaux de participation en fonction du degré de collaboration dans le processus : l'entretien, l'observation, l'observation participante et la recherche-action. En ce qui concerne l'entretien, le chercheur conduit des entrevues pour analyser les comportements des individus sans prendre part au processus. L'observation permet au chercheur d'observer les acteurs en action et de prendre des notes pour une analyse ultérieure. L'observation participante se caractérise plutôt comme un

processus d'observation et éventuellement de participation du chercheur au processus à étudier. La recherche action permet au chercheur de plonger dans la pratique quotidienne comme un acteur à part entière au cœur de l'action [Coughlan & Coughlan 02].

Plusieurs études sur la conception ont été réalisées à l'aide des méthodes ethnographiques. Bucciarelli rapporte deux études basées sur la technique d'observation participante [Bucciarelli 88]. A partir de ces études Bucciarelli affirme que la conception est un processus social et que les concepteurs se évoluent dans des « mondes d'objets » (*object worlds*). Pour concevoir, un acteur doit agir en accord avec certaines normes basées sur un domaine technique particulier. Un concepteur d'ordinateurs n'a pas les mêmes règles pour agir que un concepteur de voiture ou qu'un concepteur d'équipement médical. Ainsi l'objet de conception « norme » le comportement du concepteur. Chaque domaine a ses règles, ses symboles, ses instruments, etc. De plus, l'expertise dans un domaine ne s'obtient pas seulement avec une formation donnée mais avec la pratique quotidienne du métier. De ce fait pour concevoir un objet plusieurs domaines sont nécessaires. Des concepteurs avec expertises différentes seront confrontés pour que le produit voie le jour. Une des premières études qui utilise la technique de recherche-action a été réalisée par Hales [Hales 91]. L'auteur a passé trois années dans une entreprise pour étudier l'application de la méthodologie de conception proposée par Pahl & Beitz [Pahl & Beitz 96]. L'objectif de Hales était d'introduire une approche systématique pour la conduite de projets de conception. Minneman [Minneman 91] a utilisé l'analyse des interactions, comme nous l'avons signalé précédemment, pour étudier le processus de conception. Ses résultats portent plutôt sur l'aspect social. A partir de là il propose un cadre pour étudier le travail accompli au cours des activités sociales sur deux aspects : L'aspect des facettes, qui sont les points sur lesquelles on travail et l'aspect trajectoires, c'est à dire le sens temporel du travail accompli.

Heat et Luff analysent le travail coopératif dans des salles de control du métro de Londres [Heat & Luff 92]. A partir des résultats obtenus grâce à des techniques de la sociologie, les auteurs proposent des lignes d'action pour la conception et le développement d'outils et de technologies pour assister le travail collaboratif en fonction des pratiques de travail observées. Hutchins étudie l'usage des représentations dans l'accomplissement des tâches de décollage et atterrissage dans un cockpit d'avion [Hutchins 95]. L'auteur analyse les différents supports informationnels utilisés par les pilotes. Il constate que l'activité cognitive ne réside pas seulement dans le cerveau individuel mais dans le système qui inclut humains, des artefacts et des objets. C'est ainsi que l'auteur propose le concept de cognition distribuée pour nommer

la distribution cognitive entre les individus et les objets. Par la suite, Hutchins propose d'utiliser le cadre théorique de la cognition distribuée pour la recherche sur l'activité humaine dans le domaine de *Human-Computer Interaction* [Hollan *et al* 00]. Ainsi il suggère d'utiliser son cadre théorique par opposition au paradigme de recherche actuel qui est celui du traitement humain de l'information. De plus, les auteurs affirment que le cadre peut nous aider à concevoir et évaluer des artefacts numériques. Pour sa part, Suchman présente une étude sur la conception d'un pont sur une autoroute [Suchman 00]. L'auteur examine le rôle des artefacts dans la pratique quotidienne dans l'activité de génie civil. Suchman constate d'un part, la multiplicité de moyens et objets associés impliqués dans le travail quotidien d'autre part, leur intégration dans la pratique dans un ensemble cohérent pour l'action.

Une collaboration entre les sociologues du Laboratoire CRISTO et les mécaniciens du Laboratoire 3S a permis de réaliser des études de terrain en entreprise. Jeantet analyse des processus de conception et s'attache plutôt au rôle des « objets intermédiaires » [Jeantet 98]. L'auteur rapporte que l'organisation du travail de conception est liée au type d'objets manipulés et ceux-ci jouent un triple rôle : médiation, traduction et représentation. Vinck [Vinck 99] présente un ensemble d'études réalisées par des ingénieurs au sein d'entreprises pour tenter de comprendre la nature de l'activité de conception. Les périodes d'immersion des chercheurs, lors des études de terrain, peuvent aller de quelques mois à plus d'une année. Boujut et Laureillard ont étudié l'intégration produit-processus [Boujut & Laureillard 02]. Les auteurs ont identifié des « entités de coopération » qui sont des artefacts ou des objets intermédiaires. Ceux-ci permettent l'accomplissement des processus coopératifs entre acteurs. De plus, les auteurs proposent que pour assister la coopération en conception trois niveaux conceptuels doivent être supportés : l'outil, l'acteur et l'organisation.

Une étude réalisée par Ball et Ormerod porte sur la réutilisation de certains aspects d'un processus de conception pour développer des outils informatiques d'aide à la conception [Ball & Ormerod 00]. Les auteurs utilisent une combinaison des techniques ethnographiques avec la méthode expérimentale du tri pour valider de façon plus robuste leurs résultats. Larsson propose une analyse portant sur des équipes de conception distribuées [Larsson *et al* 03] et [Larsson 03]. L'objectif de l'étude est de proposer des environnements de travail collaboratif à distance. L'auteur présente des observations sur la manière dont les acteurs négocient la compréhension partagée au cours d'un processus de conception. Les résultats de l'étude montrent les caractéristiques situationnelles et interactionnelles de la collaboration en

conception distribuée ainsi que le rôle des objets partagés dans l'amélioration des processus collaboratifs.

4. Description de l'approche de recherche adoptée

Notre travail de recherche est d'analyser l'activité de conception et notamment les interactions entre concepteurs. Pour cela, nous disposons des données de deux expériences de conception. La première est une expérience de conception distribuée et médiatisée menée par le groupe GRACC, voir le chapitre 3 pour une description du groupe GRACC et de ses objectifs. La seconde est une expérience de conception co-localisée. Cette dernière fait office de base de comparaison pour la première expérience concernant la conception distribuée. De ces deux expériences nous avons à disposition plusieurs types de données : des enregistrements vidéos, les transcriptions des dialogues, des entretiens, des sauvegardes des fichiers électroniques, les brouillons et esquisses que les concepteurs ont produit lors des expériences, etc. Ainsi une analyse de protocole est à nos yeux toute naturelle pour étudier les deux expériences.

Ce type d'analyse nous permet de réaliser une étude « fine » des interactions entre concepteurs, de « découvrir » les mécanismes de coopération entre les acteurs, ainsi que de trouver des patrons de comportement. Cependant il existe plusieurs critiques émises vis à vis des approches expérimentales en fonction de la validité des résultats. Tout d'abord, un reproche aux expériences est leur caractère artificiel. En effet les expériences fournissent un contexte très différent de celui d'une situation de travail réelle. Les concepteurs ne sont pas sur leur lieu de travail habituel, ils n'ont pas le réseau ordinaire d'acteurs ou de collègues autour d'eux, ils n'ont pas à disposition leurs affaires familières ni leurs outils, ils sont contraints par un temps imparti, etc. Néanmoins nous pensons qu'en leur fournissant des ressources similaires, les concepteurs s'habituent vite à la situation « artificielle » et ils trouvent des moyens de pallier à ces « manques ». En outre, les projets en entreprise se déroulent aussi dans un délai donné. Ensuite, une autre critique est l'emploi de concepteurs novices dans les expériences de conception. Les concepteurs chevronnés ont une expérience que n'ont pas les concepteurs novices et leur comportement n'est pas le même. Cependant les concepteurs expérimentés fournissent à peu près la même qualité dans la conception du produit que les concepteurs novices mais dans un temps réduit [Ehrlespiel 99]. Enfin, la situation expérimentale supprime ou déplace certains enjeux du processus de conception [Blanco 98]. Dans une situation expérimentale il n'existent pratiquement pas d'enjeux

importants tandis que dans une situation réelle nous avons des enjeux économiques, stratégiques, d'entreprise, groupaux, individuels, etc.

Bien que le transfert des résultats des expériences de conception à l'industrie doive être traité avec précaution [Stempfle & Badke-Shaub 02], nous pensons que dans certains cas il est nécessaire d'employer des études de laboratoire pour ne pas mettre en jeu la rigueur méthodologique. Au laboratoire il est plus facile de reproduire la même tâche dans un contexte similaire pour des concepteurs avec une expérience similaire. Ceci ne vaut pas pour la recherche dans un contexte industriel. Il est beaucoup plus difficile de mettre en œuvre des expériences ayant des contextes similaires au sein d'équipes différentes dans une entreprise, d'où un manque de rigueur qui peut gravement nuire à la qualité des expériences. De plus, le niveau d'information disponible pour le chercheur au milieu industriel est différent de celui dans un laboratoire. Les perturbations dues aux imprévus tels que des urgences, des déplacements, des interruptions, la multiplicité d'acteurs, etc., font que dans le contexte industriel le chercheur n'a pas accès à toutes les informations. A cela s'ajoute le facteur confidentialité qui joue contre le chercheur. Par contre, la richesse de l'information disponible est beaucoup plus importante dans le milieu industriel que dans une expérience au laboratoire. Néanmoins, nous pensons que les résultats issus d'une expérience de conception nous apportent des connaissances générales sur le processus de conception telles que des connaissances sur la proposition de solution, évaluation, argumentation, etc. En d'autres mots, nous avons accès à la dimension cognitive de la conception.

Une autre approche que nous utiliserons pour l'analyse des expériences est l'analyse qualitative des vidéos avec une approche ethnographique. Les vidéos sont un complément de l'observation et les notes prises lors de l'expérience [Blomberg *et al* 93]. Un des avantages des enregistrements vidéo est d'avoir la possibilité de revoir une situation particulière qui se révèle intéressante pour notre analyse. Les notes d'observation peuvent nous aider à nous rappeler ces situations, mais un deuxième regard sur la situation peut nous apporter des indications que nous n'avons pas prises en compte lors du déroulement de l'expérience. Il est aussi possible de confronter les concepteurs à la vidéo pour obtenir des clarifications. De plus, cela rend possible le fait que d'autres personnes nous donnent leur avis sur cette situation en particulier.

Nous utilisons une approche d'analyse collective qui est connue sous le nom de l'Analyse d'Interactions [Jordan & Henderson 95]. Les auteurs décrivent cette méthode comme une

méthode interdisciplinaire pour la recherche empirique sur l'interaction d'individus entre eux et avec les objets présents dans leur environnement. Cette analyse collective permet de faire ressortir, après plusieurs révisions d'une situation, des compétences sociales fines à propos des acteurs et les mécanismes de construction de la compréhension partagée pourraient être mis en évidence. En même temps, la confrontation de points de vues antagonistes entre les analystes nous oblige à rendre explicites et à examiner nos postures d'analyse. Minneman [Minneman 91] et Larsson [Larsson 03] ont utilisé ce type d'analyse dans leurs recherches.

Ces deux types d'analyses qualitative et quantitative nous munissent d'éléments, situés à deux niveaux différents, de l'activité de conception : un niveau macroscopique et un niveau microscopique. Tout d'abord, le niveau macroscopique permet de percevoir la dynamique de l'organisation du processus de conception, l'évolution du réseau des acteurs, la construction de règles qui organisent le fonctionnement de ce réseau, etc. Ensuite, le niveau microscopique permet d'analyser finement les interactions des acteurs, les mécanismes de coopération, la construction des objets mobilisés, etc.

Il est illusoire de vouloir saisir la totalité et la complexité de l'activité de conception en multipliant les données recueillies ainsi que les analyses réalisées. Cependant nous pensons que la combinaison de ces deux types d'analyse nous donne des éléments pour mieux comprendre l'activité de conception. Ceci nous permet de proposer à long terme, des outils ou des environnements collaboratifs d'aide à la conception, qui prennent en compte les aspects sociaux et communicationnels du processus de conception collaboratif.

5. Conclusion

Nous avons présenté plusieurs méthodologies de recherche en conception dont l'objectif est de cadrer théoriquement la recherche en conception et d'uniformiser en quelque sorte les résultats afin d'être en mesure d'effectuer des comparaisons. Nous identifions nos travaux de recherche dans ces méthodologies, notamment dans celle proposée par Blessing et celle proposée par Brissaud. Il est indéniable que les projets de recherche individuels des thésards sont inscrits dans les lignes de recherche des équipes qui les accueillent. Ces méthodologies de recherche nous « montrent le chemin » à parcourir pour obtenir des résultats utilisables et exploitables par d'autres. Elles sont des guides de recherche. Néanmoins elles ne doivent pas faire office de prescriptions pour nous imposer des outils et des méthodes dans la réalisation de notre travail de chercheur.

La démarche scientifique choisie dans notre travail combine deux types d'approche d'analyse :

La première est une analyse quantitative à travers la technique de l'analyse de protocoles. Notre donnée principale est le corpus où nous étudions le dialogue entre concepteurs, les séquences d'interactions entre concepteurs et le codage réalisé pour catégoriser ce dialogue.

La seconde est une analyse qualitative empirique à travers la technique de l'Analyse d'Interactions. Nos données principales ici sont les vidéos et les objets intermédiaires mobilisés par les acteurs tout au long du processus.

Comme nous l'avons développé dans ce chapitre, ces deux approches sont complémentaires. L'une permet de connaître la dynamique de l'organisation du processus de conception, l'autre permet d'analyser finement les interactions des concepteurs. Les résultats obtenus par l'analyse de protocoles et l'analyse qualitative sont présentés respectivement dans les chapitres 3 et 4.

Chapitre 3.

Décrire le processus de conception collaborative : analyse de protocoles

1. Introduction

Une fois les approches et méthodologies d'analyse introduites au chapitre 2, ce chapitre présente les expériences de conception à analyser. Nous utilisons les concepts des cadres de l'action coopérative proposés par [Boujut 01] pour disposer d'un cadre théorique comme appui à la réalisation et à l'analyse des expériences. Les expériences de conception que nous avons analysé sont une expérience distribuée médiatisée et une expérience co-localisée. Les expériences que nous avons mises en place jouent sur le cadre spatial pour et sur notre variable de recherche qui est représentée par le cadre conceptuel. Nous avons ainsi figés les autres cadres pour ne pas introduire de perturbations dans la variable de recherche. Ainsi, nous travaillons sur le cadre conceptuel mettant en œuvre des connaissances que les concepteurs créent et mobilisent au cours du processus de conception. Ce qui nous intéresse c'est la représentation que les concepteurs se font de certains aspects, notamment le produit, le processus, le problème et les acteurs, comme nous le verrons plus loin.

Nous allons présenter dans ce chapitre la description des cadres de l'action collaborative, ainsi que le groupe de recherche GRACC, dont le travail est de construire et d'analyser des expériences de conception collaboratives multi-sites. Nous décrivons le contexte des expériences analysées : une expérience de conception distribuée et une expérience de conception co-localisée. Ensuite nous nous attachons à exposer les caractéristiques de chaque expérience en ce qui concerne la description du cahier des charges, le rôle des concepteurs, les outils utilisés et le type de données recueillies. Postérieurement, nous présentons une analyse macroscopique pour ensuite montrer une analyse microscopique pour chacune des expériences. Nous allons décrire le système de codage pour chaque registre d'analyse, le profil des chacune des réunions de travail collaboratif, les résultats statistiques, les diverses graphiques obtenus, etc. Nous introduirons également un phénomène qui s'est manifesté pendant une des réunions de travail collaboratif et que nous désignons comme « l'effet séquentiel ». A la fin du chapitre nous allons discuter sur les apports et limites de ce type d'approche d'analyse en ce qui concerne la coopération entre concepteurs.

2. Cadres de coopération

A travers plusieurs études des processus industriels, [Boujut 01] a montré que la coopération, si elle se développe de manière naturelle entre des acteurs proches impliqués dans des développements techniques, il n'en est pas de même au niveau des organisations formelles. Les préceptes de division du travail semblent même à première vue antagonistes avec ceux nécessaires à la coopération. [Boujut 01] a mis en avant le caractère informel des échanges entre acteurs, non comme une déviation par rapport à un idéal prescrit, mais comme une réalité de l'action collective. D'un autre côté, l'organisation formelle est indispensable pour orienter, planifier et structurer sur un mode analytique et prescriptif. C'est l'organisation formelle qui permet un pilotage et un contrôle extérieur de l'action collective. Dans ce mode analytique, on cherche à réduire l'écart entre le fonctionnement prescrit et le fonctionnement réel, ce dernier étant analysé souvent en terme de dysfonctionnements. Le maillage organisationnel ainsi mis en place tend le plus souvent à réduire les espaces d'autonomie des acteurs au profit des outils de pilotage et de gestion de projet. [Boujut 01] a observé que les acteurs déplacent ces espaces d'autonomie et les recréent. C'est pourquoi l'auteur affirme que ces espaces d'autonomie doivent être reconnus comme tels, identifiés et articulés dans une organisation planifiée. C'est une condition au développement de processus coopératifs qui de notre point de vue est indispensable à la reconnaissance de la coopération comme mode d'organisation de l'action conjointe. Sans cette institutionnalisation, il est difficile de concevoir que la coopération sorte de son caractère informel et donc lacunaire.

Ainsi Boujut [Boujut *et al* 00] et [Boujut 01] propose des cadres de coopération pour l'action collective pour répondre à la question de : comment instituer des espaces de coopération et d'autonomie collective dans les organisations planifiées ? L'auteur introduit quatre cadres pour assister la coopération et pour la faire sortir de son caractère informel et lacunaire : le cadre temporel, le cadre organisationnel, le cadre conceptuel et finalement le cadre spatial.

L'idée des cadres est de constituer des frontières à l'intérieur desquelles peuvent se déployer des modes de fonctionnement coopératifs de manière explicite, c'est en quelque sorte le niveau formel nécessaire à la préservation du caractère informel de la coopération.

2.1. Le cadre organisationnel

La question de l'animation du processus coopératif est une question très importante. Bien qu'elle touche au domaine des sciences de gestion, il apparaît important de mentionner ici

cette question car sans cadre organisationnel, la coopération ne fonctionne pas. La gestion de projets repose sur un chef de projet pour assurer la conduite du processus, il est en quelque sorte le responsable du processus coopératif. Cependant dans des réseaux avec moins d'acteurs, la coopération doit être réalisée avec ou sans responsable organisationnel. Dans d'autres mots, le chef de projet est « l'animateur naturel » des acteurs et le garant des objectifs au niveau global du projet. Par contre, au niveau des équipes de travail, il est possible qu'il n'y ait pas de responsable organisationnel qui participe aux réunions de travail. Toutefois l'animation de la réunion doit se faire. Ainsi un acteur assume temporairement la responsabilité d'animation de la réunion et il agit aux interfaces entre les concepteurs pour mener à bien la réunion. C'est en fait une question de management d'interfaces qui se pose aux animateurs de ces phases coopératives.

Boujut, [Boujut & Laureillard 02] propose d'instituer un nouveau rôle appelé « acteur d'interface », qui serait responsable d'animer ces périodes coopératives. L'acteur d'interface est théoriquement un acteur quelconque de la filière ayant un rôle particulier limité dans le temps. Son rôle se déploie sur trois niveaux, visant à enrichir le cadre conceptuel:

- animer la démarche coopérative,
- construire avec les acteurs des objets intermédiaires,
- animer le processus de capitalisation et d'apprentissage : faire vivre les objets construits dans le point antérieur et assurer le bilan du projet.

2.2. Le cadre temporel

La gestion de projet s'accommode mal de périodes informelles de travail collectif. Pourtant Laureillard et Boujut ont montré que c'est à cette condition que les acteurs coopèrent effectivement, [Laureillard 00] et [Boujut & Laureillard 02]. Ces auteurs ont identifié des « zones de coopération » à des moments précis dans le déroulement du projet où les acteurs doivent produire conjointement une solution. Ce cadre permet de définir, dans un planning projet, ces zones de coopération représentant le cadre temporel de l'action coopérative. On peut les voir comme des tâches menées conjointement par plusieurs acteurs, mais dont les rôles ne seraient pas figés et dont la production serait collective. Par ailleurs, en dehors de ces zones de coopération, les acteurs fonctionnent classiquement.

2.3. Le cadre spatial

Le plus souvent on considère que la coopération implique la co-présence, physique ou virtuelle (à travers un réseau avec des outils de travail collaboratif). [Boujut 01] se questionne si l'espace partagé ne peut pas être suffisamment fédérateur pour constituer un cadre spatial à la coopération. L'auteur définit un « espace partagé » comme un environnement informatique avec des outils et des modèles partagés. Cependant toutes les activités de coopération ne se font pas autour d'un environnement informatique. Les réunions physiques, les échanges autour de maquettes physiques ou de croquis sont aussi nécessaires. Ainsi un mélange, impliquant des applications informatiques proposant des espaces de communication évolués et des espaces physiques, fournit des espaces pour la coopération.

2.4. Le cadre conceptuel

La coopération implique aussi un partage au niveau des connaissances. Ce cadre est donc à minima un ensemble de connaissances communes permettant d'arriver à un minimum de compréhension réciproque. Ces connaissances sont constituées de trois éléments : de règles d'action, de conventions, elles s'appuient sur le troisième élément qui sont des représentations ou des objets issus de l'action collective. Cela implique qu'une dynamique d'apprentissage soit développée par les acteurs au sens des apprentissages croisés [Hatchuel 94]. Le cadre conceptuel doit fournir aux acteurs des éléments de langage commun ainsi que des éléments permettant de se créer des référentiels partagés et des connaissances partagées orientées vers l'action de concevoir conjointement.

Nous reprenons les cadres de coopération décrits ci-dessus afin de fournir un cadre théorique pour l'analyse des processus coopératifs dans des expériences de conception. Dans ce chapitre nous présentons l'analyse de deux situations expérimentales : une expérience distribuée médiatisée et une expérience co-localisée. Pour que les deux situations soient comparables il est indispensable que ces deux situations aient des caractéristiques et des déroulements similaires. Ainsi nous avons tenté de garder des attributs similaires pour les deux expériences que nous avons menées. Les expériences seront décrites par la suite avec plus de détail, cependant si nous prenons les cadres de l'action coopérative nous pouvons remarquer que ces situations expérimentales ont :

- Un cadre spatial différent : une salle et un teamboard dans un cas, quatre salles distantes et un outil de vidéoconférence dans l'autre.

- Un cadre organisationnel identique : même rôle, même cahier des charges, profil des concepteurs proches (des étudiants profil ingénieur, recrutés et rémunérés pour ce travail).
- Un cadre temporel identique : même planning global.
- Un cadre conceptuel variable : Les objets partagés, les connaissances partagées, etc. C'est ce que l'on cherche à caractériser.

Ainsi, nous pouvons dire que ces expériences sont comparables dans la mesure où nous avons contrôlé 3 des 4 cadres, et que le dernier correspond à notre variable d'observation. Nous avons fait varier un paramètre : le cadre spatial, voir Figure 3.1. En effet, dans les deux expériences nous avons deux espaces de travail différents. D'abord, dans le cas de l'expérience distribuée médiatisée les quatre concepteurs étaient sur plusieurs villes, quatre au total. Ensuite, dans le cas de l'expérience co-localisée les concepteurs étaient dans la même salle. Nous tentons de caractériser l'impact de cette modification sur notre variable d'observation, c'est à dire le cadre conceptuel, notamment sur les connaissances mobilisées, les représentations et les objets partagés par les concepteurs.

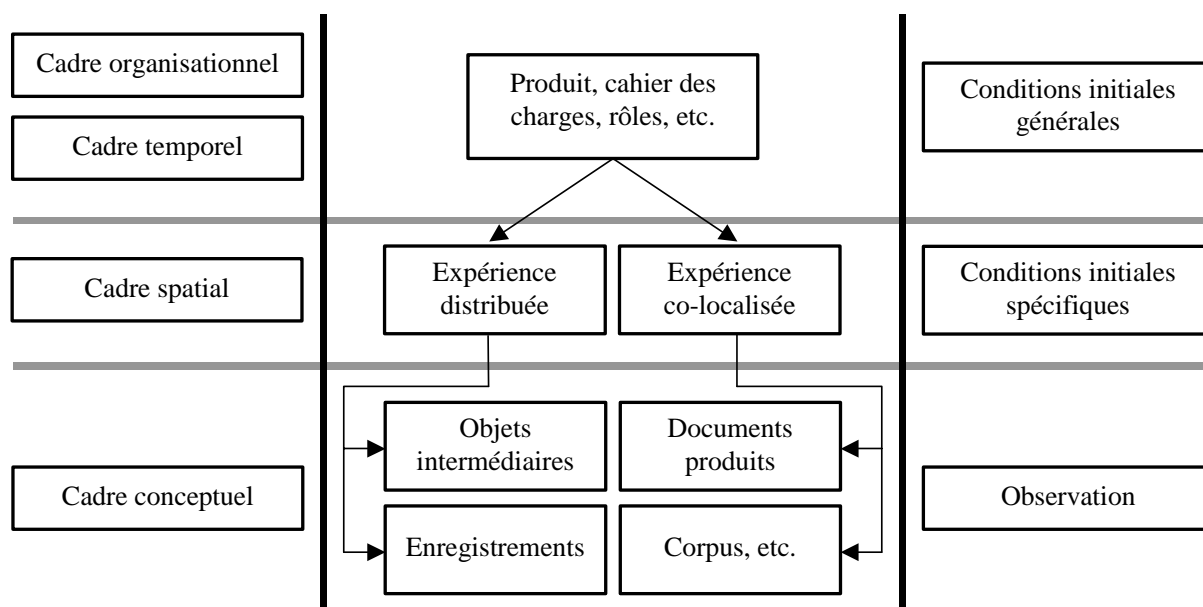


Figure 3.1. Schéma indiquant le paramètre varié et la variable d'observation

3. Objets partagés

En ce qui concerne les objets partagés nous nous appuyons sur le concept des objets intermédiaires proposé par Jeantet [Jeantet 98]. L'auteur offre ce concept pour nommer les objets créés, manipulés, interprétés, transformés, etc. qui émergent du processus de conception. Ces objets fonctionnent comme des objets frontières (*boundary objects*) au sens

de [Star 89] pour réaliser une fonction de médiation entre acteurs de différents domaines. Jeantet propose trois caractéristiques des objets intermédiaires : médiation, traduction et représentation. La médiation permet aux acteurs d'interagir au cours du processus de conception. S'il existe une relation de prescription entre deux acteurs de conception pour la production de l'objet intermédiaire, celui-ci devient un objet « fermé » qui ne permet pas d'être contesté ou modifié. Si par contre, il existe une relation de coopération entre les acteurs pour la production de l'objet intermédiaire, celui-ci devient un objet « ouvert » qui peut être discuté et qui est sujet à modifications en fonction des compromis des acteurs. La traduction s'effectue au fur et à mesure que le concept du produit évolue dans la conception. Elle est la translation ou transformation à un moment donné d'un état du produit à un autre état plus raffiné. Ainsi, les besoins du client se transforment en un cahier des charges, celui-ci se transforme en fonctions, celles-ci se transforment en contraintes techniques et ainsi suite. Finalement, La représentation est la caractéristique à travers laquelle les objets intermédiaires représentent le produit ou le processus de conception. Ces représentations peuvent être des représentations du produit, tels que des plans 2D ou des modèles CAO ou des représentations du processus de conception tels que des diagrammes de Gantt, des plannings, des budgets, etc. De plus, elles sont des représentations d'un produit qui n'existe pas. Ainsi, il faut remarquer que ces représentations ne sont pas le produit lui-même, comme le souligne [Jeantet 98], cependant elles sont des « prises » par lesquelles les acteurs peuvent se saisir, sous un mode cognitif, d'un produit qui n'existe pas encore.

Les objets intermédiaires sont une catégorie générale d'objets qui contient tous types d'objets, soit physiques ou virtuelles, par exemple des feuilles de papier, des dessins, des prototypes, des modèles CAO, des documents électroniques, etc. Boujut et Laureillard [Boujut & Laureillard 02] proposent deux dimensions des objets intermédiaires : d'une part, ils sont liés à l'action (par exemple la production d'un modèle CAO) et d'autre part, ils sont des moyens pour coordonner les activités des concepteurs. En ce qui concerne la première dimension, l'objet n'existe pas sans acteur et vice-versa. Si les objets sont descontextualisés et considérés isolément, ils sont figés, ils représentent des solutions possibles à un problème posé ailleurs ou à un autre moment, c'est bien dans l'action qu'ils prennent leur statut d'objet intermédiaire. En ce qui concerne la deuxième dimension, c'est à travers l'interaction des objets que les acteurs vont construire leur propre interaction dans le processus de conception. Si l'objet est « fermé », donc l'acteur aval de la production de l'objet réalise seulement une

continuation dans le processus. Si par contre l'objet est « ouvert », les concepteurs vont engager un processus coopératif pour mieux définir le produit.

Wenger cité par Chanal [Chanal 00] affirme que tous les objets ou artefacts qui appartiennent à plusieurs communautés de pratiques sont susceptibles de jouer le rôle des objets frontière. Ainsi Wenger identifie quatre caractéristiques principales permettant aux artefacts d'être des objets frontières :

- L'abstraction : le caractère général de l'objet frontière oblige à un certain niveau d'abstraction, comme une carte qui ne représente que certaines caractéristiques du terrain.
- La polyvalence : l'objet doit pouvoir servir à plusieurs activités ou pratiques.
- La modularité : l'objet est constitué de plusieurs parties pouvant être mobilisées dans différentes situations, comme un journal composé de plusieurs articles s'adressant à différents lecteurs.
- La standardisation : l'information contenue dans un objet frontière doit être sous une forme directement interprétable pour être utilisée localement.

C'est pourquoi l'objet intermédiaire est aussi un objet frontière.

4. Expériences de conception

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 1, la conception est une activité collective. Cette activité se réalise de plus en plus avec l'introduction des acteurs « externes » à l'entreprise tels que les acteurs des services délocalisés dans d'autres endroits, les fournisseurs, les acteurs de la chaîne logistique, etc. Telle situation amène la nécessité de collaborer à distance. Des chercheurs universitaires dans le domaine de la mécanique se sont intéressés à cette problématique. Ces chercheurs ont formé un groupe de recherche pour la construction et l'analyse des expériences de conception collaborative multi-sites. Le groupe s'intitule le Groupe de Recherche sur l'Activité de Conception Collaborative (GRACC) et il regroupe quatre laboratoires français :

- CRAN (Centre de Recherche en Automatique National) de la Faculté de Sciences de l'Université Henri Poincaré de Nancy,
- IRCCyN (Institut de Recherche en Communication et en Cybernétique de Nantes) de l'Ecole Centrale de Nantes,

- M3M (Mécatronique, Méthodes, Modèles et Métiers) d'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
- 3S (Sols, Solides et Structures) de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

Le travail du GRACC se focalise sur l'analyse des corpus et sur la production de nouvelles expériences en conception médiatisée. Le domaine analysé est celui de la conception de systèmes mécaniques. Les objectifs de ce groupe de recherche sont de :

1. Recenser les corpus de conception disponibles,
2. Établir des classifications,
3. Définir des protocoles de recherche sur ces corpus.

En effet, le groupe a déjà réalisé une étude préliminaire qui avait pour objectif de tester les outils disponibles pour la conception mécanique à distance, étudier les moyens nécessaires pour l'observation des expériences, analyser l'activité de conception coopérative dans ce type très particulier d'environnement, [GRACC 01] et [Martin 02].

4.1. Expérience distribuée médiatisée

4.1.1. Contexte de l'expérience

Notre analyse se focalise sur une expérience de conception médiatisée à distance qui a comme sujet la conception détaillée d'une remorque pour un vélo tout terrain (VTT), Figure 3.2. La tâche de l'équipe de conception est de rendre industrialisable la solution existante dans le dossier technique fourni aux concepteurs. Ce dossier contenait une première étude sur le produit concerné. L'étude préliminaire comprend une analyse fonctionnelle du produit, une proposition de solution technique, ainsi que quelques plans en deux dimensions de la solution.



Figure 3.2. Type de remorque VTT à concevoir.

Les concepteurs doivent rendre à la fin du projet de conception un dossier d'industrialisation du produit comme résultat de leur travail. Ce dossier comporte une maquette numérique du produit, les plans d'ensemble et nomenclatures, les coûts, les devis fournisseurs ainsi que les moyens de mise en œuvre. Il faut noter qu'une semaine avant du début de la conception les concepteurs ont reçu la description générale du projet, le protocole de communication et d'archivage de données produites, le dossier technique détaillé et une description de leur rôle. Ajoutons que les concepteurs n'ont pas eu accès aux descriptions de rôles des autres membres de l'équipe. L'annexe 1 présente la description générale de la tâche à réaliser ainsi que le cahier des charges initial du produit.

4.1.2. Rôles des concepteurs

L'expérience était organisée autour de quatre rôles : le chef de projet dont la responsabilité était de gérer l'équipe, de maintenir un contact avec le client et d'aboutir à une définition du produit comportant toutes les informations nécessaires à son industrialisation. Le designer-ergonome responsable du confort, de l'ergonomie et l'ensemble de fonctions d'estime. Le concepteur châssis responsable de l'industrialisation du châssis, de la superstructure et de la liaison au siège. Et finalement, le concepteur liaisons, responsable de l'industrialisation de la liaison au cadre du vélo et du dimensionnement des liaisons. Les concepteurs étaient dans des villes différentes et interagissaient à travers Internet, avec plusieurs outils, en outre un logiciel de conférence avec les fonctionnalités de chat, partage d'applications, un service de conférence téléphonique, un espace partagé commun, Figure 3.3. L'annexe 1 présente la description des rôles.

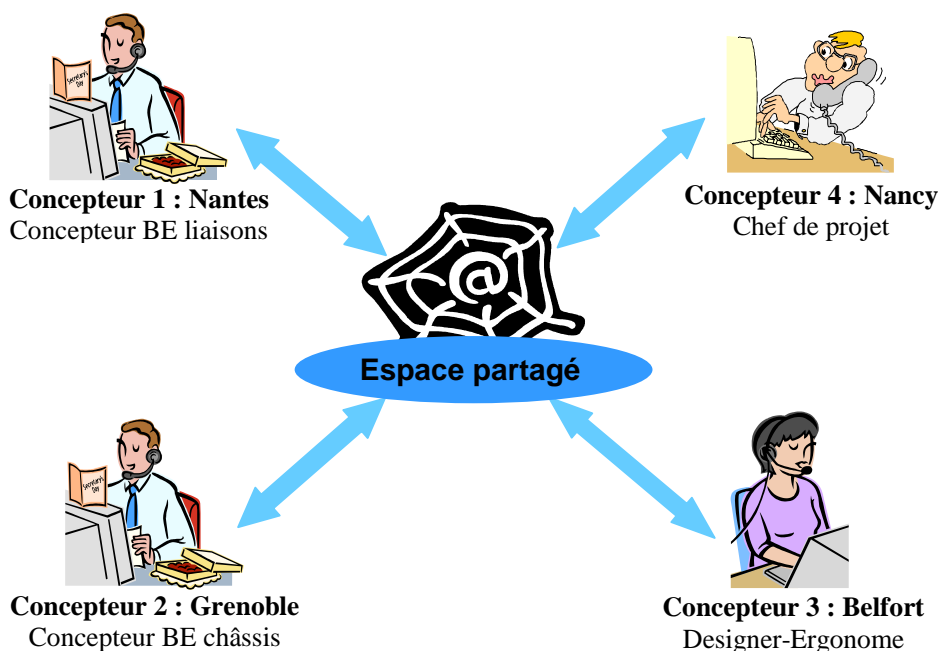


Figure 3.3. Schéma de la disposition des concepteurs dans l'expérience distribuée médiatisée.

4.1.3. Déroulement de la conception

Le découpage temporel était organisé suivant une séquence de deux phases de travail : une phase de travail synchrone composée de réunions médiatisées de co-conception et une phase de travail asynchrone développée entre les réunions synchrones. Un total de 4 réunions de 2 heures, réparties sur une période d'un mois ont eu lieu. A celles-ci nous avons ajouté à la fin de cycle une réunion en présentiel pour une revue du projet devant le client. La Figure 3.4 montre avec un graphique le déroulement de l'expérience par rapport au temps.

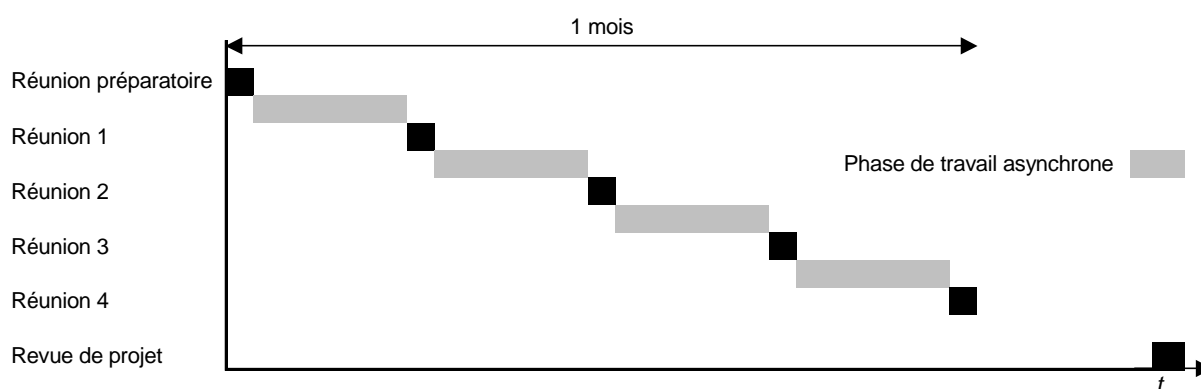


Figure 3.4. Planning des réunions

4.1.4. Outils disponibles pour les concepteurs

Les outils que les concepteurs ont utilisés pendant les réunions synchrones sont les suivants : Un service de réunion téléphonique (qui permet aux usagers d'obtenir une ligne téléphonique

multiplex pour la communication audio), un logiciel de conférence sur Internet (NetMeeting incluant un chat, un tableau blanc et le partage d'applications), le mail, un logiciel CAO, une tablette graphique, un FTP (dossier partagé pour sauvegarder les documents et fichiers) et enfin une suite de logiciels de bureautique.

4.1.5. Recueil de données

Des entretiens avant et après chaque réunion synchrone de conception ont été réalisés pour recueillir des informations sur la manière dont les concepteurs ont vécu les phases synchrones et asynchrones. L'entretien avant réunion a été divisé en deux parties : le travail individuel asynchrone et le travail planifié pour la prochaine réunion. L'entretien post-réunion a été structuré autour de deux points : la réunion de conception et l'agenda pour la prochaine phase individuelle asynchrone.

Des enregistrements vidéo ont été réalisés pour recueillir des informations sur l'espace privé et l'espace partagé des concepteurs. Ainsi deux vidéos ont été produites par chaque centre afin d'enregistrer l'espace de travail du concepteur et les écrans des ordinateurs. Finalement, pour faciliter l'analyse des enregistrements vidéo, deux vidéos par séance ont été produites : une première avec les prises des écrans synchronisés des quatre concepteurs et une deuxième avec la synchronisation des espaces privés de travail de chaque concepteur. La Figure 3.5 montre un aperçu de ces vidéos. Des enregistrements audio ainsi que des transcriptions des dialogues des concepteurs pendant les réunions synchrones ont été réalisés. De plus, les données numériques, les mails, les fichiers des concepteurs et les images des interactions graphiques sur le tableau blanc ont été sauvegardés.



Figure 3.5. Aperçu des vidéos réalisées pour l'expérience de conception distribuée.

4.2. L'expérience co-localisée

Afin de pouvoir mener une étude comparative de l'expérience de conception distribuée, nous avons mené une expérience de contrôle organisée avec les mêmes caractéristiques que la réunion médiatisée à distance mais co-localisée. C'est à dire, les quatre concepteurs étaient dans la même salle et les réunions ont été menées autour d'une table, comme n'importe quelle réunion classique. L'organisation de l'expérience était aussi articulée autour de quatre mêmes rôles : le chef de projet, le designer-ergonome, le concepteur châssis et le concepteur liaisons, avec les mêmes responsabilités et fonctions que pour l'expérience précédente. Le découpage temporel de l'expérience co-localisée était lui aussi similaire à celui de l'expérience distribuée : des réunions de travail synchrone de deux heures et des périodes de travail individuel entre les réunions ainsi qu'une réunion finale pour la revue du projet.

4.2.1. Outils disponibles pour les concepteurs

Les outils mis à disposition des concepteurs pendant les réunions de travail synchrones différaient sensiblement de ceux utilisés pendant l'expérience distribuée en raison de la co-présence des acteurs. La liste des outils est la suivante ; la suite de logiciels de bureautique, un logiciel CAO, un FTP, un tableau blanc interactif, et des feuilles de papier ainsi que des feutres pour les esquisses.

4.2.2. Recueil de données

Des entretiens avant et après chaque réunion synchrone de conception ont été conduits pour recueillir des informations similaires à l'expérience distribuée. Nous avons pris le soin de récupérer les cahiers de notes de chaque concepteur ainsi que les esquisses réalisées pendant les réunions (soit au format papier pour les croquis faits autour de la table, soit au format numérique pour les esquisses faites au tableau blanc interactif).

Des enregistrements vidéo ont été réalisés afin de recueillir des informations concernant l'espace de travail des concepteurs ainsi que les actions au niveau du tableau blanc interactif. Une vidéo finale a été produite pour chaque séance en regroupant trois vues de l'espace de travail : l'espace collectif de travail des concepteurs, les concepteurs devant le tableau blanc et l'image du tableau blanc interactif seul. La Figure 3.6 montre un aperçu de cette vidéo. Tout comme dans l'expérience précédente, des enregistrements audio ainsi que des transcriptions des dialogues des concepteurs pendant les réunions ont été réalisés. De plus, les données

numériques, les e-mails, les fichiers des concepteurs et les images des interactions graphiques sur le tableau blanc ont été sauvegardés.



Figure 3.6. Aperçu de la vidéo réalisée pour l'expérience co-localisée.

4.3. Analyse au niveau macroscopique

Nous avons réalisé une analyse macroscopique des expériences de conception. Pour ce faire nous avons décomposé notre analyse en deux parties :

4.3.1. Analyse thématique

D'abord nous avons réalisé une analyse thématique des expériences de conception afin d'identifier la séquence des différents thèmes abordés lors des réunions collaboratives de travail. Pour ce faire, nous avons élaboré une grille d'analyse, Tableau 3.1, que nous avons appliqué à l'observation des enregistrements vidéo. Ceci nous a donné une vision du déroulement de ces réunions, de telle sorte que nous avons pu établir un profil thématique pour chaque réunion. Nous avons repéré le temps, le document de travail principal, les thèmes abordés et les actions réalisées au moment du changement de thème.

Tableau 3.1. Extrait de la grille d'analyse thématique.

Temps	Document de travail principal	Thèmes abordés	Actions
...
0.00.50	Teambord Pro/Engineer Châssis	Présentation de la liaison entre le châssis et les arceaux	Zoom sur la liaison
0.02.35	Teambord Pro/Engineer Châssis	Discussion sur la forme de la liaison (hauteur)	Annotation de la pièce
0.04.10	Teambord Pro/Engineer Châssis	Quel type de profilé en U pour quel type de tube (largeur) ?	Chef de projet consulte le support technique. Concepteur liaison prend des notes. Concepteur châssis dessine à coté de sa pièce CAO une coupe de tube
...

Comme nous l'avons signalé auparavant, les expériences de conception ont été organisées sur quatre réunions de travail collaboratif. Dans la suite nous présentons le profil thématique de chaque réunion des expériences de conception. D'abord pour l'expérience de conception distribuée les thématiques que nous avons constaté sont les suivantes :

Réunion 1 : Familiarisation des concepteurs avec le produit à concevoir et organisation du travail. Les principaux thèmes abordés au cours de la réunion 1 sont les suivants :

Présentation des rôles et tâches de chaque concepteur, définition des concepts : produit industrialisable, procédés de fabrication, ergonomie, etc.

Présentation des pièces modélisées par chaque concepteur : utilisation des logiciels.

Première analyse des contraintes pour la conception : dimensions du siège, poids de la remorque, matériaux, serrage rapide, effort de serrage.

Organisation du fonctionnement du projet : les modes de transmission d'information, les modes d'organisation du FTP, ordre du jour, modifications des pièces déjà modélisées.

Problèmes techniques : appel téléphonique, impossibilité d'accéder au FTP, impossibilité de montrer des pièces, transfère de fichiers par NetMeeting.

Récapitulatif du travail de chacun pour la réunion suivante.

Réunion 2 : Elaboration des premières solutions. La réunion 2 s'organise autour des points suivants :

Organisation de l'ordre du jour et énumération des points à traiter.

Présentations successives des activités réalisées par chacun des quatre concepteurs : description des données anthropométriques, de la position assise d'un enfant, de solutions de liaisons, de la modélisation de la remorque et du coefficient de sécurité.

Génération et évaluation d'éléments de solution sur l'habitacle : design de la toile, sécurité de l'enfant, protection contre la boue, siège, génération et évaluation d'éléments de solution pour la liaison timon-châssis-vélo, serrage rapide, poids du châssis.

Contact avec le client : stratégie de production de la remorque, procédées de fabrication, prix de vente et coût de fabrication, recouvrement de matériaux et recouvrements.

Récapitulatif du travail de chacun pour la réunion suivante.

Réunion 3 : Design de la toile. La réunion 3 peut être décrite de la façon suivante :

Discussion sur les points traités et non traités à ce jour.

Discussion sur les avancées de chaque concepteur :

Habitacle : types de fixation des sièges-vélo, matériau de la toile, éléments pour la toile, design pour la toile, système de fixation de la toile sur le châssis. Timon : serrage rapide et calculs pour le serrage. Châssis : niveau de sécurité, structure, devis pour la fabrication des pièces.

Récapitulatif du travail de chacun pour la réunion suivante.

Réunion 4 : Dernières solutions techniques et organisation du travail pour la présentation du projet devant le client. Les questions abordées au cours de la réunion sont les suivants :

Ordre du jour

Assemblage des pièces modélisées sous CAO.

Evaluation des solutions pour les différentes parties de la remorque :

Habitacle : fixation du siège bébé vélo, fermetures, fixation pour la toile. Timon : problème avec le « glissement », comment diminuer l'angle fait par la remorque au moment des virages, minimisation de pièces. Remorque : encombrement, montage et démontage, accessibilité.

Revue du projet devant le client : organisation du travail, date limite pour envoyer le travail de chaque concepteur, contenu du rapport, modélisation de pièces additionnelles.

Récapitulatif du travail de chacun pour la revue de projet.

Ensuite, en ce qui concerne l'expérience co-localisée, les profils thématiques des réunions de travail collaboratif sont décrits ci-dessous. La grille d'analyse présentée auparavant nous a permis d'obtenir la séquence temporelle des différents thèmes abordés lors des réunions de conception. Ainsi nous pouvons rendre compte d'une vue panoramique au niveau macroscopique de la conception.

Réunion 1 : Familiarisation des concepteurs avec le produit à concevoir. Les principaux thèmes abordés au cours de la réunion 1 sont les suivants :

Présentation des pièces modélisées par le concepteur châssis, le concepteur liaisons, puis le chef de projet : ils affichent au Teambord leurs pièces et les commentent rapidement en donnant le nom des pièces et leur emplacement dans l'assemblage de la remorque.

Présentation par le designer-ergonome de ses recherches Internet sur les remorques existant sur le marché et sur les sièges autos pour enfants.

Passage en revue de la première analyse fonctionnelle réalisée : les concepteurs lisent ensemble les différentes fonctions contenues dans le support technique de l'expérience et évaluent globalement les solutions avancées.

Réunion 2 : Partage des connaissances recueillies par les concepteurs sur le problème et élaboration des premières solutions. La réunion 2 s'organise autour des trois points suivants :

Présentation successive de leurs recherches par chacun des quatre concepteurs :

Description rapide des différentes formes de remorque existant sur le marché par le concepteur châssis, présentation de la réglementation et des éléments de sécurité à prendre en compte, présentation des informations recueillies sur les sièges vélo et auto avec notamment leurs prix, par le designer-ergonome.

Présentation de ses recherches sur les fixations timon-vélo avec les deux solutions qu'il a retenues, par le concepteur liaisons.

Génération et évaluation d'éléments de solution :

Les concepteurs se demandent : Comment fixer un caisson en plastique sous le châssis ? De quelle façon réaliser le siège : l'assise, le dossier et les repose-pied ? Quelles sont les pièces qui doivent se démonter et celles qui doivent se plier ?

Récapitulatif du travail de chacun pour la réunion suivante.

Réunion 3 : Evaluation des premières ébauches de solution et génération de nouvelles contraintes et points techniques à traiter. La réunion 3 peut être décrite de la façon suivante :

Présentation du châssis par le concepteur châssis et évaluation collective de différents éléments de la solution proposée : la forme de la liaison entre le châssis et les arceaux, le caractère pliable ou démontable des arceaux, la plaque de fond du châssis à conserver ou non, la façon de fixer les roues sur le châssis.

Présentation des différentes matières qui composent les toiles des remorques existant sur le marché et ébauche de différents éléments de solution quant à leur propre réalisation : Comment attacher la toile à la remorque ? Comment réaliser l'assise ? Comment mettre une fenêtre à l'avant ?

Discussion sur la façon de fixer les roues d'une part, et le timon (emplacement et dimensions) d'autre part.

Ebauches de solutions sur la façon de fixer la toile sur le châssis compte tenu des contraintes qui apparaissent, avec notamment l'interaction possible entre la toile et la liaison arceaux-châssis. Génération d'une solution pour la fixation timon-châssis.

Présentation de la modélisation de la liaison timon-vélo par le concepteur liaisons, avec la description des différents éléments qui la composent.

Evocation de points à traiter concernant la toile : La forme profilée de la remorque. Le patron de la toile à réaliser pour faire faire un devis.

Récapitulatif du travail de chacun.

Réunion 4 : Définition du design de la remorque. Les questions abordées au cours de la réunion sont les suivants :

Présentation de la modélisation du châssis par le concepteur châssis et évaluation collective de trois points : la liaison châssis-arceaux, la liaison châssis-timon, la liaison châssis-roues.

Description de six modèles de remorque par l'ergonome-designer et évaluation collective du modèle retenu : évaluation esthétique, évaluation technique des attaches des différents morceaux de toile entre eux, du repose-pied, ainsi que du patron de la toile de la remorque.

Discussion de la forme à donner aux arceaux.

Réflexion sur la rédaction du rapport à rendre : l'organisation des parties et le déroulement de la présentation orale.

Une fois les profils thématiques établis, nous les avons résumé en une phrase pour rendre la lecture des profils plus facile. Le Tableau 3.2 montre les profils de façon synthétique. A premier vue nous pouvons dire que les profils thématiques sont à peu près similaires. La première réunion de chaque expérience est pour se familiariser avec le produit à concevoir. Néanmoins dans l'expérience distribuée les concepteurs passent plus de temps à s'organiser et organiser l'espace de travail commun. En ce qui concerne la réunion 2, les concepteurs élaborent les premières solutions. Cependant dans l'expérience co-localisée les concepteurs font une revue des remorques existantes, situation qui n'est pas réalisée dans l'expérience distribuée. Par rapport à la réunion 3, les concepteurs effectuent des évaluations sur des solutions proposées et analysent l'habitacle de la remorque. Quant à la réunion 4, elle est

dédiée au réglage des derniers détails de la conception et à la préparation du dossier final pour le client.

Tableau 3.2. Profils thématiques des réunions des expériences de conception.

	Expérience distribuée	Expérience co-localisée
Réunion 1	Familiarisation des concepteurs avec le produit à concevoir et organisation du travail	Familiarisation des concepteurs avec le produit à concevoir et reprise de l'analyse fonctionnelle
Réunion 2	Elaboration des premières solutions autour du châssis, habitacle et serrage rapide pour les liaisons	Passage en revue des solutions existantes, évaluation de fixations timon-vélo, montage de la remorque, type du siège
Réunion 3	Design de la toile, habillage de l'habitacle et re-conception du châssis et arceaux, matériaux de la remorque	Evaluation du châssis et arceaux, matériaux, montage et patron pour la toile, fixation du timon au châssis
Réunion 4	Réglage de détails de l'assemblage de pièces CAO, évaluation des différentes solutions et organisation du dossier final	Evaluation du châssis, définition du design de la remorque et organisation du dossier final

Les profils obtenus avec l'analyse thématique nous ont permis dans un premier temps de définir les grands types d'activités de chaque réunion des expériences de conception. Ce qui permet d'appréhender le processus de conception en son ensemble. Ensuite cette analyse thématique nous a permis de focaliser notre étude sur certaines réunions avec plus de richesse dans le travail coopératif que d'autres. C'est à dire, les réunions sélectionnées ont plus d'échanges graphiques et verbaux autour de solutions traitées, de propositions et évaluation de solutions, ainsi qu'autour de l'utilisation des outils pour co-concevoir. Pour les deux expériences de conception les réunions retenues sont la 3 et la 4. Les résultats de cette étude sont montrés plus loin dans la section d'analyse au niveau microscopique.

4.3.2. Catégorisation d'activités pour le niveau macroscopique

En plus de cette analyse thématique nous voulions faire une analyse plus poussée de façon macroscopique pour regarder l'organisation de tâches d'une manière très générale. Ainsi nous avons établi un système de codage basé sur quatre catégories d'activités principales :

- La catégorie de *synchronisation cognitive* (SC) concerne l'ensemble des activités qui permette de construire une compréhension partagée ou une référence opérationnelle

commune [Darses 97] (voir chapitre 2). Ces tâches de SC sont fondamentales et passent souvent inaperçues car largement implicites (un regard, une mimique,...). L'interaction à distance risque de modifier les conditions de mise en place de cette synchronisation cognitive.

- La catégorie *argumentation et explicitation de connaissances* est établie comme l'ensemble d'activités où les acteurs expliquent ou développent des idées pour convaincre le groupe [Martin 01], ainsi que les activités où les concepteurs explicitent des connaissances propres à chaque métier, lois, normes, réglementations, etc.
- La catégorie *gestion de projet* est basée sur les activités ayant pour objet de gérer et planifier le projet de conception jusqu'à son terme, distribuer les tâches et organiser les réunions. En d'autres mots, nous classons ensemble toutes les activités qui ont pour but la gestion du projet et la coordination entre les concepteurs. Ainsi cette catégorie inclut les tâches de gestion de l'activité, par exemple la gestion des tours de parole, des sujets abordés, etc. De même que pour la SC, la gestion de projet est affectée par la distance.
- Pour finir, la catégorie *évaluation et proposition de solutions* est définie comme l'ensemble des activités liées à la proposition et à l'évaluation d'une solution nouvelle, son enrichissement, la proposition des solutions alternatives et l'évaluation positive ou négative des solutions déjà énoncées.

Pour cette analyse macroscopique nous avons travaillé à partir des transcriptions des verbalisations faites par les concepteurs au cours des réunions de travail collaboratif. En ce qui concerne les verbalisations trop longues, nous avons découpé certaines d'entre elles en plusieurs segments, en fonction des intentions du concepteur. C'est à dire, une partie peut être classée par exemple sur la catégorie d'évaluation/proposition de solution et une autre partie sur la catégorie d'argumentation/explicitation de connaissances. Le système de codage proposé au-dessus nous a permis d'établir un profil graphique pour chaque réunion de travail collaboratif en classifiant la transcription des corpus des réunions. Le Tableau 3.3 montre un extrait du codage réalisé pour une des séances de conception. Les aspects représentés dans la grille sont : le temps, l'acteur qui a produit la verbalisation, la verbalisation proprement dite et la catégorie sous laquelle nous codifions la verbalisation.

Tableau 3.3. Extrait du codage d'une des séances de conception.

DE=Designer-ergonome, CC=Concepteur châssis, CL=Concepteur liaisons, CP=Chef de projet.

Temps	Acteur	Corpus	Catégorie
00:36:15	DE	Vous êtes tous là ?	Gestion de projet
00:36:16	CC	Hum hum	Gestion de projet
00:36:17	CL	Ouais ouais on t'écoute	Gestion de projet
00:36:18	DE	Ouais ? Alors soit on met du plastique, comme on a devant, ...	Evaluation/Proposition de solution
00:36:22	DE	... ça nous coûtera plus cher moins cher je pense	Evaluation/Proposition de solution
00:36:26	DE	ou alors on peut lui mettre une moustiquaire donc les mus... les moustiquaires sont en polyester et... avec une... une... un volet en plastique que l'on puisse pour recouvrir la moustiquaire quand il pleut	Evaluation/Proposition de solution
00:36:41	CP	C'est une bonne idée	Evaluation/Proposition de solution
00:36:43	CP	parce que sinon en été il va avoir très chaud quoi	Argumentation/Explicitation de connaissances
00:36:45	DE	Il va avoir très chaud ouais mais ... si on fait... faut voir quoi euh... [S parle en même temps] on vend pas du produit haut de gamme quoi. Vu le prix qu'on a	Argumentation/Explicitation de connaissances
00:36:54	CL	Et euh... et comment dire, le dos c'est en quoi ? parce que là l'avant il est en en...	Synchronisation Cognitive

4.3.3. Type de résultats

Après avoir réalisé la classification des verbalisations avec le système de codage nous avons travaillé pour établir un profil graphique de chaque réunion de travail collaboratif. Ce profil a été produit par rapport à deux points : la fréquence des catégories et la représentation des catégories versus le temps. Les Figure 3.7, Figure 3.9, Figure 3.11 et Figure 3.13 montrent les profils graphiques pour l'expérience distribuée tandis que les Figure 3.8, Figure 3.10, Figure 3.12 et Figure 3.14 présentent les profils graphiques pour l'expérience co-localisée. A travers ce type graphique nous pouvons remarquer la distribution des verbalisations du corpus de chaque réunion par rapport au système de codage proposée dans la section antérieure.

Expérience distribuée

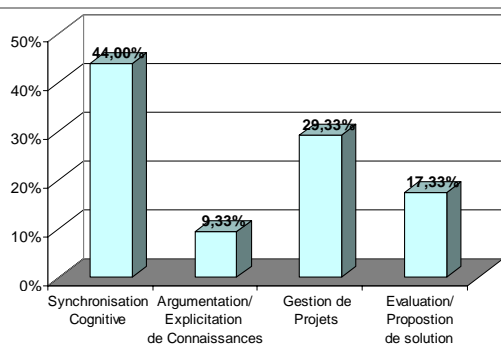


Figure 3.7. Profil graphique de la réunion 1.

Expérience co-localisée

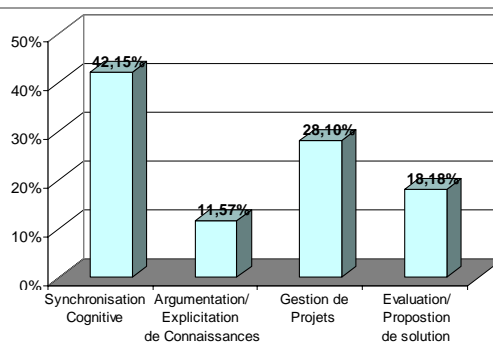


Figure 3.8. Profil graphique de la réunion 1.

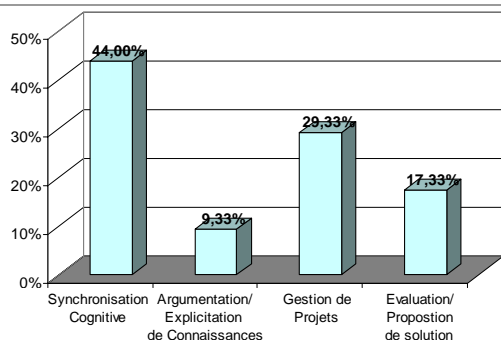


Figure 3.9. Profil graphique de la réunion 2.

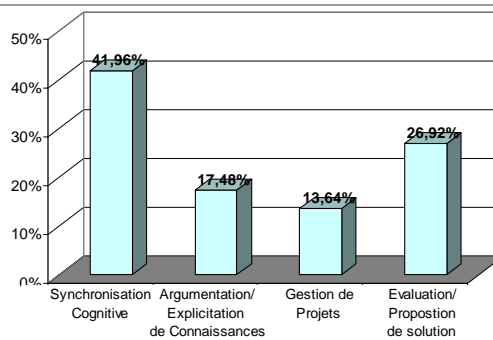


Figure 3.10. Profil graphique de la réunion 2.

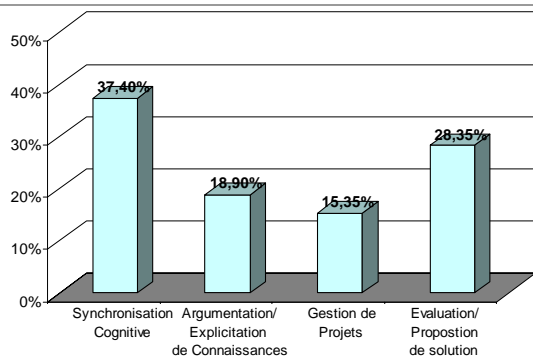


Figure 3.11. Profil graphique de la réunion 3.

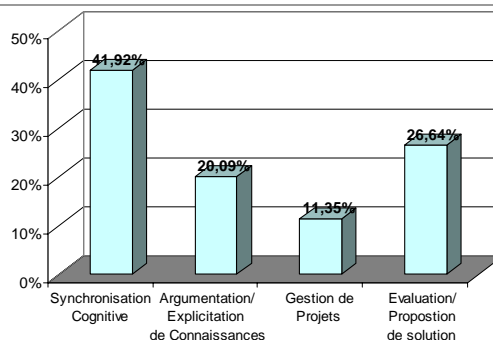


Figure 3.12. Profil graphique de la réunion 3.

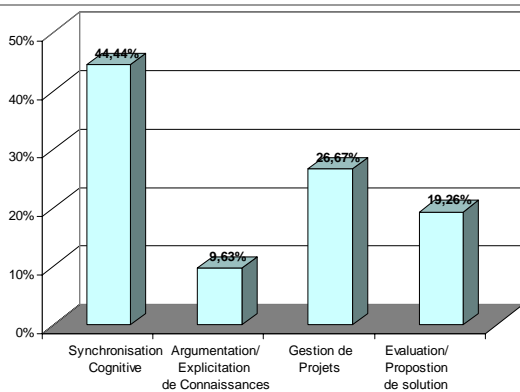


Figure 3.13. Profil graphique de la réunion 4.

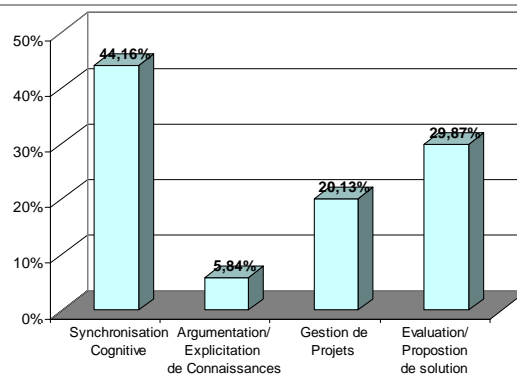


Figure 3.14. Profil graphique de la réunion 4.

Afin de comparer les profils graphiques nous avons réalisé un graphique où nous avons mis ensemble tous les profils de chaque expérience. Ainsi nous pouvons examiner aisément les profils entre les expériences de conception réunion par réunion. Ces graphiques se présentent aux Figure 3.15 et Figure 3.16 pour l'expérience distribuée et l'expérience co-localisée respectivement. Une première analyse de ces expériences est présentée dans [Ruiz-Dominguez & Boujut 05].

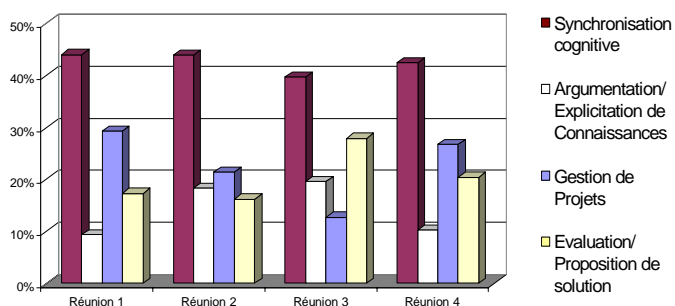


Figure 3.15. Profils graphiques de l'expérience distribuée.

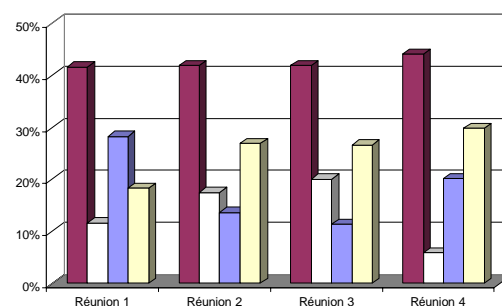
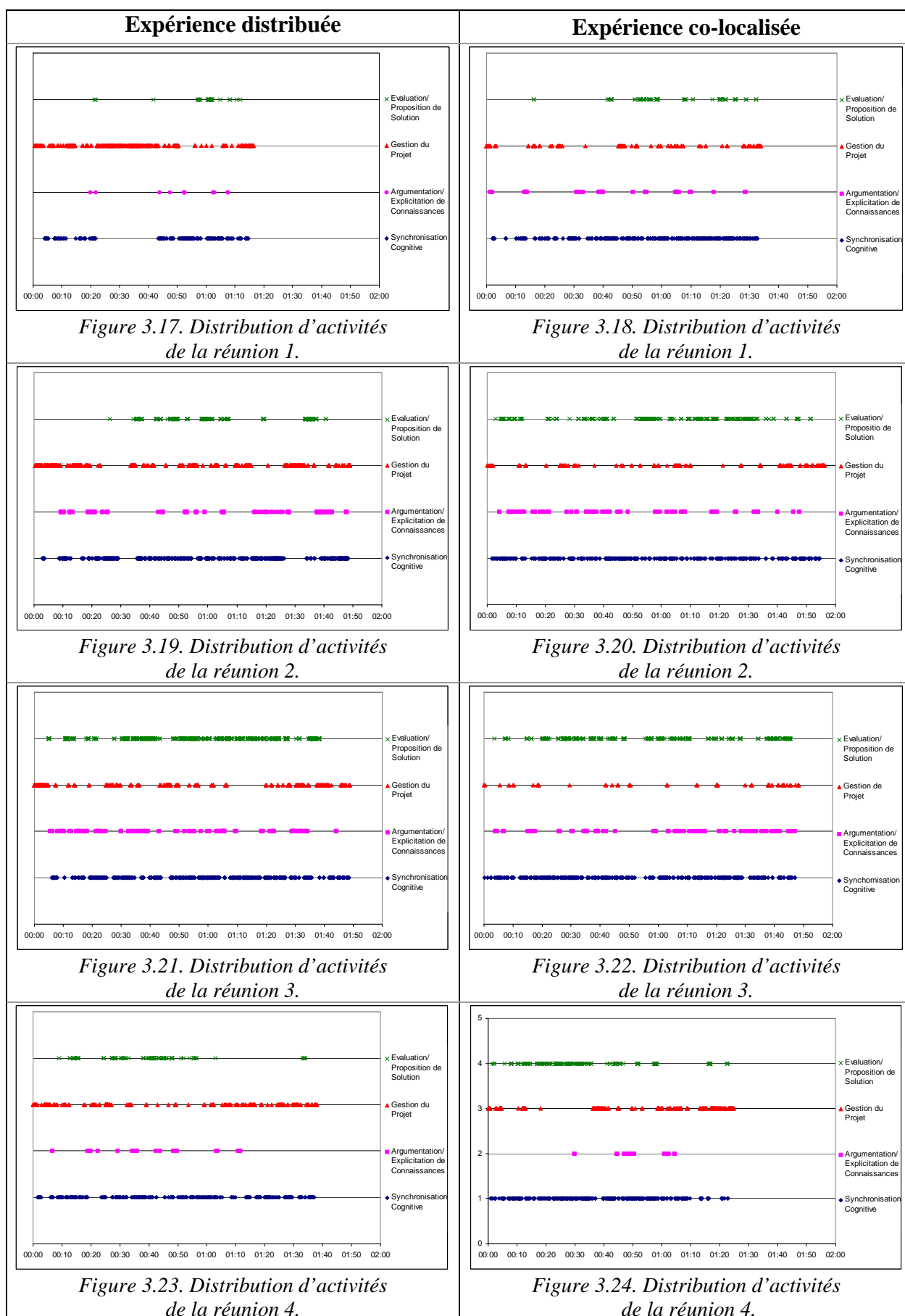


Figure 3.16. Profils graphiques de l'expérience co-localisée.

Nous avons produit aussi des graphiques de la distribution des catégories par rapport au temps des réunions de chaque expérience. Ceci avec l'objectif de faire ressortir des séquences récurrentes. Les Figure 3.17, Figure 3.19, Figure 3.21 et Figure 3.23 montrent ce type de graphique pour l'expérience distribuée tandis que les Figure 3.18, Figure 3.20, Figure 3.22 et Figure 3.24 présentent ce type de graphique pour l'expérience co-localisée. Ce genre de graphique nous indique les différents moments les concepteurs ont réalisé des activités de gestion de projet, d'évaluation ou proposition de solutions, et ainsi de suite. De ce fait nous pouvons déduire des tendances des activités en fonction du temps. Cependant l'analyse qualitative des graphiques ne permet pas d'identifier une séquence caractéristique. Il faudrait mener une étude plus approfondie à travers d'autres techniques comme l'analyse séquentielle statistique pour trouver des séquences récurrentes.



4.3.4. Interprétations des résultats et discussion

Nous pouvons constater à partir des Figures 3.15 et 3.16 que les profils des deux expériences sont pratiquement similaires. Il est à noter que les réunions 1 et 3 ont un profil de distribution d'activités identique. Par conséquent, dans une première analyse nous pouvons dire que la distribution des activités dans une situation co-localisée et une situation distribuée est similaire. L'effet de distance et de média ne semble pas avoir d'influence significative. Dans notre cas, il faudrait bien sûr compléter les résultats par d'autres expériences, mais nous avons déjà une première indication ici. Nous pouvons constater aussi que dans les deux expériences la catégorie de gestion de projet est plus importante au début et à la fin du projet. Ceci montre que les concepteurs ont besoin de se coordonner pour l'organisation du travail, la répartition des tâches au début du projet et l'organisation du dossier final et l'exposé devant le client à la fin de l'expérience. Ce qui semble logique dans un projet ou dans tous types de réunions projet.

Par contre nous pouvons remarquer que la synchronisation cognitive est importante dans les deux situations de conception et ceci, tout au long de l'expérience. La synchronisation cognitive ne semble pas affectée par des effets d'apprentissage locaux (on se connaît mieux au cours du projet). Plus de 40% des activités d'une réunion collaborative de conception (distribuée ou co-localisée) sont dédiées à la compréhension partagée ou référentiel opératif commun. De ce fait les concepteurs passent beaucoup de leur temps à se mettre d'accord et cherchent à avoir une représentation partagée sur les points qu'ils discutent. Il peut être observé qu'en moyenne la synchronisation cognitive est un peu plus élevée dans la situation distribuée que dans la situation co-localisée. Il faut donc imaginer des moyens pour assister les concepteurs dans ces tâches de synchronisation cognitive et faire en sorte que ces moyens n'aient pas des effets négatifs sur le processus.

Nous pouvons aussi remarquer, à partir des graphiques, particulièrement pour l'expérience distribuée, que la catégorie de gestion et conduite de projets est la seconde en importance dans la distribution d'activités. Ainsi les acteurs ont besoin d'accorder plus d'attention aux tâches d'organisation pour mener à bien le projet. En conséquence, nous pouvons avancer que dans cette situation les concepteurs ont plus besoin de structurer leur activité que dans une situation co-localisée, qui serait de fait la situation d'interaction « idéale ». Le fait d'être en situation distribuée conduit les acteurs à développer ce type d'activités à cause du manque de visibilité sur les activités des autres membres du groupe (concept de conscience du groupe ou awareness) [Gutwin & Greenberg 02]. Pendant une réunion « face-à-face » nous pouvons

regarder l'espace de travail de l'autre, ses gestes, ses outils, ses documents etc. L'absence de ces informations implique la nécessité d'une plus grande explicitation de la part des concepteurs.

Les activités d'argumentation/explicitation de connaissances et d'évaluation/proposition de solutions sont légèrement plus importantes dans la situation co-localisée que dans la situation à distance. Ainsi les concepteurs proposent et évaluent davantage de solutions dans une situation face-à-face que dans une situation distribuée. Ceci peut s'expliquer car les processus de création de connaissances communes, de connaissances partagées et l'établissement de la confiance sont plus aisés dans la situation co-localisée que dans la situation distribuée.

Nous pouvons avancer en première approximation que les acteurs de la conception ont besoin d'un environnement de travail collaboratif où la conscience du groupe se rapproche de celle d'une situation face-à face. La solution la plus logique serait de reproduire les caractéristiques du présentiel. C'est d'ailleurs ce qui est fait depuis longtemps, par les chercheurs des communautés de CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) et de HCI (*Human-Computer Interaction*). Cependant le fait de les reproduire à l'écran fait que les concepteurs ont plus d'informations à gérer sur l'espace réduit offert par l'écran. Cela peut produire l'effet inverse et augmenter le degré de complexité de la tâche au lieu de le réduire. Il se peut que quelques vues fonctionnelles montrées dans l'environnement de travail puissent améliorer le processus de conception. Par exemple : montrer « l'étape » actuelle du processus de conception, donner le stade actuel du produit, fournir quelques éléments du contexte de conception, montrer le réseau d'acteurs. Une vue sur l'état du processus et simultanément une vue sur l'état des acteurs connectés semblent être des pistes importantes à développer. Nous allons approfondir ces aspects dans le chapitre 5.

Nous n'avons pas trouvé de schémas récurrents évidents dans enchaînement temporel des catégories d'activités au niveau macroscopique. Ainsi nous déduisons qu'il s'avère nécessaire de faire une analyse plus fine pour trouver des séquences caractéristiques. Une approche intéressante pour trouver ce type de séquences est une étude statistique. La technique *Lag Sequential Analysis* proposée par [Karasavvidis 99] peut être une bonne direction de recherche.

4.4. Analyse microscopique des expériences de conception

Comme nous l'avons décrit au chapitre 1, nous nous intéressons aux aspects de coopération et processus de coordination entre acteurs. Pour coopérer les acteurs ont besoin principalement de deux choses : d'abord ils ont besoin de se coordonner dans le temps et l'espace et ensuite ils ont besoin d'établir des connaissances ou représentations « partagées » pour collaborer (cadre conceptuel). En effet, les concepteurs doivent travailler conjointement pour produire un résultat à partir des confrontations de points de vue, de négociations, de compromis, etc. Ces processus de création d'un référentiel commun est un processus que Darses appelle synchronisation cognitive [Darses 97]. Il peut être discuté qu'il n'y a pas de connaissances égales dans la tête des individus ou que les représentations sont uniques par individu. Néanmoins nous voulons insister sur le fait que connaissances ou représentations « partagées » sont un minimum de connaissances communes aux individus. Celles-ci permettent d'échanger et discuter. De plus, elles permettent aux concepteurs reconnaître la thématique traitée lorsqu'un collègue s'exprime.

Après avoir analysé les expériences de conception d'un point de vue macroscopique l'étape suivante est de réaliser une analyse au niveau microscopique. Pour ce faire nous avons utilisé les profils thématiques et les graphiques présentés dans la section 1.3.3. En effet, les profils nous ont aidé à trouver certaines réunions de travail collaboratif avec plus de richesse dans les interactions que d'autres réunions, à savoir les réunions 3 et 4 des expériences distribuée et co-localisée. Cependant le code utilisé au niveau macroscopique pour catégoriser les données ne fournit pas assez de détail pour étudier les interactions des concepteurs au niveau microscopique. Ainsi il est nécessaire de définir un autre code pour représenter les activités réalisées par les acteurs au moment de la conception.

4.4.1. Codage

Le système de codage utilisé pour l'analyse fine des données des expériences est inspiré de [Hohmann 02]. Nous avons divisé le code en deux niveaux : le premier pour analyser les activités de conception et le deuxième pour étudier les actions sur le dispositif technique. Ces catégories sont exclusives les unes par rapport aux autres.

4.4.1.1. Premier niveau de codage : les activités

En ce qui concerne les catégories des activités de conception la grille de codage comprend trois classes d'activités : les activités de conception, le registre relationnel ainsi que la gestion des interactions. Dans la suite nous allons décrire chacune des catégories.

Activités de conception

[Hohmann 02] s'est inspirée des travaux antérieurs des chercheurs comme [Falzon *et al* 96] et [Robillard *et al* 98], pour décliner la notion de synchronisation cognitive décrite au chapitre 2 en cinq points : synchronisation cognitive sur les concepts, la solution, les buts du projet, les contraintes, les stratégies de conception. En ce qui concerne l'évaluation de solutions, celle-ci est décomposée en en cinq sous-catégories : évaluation positive/négative de solution, évaluation positive/négative de contraintes et évaluation questionnante. Dans le même ordre d'idée, l'auteur a décliné la catégorie proposition de solution en trois points : proposition de solution, proposition de solution alternative, enrichissement de solution. Enfin, l'auteur a repris l'activité intitulée « conduite de réunion », décrite dans ces études.

Une catégorie de registre d'argumentation est défini pour étudier les processus argumentatifs dans le processus de conception. Ce registre d'argumentation est différent du registre de négociation utilisé par [Vacherand-Revel 02]. Ainsi nous nous focalisons sur les arguments sans porter un regard profond sur les points de vue et leur évolution au cours de la conception. Une description de chacune des catégories d'activités se trouve dans le Tableau 3.4.

Tableau 3.4. Activités de conception d'après [Hohmann 02].

Catégorie	Description	Exemple
Conduite de réunion	Activités ayant pour objet de planifier, d'organiser la réunion synchrone en cours par rapport au temps imparti.	(...) « j'ai organisé la ... la réunion sur plusieurs points donc ...en fait je vais vous dire ça : donc 6 tâches, 6 points et donc, le premier point ce serait plutôt la mécanique alors j'ai repris bien sûr ...bah toutes les questions que vous m'avez que vous m'avez ... »
Gestion de projet	Activités ayant pour objet de gérer, de planifier le projet de conception jusqu'au terme de ce dernier. Activités ayant pour objet d'organiser les tâches, leur répartition en fonction des compétences des concepteurs...	Le chef de projet; « Alors il va falloir aussi penser à la constitution d'un dossier. Enfin penser à rédiger quelque chose. Et pour le faire, il va falloir un modèle CAO [...] même s'il est pas final, déjà avoir la remorque définie en CAO ce serait pas mal »
SC concept	Définition de concepts émis par un sujet afin de s'assurer que le groupe partage des connaissances identiques concernant ce concept.	« Ca signifie quoi exactement ergonomie? »

SC buts du projet	Rappel des objectifs du projet afin de s'assurer que chacun les partage.	« Alors donc notre but c'est de fournir au client un dossier d'industrialisation d'accord... pour moi... donc... on avait un point susceptible ... un point de vue économique et un point de vue sociologique, d'accord ? »
SC contrainte	S'assurer que les membres du groupe partagent une représentation commune des contraintes de conception (ex: contrainte de poids, de coût...).	« ... faudrait... faudrait que vous lisiez la page euh vérification un moment dans le cahier des charges il y a le titre vérification de la possibilité de serrage à la main de la liaison encastrement entre le timon et le châssis et euh... et euh ... donc euh... la pièce, donc la pièce, le timon, le tube, bah un bout du tube et la pièce dans laquelle on... et la pièce la pièce qui va serrer le tube. Vous l'avez ou non le dossier d'étude ? »
SC stratégie de conception	S'assurer que les concepteurs partagent les mêmes représentations concernant des règles de conception, des méthodes prescrites, des stratégies de conception.	« Alors on est obligé de les placer sur le châssis, je ne vais pas les placer en supplantation je ne sais pas trop comment . Donc là, elles toucheraient les barres du châssis qui sont là pour le moment »
SC solution	S'assurer que les membres du groupe partagent une représentation commune de(s) solution(s), qu'ils comprennent les/la solution(s) décrites. (Description du comment d'une solution).	« Là, là... la toile elle couvre les barres c'est ça ? elle va couvrir dedans. C'est bien ça ?" ou encore "Et comment tu vas monter les tubes sur la plaque? »
Registre d'argumentation	Expliquer, développer ses idées et/ou solutions pour en convaincre le groupe. Ce codage n'implique pas nécessairement que les participants acceptent les arguments suite à la démonstration (description du pourquoi d'une solution).	[Décrit la manière dont il a déterminé l'effort de traction] ... « j'ai pu euh... dans un logiciel d'éléments finis, j'ai pu, j'ai pu calculer la déformation de la pièce et en fait, nous ce qu'on veut, ch'ai pas si vous vous rappelez mais dans dans le dossier d'étude, il faut que la déformation soit moins de 0,1 millimètres, ch'ai pas si vous vous souvenez mais y'a pas »
Evaluation positive de la solution	Approuve une solution.	« Moi je trouve que c'est une bonne solution, facilement applicable. »
Evaluation négative de la solution	Désapprouve une solution.	« Là c'est vrai, là je pense pas que ce soit vraiment très bon de ... fixer une barre sur le châssis. On n'aura pas tendance à surélever le siège ? »
Evaluation questionnante	Evalue la solution en la questionnant. Ce codage reste sous-jacent au ton utilisé dans les vidéos.	« Oui mais vous, vous pensez que le type de serrage rapide même si il est un tout petit peu plus difficile à mettre on peut quand même le conserver quoi? »
Evaluation positive de contrainte	Approuver positivement une contrainte de conception.	« Bah je pense qu'à l'unanimité on va préférer la sécurité ... »
Evaluation négative de	Désapprouve une contrainte de conception.	[Remet en question la contrainte de coût de la charrette imposée dans le dossier

contrainte		d'étude] « De toute façon je vous dis honnêtement, c'est impossible de sortir pour euh... 100 euros euh non, c'est impossible »
Proposition de solution	Apporter et expliquer une solution nouvelle qui n'a jamais été développé dans le cadre de la réunion.	« ...on prend ceux qui sont attachables sur le porte-bagages, à ce moment on aura juste à mettre un type de porte-bagage pour fixer le siège. Ça, à mon avis c'est plus simple et ce qui coûte le moins cher pour nous »
Proposition de solution alternative	Apport d'une solution alternative à celle énoncée qui a pour objet de remplacer une/des solution(s).	« Donc, si on pouvait mettre les barres plutôt par terre là, hop! »
Enrichissement de solution	Enoncer des idées supplémentaires, complémentaires pour étayer une solution énoncée.	[Raffinement du cintrage du châssis] « en fait, cela c'est pas les plus graves parce qu'on peut encore les cintrer encore de rayon 90. »

Comme nous pouvons constater, les catégories d'activités de conception, classent les activités en catégories classiques utilisées par d'autres chercheurs. Telles catégories sont des activités proposition de solution, d'évaluation, de gestion du projet, etc. Le concept nouveau pour l'étude de la conception dans le domaine de la conception mécanique est la synchronisation cognitive. Telle que nous l'avons décrite au chapitre 2, la synchronisation cognitive vise la création d'une référence opératoire commune, à savoir des connaissances communes. C'est à partir de la compréhension mutuelle développée par la synchronisation cognitive que les concepteurs vont agir ensemble.

Registre relationnel

En ce qui concerne cette catégorie, elle est une notion dérivée de l'étude des registres d'activité mise en place par [Vacherand-Revel 02]. La définition que nous utilisons pour ce type d'activité est plus limitant. Tous les échanges qui n'ont pas de rapport avec la conception ou avec le travail des concepteurs sont classés dans cette catégorie. Par contre la définition donnée par Vacherand-Revel est plus vaste car elle considère les verbalisations qui n'ont pas de lien direct avec le travail des membres de l'équipe, tel quand les sujets parlent de leur vie privée. Par exemple, la salutation au début et à la fin de réunion sont des rites de socialisation entre les concepteurs. Les évènements comme les plaisanteries permettent de décompresser l'ambiance et de détendre la situation vécue par les concepteurs. Ainsi ce type de communications nous avons classé dans cette catégorie.

Gestion de l'interaction

En plus des activités dédiées à l'activité de conception, les acteurs font appel à des activités qui ont pour but de gérer les interactions (organisation des tours de parole, s'assurer de

partager une même source d'information, ...). Nous avons codé ces activités sous la classification de gestion de l'interaction. Sept activités ont été ainsi distinguées. Il s'agit de la gestion des ressources techniques, la gestion du son, la gestion des tours de parole, la gestion des sources d'informations, la gestion de la visibilité à l'écran, les régulateurs et la gestion de problèmes techniques. En ce qui concerne la dernière activité, [Hohmann 02] s'est inspiré de [Vacherand-Revel 02]. La gestion des problèmes techniques indique les interactions sur des problèmes rencontrés avec l'utilisation des dispositifs. Toutes ces catégories sont décrites dans le Tableau 3.5.

Tableau 3.5. Gestion de l'interaction selon [Hohmann 02].

Catégorie	Description	Exemple
Gestion des ressources techniques	Gestion des ressources techniques afin de s'assurer que chacun a ouvert la même application dans un espace privé ou partagé à un moment T	Demande d'un sujet à un autre d'ouvrir une application.
Gestion du son	Gestion de la ressource audio	Mauvaise audibilité du chef de projet par l'équipe. On lui demande de parler plus fort.
Gestion des tours de parole	Régulation des échanges. Gestion, répartition des tours de parole (ex: un acteur passe la parole à un autre ou demande la parole).	Le chef de projet s'adressant au concepteur châssis ; « Ok, euh... on passe au châssis ? »
Gestion des sources d'informations	Gestion des ressources d'information afin de s'assurer que chacun a les mêmes documents, a pris connaissance des informations. Ceci, que ce soit dans son espace privé ou partagé à un moment T.	Le chef de projet ; « Attends, ... alors c'est le document que je vous ai envoyé qui s'appelle organe »
Régulateur	Communication ayant pour but d'assurer de la présence et de l'assiduité à la discussion en cours d'un concepteur, alors que ce dernier ne prend pas la parole.	Souvent, les sujets s'expriment par une reformulation d'un propos venant d'être énoncé, ou encore, par un terme permettant d'attester de la validité des propos de son collègue (exemple ; « d'accord »).
Gestion de la visibilité à l'écran	Communication permettant de s'assurer de la bonne visibilité d'un document, croquis à l'écran.	Demande d'agrandir un fichier, une image à l'écran.
Gestion des problèmes techniques	Aide offerte à un ou plusieurs concepteurs afin de leur donner accès à des données qu'ils ne parviennent pas à ouvrir pour diverses raisons (par exemple : identification, de prise en compte et résolution de problèmes techniques). Ces problèmes peuvent être de différentes natures, liés à une défaillance de logiciel, de la télécommunication ou encore survenir à l'occasion de transfert de données. La gravité est variable.	Un concepteur ne réussit pas à se connecter à FTP (serveur commun). Un autre se connecte et partage son document afin que le groupe ait les mêmes sources d'informations.

4.4.1.2. Deuxième niveau de codage : Actions sur le dispositif technique.

Afin d'apprécier les usages mis en place avec les outils disponibles, six critères ont été produits. Il s'agit des situations où les outils logiciels (majoritairement) devenaient des supports aux membres de l'équipe pour échanger. Il s'agit également d'activité de co-production, de situations où les outils étaient présents pour supporter les arguments, guider les explications, simuler une procédure. Il s'agit enfin de moments où les sujets utilisaient les outils en tant que mémoire de projet. Le Tableau 3.6. présente les définitions de ces différentes actions en les associant à des exemples.

Tableau 3.6. Actions sur le dispositif technique d'après [Hohmann 02].

Catégorie	Description	Exemple
Co-Production	Deux ou plusieurs acteurs utilisent le dispositif technique pour produire, faire évoluer ensemble une solution, un document.	Croquis des attaches par œillets reliant la charrette au châssis dans le tableau blanc. Croquis qui évolue par les différents apports de chaque participant au cours de la réunion par des dessins...
Supports aux arguments	Un acteur développe sa solution en s'appuyant d'un fichier ouvert et partagé par le groupe. Le sujet argumente sa solution, mais ne se déplace pas à l'écran pour montrer des champs spécifiques sur celui-ci.	S'appuyant oralement (et non physiquement) d'un document partagé à l'écran. Les sujets décrivent les éléments de la conception qu'ils veulent argumenter. Citation: "sur les petits bouts de partie au niveau du châssis".
Guider ses explications	Un acteur pointe à l'écran, focalise une zone spécifique d'un fichier pour appuyer ses explications. Le fichier est un support à la description du produit, à la solution avancée. ...	Décrire les composants de sa solution. Un concepteur a ouvert l'image d'un siège bébé à l'écran. Il s'aide de ce croquis pour guider le groupe dans l'explication des différents composants du siège.
Simulation	Un acteur explique, décrit une procédure à un ou plusieurs des participants à travers le dispositif technique. Les causes peuvent être diverses: défaillance des outils technologiques, difficultés de retrouver un document, une ressource ...	Simuler un chemin d'accès à un fichier dans le répertoire commun pour aider un concepteur à se représenter la localisation, l'endroit d'archivage de ce dernier.
Mémoire de projet	Un acteur garde et/ou recherche trace de ce qui s'est passé auparavant pour le rappeler au groupe: décisions prises précédemment, solutions choisies... et le restituer au groupe.	Rappeler au groupe des solutions choisies antérieurement à travers des documents sur lesquels le groupe a déjà travaillé...

4.4.2. Segmentation

Un segment est l'unité d'usage commune pour l'analyse de protocoles. Il s'agit d'une section du protocole qui se classifie dans une et seule catégorie. La longueur des segments varie en

fonction du but du chercheur concerné à l'analyse du protocole ou corpus. Cependant la définition de la longueur d'un segment les plus communes sont : le tour de parole, une durée spécifique en secondes ou par l'intention de l'acteur qui produit la verbalisation. En ce qui nous concerne, les transcriptions des verbalisations des concepteurs pendant les réunions de travail collaboratif, ont été segmentées d'abord par tour de parole. Nous avons procédé ensuite à un découpage des verbalisations en segments plus petits pour évoquer les intentions des concepteurs [Gero & McNeill 98]. En effet, quand il y a des verbalisations longues, nous les avons découpées en segments plus petits pour indiquer le changement des intentions des concepteurs lors de la verbalisation. Ainsi une verbalisation d'un acteur peut avoir un, deux, trois, ... segments en fonction des propos de la portion de la verbalisation. Le Tableau 3.7 présente un extrait du corpus de la séance 3 de l'expérience distribuée.

Tableau 3.7. Extrait du corpus avec le système de codage.

Temps	Acteur	Corpus	Activité	Dispositif	Outils/ Document travail
...
00:36:08	DE	... pour que l'enfant puisse voir un p'tit peu son environnement et sur le côté j'aurais 2 propositions à vous faire	Registre argumentation	Guider ses explications	Image graphique (capote à l'écran)
00:36:15	DE	Vous êtes tous là ?	Regulateur		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:16	CC	Hum hum	Regulateur		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:17	CL	Ouais ouais on t'écoute	Regulateur		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:18	DE	Ouais ? Alors soit on met du plastique, comme on a devant, ...	Proposition de solution	Co-production	Image graphique (capote à l'écran)
00:36:22	DE	... ça nous coûtera plus cher moins cher je pense	Evaluation positive de solution		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:26	DE	ou alors on peut lui mettre une moustiquaire donc les mus... les moustiquaires sont en polyester et... avec une... une... un volet en plastique que l'on puisse pour recouvrir la moustiquaire quand il pleut	Proposition de solution	Co-production	Image graphique (capote à l'écran)
00:36:41	CP	C'est une bonne idée	Evaluation positive de solution		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:43	CP	parce que sinon en été il va avoir très chaud quoi	Registre argumentation		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:45	DE	Il va avoir très chaud ouais mais ... si on fait... faut voir quoi euh... [S parle en même temps] on vend pas du produit haut de gamme quoi. Vu le prix qu'on a	Registre argumentation		Image graphique (capote à l'écran)

00:36:54	CL	Et euh... et comment dire, le dos c'est en quoi ? parce que là l'avant il est en en...	SC de solution		Image graphique (capote à l'écran)
00:36:58	DE	Le dos il est tout fermé	SC de solution	Co-production	Image graphique (capote à l'écran)
...	Image graphique (capote à l'écran)

4.4.3. Résultats

Nous présentons les résultats produits à l'égard des codages mis en place dans la deuxième partie de notre méthodologie d'analyse. Tel que nous l'avons indiqué dans le début de cette section, nous utiliserons les réunions 3 et 4 en fonction la richesse des échanges entre les concepteurs. Nous allons décrire dans un premier temps les activités réalisées pendant la réunion 3 de l'expérience distribuée. Ensuite nous allons détailler les résultats par rapport à la classification de gestion de l'interaction. Puis nous exposerons une synthèse des activités de conception. Nous tenterons, dans un quatrième temps, de montrer l'effet des rôles sur les activités de conception. Enfin, nous montrerons l'usage que les concepteurs ont fait du dispositif technique.

4.4.3.1. Synthèse des activités mises en œuvre

Le Tableau 3.8 présente la fréquence de chaque catégorie du premier niveau du système de codage pour le protocole de la réunion 3 de l'expérience distribuée.

Tableau 3.8. Fréquence d'activités avec le système de codage microscopique pour la réunion 3 de l'expérience de conception distribuée.

Activité	Description	Fréquence
1	Conduite de réunion	40
2	Gestion de projet	23
3	SC concept	23
4	SC buts du projet	23
5	SC contrainte	17
6	SC stratégie de conception	14
7	SC solution	493
8	Registre d'argumentation	181
9	Evaluation positive de solution	91
10	Evaluation négative de solution	94
11	Evaluation questionnante	186
12	Evaluation positive de contrainte	3
13	Evaluation négative de contrainte	2
14	Proposition de solution	34
15	Proposition de solution alternative	15

16	Enrichissement de solution	33
17	Registre relationnel	106
18	Gestion des ressources techniques	48
19	Gestion du son	5
20	Gestion des tours de parole	11
21	Gestion de sources d'information	83
22	Régulateur	305
23	Gestion de la visibilité de l'écran	84
24	Gestion des problèmes techniques	37
	Total	1951

Ainsi, si nous regroupons les activités présentées dans le Tableau 3.8 par type de catégories que nous avons présenté dans les Tableau 3.4, Tableau 3.5 et Tableau 3.6, nous constatons que le plus grand nombre des activités concerne la catégorie d'activités de conception avec 65,2%, Figure 3.25. Nous pouvons constater que la plus part des activités (environ deux tiers) du processus de conception sont dédiées à des aspects liés à la conception. Le reste des activités sont dédiées à des activités de gestion de l'interaction et de socialisation. En deuxième lieu, nous avons les activités de gestion de l'interaction, elles représentent 29,4% des activités totales. Finalement, les activités catégorisées comme « registre relationnel » constituent 5,4% des activités. Ces activités ont eu lieu surtout au début, avant et après la pause ainsi qu'en fin de réunion. Elles sont consacrées à initier et finaliser les échanges entre les concepteurs et même si elles sont peu représentées, elles semblent nécessaires et jouent un rôle important pour apaiser les tensions entre les membres de l'équipe.

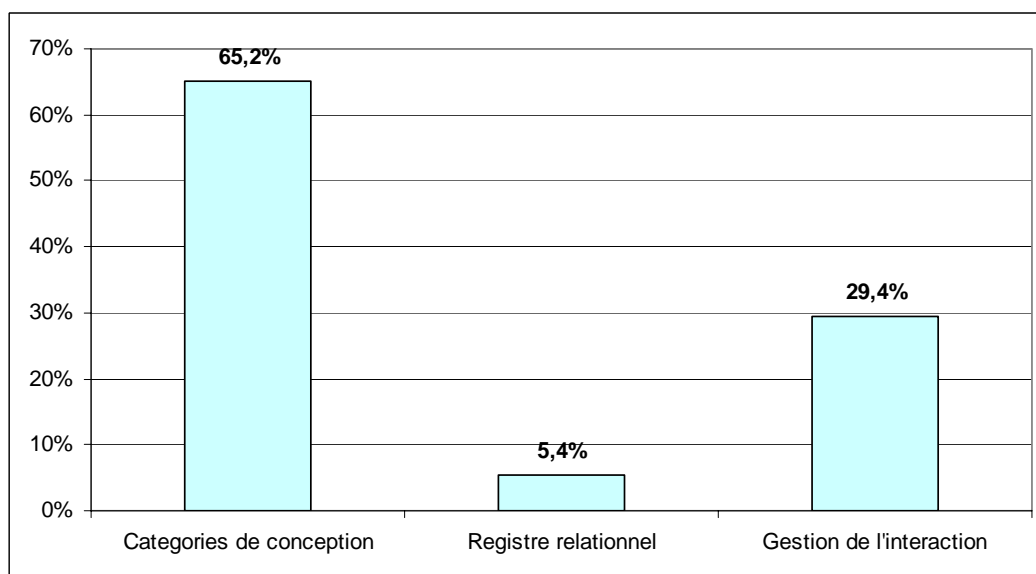


Figure 3.25. Répartition globale des activités mises en œuvre à la réunion 3 de l'expérience distribuée.

Activités de conception

L'ensemble d'activités de conception se présente dans la Figure 3.26. Nous pouvons constater que les activités de synchronisation cognitive sur la solution est la catégorie qui présente le pourcentage le plus élevé de toutes les catégories avec 38,8%. Les activités d'évaluation questionnante sont la seconde catégorie d'importance avec 14,6% des activités de conception. Ensuite nous avons les activités d'argumentation qui affichent 14,2%. Puis nous avons l'évaluation négative et positive de la solution avec 7,4% et 7,2% du total des activités de conception respectivement. Après, la conduite de réunion se dégage avec un 3,1%. La catégorie de proposition de solution représente 2,7% tandis que la catégorie d'enrichissement de solution représente 2,6%. Le reste de catégories n'a pas atteint 2% du total des activités de conception de manière individuelle. Cela représente 8 catégories, à savoir la moitié des catégories proposées dans le Tableau 3.4.

De ces résultats où la synchronisation cognitive de solution est prépondérante, nous pouvons déduire que les concepteurs ont besoin d'élucider et comprendre les solutions proposées. En conséquence nous pouvons déduire que les concepteurs partagent des représentations mentales communes de ces solutions et s'assurent d'éviter tout malentendu lors des références aux solutions dans le dialogue.

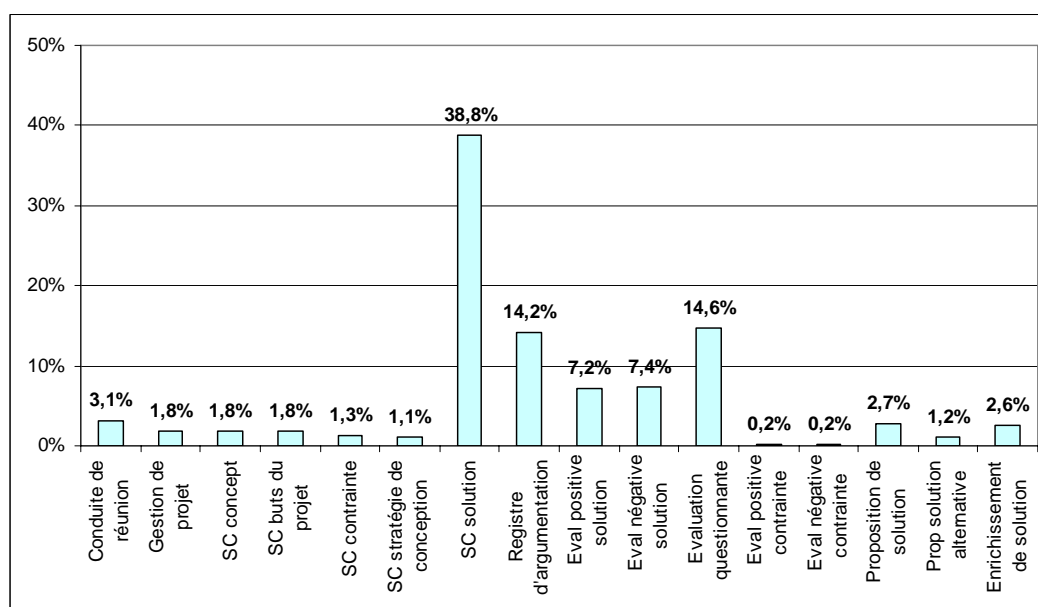


Figure 3.26. Distribution d'activités de conception pour la réunion 3 (Expérience distribuée).

Si nous voulons compacter les résultats de la figure précédente pour avoir une vue plus synthétique, nous pouvons rassembler les 5 catégories de synchronisation cognitive qui se

montrent au Tableau 3.4. De manière similaire nous pouvons associer les 5 catégories d'évaluation. La proposition de solutions peut être composée des activités de proposition de solution, de proposition de solution alternative et d'enrichissement de solutions. Une catégorie générale de gestion de projet peut être composée de la catégorie de gestion de projet plus les activités de conduite de réunion. Ainsi si nous rassemblons toutes les activités dans les catégories générales mentionnées ci-dessus, le résultat est le graphique de la Figure 3.27. Nous pouvons constater que la catégorie de synchronisation cognitive est la plus importante avec 44,8% du total des activités. Ensuite, les activités d'évaluation de solution représentent 29,6% du total. Nous retrouvons résultats similaires que d'autres études en ce qui concerne la prépondérance de synchronisation cognitive et l'évaluation au cours des phases de travail en co-conception, [Hohmann 02], [D'Astous *et al* 04] [Détienne *et al* 04]. Par la suite et par ordre d'importance apparaissent s'affichent les activités d'argumentation, les activités de proposition de solution et finalement les activités de gestion de projet, avec 14,2%, 6,4% et 5,0% respectivement.

Avec la séquence indiquée des activités de synchronisation cognitive et d'évaluation de la solution nous pouvons déduire que le besoin principal des concepteurs, au cours des réunion 3 de l'expérience distribuée, était d'assurer et de maintenir des représentations communes de l'objet à produire. Nous pouvons avancer une raison à ceci : pour évaluer des solutions, il est préférable de s'assurer en amont, que le groupe les a intégré et compris. Cela est d'autant plus vrai quand les individus sont géographiquement distants, qu'ils ne se connaissent pas et qu'ils ne possèdent pas toujours de supports (graphiques, visuels) pour exprimer leurs idées, même si les outils le permettent.

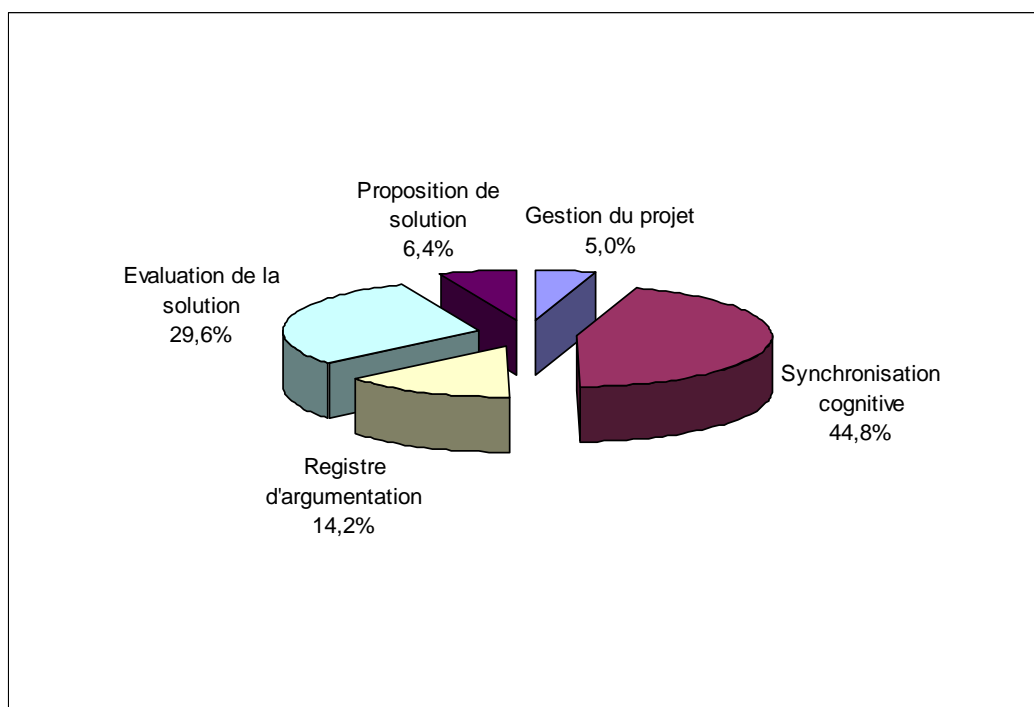


Figure 3.27. Distribution d'activités de conception groupées de la réunion 3 (Expérience distribuée).

Gestion de l'interaction

La distribution des activités de gestion de l'interaction se présente dans la Figure 3.28. Nous pouvons constater que la catégorie la plus importante est celle des régulateurs. Ceci représente 52,3% du total des activités. Le but de ce type d'activités est de s'assurer de que les autres soient attentifs ce qu'un acteur est en train de faire ou dire. Dans une situation face-à-face, cet aspect s'accompli avec la vue, l'ouïe, les gestes des autres, leur attitude, etc. En contrepartie, cela n'est pas toujours le cas dans une situation à distance. Comment reconnaître où est l'attention des autres dans une situation à distance ? Il existe des outils informatiques de communication qui permettent d'avoir l'audio et la vidéo pour regarder les autres. Cependant dans notre cas, il n'y avait pas la vidéo. L'environnement de travail disponible était pauvre en ce sens. De telle sorte que les concepteurs ont dû chercher la manière de s'assurer qu'ils avaient l'attention des autres. Des interjections comme « *mmh* » ou « *ouais* » ont permis aux concepteurs de savoir si les autres acteurs étaient attentifs au discours. Nous avons observé dans la réunion 3 de l'expérience distribuée le designer-ergonome a senti le besoin de rendre explicite cette régulation en demandant à ses collègues s'ils étaient attentifs à sa présentation. Il semblerait que lorsque les activités de régulation ne sont pas manifestes, les membres du groupe en expriment explicitement le besoin, comme un besoin de s'assurer de la présence d'autrui. Ce résultat est un effet du contexte de médiatisation

Le deuxième pourcentage par ordre d'importance est celui de gestion de la visibilité à l'écran qui représente 14,7% des activités de gestion de l'interaction. Les informations, les images, les croquis partagés au cours des réunions doivent être parfaitement nets sur les écrans des concepteurs. Pour cela, le recours à des agrandissements d'écran peut s'avérer efficace. Ce résultat est à mettre en relation avec celui de la gestion de sources d'information qui représente 14,5% des activités de gestion de l'interaction. L'objectif de ces activités est de s'assurer régulièrement que l'ensemble du groupe visionne bien le même objet au même moment. Cette activité est vitale à la collaboration. C'est un effet du contexte de médiatisation que souligne la catégorie de gestion des sources d'informations.

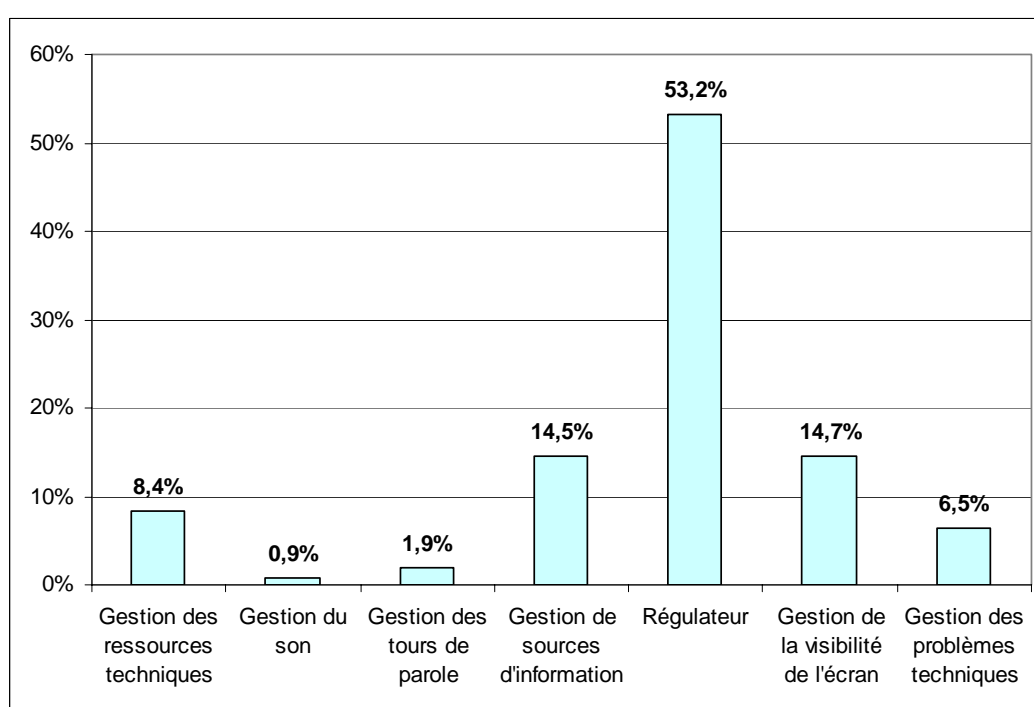


Figure 3.28. Distribution d'activités de gestion de l'interaction à la réunion 3 de l'expérience distribuée.

Un autre aspect intéressant est le résultat des activités liées à des questions techniques. Dans une situation de conception à distance le mal fonctionnement des appareils ou des outils d'information ainsi que le partage des applications perturbe le travail des concepteurs. Dans notre cas la catégorie de gestion de ressources techniques représente un 8,4% tandis que la gestion de problèmes techniques affiche 6,5%. La première catégorie concerne les activités pour s'assurer que les concepteurs ont la même application ouverte dans un moment donné. Quant à la deuxième catégorie, elle vise à répertorier les problèmes techniques rencontrés par les concepteurs, par exemple lors d'accès à l'espace partagé ou FTP, lors du partage des fichiers, lors des problèmes avec les outils de communication, etc. Les perturbations causées

par ce type d'activités peuvent même arrêter le travail de conception. Dans ce cas les concepteurs dédient leurs efforts à résoudre le problème cité. Cependant plus les acteurs sont familiarisés avec l'environnement de travail et sont mode de fonctionnement moins de problèmes ils auront pendant l'interaction.

Enfin, un autre résultat qui mérite notre attention est la catégorie de gestion de tours de parole. Cette catégorie représente 1,9% du total des activités de gestion des interactions. Nous pourrions espérer un pourcentage plus élevé dans cette catégorie en fonction du contexte dans lequel se trouvaient les acteurs. Cependant les acteurs ne semblent pas rencontrer des difficultés par rapport à ce type d'activités. Une fois identifié la voix des autres, les acteurs semblent en mesure de gérer facilement cet aspect.

Afin d'expliquer les résultats relatifs au taux important de régulateurs, gestion des sources d'informations et de la visibilité à l'écran, mentionnons un besoin exprimé par les concepteurs suite aux réunions synchrones. Après chacune d'elles, les sujets ont fait la demande de disposer de la source vidéo. Nos résultats relatifs à la gestion des tours de parole (1,9% des activités de gestion de l'interaction), nous permettent de dire que dans un tel contexte de conception, l'apport de la vidéo pour voir le visage de ses collègues ne semble pas être la raison majeure de ce besoin. Nous associerons plutôt ce besoin au fait d'avoir une vue de l'espace du travail d'autrui. Mais alors, en quoi cela pourrait servir dans un contexte de conception médiatisée ? Nous référant aux résultats des travaux [Salas *et al* 95] et [Dourish & Bellotti 92], nous pouvons dire que le fait de voir l'espace de travail d'autrui faciliterait l'*awareness* ou conscience mutuelle. C'est à dire, cette conscience nous permettrait de savoir quand intervenir pour interagir avec les autres, quel document les autres utilisent, quel logiciel les autres utilisent, des indications d'acceptation ou de rejet des autres à ce que l'on dit, etc.

Usages du dispositif technique

Les résultats en ce qui concerne les actions sur les dispositifs techniques se présentent dans la Figure 3.29. Nous constatons que l'activité avec le pourcentage le plus élevé est celle de la co-production. Ce qui représente 53,2% du total des activités. Ainsi les acteurs ont utilisé les dispositifs techniques pour produire ensemble des documents ou des esquisses. Toutefois nous constatons que les concepteurs ont utilisé beaucoup le tableau blanc pour produire des esquisses et dessins, c'est à dire des supports graphiques plus que des textes. Après, les concepteurs ont utilisé les dispositifs techniques pour argumenter les propositions qu'ils ont réalisées. Cela représente 22,3% du total des activités. Dans cette catégorie, les acteurs

utilisent un document ou un fichier ouvert et partagé pour développer ses arguments et ils essayent de « vendre » sa solution.

Ensuite, la catégorie de guider ses explications affiche 22,0% des activités. Le but de ces activités est d'attirer l'attention des autres acteurs sur des points particuliers d'un support. Les activités type de cette catégorie sont : pointer l'écran avec la souris pour indiquer aux autres au quel endroit un acteur se réfère, utiliser un document ou fichier pour décrire une solution, etc. Nous avons constaté que ce type d'activités étaient en lien avec des images graphiques ou des esquisses sur le tableau blanc. Par conséquent, l'action de guider ses explications se réalise donc majoritairement via des supports graphiques et non sur des textes. Finalement les activités de mémoire du projet ainsi que de simulation sont faibles dans cette réunion. Ce qui représente 1,4% et 1,1% respectivement. Les activités de mémoire de projet permettent à un acteur de rappeler aux concepteurs des décisions prises, des solutions choisies, des données du cahier des charges, etc. Pour sa part, les activités de simulation ont pour but d'assister les concepteurs à expliquer une procédure, par exemple accéder au FTP ou se connecter à la session de NetMeeting.

De plus, l'analyse des questionnaires nous a permis de savoir que la mémoire de projet était assurée par l'intermédiaire du papier/stylo dans l'espace de travail privé. Nous montrons à présent que la mémoire de projet se réalise via l'utilisation du dispositif technique (notamment par le tableau blanc) dans l'espace de travail partagé. Nous avons donc mis en évidence que l'activité de mémoire de projet se réalise, d'une part dans deux espaces de travail (privé/partagé). D'autre part, nous montrons que deux types d'outils supportent cette activité (le papier/stylo dans la sphère de travail privé ; le tableau blanc dans la sphère de travail partagé). Les résultats relatifs à cette activité n'étaient pas attendus.

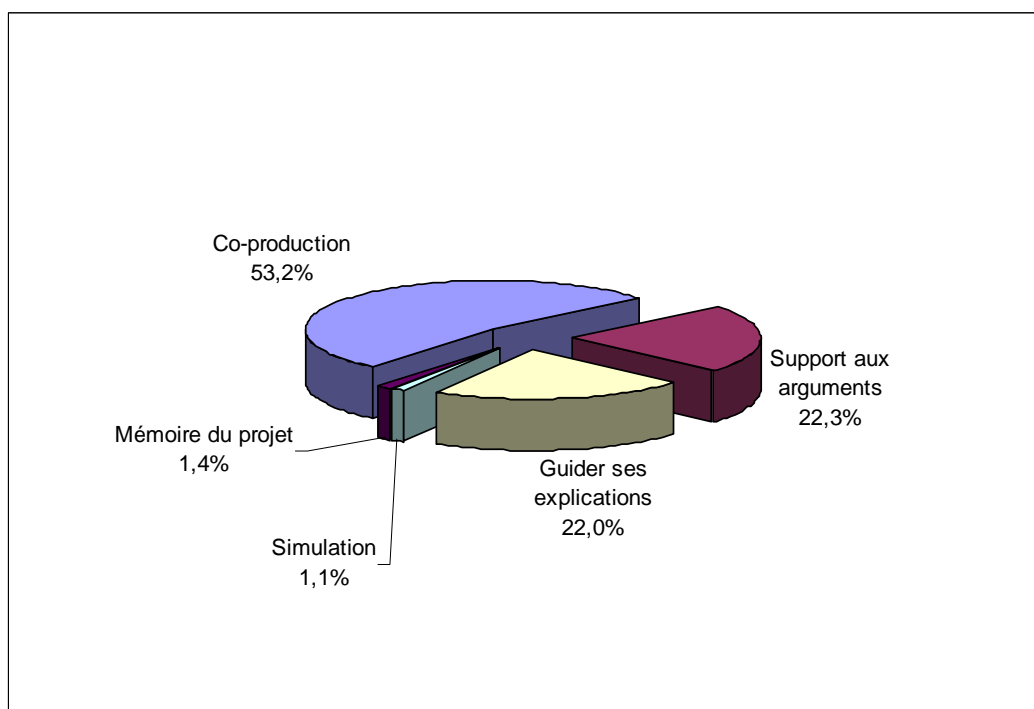


Figure 3.29. Distribution d'activités par rapport à l'usage du dispositif technique (réunion 3, expérience distribuée).

Une situation intéressante est notamment la non utilisation de la fonctionnalité du « chat » dans l'expérience distribuée. Dans une expérience de conception dans un contexte similaire, [GRACC 01], cette fonctionnalité était le support pour la prise de notes des acteurs. Ce comportement est à noter en raison de la relative facilité d'utilisation de cette fonctionnalité. Cependant cette particularité peut s'expliquer par le fait que les concepteurs de l'expérience distribuée n'étaient pas familiers avec l'usage du « Chat ».

Ces résultats nous permettent de constater la nécessité des supports, notamment graphique, pour assister la co-production, le support aux arguments ainsi que le guidage des explications au cours des réunions de conceptions. Cette étude nous a également permis de caractériser les objets intermédiaires fondamentaux en conception coopérative médiatisée : les supports graphiques. De plus, nous montrons que les outils tels que les images graphiques, le tableau blanc sont essentiels aux activités de co-production, ainsi qu'aux activités permettant de guider ses explications et de supporter ses arguments.

4.4.3.2. Effets des rôles des concepteurs

En ce qui concerne les interventions des concepteurs dans la réunion 3 de l'expérience distribuée, nous pouvons constater que les concepteurs ont pris la parole avec un pourcentage similaire pour chacun d'entre eux. Chaque concepteur a pris la parole à peu près un quart de

fois. Ainsi les verbalisations du concepteur châssis représentent 26,5%. Les verbalisations du designer-ergonome affichent un 26,1%. Celles du chef de projet représentent un 25,8% tandis que les prises de parole du concepteur liaisons donnent 12,6%.

Effet du rôle par rapport aux activités de conception.

La Figure 3.30 montre les résultats des interventions individuelles de la part des concepteurs pendant la réunion 3 de l'expérience distribuée. Nous constatons quatre aspects intéressants de ce graphique. D'abord, le chef de projet est celui qui se dégage pour ses interventions pour des activités de conduite de réunion et la gestion de projet, avec 2,5% et 1,1% respectivement. Le reste des concepteurs ne dépasse le 0,5% pour des activités dans ces catégories. Ainsi le chef de projet affiche au moins le double de pourcentage que les autres concepteurs. Ce qui semble naturel pour les fonctions d'un chef de projet et qui sont prescrites dans la description du rôle du chef de projet. Ensuite, l'ensemble de concepteurs affiche un pourcentage important pour les activités de synchronisation cognitive. Les résultats sont les suivants : le designer-ergonome affiche 12,4%, le concepteur châssis montre 11,2%, le chef de projet présente 8,3% tandis que le concepteur liaison affiche 6,5%. Ceci est en accord avec les résultats que nous avons obtenu pour la distribution d'activités de conception dans la section précédente. Nous pouvons déduire que tous les concepteurs ont besoin d'avoir un référentiel commun sur les solutions ainsi que partager des représentations communes de l'objet à concevoir.

Après, le chef de projet affiche une différence notable par rapport aux autres concepteurs en ce qui concerne les activités d'argumentation. Il présente 1,0% contre 3,6% du concepteur liaisons, 4,2% du designer-ergonome et 5,3% du concepteur châssis. Finalement, un résultat en relation au précédent est celui des activités d'évaluation questionnante. Le chef de projet se dégage aussi sur les autres concepteurs sur cet aspect. Il affiche 6,1% contre 3,8% du concepteur liaisons, 2,8% du concepteur châssis et 2,0% du designer-ergonome. Par rapport aux deux derniers résultats, nous déduisons que cela est dû à la formation du chef de projet. En effet, celle-ci est un peu différente de celle des autres concepteurs. Le chef de projet a manifesté lors des entretiens qu'il avait difficulté à argumenter les solutions proposées, en fonction d'une connaissance moins fine que les autres concepteurs. Ceci l'a amené à demander des précisions supplémentaires sur les solutions mobilisées.

De ces résultats nous identifions deux aspects sur les activités de conception. D'une part, la primauté des activités de synchronisation cognitive de la part des concepteurs. Notamment les

activités de synchronisation cognitive sur la solution. D'autre part, le rôle que le chef de projet joue dans cette réunion. Il assure les activités de gestion et conduite de réunion, tel que son rôle indique, et le faible pourcentage sur les activités d'argumentation.

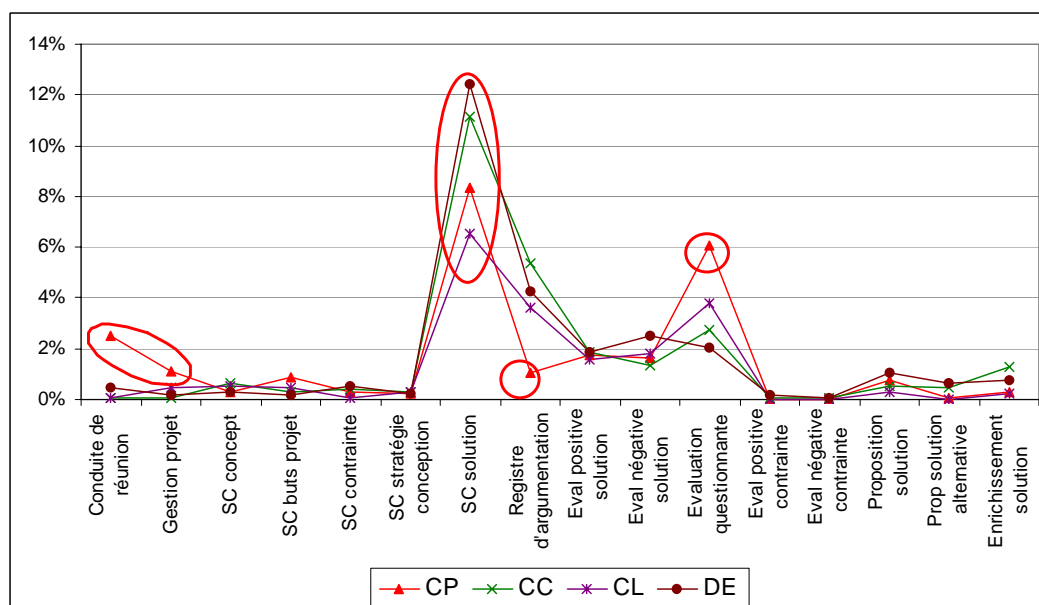


Figure 3.30. Activités de conception par concepteur (Réunion 3, expérience distribuée).

Effet du rôle par rapport aux activités de gestion des interactions

La Figure 3.31 montre pour sa part les verbalisations des concepteurs en ce qui concerne la gestion des interactions. Dans ce cas, nous remarquons aussi quatre aspects importants. Premièrement, tous les concepteurs ont besoin de réaliser des activités de gestion des ressources techniques. Ces activités permettent aux concepteurs de s'assurer que tous ont la même application ouverte dans l'espace partagée. Ce résultat est lié aux résultats de la catégorie de gestion de visibilité à l'écran qui comptabilise toutes les interactions pour vérifier que tout le monde a une bonne visibilité d'un document ou dessin sur l'écran. Dans le cas de la catégorie de gestion de ressources techniques les pourcentages vont à partir de 1,4% jusqu'au 3,1% tandis que dans le cas de la catégorie de gestion de visibilité à l'écran les pourcentages varient entre 3,3% et 4,0%.

Le deuxième aspect importante est celui de la gestion de tours de parole. C'est à nouveau le chef de projet que se dégage dans cette catégorie sur les autres concepteurs, de la même manière que dans les activités de conduite de réunion et gestion de projets. Il présente un 1,6% contre 0,3% affiché par le reste des concepteurs. Le troisième aspect important est celui des activités de régulateur. Ce type d'activités visent à s'assurer de la présence à la discussion des collègues. Cette catégorie est la plus importante de celles de la gestion des

interactions. Le pourcentage affiché par les concepteurs est de 15,7%, 15,2%, 13,8 et 8,6% pour le concepteur liaisons, le concepteur châssis, le chef de projet et le designer-ergonome respectivement. Finalement, le quatrième aspect important est celui de la gestion des sources d'informations a été effectué à peu près autant de fois pour chaque concepteur. Le concepteur châssis montre un, 5,2%, le concepteur liaisons affiche 3,5%, le designer-ergonome présente un 3,0% tandis que le chef de projet affiche 2,8%.

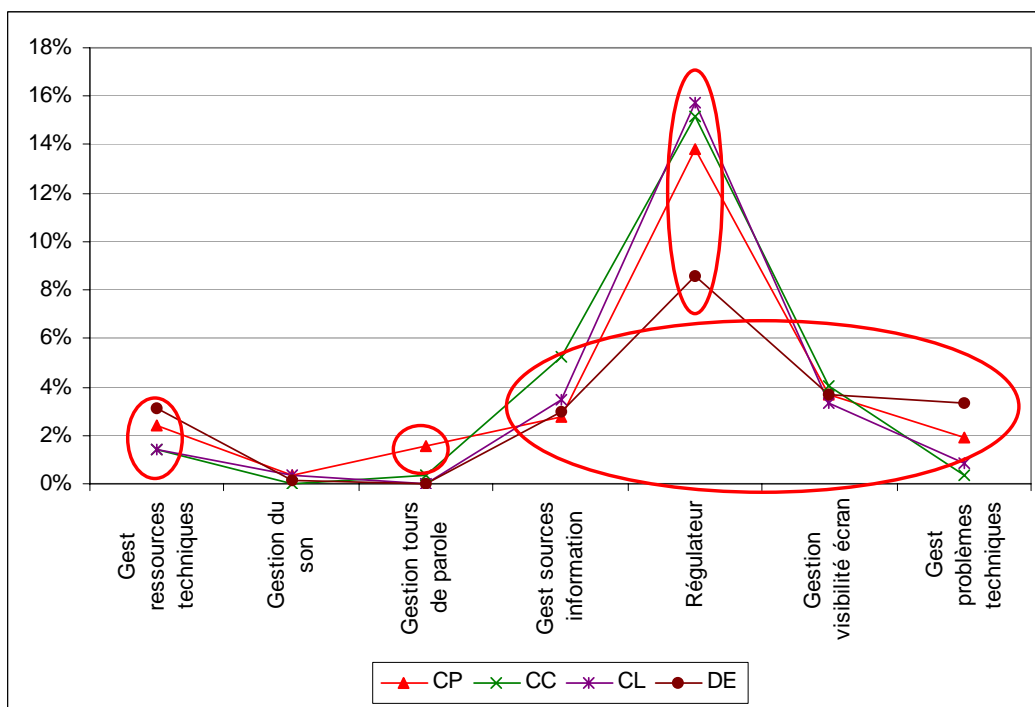


Figure 3.31. Gestion de l'interaction en fonction des rôles pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.

4.4.4. Effet séquentiel

Nous avons montré dans la section antérieure que l'usage du dispositif technique passe par des échanges entre les concepteurs, notamment des échanges graphiques. Les outils les plus utilisés étaient le tableau blanc et les images graphiques. Avec cette dernière situation, les concepteurs montraient des images graphiques figées et ils discutaient autour d'elles pour proposer des solutions, les évaluer, les modifier, etc. Ces images graphiques peuvent être des photos, une copie d'écran d'ordinateur, des dessins, des esquisses ou des croquis scannés, etc. Néanmoins l'image graphique, du fait de sa nature statique, nécessite être refaite ou redessinée soit en partie soit en sa totalité pour proposer des changements ou des améliorations. La Figure 3.32 présente l'usage des outils pendant la réunion 4 de l'expérience distribuée par chacun des concepteurs. Le numéro en dessous de chaque outil indique le

nombre d'acteurs qui ont utilisé cet outil. Dans la figure les outils en tonalités bleues sont les outils utilisés tandis que les outils en tonalités grises indiquent des outils de communication. Ces informations proviennent des entretiens faits après chaque réunion collaborative.

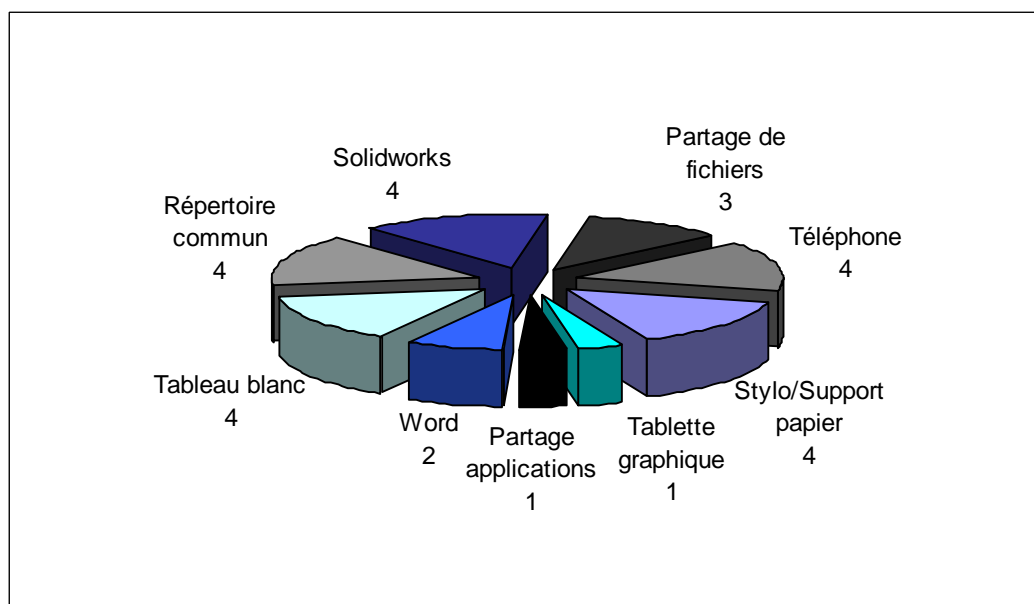


Figure 3.32. Répartition de l'usage des outils au cours de la réunion 4.

Dans cette section nous nous intéressons à la fonctionnalité du tableau blanc car elle permet aux acteurs de créer des objets, les modifier, les effacer, etc. Ceci sans changer d'outil, à la différence de l'image graphique qui est figée, donc pas modifiable a priori. Après une analyse plus approfondie sur la séquence des objets intermédiaires créés et manipulés pendant la réunion quatre de l'expérience distribuée au tableau blanc, nous avons remarqué un phénomène particulier. Nous avons distingué deux phases au cours desquelles la solution émerge : une phase de dessin et une phase de discussion orale. C'est à dire, un acteur produit un dessin et une discussion s'enchaîne autour de ce dessin. Ces interactions portent sur un ensemble de propositions de solutions qui vont être évaluées par des critères positifs ou négatifs, suite à un problème ou une demande de solution. Cet enchaînement va conduire à l'émergence d'une nouvelle solution au fur et à mesure des raffinements successifs du concept ou au rejet de la solution, qui se traduit par une nouvelle esquisse au tableau blanc. La Figure 3.33 présente cette séquence de création et manipulation des objets intermédiaires proprement dite.

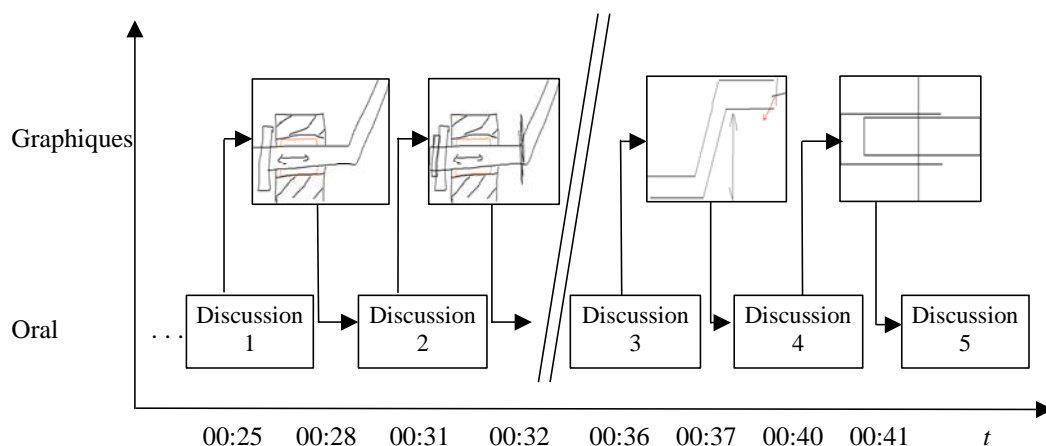


Figure 3.33. Diagramme d'enchaînement schéma-argumentation.

Nous avons désigné la séquence antérieure comme « l'effet séquentiel », [Ruiz-Dominguez *et al* 04]. Nous avançons l'hypothèse que ce phénomène est une conséquence de l'utilisation des outils de communication génériques, il tend à contraindre la discussion et la production des esquisses ou dessins par les concepteurs rendant plus séquentiel que dans une situation face-à-face. Dans une situation face-à-face, les concepteurs sont dans la même salle en même temps et les acteurs interagissent d'une manière plus aisée et efficace, au moins plus diligente. Nous nous sommes aperçus que l'interface des outils de communication génériques est pauvre par rapport aux activités de conception, notamment pour la production des objets graphiques. Les esquisses et dessins sont le support graphique privilégié dans un processus de conception comme nous l'avons montré dans la section antérieure. Ainsi, le processus d'interaction entre concepteurs est freiné : d'une part, par le fait que les outils ne sont pas adaptés et d'autre part, par le fait que l'argumentation et le discours est découplé de la phase de création du schéma lui-même. C'est « l'effet séquentiel ». Cette situation peut être améliorée avec l'adéquation de l'interface aux supports graphiques ou avec l'introduction de vues fonctionnelles, par exemple : montrer le statut actuel du processus de conception, présenter le statut du produit, montrer le réseau des acteurs engagés au processus de conception, etc. Cette distinction fait ressortir une caractéristique importante des objets comme support à l'argumentation et non simplement comme support de représentation du produit, donc le besoin de supporter le processus argumentatif.

A travers la caractérisation de l'expérience distribuée nous avons identifié quelques besoins des outils de communication pour la conception mécanique, matérialisées par « l'effet séquentiel ». La synchronisation cognitive et la compréhension partagée sont ralenties pour une interaction séquentielle des concepteurs comme conséquence de la nécessité de rendre les

échanges claires et explicites. Ceci nous amène à affirmer que des améliorations peuvent être proposées pour les outils d'aide à la conception, afin que les processus de conception distribuée soient des processus de conception plus naturels.

5. Apports et limites de cette approche

Nous avons montré dans ce chapitre comment les concepteurs ont collaboré pour concevoir un produit. Ainsi, nous proposons plusieurs résultats de l'étude de la conception comme conséquence de notre analyse. Ces résultats nous les présentons en deux niveaux : au niveau macroscopique et au niveau microscopique. A propos du niveau macroscopique nous pouvons dire que la distribution d'activités dans la situation distribuée et la situation co-localisée est similaire. Il semble que la distance n'affecte pas significativement le processus de conception. La catégorie de synchronisation cognitive est la plus substantielle par rapport aux autres catégories. Plus de 40% du total des activités est consacré à ce type d'activités. La gestion de projets est importante dans les deux situations mais particulièrement dans la situation à distance. Ce type d'activités est important au début et à la fin du projet de conception. Ceci nous indique que les acteurs ont besoin de répartir les tâches et de se coordonner pour mener à bien le travail. D'ailleurs l'organisation du dossier final pour le client demande plus d'efforts dans la situation distribuée que dans la situation co-localisée.

Quant au niveau microscopique nos résultats indiquent qu'il existe une grande utilisation des fonctionnalités du tableau blanc et le partage des images graphiques par rapport à l'usage des dispositifs techniques. De ce fait, la plupart des interactions et la collaboration entre concepteurs sont à travers des supports graphiques. Le processus de conception est étroitement lié à la création et à la modification d'une variété des artefacts de conception tels que les esquisses, croquis et brouillons [Perry & Sanderson 98]. Ainsi la coopération entre acteurs est véhiculée par des supports graphiques. Dans notre cas les croquis et dessins sont créés, partagés et manipulés au tableau blanc. Nous avons trouvé que les interactions pour créer des graphiques dans la situation distribuée sont au tableau blanc. Nous avons aussi observé un phénomène particulier, que nous avons nommé « l'effet séquentiel » [Ruiz-Dominguez *et al* 04]. Il s'agit du déroulement séquentiel entre phases de discussion orale et la production de dessins. Une discussion sur un aspect du produit provoque la création d'un dessin qui est réalisé après cette discussion. Le dessin qui vient d'être créé provoque à son tour une discussion autour de lui, qui entraîne un autre dessin. Ainsi, la solution émerge petit à petit à travers cette enchaînement d'activités comme un raffinement successif du concept

traité, voir figure 3.33. Dans le cas contraire, la solution s'abandonne par un processus d'évaluation négative, mais ce processus se traduit par une nouvelle esquisse au tableau blanc.

Dans une étude comparative entre les actions graphiques entre des équipes de conception co-localisées et des équipes de conception à distance, Garner a trouvé que les équipes dans une situation à distance ont produit moins d'esquisses et dessins [Garner 01]. L'auteur propose comme causes à cette circonstance la méconnaissance de l'utilisation des outils employés ou la taille réduite de l'écran. Dans notre cas nous privilégions l'hypothèse que l'effet séquentiel est dû à l'utilisation des outils de travail collaboratif qui ne sont pas élaborés pour concevoir, tel que Cicognani & Maher le signalent [Cicognani & Maher 97].

D'un autre côté, l'étude microscopique valide les résultats obtenus dans l'étude macroscopique. A savoir, les activités de synchronisation cognitive occupent une grande partie du processus de conception. En ce sens, nous rejoignons les résultats d'autres auteurs sur la prépondérance des phases de synchronisation cognitive [D'Astous *et al* 04] et [Détienne *et al* 04]. Darses définit la synchronisation cognitive comme un processus cognitif qui a pour but d'établir une connaissance partagée ou un « référentiel opératif commun » [Darses 97]. Ce processus a deux activités principales : d'une part s'assurer que chaque acteur a connaissance des faits de la situation, tels que des données du problème, état de la solution, hypothèses adoptées etc. et d'autre part s'assurer que les partenaires partagent un même savoir général quant au domaine, tel que règles techniques, les objets du domaine et leur propriétés, les procédures de résolution, etc. Une caractéristique principale de la synchronisation cognitive est que ce processus est initié, continué et maintenu par tous les acteurs et il n'est pas le résultat d'un effort de cohésion développé par le chef de projet.

Ainsi, Valkenburg affirme que le manque de compréhension sur le contenu du processus de conception empêche le progrès de l'équipe de conception et influe négativement dans la conception [Valkenburg 98]. En d'autres termes, la compréhension partagée est la connaissance mutuelle par tous les membres de l'équipe de conception « sur ce qu'ils ont en train de faire », « pourquoi ils le font » et « comment ils ont entrain de le faire ».

Quant aux limites de cette approche, la limite la plus importante concerne la généralisation des résultats. Cette limite a pour cause trois aspects principaux : des expériences réalisées en laboratoire, l'utilisation de concepteurs novices et l'analyse d'un nombre réduit de cas. En ce qui concerne les expériences réalisées en laboratoire, celles-ci nous en disent peu sur la

manière dont le processus « réel » est organisé. D'autant plus que les concepteurs doivent travailler parfois dans des environnements qui ne leur sont pas familiers, pour des besoins d'observation et d'enregistrement, et parfois même avec des outils différents. Tout cela peut affecter la communication avec les autres individus et leur manière habituelle de travailler [Dwarakanath & Blessing 96]. De plus, Blanco [Blanco 98] affirme que la situation de travail expérimentale supprime ou déplace certains enjeux du processus de conception. Il existe des enjeux individuels, des enjeux sur un groupe de personnes, enjeux économiques, enjeux d'entreprise, enjeux stratégiques, etc. ; ce qui s'avère difficile de reproduire dans une expérience de conception.

Néanmoins, le déplacement de l'environnement de travail amène à rendre plus explicite des phénomènes d'apprentissage et d'appropriation, inhérents à tout processus de conception, mais difficile à mettre en évidence par des observations sur le terrain industriel, car se déroulant sur des temporalités longues.

Par ailleurs, la réalisation des expériences en laboratoire limite les facteurs et perturbations qui affectent de manière négative le processus de conception ainsi que les variables à analyser. La rigueur méthodologique et l'organisation de l'observation des données sont assurées tandis que, dans une expérience dans un contexte industriel cette situation n'est pas évidente. Ceci est un avantage pour la comparaison des résultats. En effet, la comparaison d'expériences dans un environnement industriel pourrait se révéler une tâche très difficile. Toutefois, nous pensons que les processus de conception dans un contexte industriel et dans une situation expérimentale montrent des similitudes au niveau général. De plus, les résultats d'une expérience nous apportent des connaissances générales sur le processus de conception telles que des connaissances sur la proposition de solution, d'évaluation, d'argumentation, etc. Enfin les modèles issus d'expériences en laboratoire peuvent améliorer la compréhension du processus.

En ce qui concerne l'utilisation de concepteurs novices pour expériences de conception, il existe plusieurs études qui montrent que le comportement des concepteurs expérimentés est différent de celui des concepteurs novices [Ahmed *et al* 03]. Les concepteurs expérimentés développent des stratégies de conception qui n'ont pas les concepteurs novices. Néanmoins les résultats des études d'Ehrlespiel montrent que les concepteurs novices produisent à peu près la même qualité dans la conception du produit que les concepteurs expérimentés [Ehrlespiel 99]. Finalement, il existe des limites à la généralisation des résultats obtenus en

fonction du nombre réduit des cas analysés. Il est vrai que nous pouvons obtenir des tendances de résultats de l'analyse d'une expérience. Nous pouvons espérer que les résultats soient représentatifs de l'activité analysée. Toutefois la confirmation de ces tendances est obtenue à travers l'analyse de nombreux cas et la confrontation et validation des résultats dans un contexte industriel.

Nous apportons à l'étude de l'activité de conception se situent en deux parties. D'abord, le témoignage de que les activités de synchronisation cognitive prédominent dans le processus de conception. Les concepteurs dédient une grande partie de leur temps à construire une compréhension partagée de plusieurs aspects de la conception. Ces aspects peuvent être divers et variés, tels que la solution, l'évaluation, les buts du projet, le processus, l'organisation, l'expertise des acteurs, le contexte, etc. Ensuite, nous avons mis en évidence la défaillance des outils génériques de communication pour gérer la dimension graphique de la conception mécanique. En effet nous pouvons constater un « effet séquentiel » dû à l'inadéquation des outils et au découplage de la phase de création des esquisses et la phase de discussion de celles-ci.

6. Conclusion

Nous sommes partis des cadres de coopération comme support théorique pour la réalisation et analyse des deux expériences de conception. Ces expériences sont une situation distribuée et une situation co-localisée. Nous avons décrit les caractéristiques de chacune des expériences et comment nous avons recueilli les données pour l'analyse. Ensuite nous avons proposé l'analyse macroscopique des expériences où nous avons proposé les profils de chaque réunion de travail collaboratif en deux parties : un profil thématique qui montre les grands types d'activités et un profil graphique qui montre la distribution des activités par rapport au système de codage macroscopique. Ce dernier type de profil révèle que les activités de synchronisation cognitive priment dans le processus de conception. Ensuite nous avons présenté une analyse au niveau microscopique des expériences de conception. Les résultats de cette étude ont confirmé que les activités de synchronisation cognitive prédominent sur les autres types d'activités.

Compte tenu du pourcentage élevé des activités de synchronisation cognitive, nous pouvons conclure que les concepteurs passent beaucoup de temps à se mettre d'accord. Ces activités ont pour but de fournir un référentiel opératif commun entre l'équipe et d'avoir des

représentations partagées du produit et du processus. Cependant il existe un besoin pour assister les acteurs à réussir ce référentiel commun. Nous avons montré que beaucoup d'interactions entre concepteurs passent par des interventions graphiques. Ainsi il faut supporter le processus de production des interactions graphiques dans une situation distribuée pour faire un processus de conception plus naturel.

Chapitre 4.

Décrire le processus de conception collaborative : analyse qualitative

1. Introduction

Une approche qualitative est adoptée dans ce chapitre pour l'analyse des expériences de conception. Les deux expériences ont le même sujet, les mêmes rôles, une organisation et une distribution dans le temps similaire, comme nous l'avons indiqué au chapitre précédent. Néanmoins le résultat produit par les concepteurs n'est pas le même. Au chapitre précédent nous avons présenté des résultats avec une approche expérimentale sans beaucoup d'interprétations en ce qui concerne le déroulement du processus de conception. La consigne pour l'analyse de protocoles est d'utiliser les données et les statistiques pour expliquer ce qui s'est passé au cours du processus. Comme une démarche complémentaire, l'analyse qualitative permet de décrire le contexte et d'autres aspects négligés du processus par l'approche utilisée dans le chapitre précédent. Elle permet aussi que d'apporter des éléments additionnels pour la compréhension du processus.

Dans un premier temps, nous allons utiliser les cadres de coopération pour décrire chaque expérience de conception ainsi que leurs caractéristiques et leurs particularités. Ensuite nous aborderons les 4 dimensions du processus de conception qui à nos yeux sont pertinentes pour décrire le processus de conception. Nous présenterons un tableau où nous déclinons les 4 dimensions précédentes un peu plus en détail. Ensuite, nous aborderons avec une approche qualitative descriptive, des exemples des dimensions tirés des expériences de conception, pour illustrer les catégories que nous définissons au sein de ces dimensions. Une analyse qualitative est présentée ensuite pour caractériser l'expérience distribuée par rapport aux dimensions citées. Nous montrons la modélisation d'une partie de « l'effet séquentiel » présenté au chapitre 3, avec un modèle de l'activité de conception collective que nous proposons. Ce modèle nous le désignons comme le modèle hybride cognitif collectif. De plus, nous décrivons la modélisation avec les verbalisations que les concepteurs ont produit pour cette séquence d'activités. Postérieurement, nous nous attachons à comparer notre modèle avec un des modèles de collaboration présenté dans le chapitre 1. A la fin du chapitre, nous

allons examiner les apports et limites de ce type d'approche d'analyse, en ce qui concerne la coopération entre concepteurs.

2. Dimensions du processus de conception

L'idée des cadres de coopération introduits au chapitre précédent, est d'institutionnaliser des espaces où les actions collectives informelles peuvent se développer d'une manière privilégiée à l'intérieur de ceux préconisés par l'organisation formelle. Nous utilisons les cadres comme un cadre théorique pour l'analyse des expériences de conception. Chaque cadre de coopération mobilise des notions différentes pour caractériser la coopération entre acteurs. Ainsi le cadre organisationnel propose des idées pour encadrer la coopération entre les acteurs. Le cadre spatial identifie des zones de coopération dans le temps imparti au processus de conception. Le cadre spatial reconnaît un espace partagé où il y a des échanges entre les acteurs. Le cadre conceptuel identifie un ensemble de connaissances et objets communs permettant d'arriver à un minimum de compréhension réciproque. Tel que nous l'avons décrit au chapitre trois, nous analysons deux situations de conception : une expérience de conception distribuée et une expérience de conception co-localisée. Nous allons décrire par la suite, l'ensemble des cadres de l'action coopérative pour chacune des expériences de conception.

2.1. Les cadres de coopération

2.1.1. Le cadre organisationnel

En ce qui concerne le caractère organisationnel des expériences, elles sont identiques. Nous avons fourni aux concepteurs pour leur gestion, deux types de documents : des documents organisationnels et un document de support technique. Dans le premier cas, les documents organisationnels permettaient aux concepteurs d'identifier le genre de tâche qu'ils devaient faire : réaliser une étude d'industrialisation d'une remorque VTT proposée. Dans ces documents les acteurs trouvaient également la description du contexte de l'étude, du travail à réaliser et du projet. Il était aussi détaillé : les partenaires de l'étude, le planning général de l'étude, les outils à disposition des concepteurs pour leur utilisation, les consignes que les concepteurs devaient respecter pour la communication entre les acteurs, la description des documents fournis à chaque concepteur, les tâches à faire avant la première réunion de travail collaboratif et les documents à rendre, ainsi que les résultats attendus de l'étude. Il y avait un autre document pour exposer le rôle de chacun des concepteurs. En ce qui concerne le support technique, celui-ci comporte un dossier complet d'une étude de conception où la solution est

exposée. L'étude de conception consiste en une analyse fonctionnelle du produit, une proposition de solution technique, ainsi que des plans en deux dimensions des pièces de la solution.

L'activité de l'équipe de conception était composée de deux phases de travail : une phase synchrone et une phase asynchrone. La phase synchrone était articulée autour des réunions de travail collaboratif entre les concepteurs. Cependant l'endroit de réalisation des réunions varie en fonction de la situation, soit la situation co-localisée soit la situation distribuée. Ceci sera développé dans la description du cadre spatial. De façon générale, les concepteurs travaillaient ensemble pendant les réunions pour faire avancer le projet de conception. La durée maximale des réunions était de deux heures. Quant à l'organisation des réunions, les concepteurs avaient le libre choix de travailler comme ils le souhaitaient. C'est à dire qu'il n'y a pas eu de consigne pour imposer une organisation interne du travail de conception. Ainsi il a existé des fonctionnements différents entre les deux situations de conception. Pour l'expérience distribuée, le chef de projet a demandé aux autres acteurs de leur envoyer par mail les points qu'ils souhaitaient traiter en réunion. En conséquence, il formulait un ordre du jour pour la réunion suivante avec les réponses des autres partenaires. De plus, cet ordre du jour était envoyé par mail aux autres concepteurs avant la-dite réunion. Par contre, pour l'expérience co-localisée, le chef de projet rédigeait à la fin d'une réunion l'ordre du jour pour la prochaine réunion avec les points soulevés au cours de la réunion. Cet ordre du jour n'était pas envoyé par mail aux autres concepteurs par le chef de projet. Cependant l'ordre du jour pouvait être modifié au début d'une réunion en fonction des découvertes des concepteurs.

En ce qui concerne le récapitulatif de ce qui s'est passé pendant une réunion, dans l'expérience de conception co-localisée il n'a pas été rédigé de compte rendu. Les concepteurs dans cette situation n'ont pas eu non plus l'habitude de faire un compte rendu pour son propre usage. Par contre, dans l'expérience distribuée il y a eu quelques comptes rendus. Le chef de projet a réalisé un bilan pour les deux premières réunions et il les a envoyés par mail aux autres partenaires. Le concepteur responsable des liaisons a été le seul à faire des comptes rendus personnels. Il en a fait aussi pour les deux premières réunions et les a mis à la disposition des autres concepteurs.

D'un autre côté, nous avons spécifié comme consigne à respecter par les acteurs le fait de communiquer entre eux en dehors des réunions seulement par mail indiquant la thématique traitée et les documents envoyés par les concepteurs. Ceci avec l'objectif de garder une trace

des interactions. Ainsi, en dehors des réunions collaboratives les concepteurs ont dû interagir par moyen du mail. Nous avons nommé cette modalité la *phase asynchrone*. La consigne précédente a été respectée dans l'expérience distribuée du fait de la difficulté de contact liée à la distance entre concepteurs. En revanche, la consigne n'a pas été respectée dans l'expérience co-localisée. Nous pouvons essayer d'analyser la raison de cette entorse aux consignes. Les concepteurs de la deuxième expérience étaient de la même école, donc il était impossible de ne pas se croiser dans les couloirs ni en parler pendant le temps libre. De plus, trois des quatre concepteurs était dans la même année. Ainsi les échanges mail ont été « oubliés » en faveur des échanges personnels entre les concepteurs. De telle sorte, que nous n'avons pas de traces de ces interactions ni des thématiques traitées. Seulement à partir de l'avant-dernière réunion les concepteurs ont interagi par mail pour coordonner leurs actions. Cependant le nombre de mails envoyés reste assez faible, 12 mails envoyés au total dans l'expérience co-localisée contre 71 dans l'expérience distribuée.

Il y avait quatre rôles définis dans le protocole : le chef de projet dont la responsabilité était de gérer l'équipe, de maintenir un contact avec le client et d'aboutir à une définition du produit comportant toutes les informations nécessaires à son industrialisation. Le designer-ergonome responsable du confort, de l'ergonomie et l'ensemble des fonctions d'estime. Le concepteur châssis responsable de l'industrialisation du châssis, de la superstructure et de la liaison au siège. Et finalement, le concepteur liaisons, responsable de l'industrialisation de la liaison au cadre du vélo et du dimensionnement des liaisons. Il faut noter que le chef de projet assurait les relations avec le client. Si les concepteurs avaient besoin de renseignements sur un point particulier sur le produit ils devaient passer par le chef de projet pour demander des informations au client. Pendant l'expérience co-localisée, les concepteurs n'ont pas senti le besoin de contacter le client pour demander des informations relatives au produit. Cependant pour l'expérience distribuée, le client a été contacté par le chef de projet pour demander des informations plus précises sur certains points. Le chef de projet a demandé des précisions sur les attentes du projet et sur le montant des investissements pour le projet. De plus, il a demandé des informations additionnelles sur la fabrication de la remorque, et les détails sur l'atelier de production et de la main d'œuvre.

Au cours de l'expérience de conception distribuée, il y a eu une cohérence entre le comportement des concepteurs et leur rôle assigné. C'est à dire, les concepteurs ont eu une conduite d'actions correcte par rapport à leur rôle. Le chef de projet a bien joué son rôle, le designer-ergonome a joué son rôle, et ainsi de suite. Ce n'était pas le cas complètement au

cours de l'expérience co-localisée. Au moins pour les acteurs avec les rôles de concepteur châssis et le chef de projet. Pendant la première séance le concepteur châssis a pris en charge la conduite de réunion ainsi que celle de la deuxième réunion. Le chef de projet a été un peu en retrait pendant ces deux premières réunions vis-à-vis de ces activités de gestion. Il a pris en charge la conduite de réunion au fur et à mesure de l'avancement du projet. A la fin du projet, il est évident qu'il a « poussé » les autres concepteurs à travailler plus pour arriver à une solution satisfaisante pour la tâche demandée. Cependant ses efforts n'ont porté leurs fruits à hauteur de ses espoirs. En particulier, il y avait des conflits entre le chef du projet et le designer-ergonome ainsi que le concepteur châssis à l'égard du résultat final du projet de conception.

2.1.2. Le cadre temporel

Boujut [Boujut 01] propose dans le cadre temporel d'identifier de « zones de coopération » dans le temps où les tâches de conception sont menées conjointement par plusieurs acteurs. Dans notre cas les zones de coopération sont bien identifiées en fonction de l'organisation des expériences. Nous avons fixé quatre réunions de travail collaboratif plus une réunion de prise de connaissances des tâches à réaliser ainsi que des rôles des concepteurs. De plus, une réunion de revue de projet avec le client a été fixée pour présenter le dossier final de conception. De ces six périodes de rassemblement des concepteurs, seulement les quatre réunions de travail collaboratif correspondent à des périodes de production conjointe de solutions. En effet, pendant la réunion de prise de connaissances des tâches et pour rendre le support technique aux concepteurs, ceux-ci ont seulement pris connaissance de leur rôle et du cahier des charges général du projet. Pendant la revue du projet avec le client, les concepteurs ont exposé leurs résultats au client sans développer aucune activité de conception. Il faut noter qu'entre chaque réunion il y avait une semaine où les concepteurs devaient travailler individuellement. Une durée approximative de quatre heures devait être consacrée au projet en dehors des réunions afin de mener à bien les activités en fonction de leur rôle.

De cette façon, le cadre temporel des expériences définit clairement les phases de temporelles du processus de conception. Par ailleurs, en dehors des réunions il y a eu des temps d'échanges par moyen du mail. Ceux-ci ont été considérables pour l'expérience distribuée. Nous avons répertorié 71 échanges entre les acteurs. Ces échanges ont été faibles pour l'expérience co-localisée, avec un total de 12 mails. En revanche, dans cette dernière situation, il y a eu des échanges personne à personne sur plusieurs aspects sur le projet en

dehors des réunions. Ceci sortait du cadre de la procédure établie. Nous n'avons pas une trace de ces interactions et clairement ce sont des réunions informelles dont ils profitaient du moment pour y échanger des informations. Cela montre que le cadres des interactions ne peut pas être prescrit totalement et que l'informel garde une place comme dans une situation industrielle. Il est clair que cela ne nous arrange pas, car dans le cadre d'une expérience de conception nous ne pouvons pas observer les phases informelles ni les analyser.

2.1.3. Le cadre spatial

L'objectif du cadre spatial est d'identifier des espaces partagés pour les actions collectives des concepteurs. Ces espaces ne sont seulement pas des espaces physiques, mais aussi des espaces virtuels créés pour assister les interactions des acteurs localisées à des endroits éloignés. La Figure 4.1 montre la représentation du cadre spatial pour l'expérience distribuée. Le cadre spatial de l'expérience distribuée n'est pas seulement défini par les salles ou bureaux où les concepteurs se trouvent au moment de la réunion de travail collaboratif. Il est aussi composé par l'espace virtuel créé par l'espace partagé à travers l'Internet d'une part, et par le canal audio de la conférence téléphonique d'autre part. Par conséquent, le cadre spatial correspond à tous les dispositifs techniques permettant de mettre les acteurs en rapport les uns avec les autres et de leur fournir des outils pour échanger des données [Chartier *et al* 05]. Dans chaque salle de chaque ville, les concepteurs avaient à leur disposition un ordinateur avec des logiciels de CAO, les logiciels de bureautique, un scanner, un téléphone, une tablette graphique. De plus ils avaient à leur disposition un cahier de notes personnel, les documents organisationnels ainsi que le support technique du produit. L'espace virtuel se décompose autour de trois aspects principaux. D'abord, la conférence téléphonique permettait une liaison audio entre les concepteurs. Ensuite, l'espace commun où les concepteurs pouvaient déposer et archiver leurs fichiers numériques, fourni par le FTP. Finalement, l'espace partagé des échanges fourni par NetMeeting et ses fonctionnalités de tableau blanc, chat, et partage d'applications.

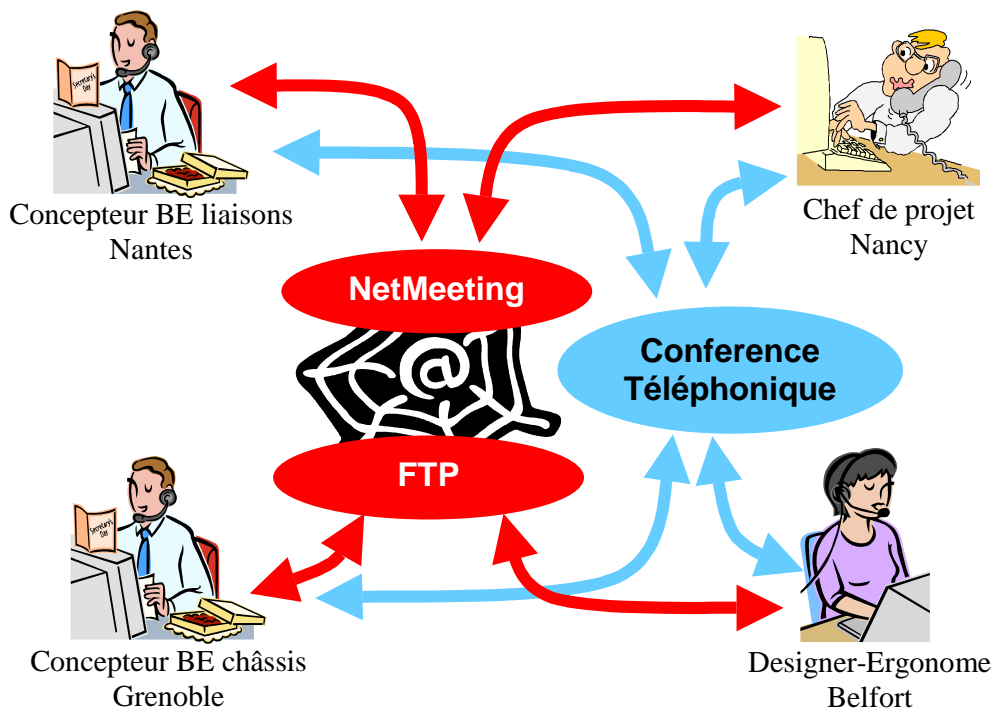


Figure 4.1. Représentation du cadre spatial de l'expérience distribuée.

En ce qui concerne le cadre spatial pour l'expérience co-localisée, il est défini par l'infrastructure de la salle de réunion du Laboratoire 3S. La Figure 4.2 montre la représentation du cadre spatial pour l'expérience co-localisée. Il y avait un tableau blanc interactif (le teamboard), des chaises, une table, et un ordinateur avec Internet et des logiciels similaires pour l'expérience distribuée. Il y avait une connexion entre le tableau blanc interactif et l'ordinateur. De telle sorte que le logiciel du teamboard permettait d'utiliser le tableau blanc comme écran d'ordinateur ou comme tableau blanc. Ainsi nous pouvons pointer quelque chose sur le teamboard pour qu'elle soit sélectionnée à la façon de la souris. L'ordinateur servait aussi pour l'accès au FTP ou l'espace partagé pour la sauvegarde de données.



Figure 4.2. Représentation du cadre spatial de l'expérience distribuée.

La messagerie électronique fait partie aussi des dispositifs techniques que les concepteurs ont utilisé pour échanger des informations, nous avons donc des interactions entre moins d'acteurs mais qui sont aussi des actions collectives.

2.1.4. Le cadre conceptuel

Un ensemble de connaissances communes permettant d'arriver à un minimum de compréhension partagée et réciproque doit exister pour que les concepteurs puissent discuter ensemble. En effet, chaque métier a ses spécificités et ses règles d'action qui lui sont propres et qui guident son comportement. Ainsi pour coopérer, les gens doivent avoir un langage conjoint et des connaissances partagées qui vont être construites au fur et à mesure des interactions. C'est en externalisant ses objectifs, ses principes et règles d'action que les autres concepteurs vont comprendre (ils sont en train de créer des nouvelles connaissances pour eux) « ce qu'un acteur fait » et « pourquoi il le fait ». Ainsi, le cadre conceptuel repose sur trois éléments caractéristiques pour permettre la compréhension partagée : des objets, des règles et des conventions. Les objets sont facilement repérables dans un processus de conception. Cependant ceci n'est pas le cas pour les deux autres éléments. C'est seulement à travers l'observation du comportement d'un acteur, de son discours et des objets produits et manipulés par lui, que nous pouvons nous rendre compte des règles et des conventions que sont utilisées et validées pour un certain processus. La même situation peut s'appliquer pour les connaissances. Elles sont difficiles à identifier sans une explicitation des idées de la part

d'un acteur donné. Nous pouvons y accéder par inférence sur les objets mobilisés et les entretiens conduites avec les concepteurs.

Comme nous l'avons indiqué au chapitre 3, nous avons contrôlé trois des quatre cadres de l'action collective dans les expériences de conception. Ainsi ce qui nous intéresse de modéliser et caractériser sont les représentations et connaissances que les concepteurs mobilisent ainsi que les objets qu'ils manipulent. En raison de l'impossibilité d'accès aux connaissances et aux représentations qui sont dans la tête des concepteurs, nous faisons l'hypothèse que les objets intermédiaires créés et manipulés par les concepteurs nous donnent des pistes pour identifier quel type de représentations et de connaissances sont mobilisées. De plus, les objets manipulés s'inscrivent dans un moment donné dans le cadre spatial, voir Figure 4.3. Ainsi nous mobilisons deux niveaux dans l'analyse de l'activité de conception : le niveau physique et le niveau conceptuel. Le premier niveau est lié aux objets, artefacts, outils, etc. que les concepteurs mobilisent dans leurs activités. Par exemple les crayons, les stylos, l'ordinateur, les dessins, les brouillons, la souris, etc. Le deuxième niveau comme nous l'avons signalé auparavant, est difficile d'accès sans une explicitation de la part du concepteur.

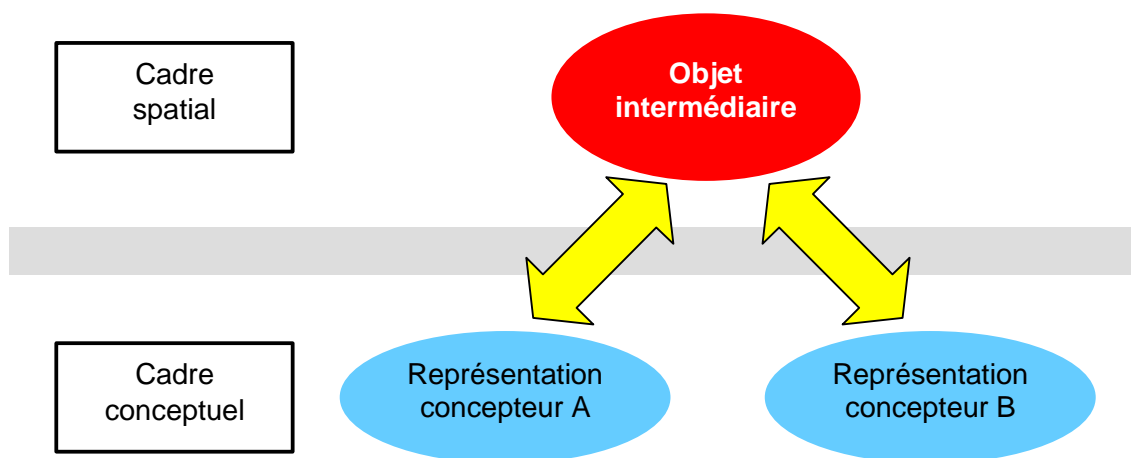


Figure 4.3. Notre variable d'observation représentée par des objets intermédiaires.

Au contraire de nos analyses, Hatchuel, [Hatchuel & Weil 03], [Hatchuel *et al* 04], dans sa théorie C-K mobilise seulement le niveau conceptuel pour l'explication de l'activité de conception. Ce sont des opérations réalisées entre concepts et connaissances que Hatchuel nomme disjonctions, partitions et conjonctions, et qui selon lui, représentent les mécanismes du processus de conception, donnent lieu au produit. Ainsi le passage de concepts à connaissances et vice-versa permet l'émergence de solutions novatrices dans les phases amont ou conceptuelles de la conception. Ceci est schématisé dans la Figure 4.4.

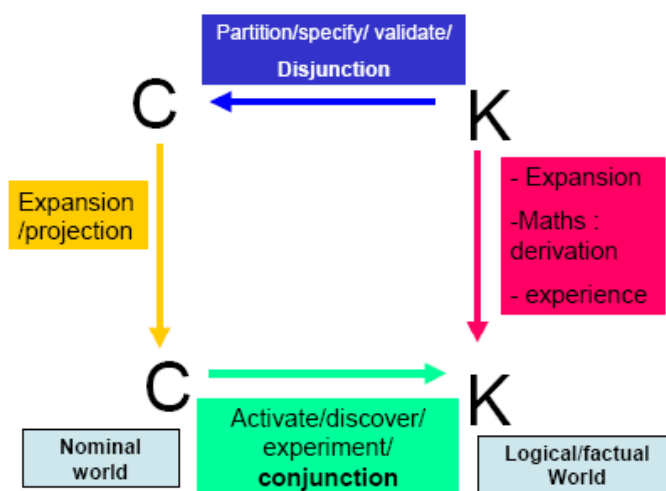


Figure 4.4. Le carré de conception selon [Hatchuel et al 04].

2.2. Les dimensions du processus de conception (essai de typologie)

A travers l'analyse des expériences de conception nous cherchons de modéliser le cadre conceptuel, comme nous l'avons indiqué auparavant. En conséquence, nous tentons de caractériser les représentations que les concepteurs se font des choses à travers des objets intermédiaires, voir la Figure 4.3. Nous avons mené une réflexion après de la révision de la littérature. De telle sorte que des auteurs comme [Blessing 94], [Goldschmidt 96] ou [Stempfle & Badke-Schaub 02] catégorisent les actes de communication du processus de conception sur deux registres : d'une part, les communications dédiées au processus et d'autre part, les communications dédiées au contenu. D'un autre côté, [Maher & Tang 03] et [Longchamp 04], étudient l'émergence du produit à partir de l'évolution simultanée du problème et ses solutions dans le processus de conception. Par ailleurs, [Bucciarelli 88], [Vinck 99], [Baird *et al* 00] et [Larsson 05] à travers de plusieurs études ethnographiques nous montrent que l'acteur joue un rôle important dans le processus de conception. En conséquence nous proposons d'intégrer ces catégories dans 4 dimensions de la conception. Suite à l'analyse du corpus et des données des expériences de conception, nous constatons que la plupart des objets intermédiaires mobilisés ainsi que les verbalisations font référence à quatre aspects du processus de conception : *le produit, le processus, le problème et les acteurs*. Ces aspects nous les avons identifiés comme des *dimensions* du processus de conception.

Pourquoi ces quatre dimensions ? Pourquoi ne pas utiliser d'autres dimensions ? D'abord, la conception est une activité qui a pour but de produire la description détaillée d'un produit. Ce produit doit répondre à un besoin à travers des fonctionnalités et il est composé de plusieurs

composantes qui forment sa structure. En conséquence, les concepteurs discutent et négocient tout au long du processus de conception, sur les propriétés que le produit doit avoir pour accomplir sa fonction. Ainsi le produit nous semble être une des dimensions évidentes de la conception. La définition que nous proposons prend en compte la structure ou la décomposition du produit, ses représentations dans des formes et supports variés. Elle prend également en compte les critères qui serviront de base pour l'évaluation ainsi que les aspects de la fabrication du produit que les concepteurs peuvent discuter. Ensuite, ce produit doit répondre à un besoin (exprimé par un client ou par le management). De cette manière, il y a un problème à satisfaire. Normalement, la problématique s'exprime à partir d'une analyse de besoins et une analyse fonctionnelle pour décrire les fonctions que le produit doit satisfaire. A son tour celles-ci devront respecter certaines contraintes pour assurer une performance convenable du produit. Ainsi, le problème est devenu une autre dimension de la conception. La définition que nous présentons traite sur le besoin exprimé, les buts et les objectifs à atteindre, les contraintes et leurs paramètres ainsi que les informations disponibles sur le problème.

L'acteur est une troisième dimension de conception que nous proposons. Nous prenons comme référence la modalité de la conception intégrée ou l'ingénierie concourante. Ainsi la conception est le résultat de la négociation et de la confrontation entre plusieurs concepteurs, ceux-ci appartiennent à plusieurs services de l'entreprise (ils appartiennent même à plusieurs entreprises). De telle sorte qu'il y a dans le processus de conception, une confrontation de points de vue de connaissances qui donnera comme résultat un compromis entre les acteurs pour trouver une solution au problème posé. La caractérisation que nous proposons de l'acteur concerne les connaissances, l'expérience ou l'expertise, les compétences, la logique d'action de l'acteur, son rôle, et ainsi de suite. Finalement, le problème et les acteurs interagissent dans un processus pour concevoir le produit. En conséquence, le processus de conception est la quatrième dimension de la conception que nous présentons. La conception du produit est découpée en tâches auxquelles nous allons allouer des ressources humaines, financières et matérielles. Celles-ci vont être organisées d'une certaine façon pour atteindre les objectifs fixés. Cette dimension prend en compte les buts et objectifs de la conception, le contexte dans laquelle la conception se déroule ainsi que la catégorie d'organisation du processus.

Nous faisons l'hypothèse que ces quatre dimensions traitent la plupart des aspects de la conception. Néanmoins, nous considérons que les dimensions de la conception ne sont pas statiques ou figées. Par contre, elles évoluent au fur et à mesure que le processus de

conception avance vers l'aboutissement d'une solution. Notamment les dimensions du problème et du produit. Les représentations du produit varient en fonction de l'avancement du projet, généralement elles vont d'un niveau conceptuel vers un niveau détaillé. Le problème peut évoluer lui aussi en fonction des compromis et de la confrontation des points de vue des concepteurs. Nous avons décliné une série de possibles catégories et sous-catégories pour les 4 dimensions. Cette déclinaison nous la présentons au tableau 4.1, qui montre les dimensions du processus de conception.

Tableau 4.1. Dimensions du processus de conception

<p>Processus</p> <ul style="list-style-type: none"> But/Objectif <i>Délai</i> <i>Qualité</i> <i>Coût</i> Contexte <i>Social, économique, particulier, etc.</i> Organisation <i>Lieu</i> <i>Personnel</i> <i>Tâches</i> <i>Planning</i> <i>Coordination</i> <i>Moyens, outils</i> <i>Méthodologie/Procédures</i> <i>Structure de groupes</i> <i>Livrables</i> 	<p>Produit</p> <ul style="list-style-type: none"> Structure/Décomposition <i>Pièces/Nomenclature</i> <i>Matériaux</i> Fabrication <i>Série/Lots/Unique</i> <i>Moyens disponibles</i> <i>Procédés envisagés</i> Représentations/Niveau d'abstraction <i>Cahier des charges</i> <i>Esquisses/ Schémas</i> <i>Maquettes physiques</i> <i>Maquettes numériques</i> <i>Modèles de simulation</i> Critères d'évaluation (logique de conception)
<p>Problème</p> <ul style="list-style-type: none"> Formulation But/Objectif (locaux) Besoin Paramètres/Variables Contraintes Informations sur le problème <i>Benchmarking</i> <i>Etude de marché</i> <i>Analyse de moyens interne</i> 	<p>Acteur</p> <ul style="list-style-type: none"> Connaissances Compétence/Habilités Expérience/Expertise Rôle Statut Organisation Stratégie d'acteur (logique d'action)

Dans la suite de cette section, nous présentons une série d'exemples qui concernent les quatre dimensions. Ceci nous permettra d'expliquer au moyen des images et des transcriptions du corpus, le message que nous essayons de faire passer avec les dimensions. En effet, les passages présentés illustrent à nos yeux, les catégories que nous avons définies au Tableau

4.1. De plus, les illustrations nous permettant de dévoiler les interactions sociales entre les concepteurs, prouve que l'activité de conception est une activité sociale complexe [Bucciarelli 88], [Minneman 91], [Ruiz-Dominguez & Boujut 04]. La technique que nous avons utilisé pour l'illustration de ces exemples est inspiré de l'Analyse des Interactions telle que la définissent [Jordan & Andersson 95]. Cette technique emprunte des méthodes ethnographiques à l'anthropologie sociale pour analyser les interactions entre personnes. La technique consiste à impliquer dans l'étude, des personnes de différents domaines pour faire une analyse détaillée d'une situation donnée. De ce fait, des chercheurs en anthropologie, en sociologie, en gestion, en informatique, en mécanique, etc. donnent leur point de vue et contribuent à l'étude des interactions.

2.2.1. Processus

Il est évident que le processus de conception est dédié à la production de la description fonctionnelle et structurelle du produit. Par conséquent, le plus logique est de penser que toutes les interactions entre les concepteurs se font autour des aspects du produit. Néanmoins ce n'est pas toujours le cas. Il existe des interactions entre les acteurs pour s'organiser, distribuer les tâches de conception, coordonner les activités, analyser un certain paramètre de conception, établir une ambiance de « confiance » entre les concepteurs, expliciter des connaissances du métier, etc. Dans les extraits suivants nous tentons de montrer des passages du processus de conception qui concernent la dimension du processus à travers les catégories définies au Tableau 4.1.

Processus, Extrait 1 (Expérience distribuée, réunion 1) :

00h03

- DE Une fois qu'on aura fini les quatre réunions, qu'on aura fini notre projet, il faudra que le produit soit directement industrialisable*
- CL Qu'est ce que tu entends par industrialisable justement ?*
- DE Ça veut dire qu'on doit avoir pris en compte justement le coût, qu'on puisse le produire si possible, ce serait bien*
- CL Donc qu'on fournisse la doc pour la partie fabrication ?*
- DE Je ne pense pas qu'on doive donner la manière dont on va le produire mais déjà en avoir une idée, qu'on ne produise pas un rêve mais qu'il soit réalisable*

Cet extrait est pris de la première réunion collaborative de l'expérience distribuée, par conséquent, au démarrage du projet de conception. Les concepteurs sont en train de s'organiser et discutent les portées de la tâche demandée par le cahier des charges. Celui-ci

établi que le travail demandé est de réaliser l'étude d'industrialisation de l'architecture du produit proposé. En conséquence, les acteurs sont en train de définir pour eux ce qu'est un produit industrialisable. Le dialogue est lancé d'abord par le chef de projet, qui se demande comment pourrait être le processus de conception qu'ils auront à développer. Ensuite le designer-ergonome¹ indique, une fois le projet terminé, que ce produit doit être industrialisable.

Processus, Extrait 2 (Expérience distribuée, réunion 4) :

00h25

- CC *c'est bon, vous voyez tous le tableau blanc ?*
 CP *je vois rien du tout ... attends, je vais peut être... voilà*
 DE *tu dessines quelque chose ?*
 CP *euh ... moi je vois un, effectivement*
 CL *moi, j'ai un ouvert mais... c'est moi qui l'a ouvert, quoi*
 CP *... euh ... sans titre ... tableau blanc ...*
 CC *Je vais dessiner un trait dessus ... C'est bon là ?*
 CL *moi, je l'ai pas*
 DE *moi non plus*
 CP *ben ... non, j'ai rien non plus ...*
 CL *tu l'envoies par mail ? Ou ..., non, tu peut le mettre en partage ?*

Quand le concepteur châssis avait proposé une solution pour éviter le renversement de la remorque dans les virages, le chef de projet lui demande de dessiner sa proposition au tableau blanc. Le concepteur châssis commence à dessiner sa solution, cependant il veut s'assurer que les autres ont aussi la fonctionnalité de tableau blanc de NetMeeting sur l'écran (Figure 4.5). Les autres acteurs ne voient pas ce que le concepteur châssis est en train de dessiner, ainsi ils ouvrent leur propre application au tableau blanc. Cependant il faudrait se connecter à NetMeeting pour voir le tableau blanc partagé par le concepteur châssis. Cette séquence nous informe sur les interactions des concepteurs avec les outils. Il y a maladresse de la part des concepteurs pour utiliser l'espace partagé de NetMeeting. Ceci est dû au fait qu'aucun des concepteurs ne sait travailler dans cette espace partagé par méconnaissance de l'outil. De plus, cette méconnaissance est explicitée dans l'entretien avant la première réunion de travail collaboratif.

¹ Le rôle du designer-ergonome est tenu par une femme, de telle sorte que dans la suite, nous allons utiliser le masculin pour nommer le rôle et le féminin pour désigner la personne.



Figure 4.5. Illustration de l'usage des outils (tableau blanc).

Processus, Extrait 3 (Expérience distribuée, réunion 3) :

01h45

- CL *Ok ben, j'ai compris, donc pour la prochaine fois donc euh ... donc euh ... on termine quand logiquement ? Logiquement on a encore 2 semaines ?*
- CP *D'après ce qui est marqué, on a encore une réunion téléphonique et après c'est la réunion finale quoi*
- CL *Le compte rendu est à rendre avant la réunion final ou ?*
- CP *A déposer avant la réunion finale. Il doit être disponible un peu avant la réunion, mais c'est pas précisé quand en fait*
- DE *Le projet, il faut qu'il soit finit la semaine prochaine en fait*
- CC *Ouais*

En ce qui concerne le planning et les livrables, la séquence précédente est un exemple de « comment les concepteurs se sont organisés pour gérer cet aspect ». Avant cet extrait les concepteurs étaient en train de discuter sur les activités à faire pour la prochaine réunion. L'expérience de conception avait un planning de 4 réunions de travail collaboratif plus une revue de projet devant le client. C'est à partir de cette connaissance que le concepteur liaisons évoque le planning. L'action se situe à la troisième réunion, en conséquence, les acteurs ont deux rendez-vous futurs. Cependant au dernier rendez-vous il n'y aura pas de travail de conception puisque c'est la revue de projet devant le client. C'est à partir de là que la confusion du concepteur liaisons est née. Le chef de projet répond aux questions posées par le concepteur liaisons, tandis que le designer-ergonome et le concepteur châssis aident le chef de projet de « convaincre » le concepteur liaisons.

Processus, Extrait 4 (Expérience distribuée, réunion 2) :

00h00

- CP *On va commencer par l'ordre du jour, euh ... est-ce que tout le monde a reçu l'ordre du jour ?*

- CC *Alors en fait ... oui j'ai reçu ton mail donc ce matin*
 CP *Oui alors ... oui j'ai pas reçu au fait euh ...*
 CC *Oui bah ... je pense qu'on s'est pas compris quoi*
 CP *D'accord*
 CC *Bah ... je vous ai pas compris quoi*
 CP *OK, qu'est ce que tu pensais faire en fait ?*
 CC *En fait, je pensais que s'était toi qui fixais l'ordre du jour*

Cet exemple, qu'illustre les aspects de coordination entre concepteurs, est pris au début de la réunion 2. Les responsabilités du chef de projet sont la gestion du projet et la conduite de réunion. Pendant la réunion 1, le chef de projet a demandé aux autres concepteurs de lui envoyer par mail, au cours de la phase de travail asynchrone (la semaine entre deux réunions), les points qu'ils souhaiteraient traiter pendant les réunions suivantes. Ensuite le chef de projet établira l'ordre du jour de la réunion avec toutes les contributions des concepteurs. Cet ordre du jour serait envoyé aux acteurs avant réunion via mail. Le concepteur liaisons ainsi que le designer-ergonome ont envoyé les aspects qu'ils souhaitaient traiter pendant la réunion tandis que le concepteur châssis ne l'a pas fait. Le concepteur châssis réagit lorsque le chef de projet a évoqué l'ordre du jour, parce qu'il a reçu l'ordre du jour mais des points ou aspects le concernant ne sont pas inscrits. Le chef de projet explique à nouveau la procédure qu'il voulait suivre pour fixer l'ordre du jour. Finalement, avant de discuter plus en détail sur les aspects de la conception, le concepteur châssis exprime les sujets qu'il veut que l'ensemble des acteurs traite pendant la réunion.

Processus, Extrait 5 (Expérience distribuée, réunion 1) :

01h05

- DE *On peut faire un tour des postes pour savoir qui va faire quoi la semaine prochaine ? On n'a plus qu'un quart d'heure*
 CP *On va commencer par Céline, vas-y*
 DE *Je vais m'occuper en priorité de ce qui est dimensionnement, je donnerai tout ce qui est force, j'étudie tout ce que doit manipuler l'homme, tout ce que doit manipuler l'enfant et les caractéristiques, pour le moment, cette semaine, je vais me positionner plus précisément sur l'ergonomie que sur le design. Donc je vous cherche toutes les normes de sécurité, les normes de dimensionnement, les forces, les tailles, tout ce qui touche le bébé*
 CP *D'accord, Stéphane ?*
 CL *En ce qui me concerne, je vais essayer de continuer à réfléchir aux formes des liaisons dont on a parlé tout à l'heure, essayer de dessiner pour la semaine prochaine des liaisons de type serrage rapide, j'essaie de dessiner deux types, un type vis et un autre type serrage rapide, essayer de faire au moins un croquis et sinon j'avais pensé, vous avez toujours le schéma à l'écran ?*
 CP *Et au niveau du châssis ?*
 CC *Je vais voir déjà s'il résiste, je vais prendre un effort que je pense à peu près bon et je vais le tester un peu, voir déjà s'il tient, s'il ne se déforme pas trop, et je vais essayer de regarder pour fixer le siège un peu mieux que ça quand même*

Un des aspects de l'organisation d'un processus est la distribution de tâches entre les acteurs. L'exemple ci-dessus est tiré de la première réunion de travail collaboratif. Les concepteurs font un « tour de table » pour énoncer les activités qu'ils vont réaliser pendant la première phase asynchrone. Ceci a un objectif double : permettre de connaître quelles sont les activités qui vont être faites et s'assurer que ne pas réaliser deux fois la même activité. Le designer-ergonome propose de faire un tour de table tandis que le chef de projet assure le tour de gestion du tour de parole par rapport aux concepteurs.

Les représentations du processus peuvent prendre une infinité de formes : un schéma, un organigramme, un diagramme de flux, un document expliquant les délais, les buts et l'objectif du projet de conception, une description des tâches, la structure du groupe de travail, etc. Pour illustrer ce que nous sommes en train de dire, nous allons prendre une représentation qui a mobilisé le chef de projet pour faire comprendre aux autres concepteurs quels sont les aspects qui restaient. La Figure 4.6 présente un schéma du projet tel que le chef de projet l'interprète. Pour lui, le but du processus de conception est de fournir au client un dossier d'industrialisation du produit. Pour ce faire, l'équipe selon le raisonnement du chef de projet doit travailler sur trois aspects : le point de vue technique, le point de vue économique et le point de vue sociologique. C'est à dire qu'ils doivent rendre une description d'un produit qui soit faisable, rentable et attractif. Ensuite le chef de projet décline le projet en aspects à résoudre. La figure est tirée de la réunion 3 de l'expérience distribuée. L'équipe de conception a déjà résolu certains aspects mais il reste à régler des aspects du design (le produit est-il beau ?), les aspects de montage (affiner des aspects de fixation rapide), les exigences de fabrication (quel type de processus de fabrication) et finalement la sélection des fournisseurs (voir les sous-traitantes et les devis).

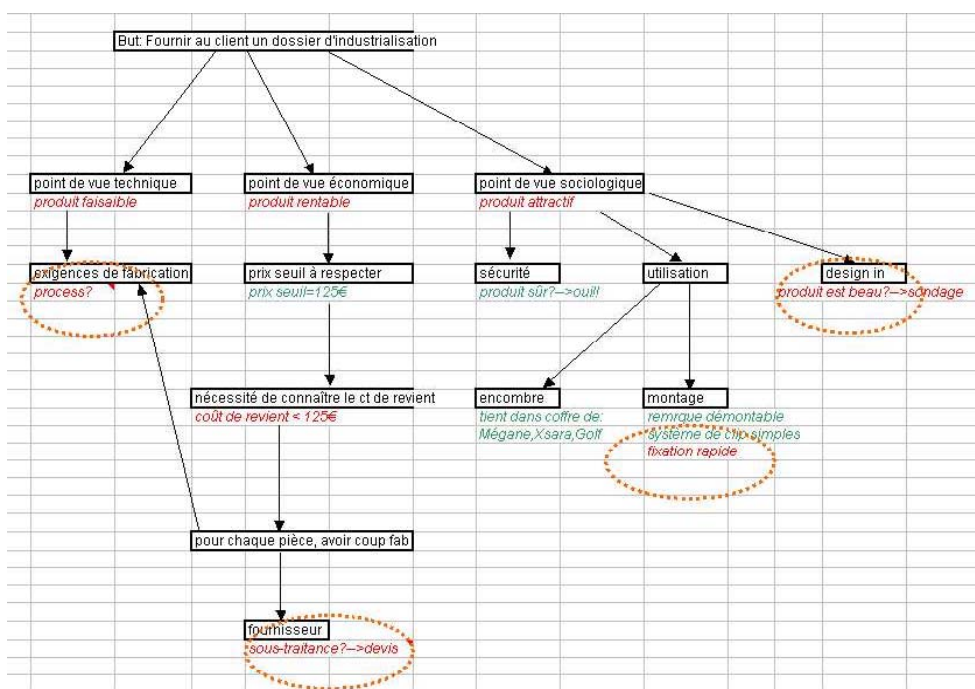


Figure 4.6. Exemple de représentation du processus (document produit par le chef de projet).

2.2.2. Produit

A l'égard du produit, la plupart des représentations que nous avons recueillies et que les concepteurs ont réalisé, sont dédiées au produit. La Figure 4.7 montre deux exemples de la représentation du produit. Nous constatons que les représentations ne sont pas du tout les mêmes. La première correspond à un stade plus avancé du processus de conception tandis que la deuxième correspond à une phase plus amont et créative que la première. Ainsi nous constatons ce que [Darses 97] désigne comme le niveau d'abstraction et que celui-ci varie en fonction de la phase dans laquelle les concepteurs travaillent. Quelques points du produit contenus au Tableau 4.1 seront illustrés avec les extraits suivants.

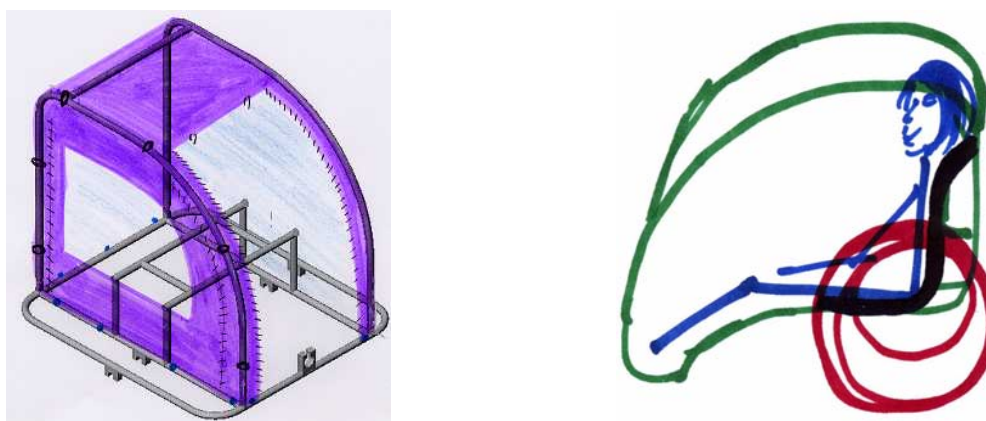


Figure 4.7. Exemples de représentation du produit.

Produit, Extrait 6 (Expérience distribuée, réunion 3) :

00h34

- DE Alors je vais vous dire les matériaux qu'on peut utiliser. Pour la toile en elle-même, donc tout ce qui est violet là on peut utiliser soit un polyester, soit un nylon,
- DE A savoir que le nylon est moins coûteux et qu'il est meilleur dans tout ce qui est tension.
- DE Il y aura moins de problèmes. Le seul problème du nylon c'est pour tout ce qui est ultraviolet. Il se détruit un petit peu à la lumière et puis tout ce qui est chaleur il supporte moyen
- CL Ah ouais
- DE Il supporte moins bien que le polyester
- CP Ok

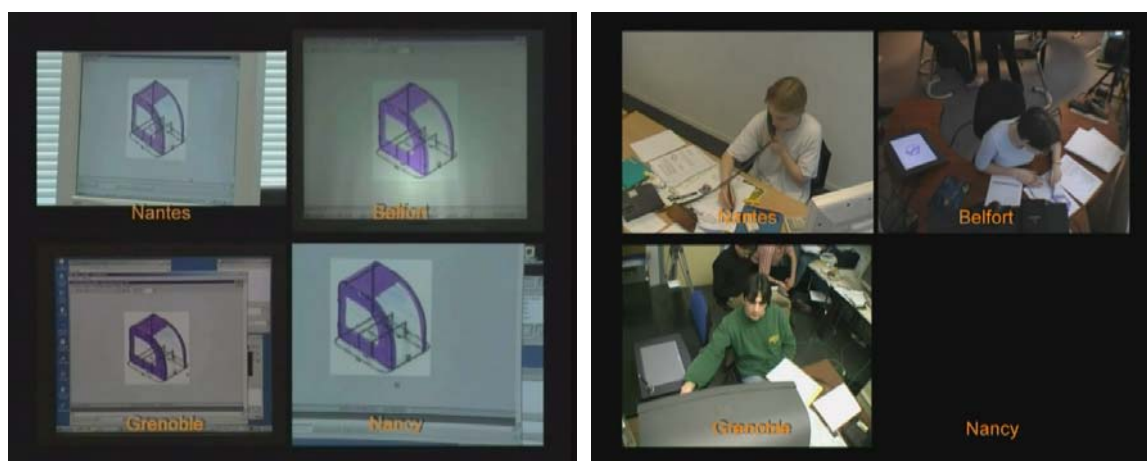


Figure 4.8. Illustration des matériaux à utiliser.

En ce qui concerne les matériaux du produit, l'exemple précédent montre une discussion sur les possibles matériaux à utiliser pour la toile de la remorque. L'aspect des matériaux est introduit parce que les concepteurs sont en train de discuter sur la disposition et l'aménagement de l'habitacle de la remorque. Le designer-ergonome dit que la toile toucherait les barres (arceaux de la remorque) et qu'en cas de pluie, cet aspect va être gênant parce que la toile ne va pas être étanche. Elle fait référence à la toile d'une tente quand il pleut. Ensuite cet acteur met à la discussion l'aspect des matériaux à utiliser pour la toile. Nous pouvons voir (Figure 4.8) tous les concepteurs ont à l'écran le même dessin qui est la représentation de la remorque avec la toile (en couleur violette). Le designer-ergonome explique aux autres acteurs le montage de la toile, et elle pointe et parcourt la toile complète avec son stylo dans son cahier de notes (voir Figure 4.8). Cette dernière activité de pointer et parcourir la toile n'est pas vue par les autres concepteurs puisqu'ils n'ont pas une vue de l'espace de travail de l'autre. Dans cette image, en fonction de la mauvaise qualité d'enregistrement, nous ne l'avons pas la vidéo du poste de travail du chef de projet. Ainsi la vidéo n'était pas utilisable.

Produit, Extrait 7 (Expérience distribuée, réunion 2) :**00h38**

- CL *Et voilà et sinon j'ai fais une nomenclature aussi, une nomenclature de la partie que j'ai représentée parce que c'est vrai qui, y'a quand même quelques pièces on arrive à une vingtaine de pièces donc histoire d'avoir le même vocabulaire j'ai... j'ai fais une nomenclature*
- CP *Euh ça j'ai, ouais, j'ai peut être (incompréhensible) ton rapport mais je l'ai lu rapidement j'ai pas...*
- CL *Donc la nomenclature c'est pareil quoi dans sous FTP, y'a... , donc y'a le... j'ai mon dossier compte rendu, dossier nomenclature et dossier Solidworks où je représente... Solidworks c'est là où j'ai représenté les croquis que j'ai dessiné sous Solidworks*
- CP *Ouais*
- CL *Et y'a un dossier nomenclature là où je présente, c'est un fichier euh point excel euh un fichier euh excel quoi, où j'ai fais, où j'écris la nomenclature du... donc de la partie timon + liaison*

Un produit est élaboré comme un ensemble de composants. Ceux-ci remplissent des fonctions distinctes et ils sont différents les uns des autres. Afin de les identifier, nous les désignons sous un nom, qui sera répertorié dans une nomenclature. Nous utilisons cette nomenclature pour nous repérer au moment de la conception et de la fabrication du produit final. L'extrait ci dessus est tiré de la réunion 2 et il montre que dans ce processus de conception il y a eu une nomenclature pour les éléments de la liaison timon-châssis de la remorque. Le concepteur liaisons a développé cette nomenclature. Son propos est de « normaliser » et « standardiser » la nomenclature des éléments, pour donner un nom aux composantes d'une part, et d'autre part, pour savoir reconnaître dont ce qu'ils sont en train de parler au moment de traiter des aspects de la liaison timon-châssis. En plus de faire les dessins des pièces au logiciel CAO, le concepteur liaisons a réalisé une liste sous Excel pour mieux structurer son travail (Figure 4.9).

Nomenclature timon + fixation				
Numero	Element	Quantite	Matière	Observations
1	Axe fixation	1	Acier	
2	Embout axe fixation	1	Acier	
3	Axe transversal	1	Acier	
4	Collier fixe	1	AU4G	
5	Ecrou de serrage	1	Acier	
6	Vis main	1	Acier	
7	Collier mobile	1	AU4G	ajout d'un elastomere
8	Elastomere	1	Elastomere	cylindrique, diametre: 23,5mm, L: 140mm
9	Bague elastomere 1	1	Acier inox	
10	Bague elastomere 2	1	Acier inox	
11	Support timon	1	AU4G	
12	Vis 1	3		vis H, M5-50, 8,8
13	Timon	1	AU4G	tube diametre 33,7mm
14	Attache timon-chassis	1	AU4G	
15	Vis 2	1	Acier	
16	Vis principale	1	Acier	pas de filetage faible
17	Ressort	1	Acier inox	conique
18	Glissiere	1	AU4G	jeu entre glissiere et vis principale
19	Caoutchouc	1	Plastique	dur
20	Axe levier	1	Acier	
21	Levier	1	AU4G	
22	Vis 3	1	Acier	traite

Figure 4.9. Nomenclature des pièces de la liaison proposée par le concepteur liaisons.

Produit, Extrait 8 (Expérience distribuée, réunion 4) :

00h29

- DE *Juste un truc là, vous voulez mettre votre roulement fixé sur l'attache timon, cette partie là ?*
 CC *Oui, il faudrait qu'il soit dedans*
 DE *Ce n'est pas l'attache timon qu'on serre ?*
 CC *Oui mais on peut changer plein de trucs, on peut carrément enlever le serrage rapide, mettre le roulement, l'enfoncer en force dedans, donc le roulement est toujours dedans, et après laisser au tube la possibilité de glisser à l'intérieur de la bague*
 CP *Pourquoi tu es obligé de mettre un roulement ?*
 CC *Pas forcément un roulement, ça peut être un coussinet, c'est une bague qui permet de limiter le frottement, ou bien il y a d'autres trucs*

L'extrait précédent illustre un dialogue sur la solution proposée par le concepteur châssis pour éviter le problème de renversement ou « basculement » de la remorque dans les virages. Il a proposé de mettre un roulement à billes au niveau du timon pour permettre la rotation afin d'éviter le « basculement », cependant celui-ci pourrait glisser s'il n'est pas fixé au timon. En conséquence une discussion s'enchaîne sur les options possibles pour éviter le basculement ainsi que pour échapper au glissement de ce dispositif. La Figure 4.10 présente la proposition de solution du concepteur châssis en ce qui concerne le problème de basculement. A gauche de la figure, nous voyons la proposition du concepteur châssis. A droite nous pouvons constater que le designer-ergonome est en train d'indiquer sur la tablette graphique l'endroit où serait localisé le roulement.



Figure 4.10. Proposition de solution pour le basculement.

Produit, Extrait 9 (Expérience distribuée, réunion 1) :

00h16

- CP *Vous n'avez pas eu des problèmes justement à dessiner ces pièces là ?*
 CC *En fait, il y a certains trucs qui ne sont pas faciles à faire, mais c'est bien pratique, c'est pas mal*
 DE *Donc tu les as reprises sur le plan ?*
 CC *Il y avait des cotes de base sur le plan et comme c'est à l'échelle 1/10, en fait pour tout ce qui est rayon, j'ai pris à peu près*
 DE *D'accord, tu n'as rien remodifié, tu n'as rien réduit ?*
 CC *J'ai pris pareil et j'ai mesuré sur le dessin, j'ai multiplié par 10 et voilà, je n'ai rien touché*

En ce qui concerne le produit, nous avons défini sur le Tableau 4.1, l'aspect des représentations de celui-ci. [Darses 97] affirme que le niveau de représentations varie en fonction de la phase dans laquelle se trouve le processus de conception. C'est à dire, la représentation est plus abstraite dans les phases conceptuelles et elle est plus formelle dans les phases de conception détaillée. La Figure 4.11 montre un moment particulier de l'interaction entre les acteurs. A gauche nous avons l'écran des concepteurs et à droite nous avons une vue du poste de travail de chaque concepteur. Tous les acteurs sont penchés sur leur écran. Le concepteur châssis a partagé le fichier du châssis aux autres à travers de NetMeeting. Dans le dialogue nous constatons que le chef de projet et le designer-ergonome demandent au concepteur châssis les détails sur la modélisation CAO du châssis. Ce dernier explique ce qu'il a fait pour la modélisation 3D des pièces à partir des plans 2D. Ainsi, il a réalisé un changement de niveau de représentations des pièces. Il est parti d'un niveau de représentation relativement simple et il évolue vers un niveau de représentation plus avancé pour le châssis.

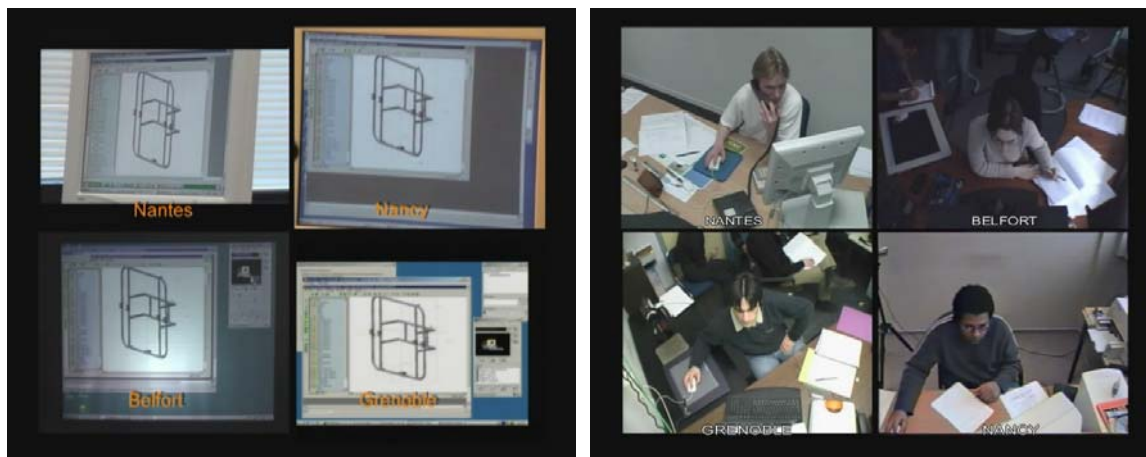


Figure 4.11. Modélisation CAO de pièces à partir des plans 2D.

Produit, Extrait 10 (Expérience distribuée, réunion 2) :

00h50

CP Bah alors attendez moi j'ai des... au niveau de l'entreprise j'ai contacté le client

CC Ah

CL Ah

CP Et euh alors le client ne fera que le montage, le client ne fera que le montage et euh et quoi encore et la distribution ... y sous traite plus. Il y a aucune pour l'instant au niveau de ... au niveau des ... bah je sais pas des prix d'industrialisation, y'a aucune doléance. Pour l'instant...

Le produit sera fabriqué quelque part. L'atelier de fabrication doit compter avec le parc machines suffisant pour assurer la fabrication du produit. Si ceci n'est pas le cas, alors le fabricant peut engager un sous-traitant pour qu'il lui fournisse les composants que le fabricant ne peut pas produire. Ainsi le fabricant et le sous-traitant s'engagent dans un contrat de partenariat. L'extrait ci-dessus montre un dialogue sur les informations provenant du client (le demandeur de l'étude d'industrialisation). Ces informations concernent les moyens de fabrication disponibles que le client a pour fabriquer le produit. Les concepteurs se rendent compte que le client envisage de sous-traiter entièrement la fabrication des pièces nécessaires pour la remorque. Cependant il envisage de faire le montage dans ses ateliers et faire ensuite la distribution du produit.

2.2.3. Problème

Une autre dimension du processus de conception que nous avons défini est le problème. Cet aspect concerne tout ce qui peut définir la problématique à résoudre. C'est à dire, une formulation du problème, une analyse fonctionnelle, des paramètres et variables, des contraintes, etc. De plus, nous pouvons avoir des informations qui ont donné naissance au

problème, par exemple : une étude de marché, un *benchmarking*, une analyse de moyens internes, etc. Cependant pour les expériences de conception, nous ne disposons pas de ce type d'information. Les exemples qui suivent montrent des illustrations correspondant à la partie problème du Tableau 4.1.

Problème, Extrait 11, (Expérience distribuée, réunion 1) :

00h52

- CC *C'est plus ou moins au début, dans la partie 1, analyse fonctionnelle, et c'est dans caractérisation des fonctions*
- CL *Je suis dessus*
- CC *Il est marqué : pour des enfants d'âges différents, tailles de 40 à 100 cm et jusqu'à 22 kg*
- CL *Très bien c'est la page 8. Oui il y a tout là*
- CC *Et je pense qu'il doit y avoir le vélo aussi pour la taille, par exemple comme pour le franchissement, il doit pouvoir franchir des obstacles de 20 cm*
- CL *J'y ai pensé aussi, pour le châssis au niveau de la dimension des roues, on va régler ça avec les roues, mais enfin les roues sont données aussi, on a des roues de 20 pouces, donc normalement ça doit passer. On doit utiliser des roues de 20 pouces, d'après ce que j'ai cru lire dans la doc, donc il faudra essayer de concorder la dimension des roues et la dimension des châssis de manière à pouvoir franchir l'obstacle*

Une des représentations du problème à résoudre est le résultat de l'analyse fonctionnelle. Au diagramme pieuvre nous pouvons nous rendre compte des interactions des fonctions que le produit doit remplir. Ensuite une liste des contraintes est spécifiée, pour indiquer les plages sur lesquelles les paramètres peuvent varier. L'exemple précédent est tiré de la réunion 1, où les concepteurs analysent le problème qui leur est posé et ils passent en revue l'analyse fonctionnelle. La discussion débute quand le chef de projet explique que le timon de la remorque doit avoir une certaine taille. A partir de là, le dialogue dérive sur la charge maximale que les personnes peuvent tracter, soit un homme soit une femme. Le concepteur châssis signale que les contraintes à respecter sont indiquées au cahier des charges. La Figure 4.12 montre ce moment dans le processus de conception. Nous pouvons remarquer que tous les concepteurs sont penchés sur le support technique où il y a l'analyse fonctionnelle pour la remorque VTT.

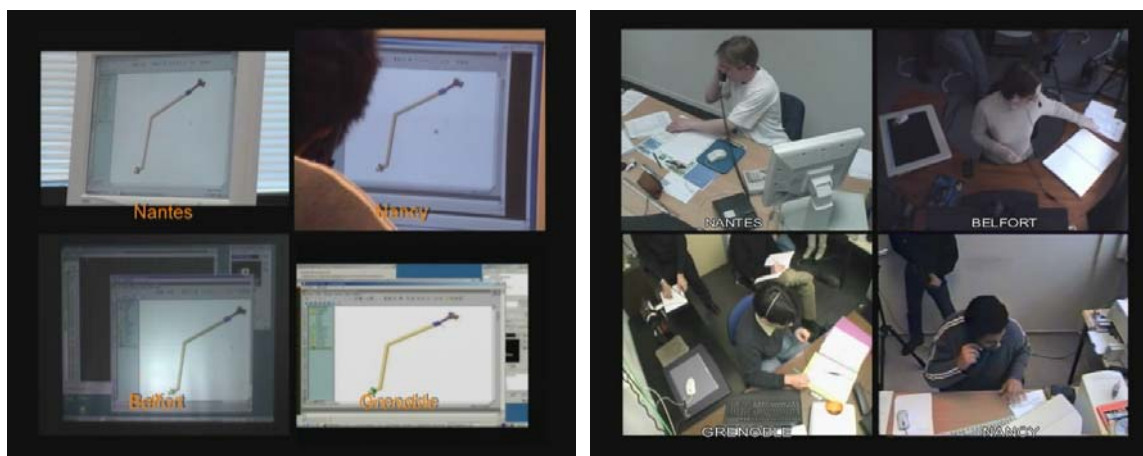


Figure 4.12. Illustration de l'usage du cahier des charges.

Problème, Extrait 12, (Expérience distribuée, réunion 4) :

00h49

- DE *J'ai regardé à nouveau dans le cahier des charges, parce que je ne me suis pas re-trimaballer pour faire des tests de coffres de voiture, donc on avait droit à un encombrement de 300 à 500 cm³. Ce qui est encombrant surtout, c'est notre châssis avec notre socle qu'on va admettre fixé perpétuellement*
- CC *On le monte une fois et après c'est bon*
- DE *Donc là, j'ai tout maximisé, on va dire que, au maximum, on pourrait avoir un encombrement pour le châssis plus le socle de 850/760 avec une hauteur d' environ 400, ça nous fait 950 cm³. Donc ça rentre largement dans un coffre, un coffre fait au moins une profondeur de 1 m*
- CP *Et le timon ?*
- DE *Comme on n'a pas changé les longueurs du tout, il fait toujours une longueur de 80 cm et une hauteur de 50 cm. Mais je n'ai pas calculé le volume qu'il encombre, parce que tu vas le placer en travers dans ton coffre*

L'extrait ci-dessus montre un exemple des contraintes par rapport à l'encombrement de la remorque VTT. L'ensemble des concepteurs était en train de discuter sur la liaison timon-châssis et les problèmes que cela provoquerait. Le designer-ergonome annonce qu'ils doivent aller en pause (pour le changement de cassettes vidéo pour l'enregistrement des données). Avant de partir en pause le chef de projet annonce son intention de discuter de l'encombrement de la remorque après la pause. Ainsi le designer-ergonome profite de la pause pour se renseigner des contraintes mises sur le cahier des charges pour pouvoir discuter après la pause. A partir de ce moment, la discussion tourne autour de l'encombrement de la remorque.

Problème, Extrait 13, (Expérience distribuée, réunion 2) :**00h10**

- CL *Ouais ça va, on pourrait peut être mettre un [inaudible] de sécurité vous croyez pas ? Non parce que c'est, ... y'a déjà des coefficients de sécurité au moment dans les normes que t'as trouvé, eh Céline ?*
- DE *Qu'est ce que t'entends par euh....*
- CL *Bah je veux dire si euh ... c'est vrai que si c'est pour faire du VTT si tu vas dans les dessous bois alors qu'il fait 10 kg et qu'il a 1 an euh ... et qu'il tient juste en position assise ça risque d'être assez difficile pour lui quoi*
- DE *Bah ...*
- CL *On peut dire peut être 1 an ½ et 10 kg quoi, je sais pas, j'en sais rien*
- DE *Notre produit y doit tenir depuis 1 an dans le cahier des charges*
- CL *Ouais*
- CP *Donc euh ... dans le cahier des charges [inaudible] depuis 1 an*
- CC *Ouais mais ça c'est un cahier des charges après c'est à nous de voir quoi*
- DE *Non mais y'a des enfants qui à 1 an peuvent supporter bon après faut que les parents soient...*

Nous avons à nouveau ici, des contraintes exprimées dans le support technique de l'expérience de conception. Le designer-ergonome est en train de présenter les résultats de son travail dans la phase asynchrone entre la réunion 1 et la réunion 2. Les données qu'elle a trouvé se sont des données anthropométriques pour un homme et une femme. Les données sont représentées des mannequins et ceux-ci ont des mesures standardisées par les normes AFNOR. De plus, il n'y a pas de données anthropométriques pour un enfant. Les seules données qu'elle a pour les enfants sont les courbes de croissance qu'il y a dans les carnets de santé des enfants. A partir de là, la discussion s'enchaîne autour de la taille et le poids de l'enfant ainsi que les contraintes exprimées au cahier des charges.

Problème, Extrait 14, (Expérience distribuée, réunion 3) :**01h11**

- CL *tu veux que je récapitule le problème du ... de l'attache, de l'attache que vous l'avez inversé*
- CC *ouais de 20 centimètres*
- CL *le remettre vers le bas (2 secs)*
- CC *oui ... Et? Tu veux voir pourquoi ça marche pas, enfin, en quoi ... quels problèmes ça fait ?*
- DE *ça va racler au sol ... quand tu seras en inclinaison, ça va te le racler plus facilement*
- CC *En fait, si tu veux ... en fait, on ne s'autorise pas le même franchissement qu'avant quoi*
- CL *D'accord*
- CC *il est limité maintenant on va dire en gros à 15 centimètres... alors qu'avant on était à plus. ..*

L'exemple précédent montre un problème à résoudre par les concepteurs. A partir de devis sur la fabrication du châssis, les concepteurs engagent une modification du châssis de la remorque avec l'objectif de diminuer les coûts. Ils sont en train de modifier la structure du support du

siège pour l'enfant. Pour ce faire, ils ont inversé une pièce mais cela implique que le fond de la remorque n'a plus la même hauteur au sol qu'avant. Ainsi les concepteurs discutent de ce problème et de ses conséquences.

2.2.4. Acteur

Un des éléments clés du processus de conception est le concepteur. Sans lui il n'y a pas de conception. C'est lui qui est chargé de réaliser le processus de conception. Il y a des acteurs qui vont gérer ce processus et d'autres qui vont réaliser des tâches techniques. Cependant en dépit de la nature des tâches, celles-ci doivent être coordonnées pour mener à bien le projet de conception. Les extraits suivants montrent les aspects des acteurs que nous définissons comme importants par rapport au processus de conception.

Acteur, Extrait 15, (Expérience distribuée, réunion 1) :

00h01

- CP Bonjour, je me présente, moi c'est William, accessoirement chef de projet et j'aurais aimé savoir en fait ce qu'on allait faire pendant cette première réunion et surtout comment vous entrevoyez le projet*
- CL Je vais me présenter aussi, je suis étudiant de [inaudible]... habituellement, moi c'est Stéphane CARO, je suis de Nantes et on m'a désigné responsable de la partie dimensionnement des liaisons notamment, et je me posais la question de savoir ce qu'on allait faire aujourd'hui, je passe la parole au suivant*
- CC Moi c'est Julien de Grenoble, je suis chargé de la conception du châssis, donc pareil, je ne sais pas trop à quoi m'attendre, je pense qu'il va falloir qu'on commence par faire connaissance*
- DE Moi je m'appelle Céline, je viens de l'UTBM de Belfort et je vais m'occuper de tout ce qui est ergonomie, design, je vais un petit peu toucher à tout et j'attends de vous que vous communiquiez beaucoup avec moi parce que je vais devoir mettre mon nez un peu partout*

Un des aspects de l'acteur est le rôle qu'il joue dans le processus de conception. Ce rôle dépend du service auquel appartient le concepteur. Par exemple, des personnes appartenant au service bureau d'études sont des experts-études, des personnes du service maintenance sont des experts-maintenance, des personnes appartenant au service bureau de méthodes sont des experts-méthodes et ainsi suite. Dans notre cas ce rôle a été imposé aux concepteurs. C'est à dire, ils n'ont pas choisi leur rôle. Les concepteurs ont appris le rôle qu'ils allaient jouer une semaine avant la première réunion de travail collaboratif. Ceci leur a permis de se familiariser avec leur rôle avant de réaliser des activités de conception. L'extrait ci-dessus montre le début de la réunion 1 de travail collaboratif. Chacun des acteurs se présente, dit éventuellement le lieu où il se trouve, et annonce le rôle qu'il va jouer au processus de conception.

Acteur, Extrait 16, (Expérience distribuée, réunion 1) :**00h07**

DE *Je vais avoir énormément besoin que vous me présentiez en détail les fonctions que vous allez créer, le châssis surtout et les liaisons. Ce qui est important pour moi pendant une réunion, c'est vraiment de voir les hypothèses... et que je vous dise les contraintes qu'on va devoir y mettre aussi, surtout au niveau ergonomie et puis tout ce qui est design, je proposerai différentes solutions de... mais pour l'ergonomie, il faudra vraiment me détailler correctement tout ce que vous faites*

CC *Tu peux définir précisément « ergonomie » ?*

DE *Ce qu'il va falloir que je voie par exemple ?*

CC *Oui par exemple*

DE *J'ai fait une petite liste des choses que je pensais voir, mais il y en aura peut être d'autres qui me viendront en cours de route, il y a l'espace habitable, tout ce qui touchera à l'ensemble lui même, tout ce qui est, les interfaces homme utilisateur du VTT, toutes les liaisons quand il va devoir mettre en place la remorque, toutes les actions qu'il a à faire, comment il va ranger... après il y a bien sûr la toile, il faudra que le bébé respire, ce genre de choses, tout ce qui est matériau, il faudra que j'ai un œil dessus, tout ce qui est signalisation la nuit, les pièces, qu'elles ne soient pas... ça fait penser aussi à l'amortissement de la remorque, c'est tout ce qui touche à l'être humain*

Pendant que les concepteurs font un « tour de table » pour voir les tâches qu'ils doivent réaliser pour la conception de la remorque, le designer-ergonome fait référence aux demandes qu'elle ferait aux autres concepteurs par rapport au processus de conception. Ensuite elle fait référence à l'ergonomie. Les autres concepteurs lui demandent de définir l'ergonomie. Ensuite il explique quelles sont ses compétences et les choses qu'il doit considérer pour que le produit corresponde aux normes de sécurité ainsi qu'aux attentes du client par rapport au confort et l'esthétique.

Acteur, Extrait 17, (Expérience distribuée, réunion 2) :**00h12**

CP *Qu'est ce que tu appelles par effort ? euh... enfin l'effort applicable c'est-à-dire la charge qu'il peut supporter ou.. ?*

DE *C'est l'effort que tu dois donner pour euh ... faire cette action*

CP *OK d'accord*

CP *Alors...*

DE *C'est normalisé dans les normes AFNOR*

CL *D'accord*

CP *Ouais*

Acteur, Extrait 18, (Expérience distribuée, réunion 4) :**00h38**

DE *Comme ça le bébé serait moins ballotté, « l'angle de ballottage » du bébé sur la route serait moins élevé*

CL *Qu'est ce que tu entends par « angle de ballottage » ?*

DE *Quand tu tournes, le bébé va s'excentrer pas mal, plus tu diminues ton bras, moins ton bébé va partir, moins il va faire d'angle*

CL *Oui d'accord*

Dans les deux extraits ci-dessus, nous présentons des exemples de connaissances qu'un acteur peut avoir et qu'il est nécessaire expliciter pour que les autres concepteurs comprennent dont il est en train de parler. Dans le premier extrait, les concepteurs sont en train de discuter sur le dispositif d'attache timon-châssis. La solution retenue est de mettre un type de serrage rapide pour la fixation. Ainsi pour attacher le timon au châssis l'utilisateur devrait exercer un effort pour serrer le dispositif. Le chef de projet demande quel est le degré de l'effort de serrage et le designer-ergonome lui donne la réponse et elle ajoute que ceci est dans les normes AFNOR. Le deuxième extrait montre les explications que le designer-ergonome donne pour faire comprendre « l'angle de ballottage ». Pour ce passage, les concepteurs discutent sur les efforts que le timon doit supporter. Le concepteur liaisons fait une proposition de faire la liaison timon-velo au niveau de la roue du vélo au lieu de la faire au niveau de la selle. Le designer-ergonome voit un avantage par rapport à la proposition du concepteur liaisons : la diminution de « l'angle de ballottage ».

2.3. D'autres éléments importants au déroulement du processus

Comme nous l'avons dit précédemment, nous utilisons la technique de l'analyse des interactions [Jordan & Henderson 95] avec une approche descriptive pour étudier les expériences de conception. A travers cette étude, nous avons remarqué un certain nombre d'éléments saisissants au cours du processus de conception. Nous allons dans la suite présenter divers exemples, qui nous ont semblé intéressants. Notamment l'introduction du devis présenté par le concepteur châssis. Ceci a bouleversé le déroulement du processus de conception, jusque là, sans aucune difficulté majeure. Il a introduit le changement radical du châssis de la remorque VTT.

2.3.1. Conversation latérale

Une discussion collective implique la participation de plusieurs personnes. Il existe un certain nombre de modalités de communication entre ces personnes, par exemple, une personne à une personne, une personne à plusieurs personnes, plusieurs personnes à plusieurs personnes, etc. L'extrait suivant montre une interaction manifeste entre les concepteurs. Une situation de communication particulière d'une personne à une autre personne.

Extrait 19 (Expérience distribuée, réunion 4) :**00h32**

- CL *Oui je vais essayer. Je redessine le timon, vous le voyez ?*
 CC *Moi je le vois*
 CL *En fait tout simplement, cette attache à ce niveau ci, notre attache est là, il faudrait qu'on la mette plus bas*
 CP *Céline, j'ai regardé un de tes dossiers, dans tes dossiers, tu as l'image d'une remorque, dans ton FTP ?*
 DE *Je ne peux pas regarder le*
 CL *Comment on fait pour effacer ?*
 CP *T'as la gomme*

00h36

- CL *Mais l'effort est exercé au niveau de l'attache, l'effort sur la remorque sur le vélo est exercé au niveau de l'attache, et si on diminue justement la distance, et vu que ...*
 CC *OK, je vois. Moi ce que je vois, la distance à diminuer, c'est celle là.*
 CP *Céline, je t'ai demandé....*
 DE *Oui, je cherche, mais j'ai mon FTP qui marche très mal. Mais ce ne serait pas un schéma qui était encadré d'un ovale ?*
 CP *C'est ça.*
 DE *C'était une autre proposition extérieure dont il ne faut pas tenir compte, absolument pas.*
 CP *D'accord.*
 CC *Moi, je dis que pour gagner, pour diminuer le couple, c'est la distance là qu'il faut diminuer, pas celle qui est verticale.*

L'extrait ci-dessus commence avec le dialogue entre le concepteur châssis et le concepteur liaisons. Ils sont en train de discuter la représentation des efforts et couples qui se localisent au niveau du timon (ils ont un dessin sur le tableau blanc). Du coup, le chef de projet démarre un dialogue avec le designer-ergonome pour lui demander un certain fichier localisé dans son répertoire au FTP. Le designer-ergonome s'apprête à lui répondre mais le concepteur liaisons revient à son dialogue avec le concepteur châssis, et il demande assistance pour effacer sur le tableau blanc. Le dialogue continue sur la représentation des efforts et couples. A partir de là, le chef de projet débute une « conversation latérale » avec le designer-ergonome. En fait, il commence à utiliser le chat pour communiquer avec le designer-ergonome (voir Figure 4.13). Le chef de projet tape sur son clavier une question dirigée vers le designer-ergonome, mais la fonctionnalité du chat affiche seulement le texte une fois que l'utilisateur le valide. Nous pouvons remarquer dans la figure, que presque tous les concepteurs ont la fenêtre du chat affichée sur son écran. Cependant le destinataire de l'action n'a pas la fenêtre du chat ouverte. Elle est en train de chercher le fichier sur le FTP. D'ailleurs, le designer-ergonome annonce au chef de projet qu'elle est en train d'utiliser le FTP (deuxième partie de l'extrait) mais elle a des problèmes pour y accéder.

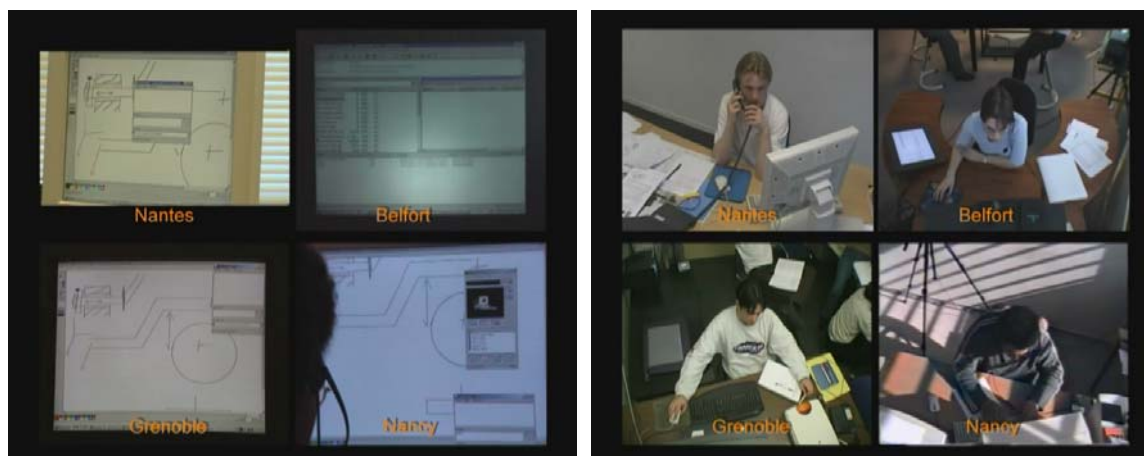


Figure 4.13. « Conversation latérale » du chef de projet avec le designer-ergonome.

En fait, le chef de projet a « dérangé » la discussion entre le concepteur châssis et le concepteur liaisons. Nous pouvons constater dans l'extrait que ces concepteurs ont dû arrêter de parler pour que le chef de projet dialogue avec le designer-ergonome. Dans une situation collective face-à-face, nous pouvons trouver une situation de communication d'une personne à plusieurs personnes. A un certain moment, deux collègues peuvent commencer une « discussion privée ». C'est à dire, ils discutent à deux à voix basse pour une courte durée. Ainsi ils sont engagés dans une situation de communication informelle. Le chef de projet essaye de reproduire cette condition, mais dans une situation distribuée. Cependant nous constatons qu'il n'a pas réussi à ne pas déranger les autres collègues. La circonstance précédente est un écart entre les processus sociaux en conception et les développements techniques actuels au sens de [Ackerman 00]. En dépit d'avoir un système de vidéoconférence de haute qualité à la disposition des concepteurs, Larsson [Larsson 05] a trouvé des résultats similaires dans des processus de conception avec des équipes distribuées. L'auteur a constaté des « coupures » dans le processus de communication entre les acteurs, en raison des intentions des concepteurs pour dialoguer d'une façon informelle.

2.3.2. Collaboration

Une situation intéressante est l'utilisation du tableau blanc pour produire ensemble une solution pour la fixation de la toile. Ce passage se localise à la réunion 3 de l'expérience distribuée. A partir de cette réunion les concepteurs ont commencé à utiliser énormément le tableau blanc pour produire des propositions ensemble. L'extrait suivant décrit la coopération en l'émergence de la solution de la fixation de la toile au châssis. Notamment la coopération entre le chef de projet et le designer-ergonome.

Extrait 20 (Expérience distribuée, réunion 3) :**01h01**

- CP *Quelque chose comme Est-ce que vous avez toujours le tableau blanc ?*
- CC *Oui*
- CL *Ouais*
- CP *Euh ... voilà, un truc comme ça , tu vois..... Euh, donc ...*
- DE *je vois pas où tu est*
- CC *Mmmh ok*
- CP *Alors, ici ... ici, ça c'est la....*
- CC *[inaudible]*
- CP *... voilà c'es .. c'est la toile, donc c'est une partie... imaginez une partie qui va être là et là ...*
- CC *ouais*
- CP *... en dessous vous avez ... le noir ou il est .. vous avez une petite lanière comme cela qui descend.*
- CP *Il y a ... et en plus il y a un petit trou ok ... avec une petite forme de de comme tu dis Céline*
- DE *c'est de ... c'est de rallonges en ... forme de lanières qui vont jusqu' à la coque*
- CP *Exactement, avec un trou ... ça c'est de métal en fait. Ça ici, c'est de métal, comme ailleurs. Et ... ça se met sur un crochet qui est sur la plaque ...*
- DE *mhh mhh*
- CP *... on a une petite lanière qui est tout au long .. On a des lanières tout au long de la toile*
- CC *Ouais*
- CP *Et on a des lanières tout au long de la toile...*
- DE *Donc à ce moment là euh.... ça nous reviendrait sûrement moins cher que de mettre des élastiques. ...des élastiques.... comme ça.... hop .. tu mets .. uh là .. alors oui, il sera attaché en bas de la toile hop tendu euyaaa, euh... et puis j'en mets 4.*
- CP *Ah oui*
- DE *et puis sur ma coque j'aurais mon petit ... Euh j'ai un problème de stylo ... Un petit bouton sur la coque .. A mon avis ça serait la solution reviendra la moins chère*
- CC *Ouais...*

Comme nous l'avons dit précédemment, la discussion est engagée sur le système de fixation de la toile au châssis. Le chef de projet décrit une solution de fixation mais il n'arrive pas à se faire comprendre. Ainsi il commence à utiliser le tableau blanc pour produire un dessin avec un détail pour la fixation (partie droite de la Figure 4.14, encadré en vert). Le chef de projet propose des lanières qui vont jusqu'en bas de la coque (le socle) pour attacher la toile au châssis. Le concepteur châssis et le designer-ergonome approuvent la solution. Ce dernier enrichit la solution en annonçant quatre lanières sur le côté de la remorque (elle seulement dessine une des lanières, celle qui est plus à l'avant de la remorque, encadré en rouge). De plus, elle rejette la solution antérieure qui proposait des élastiques pour la fixation.

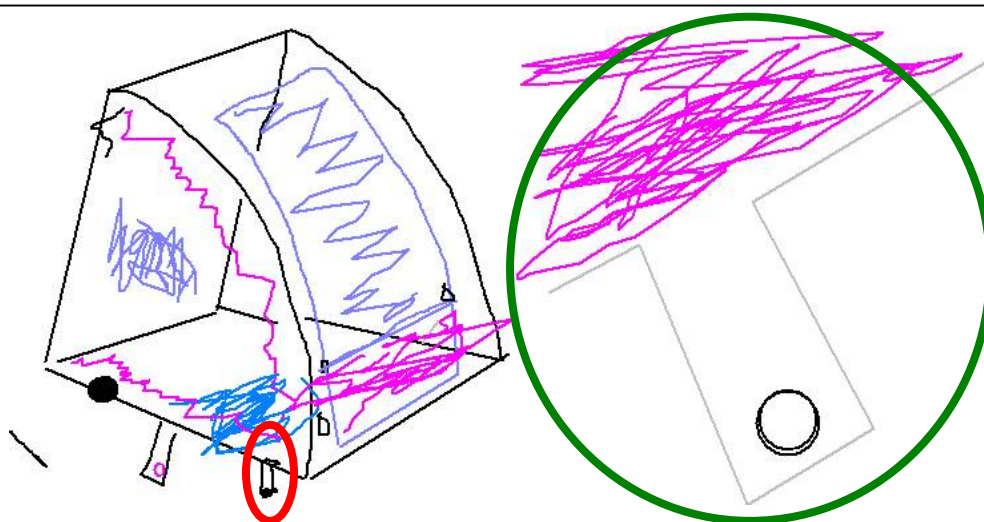


Figure 4.14. Collaboration entre le chef de projet et le designer-ergonome.

2.3.3. Remise en cause de solution

L'extrait suivant montre un passage important pendant le processus de conception. Ceci se passe à 01h28 du début de la troisième réunion de travail collaboratif. Jusque là, les concepteurs avaient travaillé sur l'avancement du projet et ils suivaient leur planning d'activités. Tous les compromis étaient honorés par les concepteurs et il n'y avait pas de remise en cause des décisions prises jusque là. Cependant au moment où le concepteur châssis présente un devis qu'il a reçu d'un fournisseur, tout bascule. L'objectif du projet était de rendre industrialisable le dossier de conception d'une remorque VTT. Le prix de vente de cette remorque était estimé à 150 € par le cahier des charges général. Le devis reçu par le concepteur châssis chiffrait la fabrication pour les pièces d'une unité de la remorque en 936 € hors taxes. Le concepteur châssis a voulu s'assurer de que tous les acteurs aient le devis « sous les yeux » pour annoncer le coût total (Figure 4.15, ainsi que l'extrait 21).

Extrait 21 (Expérience distribuée, réunion 3) :

01h28

- CC C'est bon, vous le voyez ? (partage le devis) Vous le voyez ou pas ?
CP Euh ... tu peux l'agrandir ?
CC euh ... ch'ais pas trop quoi
CP ben c'est pas grave
CC Ouais. Bon, bref ... euh, est-ce que tu euh ... Vous vous êtes mis en plein écran là ? On verra bien ? Est-ce que tu vois euh... donc... déjà hors taxes, on arrive à 936 Euros apparemment.
CP non, c'est pas vrai ... euh ... il y a ...
CL 938 Euros ?
CP Y'a pas moyen, Y'a pas moyen

01h30

- CP tu veux dire qu'on a 938 Euros sans le socle!
CC Ouais, hors taxe ! [rires]

- CP *Hors taxe !*
 CL *Euh ... pour 5000 pièces ou pour une pièce ? ...*
 CP *[rires]*
 CC *pour une pièce ... pour une pièce, [rires], et si en fait cinq ... [rires] ... ça vous fait [inaudible] ... mais une remise de 25% par unités quoi*
 CL *Ah c'est énorme, j'en reviens pas quoi*

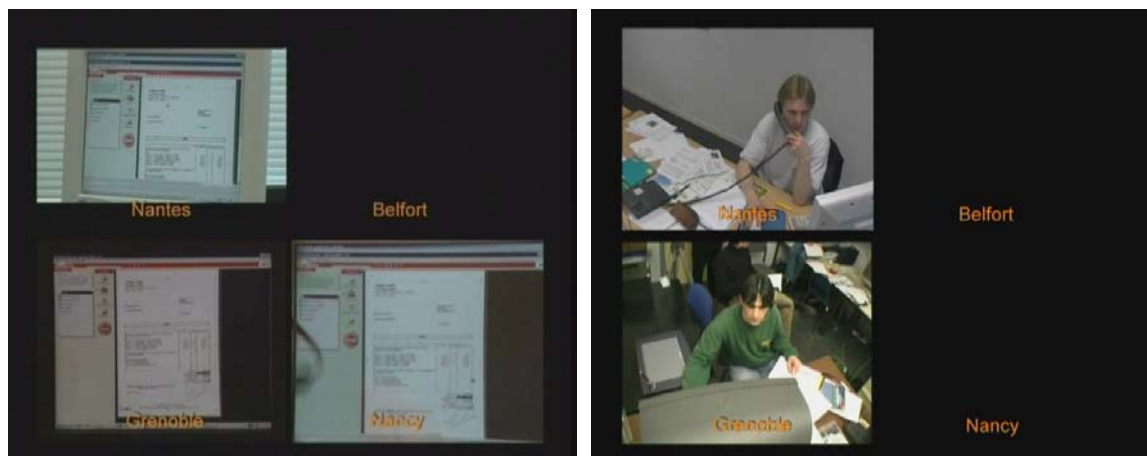


Figure 4.15. Le devis partagé par le concepteur châssis.

Quand il a annoncé le montant mentionné au devis, il y a eu des doutes de la part du chef de projet ainsi que du concepteur liaisons. Ils ont été fort étonnés au moment d'entendre le devis annoncé par le concepteur châssis. A partir de ce moment, il y a eu un effort de « rationalisation » du produit pour « enlever » des coûts de fabrication. Ainsi les concepteurs ont engagé un processus d'allégement du châssis pour réduire les coûts. La Figure 4.16a montre le « design » de la remorque avant de cette « rationalisation ». Nous pouvons constater que la remorque est stylisée. Il y avait des arrondis dans les arceaux latéraux, que le support pour le siège auto était une structure élaborée. La figure montre la toile de la remorque, qui est de couleur violette. Il y a aussi un socle comme le sol de la remorque, mais ce socle n'est pas représenté. Au contraire, la Figure 4.16b montre le résultat de la « rationalisation ». Nous pouvons remarquer que les arceaux latéraux ont été modifiés pour « enlever » les coûts. Les concepteurs ont enlevé toutes les courbes des arceaux. De plus, la structure du support pour le siège-enfant a été complètement modifiée. Les concepteurs ont gardé une structure moins complexe. Cette figure montre le socle de la remorque, par contre, elle ne montre pas la toile.

Un aspect important dans cet extrait est la mobilisation de la dimension du coût par les concepteurs. Il faut prendre en compte que ce sont des concepteurs novices et en formation d'ingénieur. De telle sorte qu'ils connaissent peu ou sont en train d'apprendre les procédés de fabrication et leurs coûts associés. Dans la Figure 4.16a, les arceaux de la remorque sont

composés d'une seule pièce tandis que les arceaux de la Figure 4.16b sont composés de plusieurs pièces. Ceci implique que dans le premier cas, il y a une opération de coupe et une autre de pliage (deux maximums) pendant que dans le deuxième cas il y a quatre opérations de coupe et trois opérations de soudure. Ceci implique un coût plus élevé d'opérations ainsi que du personnel associé.

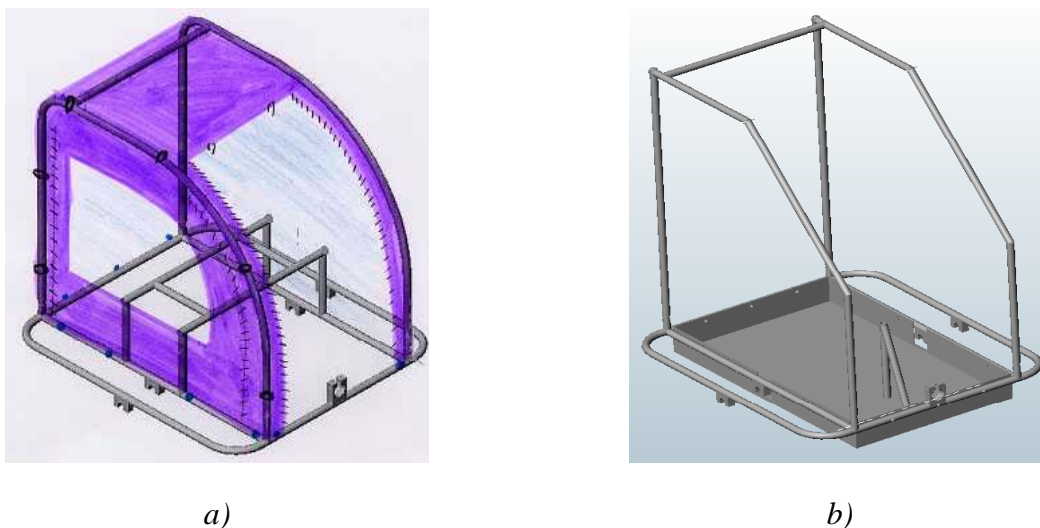


Figure 4.16. Châssis de la remorque : a) avant le devis, b) après le devis.

Il est évident qu'il y a d'autres événements qui sont intéressants à éclairer dans le processus de l'expérience de conception. Cependant il nous a semblé que ces 3 exemples illustrent des événements quotidiens comme la conversation latérale ou la collaboration entre concepteurs ou des moments marquants comme la remise en cause de la solution.

3. Analyse qualitative des dimensions

Pour décrire un peu plus les expériences de conception, nous avons conduit une analyse qualitative à niveau macroscopique pour caractériser les réunions de travail collaboratif par rapport aux dimensions que nous proposons. Cette analyse, nous l'avons conduite seulement pour l'expérience distribuée, faute de temps pour analyser les deux expériences. Nous avons catégorisé les verbalisations des concepteurs d'une manière similaire à l'analyse macroscopique que nous avons présentée au chapitre 3, sans entrer dans le détail. Les résultats que nous avons obtenus se montrent aux Figure 4.17, Figure 4.18, Figure 4.19 et Figure 4.20.

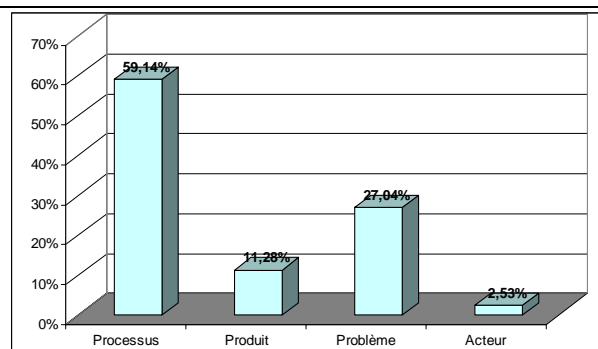


Figure 4.17. Graphique pour la réunion 1 de l'expérience distribuée.

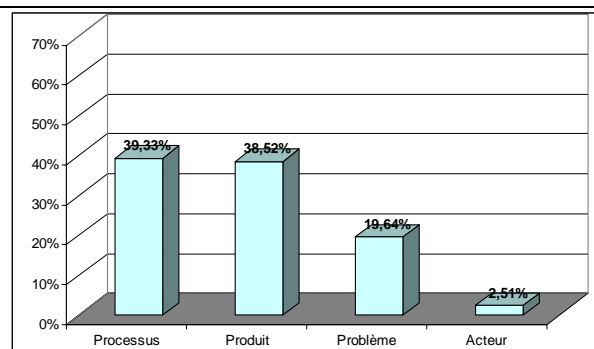


Figure 4.18. Graphique pour la réunion 2 de l'expérience distribuée.

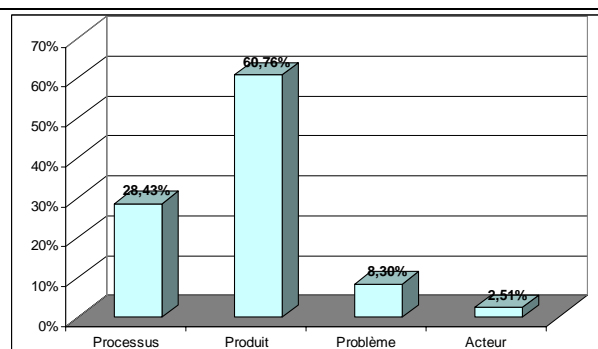


Figure 4.19. Graphique pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.

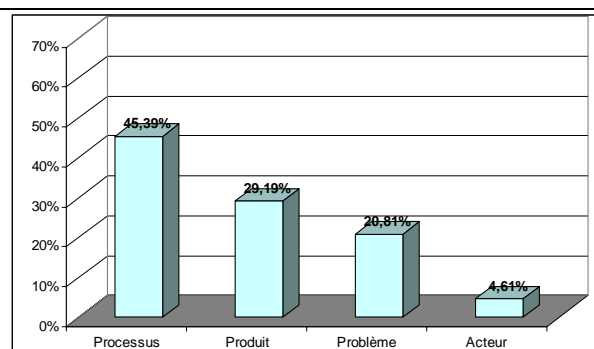


Figure 4.20. Graphique pour la réunion 4 de l'expérience distribuée.

Nous pouvons remarquer à partir de ces graphiques que la dimension du processus est importante au début et à la fin de l'expérience de conception. Cette dimension catégorise tout ce qui concerne l'organisation du processus de conception : le planning, le but de la tâche, la distribution des tâches, la coordination entre acteurs, etc. Il est clair que les concepteurs se coordonnent tout au long du processus de conception. Cependant nous pouvons constater une intensification en début et à la fin du processus. Sans cette coordination le projet n'a pas lieu. De plus ils ont besoin d'utiliser des outils pour mener à bien leur travail. Ainsi nous décrivons ici tout ce qui est de l'organisation et du contexte dans lequel se déroule le processus de conception. D'un autre côté, la dimension des acteurs s'attache à caractériser les acteurs de la conception. Nous pouvons l'utiliser pour décrire les rôles des concepteurs, le rôle spécifique d'un concepteur dans une réunion, les connaissances qu'ils détiennent, l'expertise et l'expérience qu'ils possèdent, leur comportement au sein du processus de conception, etc. Il peut être discuté que la connaissance des concepteurs n'est pas accessible puisqu'elle est dans la tête. Cependant nous pouvons nous rendre compte des connaissances que les acteurs possèdent en fonction du rôle qu'ils jouent au processus de conception, du service auquel ils appartiennent, de la formation qu'ils ont, etc. Dans les figures précédentes nous pouvons

constater que cette dimension est peu représentée à chacune des réunions de travail collaboratif. Nous pouvons dire que les acteurs ont besoin de connaître les rôles et les responsabilités des autres, et une fois ces aspects intériorisés, c'est n'est pas nécessaire de rappeler cette information. De plus, les concepteurs ne changent généralement pas de rôle dans un même projet de conception.

En ce qui concerne la dimension du produit, il est évident que le processus de conception vise à produire la description du produit. Ainsi nous pouvons attendre que la plupart des interactions du processus de conception soient dans la dimension du produit. Nous constatons des graphiques précédents que la dimension produit est beaucoup plus présente dans les réunions 2 et 3 que dans les réunions de début et de la fin du projet de conception. Cependant, cette dimension est la deuxième dans la réunion finale. Par rapport à la dimension du problème nous pouvons observer qu'elle est importante dans la première réunion. Ceci indique donc que les concepteurs ont eu besoin d'analyser le problème de conception pour comprendre la tâche à laquelle ils devaient s'attaquer. Cette dimension a diminué pour les autres réunions, mais elle est très visible pour la réunion 2.

Dans un autre ordre d'idées, Badke-Schaub [Stempfle & Badke-Schaub 02] propose une règle empirique de distribution des actes de communication : environ les 2/3 des communications en conception sont dédiées au registre du contenu, le reste sont dédiées au registre du processus. Dans notre cas, nous avons classé les verbalisations sur 4 registres, un pour chaque dimension. Pour réaliser un rapprochement avec nos résultats, nous pouvons regrouper les quatre dimensions que nous proposons pour avoir les deux registres mentionnés. D'une part, nous pouvons joindre les résultats de la dimension du problème avec ceux de la dimension du produit afin d'avoir le registre de contenu. D'autre part, en ce qui concerne le processus, nous pouvons réunir les résultats de la dimension du processus avec ceux de la dimension des acteurs. Ainsi pour l'ensemble des activités, nous avons un 62,8% en ce qui concerne les activités dédiées au contenu, tandis que le reste (37,2%) sont des activités dédiées au processus, voir Figure 4.21. Il faut remarquer que nous avons mis sur la dimension des acteurs (que nous avons classifié sur le registre du processus pour faire la comparaison), des aspects de l'explicitation de connaissances qui ne regardent pas nécessairement des aspects du processus. Un exemple de cette situation est l'interaction suivante :

Extrait 22, (Expérience distribuée, réunion 4) :**00h35**CC *Et ton effort, il est ou ?*CL *Il vient vers nous*CC *Justement.*CL *Si cette distance est faible, automatiquement le couple exercé par la remorque sur le vélo sera moins important.*CP *Donc il basculera moins sur le côté*

Il est évident que les concepteurs dans l'interaction précédente sont en train d'explicitier des notions d'effort ou de couple qui n'ont rien à voir avec la gestion du processus de conception.

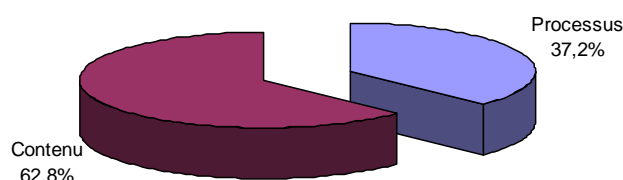


Figure 4.21. Distribution d'activités de l'expérience distribuée.

Pour appuyer plus solidement notre proposition des 4 dimensions de la conception, nous avons mené une analyse croisée de données entre le système de codage macroscopique utilisé dans le chapitre précédent et celui des 4 dimensions de la conception. De telle sorte que nous pouvons identifier des croisements entre les catégories proposées. Notre but est de vérifier la pertinence de notre proposition des dimensions de la conception. Les résultats de ce croisement sont présentés dans les Tableaux 4.2, 4.3, 4.4, et 4.5 et ils sont graphiquement représentés dans les Figures 4.22, 4.23, 4.24 et 4.25.

Tableau 4.2. Comparaison de données pour la réunion 1 de l'expérience distribuée.

	Processus	Produit	Problème	Acteur
Synchronisation cognitive	2,14%	10,31%	20,04%	1,36%
Argumentation/Explicitation de connaissances	0,19%	0,00%	2,33%	0,78%
Gestion de projets	56,81%	0,19%	0,97%	0,39%
Evaluation/Proposition de solution	0,00%	0,78%	3,70%	0,00%

Tableau 4.3. Comparaison de données pour la réunion 2 de l'expérience distribuée.

	Processus	Produit	Problème	Acteur
Synchronisation cognitive	4,80%	26,54%	13,01%	1,41%
Argumentation/Explicitation de connaissances	0,47%	3,98%	4,57%	0,59%
Gestion de projets	33,92%	0,94%	0,82%	0,12%
Evaluation/Proposition de solution	0,18%	7,03%	1,23%	0,41%

Tableau 4.4. Comparaison de données pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.

	Processus	Produit	Problème	Acteur
Synchronisation cognitive	5,53%	31,35%	3,84%	1,02%
Argumentation/Explicitation de connaissances	1,02%	7,12%	2,10%	1,23%
Gestion de projets	21,47%	0,82%	0,46%	0,00%
Evaluation/Proposition de solution	0,41%	21,47%	1,90%	0,26%

Tableau 4.5. Comparaison de données pour la réunion 4 de l'expérience distribuée.

	Processus	Produit	Problème	Acteur
Synchronisation cognitive	11,31%	21,93%	14,53%	2,65%
Argumentation/Explicitation de connaissances	0,56%	0,42%	1,26%	1,26%
Gestion de projets	32,52%	0,98%	0,98%	0,00%
Evaluation/Proposition de solution	0,00%	5,87%	4,05%	0,70%

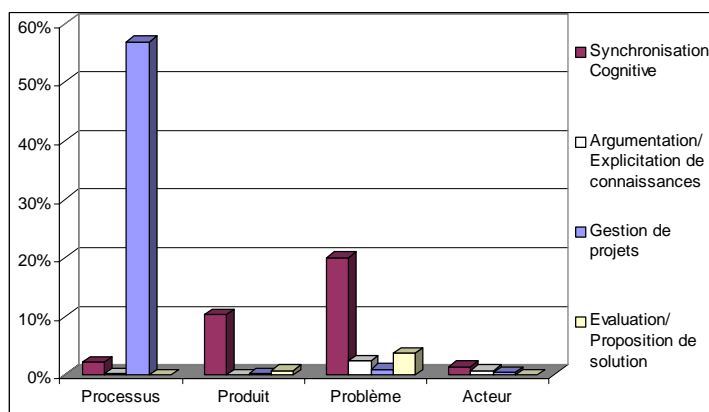


Figure 4.22. Comparaison de données pour la réunion 1 de l'expérience distribuée.

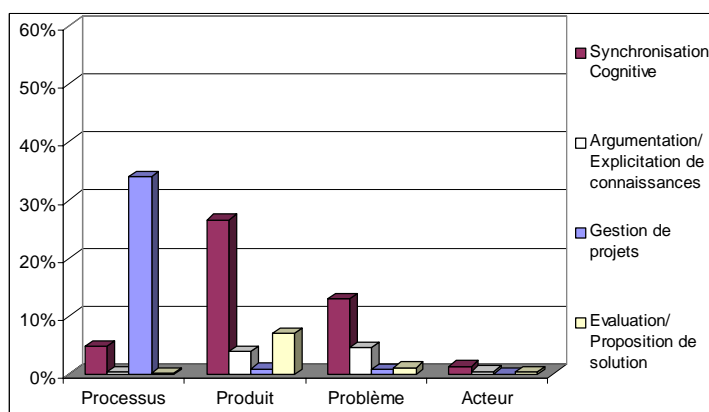


Figure 4.23. Comparaison de données pour la réunion 2 de l'expérience distribuée.

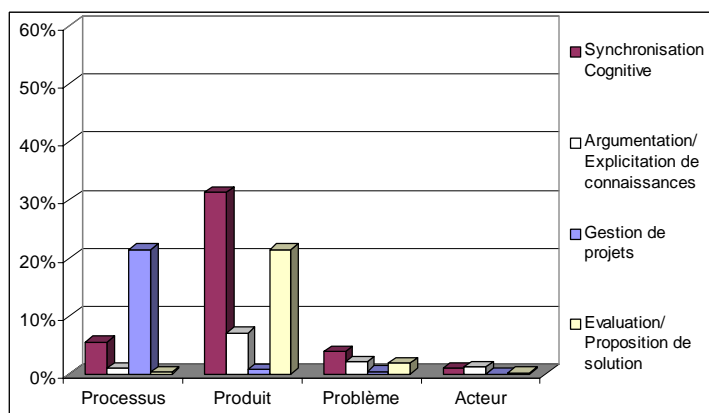


Figure 4.24. Comparaison de données pour la réunion 3 de l'expérience distribuée.

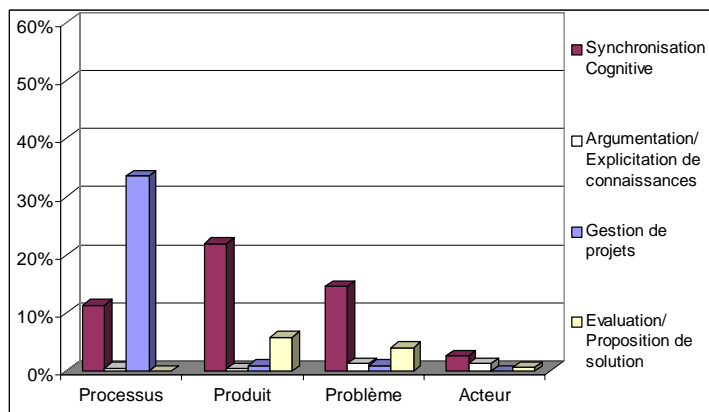


Figure 4.25. Comparaison de données pour la réunion 4 de l'expérience distribuée.

Les matrices qui sont représentées dans les Tableaux 4.2, 4.3, 4.4, et 4.5 montrent le croisement entre la distribution d'activités au niveau macroscopique présentée dans les Figures 3.7, 3.8, 3.9 et 3.10 du chapitre 3 et la distribution d'activités présentée dans les Figures 4.17, 4.18, 4.19, et 4.20. Dans la matrice formée par ces croisements nous pensons qu'il y a structurellement des croisements impossibles. Typiquement nous estimons que 5 intersections de la matrice que sont contradictoires. Le croisement entre les catégories : de gestion de projets et du produit, de gestion de projet et du problème, de gestion de projets et de l'acteur apparaissent impossibles car la dimension de gestion de projet n'a trait qu'à l'activité, sa planification et sa gestion, et ne relève pas de la gestion des acteurs ni de la gestion des configurations du produit. De même les catégories d'évaluation- proposition de solutions et du produit et finalement d'évaluation et proposition de solutions et de l'acteur sont incompatibles car cette catégorie évaluation et proposition de solution ne réfère qu'au produit et au problème.

Dans le cas du croisement entre l'évaluation et proposition de solution et le processus, cette intersection ne peut pas avoir lieu dans une réunion de travail en conception collaborative car le but de cette réunion n'est pas d'évaluer ni de proposer des nouveaux processus de conception. Dans les activités au jour le jour des concepteurs le but est de fournir des évaluations du produit ainsi que de proposer des solutions au problème posé. Il est vrai qu'il y aura certainement une évaluation du processus de conception, mais celle-ci ne sera pas faite dans le cadre d'une réunion où le but est de concevoir le produit. Elle sera faite par une réunion convoquée par l'administration de l'entreprise. Par rapport au croisement entre l'évaluation et proposition de solutions et les acteurs nous pouvons faire une analyse similaire. Le but d'une réunion de conception n'est pas d'évaluer la performance des acteurs mais de les intégrer pour qu'ils trouvent des solutions à un problème donné. La décision de la participation d'un acteur particulier sur un projet de conception revient à nouveau à la décision de l'administration de l'entreprise. Pour sa part, l'inadmissibilité du croisement entre la catégorie de gestion de projets et la dimension acteurs vient du fait que nous considérons que les rôles et attributions sont définis ailleurs en dehors des réunions de projet et n'impactent donc pas la gestion de projet elle-même (au sens gestion des quatre réunions).

En ce qui concerne le croisement entre la catégorie de gestion de projets et la dimension du produit, nous trouvons contradictoire qu'il y ait des résultats. La raison à cela est que le problème est établi et il évolue à travers les interactions entre les concepteurs (synchronisation cognitive) mais l'évolution de la structure du produit n'entre pas comme

élément dans la gestion de l'activité. De plus, si les contraintes évoluent, cette action peut être classifiée dans l'évaluation et proposition de solution. Finalement, en ce qui concerne la contradiction entre les résultats de la catégorie de gestion de projets et la dimension du produit nous considérons que l'organisation et la structure du produit sont définies dans l'évaluation et proposition de solutions.

Ayant pris en compte ces contradictions structurelles dans la matrice précédente, il nous reste à discuter les pourcentages que nous avons obtenus lors de l'analyse. Nous considérons que des résultats en dessous de 1% sont des imprécisions de codage et ne sont donc pas considérées comme significatifs. En effet, nous pensons que comme toute activité humaine, le codage que nous avons développé n'est pas libre d'erreurs, et de plus, les interprétations des verbalisations et sa catégorisation dans le système de codage peuvent changer en fonction du chercheur qui analyse le corpus.

Une fois établie l'interdiction d'avoir des résultats dans le croisement entre les catégories et après de faire remarquer les erreurs de codage, nous nous attacherons maintenant à considérer les résultats présentés pour chacune des réunions de travail collaboratif de l'expérience distribuée. En ce qui concerne la première réunion, Figure 4.22, il y a une forte relation entre la dimension du processus et la catégorie de gestion de projets. Ce qui semble tout à fait naturel, en fonction des activités de distribution de tâches, de coordination entre concepteurs, dans la dimension du processus les acteurs s'organisent pour mener à bien le projet de conception. Ensuite il y a aussi une relation importante entre les activités de synchronisation cognitive et le problème et le produit. Nous pouvons avancer qu'au début du projet, les concepteurs doivent savoir ce qu'ils vont concevoir, à savoir quel est le problème à résoudre et quel est le produit dans sa configuration actuelle. Il existe aussi de la synchronisation cognitive entre les acteurs. Par rapport à la deuxième réunion, Figure 4.23, nous pouvons constater une diminution de l'activité de gestion de projets au profit d'une plus grande synchronisation cognitive sur le produit ainsi qu'une argumentation et explicitation de connaissances de la part des concepteurs sur le produit et le problème. Cependant il continue d'y avoir une relation importante entre le processus et la gestion de projets.

Quant à la troisième réunion, Figure 4.24, nous pouvons remarquer une grande synchronisation cognitive sur le produit ainsi qu'une relation importante entre l'évaluation et proposition de solutions et le produit. De plus, le pourcentage des activités d'argumentation et explicitation de connaissances sur le produit augmente. Nous pouvons déduire une

concentration des efforts des concepteurs sur la conception du produit. Il existe toujours une relation importante entre les activités de gestion de projets et la dimension du processus. Finalement, pour la dernière réunion, Figure 4.25, nous pouvons constater une intensification des activités de gestion du projet sur le processus. Nous constatons aussi une réduction des activités d'évaluation du produit. De plus, il existe une relation notable entre la synchronisation cognitive et les dimensions du processus, du produit et du problème. Dans cette dernière réunion les concepteurs se préparent pour la revue du projet avec le client.

Finalement nous remarquons que la dimension de l'acteur est peu présente dans toutes les réunions de conception par rapport aux autres dimensions. Nous pouvons avancer qu'il est nécessaire de connaître, au début du projet, la fonction que les autres réalisent, et qu'il n'y a pas besoin de la rappeler ultérieurement. Cependant savoir qui est notre interlocuteur ou qui est présent dans une réunion peut être une information utile aux concepteurs. Même si nous pouvons remarquer que la dimension de l'acteur est plus faible que les autres dimensions dans toutes les réunions néanmoins, nous soulignons qu'elle est importante sur un plan qualitatif, comme le font remarquer nombre de travaux sur l'activité de conception et les concepteurs [Bucciarelli 88], [Minemman 91], [Jeantet 98] et [Larsson 05].

4. Vers un modèle de conception collaborative à distance

Tel que nous l'avons discuté au chapitre 3, nous avons constaté l'apparition de « l'effet séquentiel » induit à travers l'usage des outils de communication génériques dans un processus de conception distribuée. Cette séquence d'activités nous a paru très intéressante pour modéliser et caractériser les interactions entre les concepteurs dans une réunion de travail collaboratif. Nous avons pris comme base le concept de modèle d'activité pour construire un modèle de collaboration à partir de la combinaison de deux concepts principaux : d'une part, l'interaction du concepteur avec son environnement dans une situation particulière et d'autre part, la notion d'objet intermédiaire. Cette dernière notion est mobilisée dans la construction de connaissances communes par les concepteurs. Ainsi le cadre conceptuel des cadres de l'action collective est concerné et il permet la modélisation de « l'effet séquentiel ». Dans la suite nous présenterons le modèle hybride cognitif collectif qui est le résultat de notre processus de modélisation.

4.1. Le cadre FBS situé et le situationnisme

Comme une évolution du modèle FBS analysé au chapitre 1, Gero [Gero & Kannengiesser 04] propose le « *situated FBS framework* », un modèle pour situer et préciser le déroulement des activités de conception (Figure 4.26). Ce modèle a attiré notre attention pour son adéquation à notre compréhension de l'activité de conception. Tel que le modèle FBS, le modèle FBS situé est articulé autour de variables de fonction, de comportement et de la structure qui sont liés à travers plusieurs processus. Ceux-ci représentent la transformation entre un état fonctionnel du produit vers une description structurel du même produit.

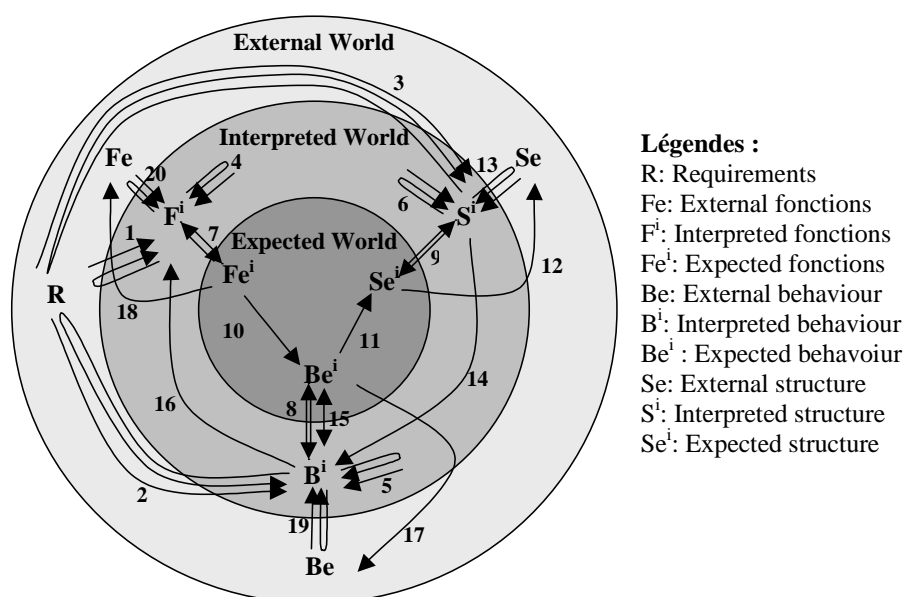


Figure 4.26. Le cadre situé FBS selon [Gero & Kannengiesser 04].

Dans le modèle situé les auteurs proposent un modèle cognitif du processus de conception centré sur les activités du concepteur. Pour introduire la condition « située », les représentations mentales sont articulées autour de trois mondes qui interagissent à travers trois processus, lesquels décrivent les aspects dynamiques et situés de la conception, (voir Figure 4.27). Les trois mondes sont les suivants. Le monde extérieur est un environnement composé par représentations manipulées par les concepteurs. Le monde interprété est un monde créé par les concepteurs dans leur tête avec des concepts, des perceptions et des expériences sensorielles. Ici les concepteurs bâtissent des représentations du monde extérieur avec lequel ils interagissent. Finalement le monde attendu est le monde « projeté » qui cadre les actions des concepteurs sur le monde extérieur. Il est l'environnement dans lequel, les buts actuels et les interprétations de l'état actuel par rapport au monde externe cadrent des actions futures sur le monde externe.

Les trois mondes sont liés en boucle par trois types de processus. Le processus d'interprétation transforme les variables du monde externe en interprétations situées dans le monde interprété. Le processus « focaliser » décrit le fait de la focalisation d'un individu sur des éléments spécifiques du monde interprété. Ces éléments sont utilisés ensuite comme des buts dans le monde attendu et ils suggèrent des actions, par lesquelles se produiront des états au monde externe visant d'accomplir les buts. Le processus d'action amène des changements dans le monde externe en accord avec les buts définis préalablement dans le monde attendu. Ainsi, ce modèle introduit une distinction entre des environnements internes (ou mentales) et des environnements externes mais en même temps il représente la relation entre eux. Gero [Gero & Kannengiesser 04] fait la séparation entre le monde interprété et le monde attendu pour rendre plus explicite et facile l'explication du concept de situationnisme. Cependant il est important de noter que le monde attendu est situé dans le monde interprété.

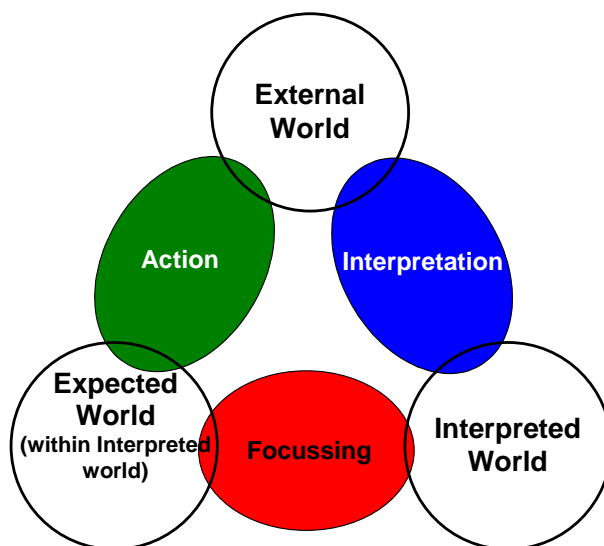


Figure 4.27. Le contexte du situationnisme selon [Gero & Kannengiesser 04].

4.2. Vers un modèle hybride cognitif collectif

Le concept d'objet intermédiaire introduit au chapitre 2, semble complémentaire au cadre FBS et introduit une nouvelle dimension reliée au monde externe. De plus, il semble avoir un lien entre le monde externe et le monde interne. Les objets intermédiaires ont été utilisés pour analyser la coopération entre concepteurs. Notamment la création d'artefacts partagés et de connaissances associées [Boujut & Blanco 03] et d'annotations définies par les acteurs [Boujut 02].

Le concept de situationnisme défini par [Gero & Kannengiesser 04] est très intéressant pour modeler le contexte de la conception autant que les liens entre les processus cognitifs et l'environnement du concepteur. Ainsi, le modèle FBS situé offre une vision intéressante sur les processus mentaux impliqués au processus de conception inclus dans un contexte. Cependant ce modèle représente les processus cognitifs d'un seul concepteur. Dans la suite nous proposons d'étendre le modèle vers des activités collectives. Pour ce faire, nous reprenons le concept de situationnisme et celui d'objet intermédiaire, qui ont prouvé leur efficacité pour saisir le rôle des artefacts dans la communication entre conception. Notre but est de proposer un modèle pour comprendre les relations complexes entre les processus cognitifs et la production collective d'artefacts, notamment en situation de conception distribuée [Ruiz-Dominguez & Boujut 04]. Ce modèle est le résultat de la combinaison d'une analyse critique de la littérature actuelle des modèles de conception, de l'expérience accumulée dans des études empiriques de terrain et de l'analyse des expériences de conception. La Figure 4.28 présente le modèle dans la manière la plus élémentaire.

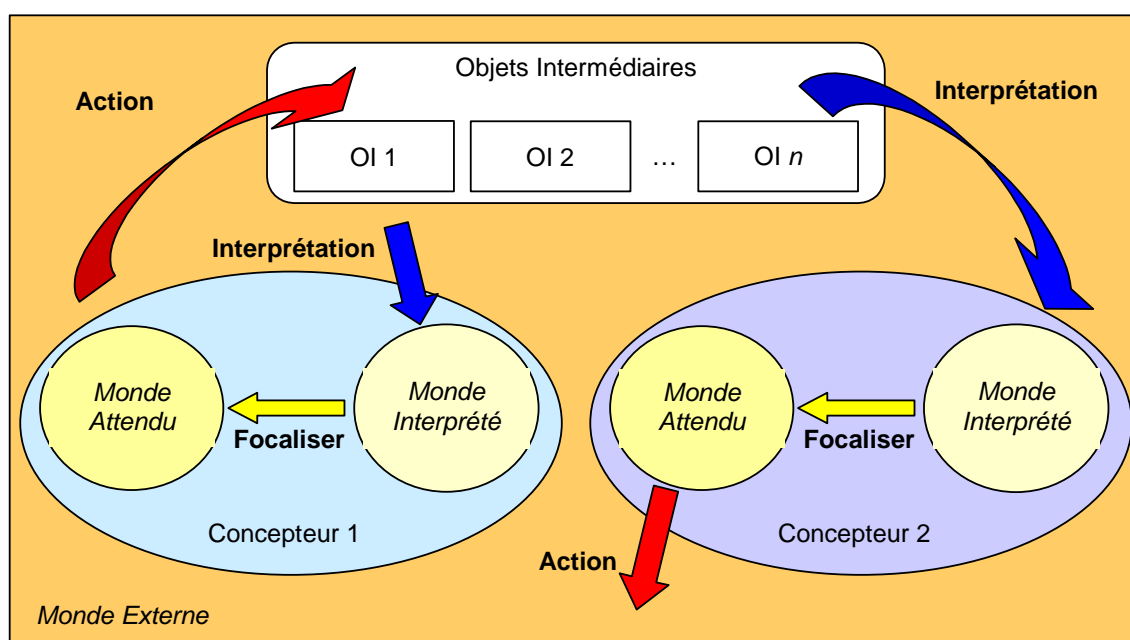


Figure 4.28. Illustration du modèle hybride cognitif collectif.

La démarche « suivie » par le modèle hybride cognitif collectif est la suivante. Elle décrit l'interaction entre deux concepteurs au niveau cognitif par moyen des objets intermédiaires. Si nous considérons que le monde externe est l'environnement dans lequel les concepteurs évoluent, nous pouvons alors dire que celui-ci inclut tous les artefacts et outils disponibles pour les concepteurs. Par ailleurs, les concepteurs sont impliqués dans un processus de création/interprétation de plusieurs représentations du produit. Ces représentations sont

matérialisées par des objets intermédiaires [Boujut & Blanco 03]. Ainsi, un concepteur réalise un processus d'interprétation d'une représentation incorporée dans un objet intermédiaire, et qui mène à une représentation mentale dans le monde interprété de ce concepteur. Ensuite ce concepteur dirige son attention sur un aspect particulier de la représentation en se focalisant sur un but particulier (proposition de modification, évaluation, argumentation, etc.). Postérieurement, le but est atteint à travers d'un processus d'action et la représentation mentale est transformée (actionnée) en d'autre objet intermédiaire. Ce dernier va être interprété par l'autre concepteur. Celui-ci va se focaliser sur un aspect particulier et il formulera un but spécifique, pour finalement produire une action sur l'objet intermédiaire ou le monde externe.

Il est évident que le deuxième concepteur aura aussi sa propre représentation de l'objet intermédiaire ou du monde extérieur, et qui n'est pas forcément la même que pour le premier concepteur. Cependant c'est à travers les interactions entre les concepteurs, qui seront représentées par plusieurs cycles réalisés dans le modèle hybride cognitif collectif, que les acteurs arrivent à construire une compréhension partagée et faciliter la synchronisation cognitive. Le sens de la flèche d'interprétation du concepteur 1 et de la flèche d'action du concepteur 2 ont été mis de cette façon délibérée. En ce qui concerne le processus d'interprétation nous considérons le fait que le concepteur 1 regarde ou interprète un objet intermédiaire produit par autre acteur. Cependant son processus d'interprétation peut bien être initié par d'autres artefacts ou une verbalisation. A l'égard du processus d'action du concepteur 2, nous représentons « la fin du cycle » par un processus d'action vers le monde extérieur mais sans interaction du concepteur avec un objet intermédiaire. Il peut être le cas aussi que son processus d'action soit vers un objet intermédiaire.

4.3. Exemple d'une situation collaborative à distance avec le modèle hybride cognitif collectif

Nous utiliserons comme base pour l'illustration du modèle, la suite d'activités de la séquence de « l'effet séquentiel ». En effet, à travers l'utilisation des objets intermédiaires nous pouvons rendre compte de l'interaction entre concepteurs en situation particulière. Les résultats de l'analyse préliminaire de l'expérience distribuée, ont mis en évidence que les activités de synchronisation cognitive ont été des activités importantes en la coopération entre les acteurs [Ruiz-Dominguez *et al* 04]. Nous avons constaté qu'il y avait deux phases distinctes d'interaction : d'une part une phase de production de dessins et d'autre part une

phase de discussion autour des dessins. La Figure 4.29 représente une partie du diagramme d'enchaînements d'activités présentée dans la Figure 3.33. Nous utiliserons les verbalisations de ces interactions avec l'objectif de caractériser les activités collectives de conception dans cette séquence particulière.

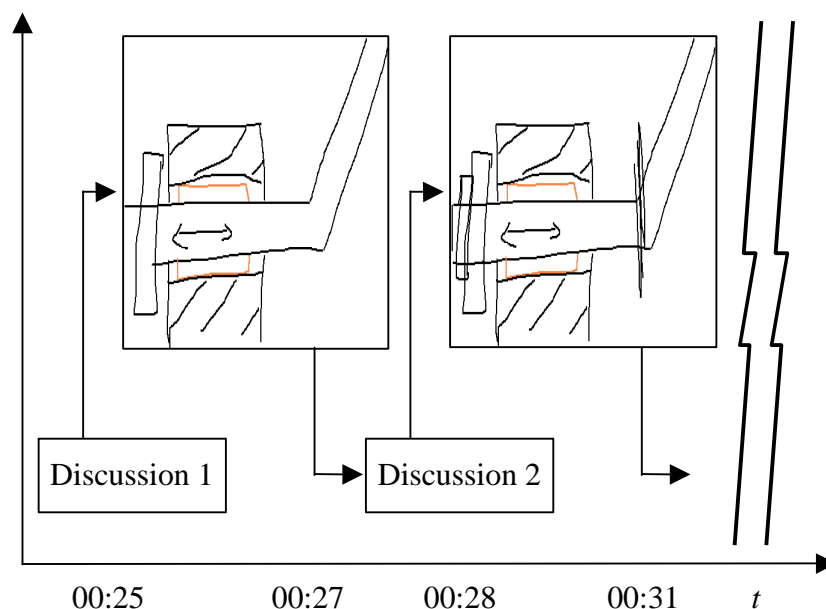


Figure 4.29. Extrait de la séquence de « l'effet séquentiel ».

Quand les acteurs du processus de conception sont en train de discuter une solution, le concepteur châssis (CC) fait un dessin pour présenter sa proposition de solution (Figure 4.30). Le concepteur liaisons (CL) lui demande plus d'informations sur sa proposition et le chef de projet (CP) demande au concepteur châssis de faire un dessin pour pouvoir interpréter sa proposition, regarder les verbalisations au Tableau 4.6 Ensuite, les concepteurs initient séquentiellement une discussion pour évaluer la proposition du concepteur châssis identifié comme une interprétation et un processus de focalisation du chef de projet, voir Tableau 4.7. Postérieurement, le Tableau 4.8 montre que le concepteur châssis a interprété la discussion et il argumente à nouveau en produisant une modification à son dessin (Figure 4.31), identifié comme le deuxième processus d'action. Le chef de projet et le Designer-Ergonome (DE) participent aussi à la discussion. Ce dernier dessin est interprété par le chef de projet et produit une argumentation, qui va ensuite déclencher une réponse d'assistance de la part du concepteur liaisons vers la position du concepteur châssis. Finalement le chef de projet accepte la proposition du concepteur châssis (Tableau 4.9). La Figure 4.32 montre l'illustration de cette série de verbalisations à travers le modèle hybride cognitif collectif.

Tableau 4.6. Extrait 1 du corpus de l'expérience distribuée.

Temps	Acteur	Corpus	Activité	Dispositif	Outils/ Document travail
...
00:24:51	CL	... t'as parlé ... de roulement à billes ou un genre de roulement à billes	Synchronisation cognitive		
00:24:54	CC	ouais, pour l'instant je ne vois pas ... c'est juste une idée	Registre d'argumentation		
00:24:56	CL	et tu comptes le mettre où ? je n'ai pas compris en fait ..	Synchronisation cognitive		
00:24:59	CP	... il te faudrait la main, il te faudrait .. là on ne voit rien là, il te faudrait que tu prennes la main ou un truc comme ça ...	Gestion de visibilité à l'écran		
00:25:04	CC	... ouais, je prends le tableau blanc	Gestion de ressources techniques	Co-production	Tableau blanc
...

Tableau 4.7. Extrait 2 du corpus de l'expérience distribuée.

Temps	Acteur	Corpus	Activité	Dispositif	Outils/ Document travail
...
00:27:09	CC	... tu vois ?	Gestion de visibilité à l'écran		Tableau Blanc (image timon)
00:27:10	CP	Est-ce que ... ahh, oui d'accord ... mettre un roulement à billes à l'intérieur du ...	Synchronisation cognitive		Tableau Blanc (image timon)
00:27:14	CC	Un truc comme ça que permettrait de tourner dans ce sens là.	Proposition de solution	Co-production	Tableau Blanc (image timon)
00:27:17	CC	Ah, ça c'est bien ...	Evaluation positive de solution		Tableau Blanc (image timon)
...

Tableau 4.8. Extrait 3 du corpus de l'expérience distribuée.

Temps	Acteur	Corpus	Activité	Dispositif	Outils/ Document travail
...
00:28:05	CL	oui...	Régulateur		Tableau Blanc (image timon)
00:28:06	CC	Il faudrait mettre une pièce derrière comme ça	Enrichissement de solution	Co-production	Tableau Blanc (image timon)
00:28:13	DE	Il faut ... il faut caler le roulement quoi ...	Synchronisation cognitive	Co-production	Tableau Blanc (image timon)
00:28:15	CP	Non, non ... c'est pas le fait de caler le roulement	Synchronisation cognitive		Tableau Blanc (image timon)
00:28:18	DE	Non, mais tu peux pas ... tu peux pas mettre ta pièce comme ça	Evaluation négative de solution		Tableau Blanc (image timon)
...

Tableau 4.9. Extrait 4 du corpus de l'expérience distribuée.

Temps	Acteur	Corpus	Activité	Dispositif	Outils/ Document travail
...
00:31:18	CC	... c'est ça, non ?	Evaluation questionnante		Tableau Blanc (image timon)
00:31:20	CP	Ben, pour moi, le basculement ... c'est vrai que peut être un problème ça	Evaluation négative de solution	Guider ses explications	Tableau Blanc (image timon)
00:31:21	CL	Mais bon, ça va permettre à la remorque de tourner par rapport au timon quoi	Synchronisation cognitive	Guider ses explications	Tableau Blanc (image timon)
00:31:28	CP	Ah, oui d'accord ...	Synchronisation cognitive		Tableau Blanc (image timon)
00:31:29	CP	... c'est déjà pas mal ...	Evaluation positive de solution		Tableau Blanc (image timon)
...

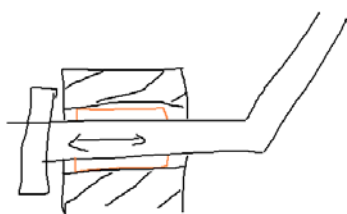


Figure 4.30. Première esquisse du concepteur châssis.

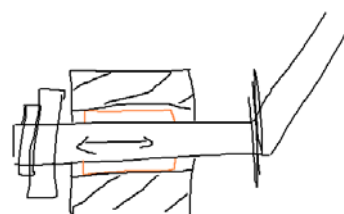


Figure 4.31. Modification de l'esquisse du concepteur châssis.

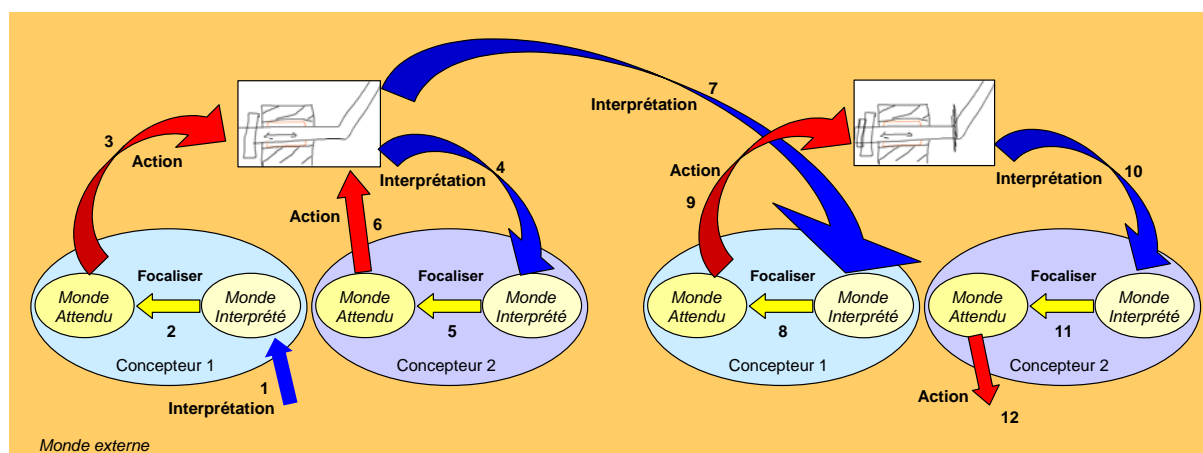


Figure 4.32. Illustration d'un extrait de l'effet séquentiel à travers le modèle hybride cognitif collectif.

La description réalisée à travers des figures et tableaux précédents est la description d'un processus de création de compréhension partagée ou « *shared understanding* ». Les concepteurs doivent interagir pour développer une terminologie commune et pour arriver à un compromis à travers la création des connaissances communes. Ceci est plus vrai pour des acteurs de différentes entreprises, comme des donneurs d'ordre et des fournisseurs, où ils

doivent décider comment doit être le produit et quelles caractéristiques celui-ci doit avoir. La connaissance commune ou partagée est difficile de définir. Il peut être discuté que les concepteurs n'ont pas la même connaissance en fonction vu que chaque concepteur a une formation différente, il appartient à un service différent, il a sa propre vie et son propre parcours, etc. Néanmoins, dans un processus de conception les acteurs parviennent à un accord à l'égard de la qualité, la performance du produit, la maintenance du produit, et ainsi suite. En d'autres termes, les concepteurs partagent des connaissances pour arriver à des compromis en la conception du produit. L'antérieur est similaire au fait que deux personnes partagent un taxi pour aller à un aéroport. Ils utilisent le même taxi. Cependant quand ces deux même personnes partagent un gâteau, ils ne mangent pas la même tranche du gâteau.

La connaissance partagée est une vue mutuelle entre les concepteurs sur des sujets de conception ainsi que des activités de conception [Valkenburg 98]. C'est que [Darses 04] désigne en ergonomie cognitive comme synchronisation cognitive. Ce dernier auteur indique que le propos de la synchronisation cognitive est de construire et maintenir dynamiquement un contexte de connaissances mutuelles que l'auteur appelle comme espace référentiel commun. De plus, l'auteur avance que l'aboutissement de la synchronisation cognitive est de construire collectivement une décision de conception.

Dans le modèle hybride cognitif collectif nous avons cherché à modéliser les interactions des concepteurs pour arriver à une connaissance partagée. Pour arriver à ce processus, les acteurs ont dû mobiliser en plus des connaissances communes des artefacts communes que nous appelons objets intermédiaires. Wenger cité par [Chanal 00] propose le concept de communautés de pratique pour désigner un groupe de personnes qui partagent un intérêt dans un domaine d'activité humaine et qui s'engage dans un processus d'apprentissage collectif qui crée des obligations entre eux. Ceci s'appuie sur trois éléments. D'abord, l'engagement mutuel dans des actions communes où le sens est négocié par les acteurs. Ensuite, l'entreprise commune d'un processus collectif de négociation. Finalement, un répertoire partagé avec des ressources qui permettent la négociation des significations (avec des objets intermédiaires). Ceci ressemble beaucoup à ce que nous avons déjà discuté pour la construction d'une connaissance partagée au sein d'un processus de conception. Cependant, nous sommes d'accord avec [Chanal 00] pour dire que le management de projets (ainsi que les projets de conception) ont des limites par rapport au concept de communauté de pratique. D'abord, la pratique définie par Wenger est plutôt homogène, tandis qu'une équipe projet est constituée des pratiques hétérogènes issues des métiers différents. Ensuite, la pratique des communautés

de pratique s'appuie sur une histoire partagée, ceci n'est pas toujours le cas pour un projet qui démarre. Finalement, la pratique dans une équipe projet se définit principalement par sa finalité au contraire de celle peu orientée par un objectif commun. Ceci est d'autant plus vrai pour les projets de conception où les acteurs sont distribués géographiquement. De plus, l'équipe de conception peut être constituée des acteurs de un certain nombre d'établissements.

Néanmoins dans notre cas ainsi que dans les communautés de pratique, il existe une construction de connaissances communes et partagées par les acteurs à travers leur interaction. Ces connaissances représentent le cadre conceptuel dans lequel les concepteurs évoluent. Ainsi le processus de coopération est plus aisés que dans le cas où les concepteurs ne partagent pas une compréhension partagée du problème à résoudre, du produit à concevoir, des compétences et expertise des collègues, du contexte, etc.

4.4. Comparaison avec les modèles de collaboration

Nous avons passé en revue plusieurs modèles de collaboration proposés en conception. Des modèles étudiés seulement celui de [Lahti et al 04] utilise des objets de l'environnement de la conception. A savoir des esquisses produites par les concepteurs. Ainsi Lahti identifie trois types d'interaction entre les acteurs : la coordination, la coopération et la collaboration (Figure 4.33). Les autres représentations sont des représentations où le paradigme du traitement de l'information est très fort. Nous pensons que les objets et les artefacts mobilisés par les concepteurs jouent un rôle important dans la conception. Ces objets sont utiles pour la communication et la confrontation de points de vue. Ainsi ils sont des objets intermédiaires de la conception. Ils servent des médiateurs et permettent les échanges entre les acteurs. De plus, ils servent de mémoire et permettent l'émergence de nouvelles idées pour résoudre le problème [Suwa *et al* 00].

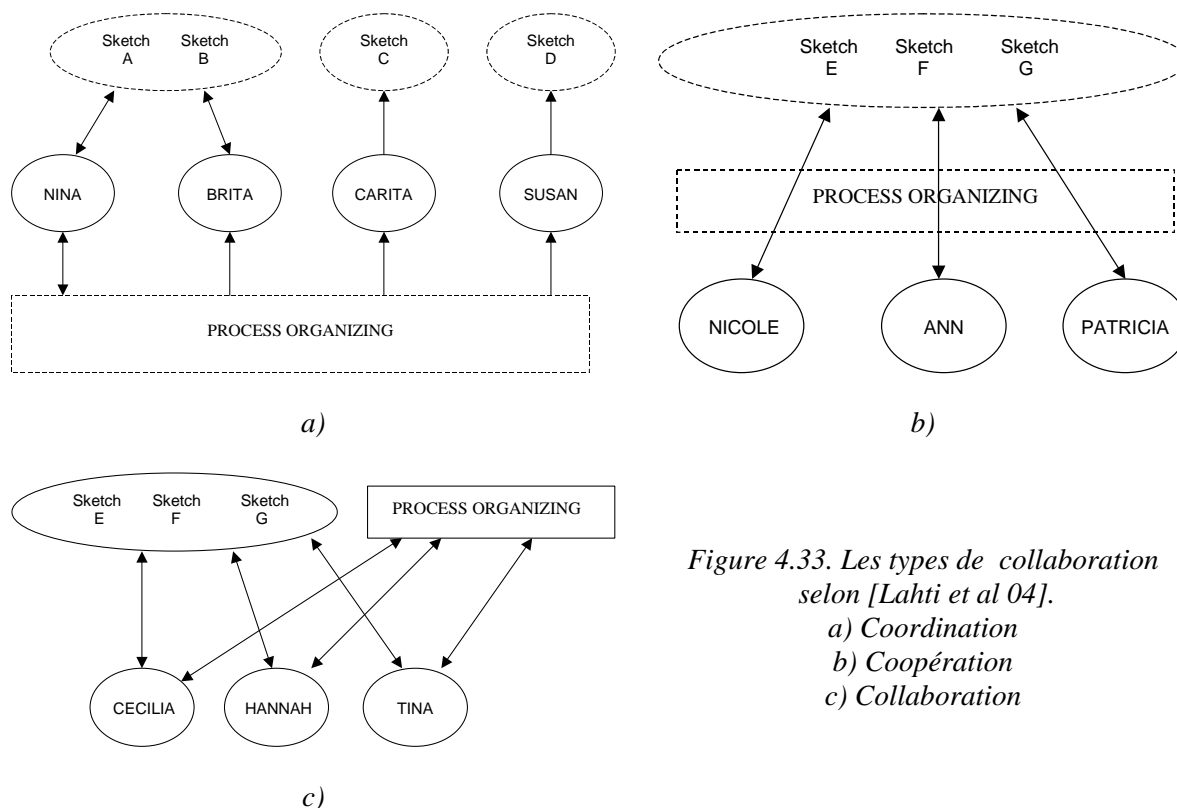


Figure 4.33. Les types de collaboration selon [Lahti et al 04].
 a) Coordination
 b) Coopération
 c) Collaboration

5. Discussion sur les apports et limites de cette approche

Nous avons utilisé dans ce chapitre une approche descriptive pour exploiter les données. Les analyses conduites avec cette approche sont d’une richesse en ce qui concerne le contexte du processus de conception. Nous pouvons rendre compte d’une façon très détaillée des interactions des acteurs ainsi que de l’environnement dans lequel la conception a lieu. Une des limites de cette approche est le temps dédié à l’analyse d’une partie limitée des données. En effet, l’étude du contexte et la situation dans laquelle se développent les activités, requiert beaucoup de temps d’analyse. De ce fait, une deuxième limitation s’affiche ensuite : la présentation limitée des cas représentatifs. En effet, présenter une étude détaillée de chaque épisode demande un espace que parfois nous n’avons pas. Quant aux avantages, nous les présentons en deux parties. Premièrement, la richesse des descriptions que nous avons citée auparavant. En effet, les descriptions produites par une approche descriptive analysent les acteurs, l’organisation de l’équipe, le contexte, les tâches à réaliser, la coordination, etc. Deuxièmement, la description faite, est une description de ce qui s’est passé réellement. Ce ne sont pas des histoires imaginées mais une exposition des activités qui se sont produites.

Notre contribution à l'étude des processus de conception se situe en deux parties. D'abord, la proposition pour un cadre d'analyse autour de 4 dimensions : *le produit, le processus, le problème et l'acteur*. Ces dimensions mobilisent des catégories qui nous semblent, pas exhaustives, mais au moins suffisantes pour l'analyse d'un certain nombre de catégories relevant du processus de conception. D'autre part, nous faisons une contribution à un cadre théorique à travers la modélisation du processus de création de connaissances partagées de conception en situation distribuée. Particulièrement, cette dernière contribution nous permet l'étude de situations de coopération en conception distribuée.

Bien qu'elle puisse être à caractère très technique, la conception peut également être socialement négociée par une relation directe ou indirecte avec d'autres personnes au sein du processus de conception. L'ambiguïté dans l'expression des besoins dans beaucoup de problèmes de conception signifie que les concepteurs doivent négocier ; ce qui veut dire le cahier des charges ou comprendre ce que les autres acteurs veulent dire. Le processus de création de connaissances partagée peut remédier à cette situation. Il établit un référentiel commun pour que les concepteurs puissent communiquer efficacement et arriver à des compromis. Cependant ce processus peut être freiné en fonction des différences entre les concepteurs dues à cause d'un service différent, d'une autre entreprise, d'un autre contexte social, d'un autre pays, etc. De plus, les partenaires distants semblent avoir des problèmes pour « reproduire » certains aspects informels de la vie quotidienne. Le chapitre 5 proposera un environnement d'aide à la conduite de conception collaborative pour pallier à certains manques que nous avons constatés pendant nos analyses.

6. Conclusion

L'idée des cadres de coopération introduits au chapitre 3, est d'institutionnaliser des espaces où les actions collectives informelles peuvent se développer d'une manière privilégiée à l'intérieur de ceux préconisés par l'organisation formelle. Une fois décrit le contexte de chaque cadre de coopération pour chaque expérience, nous avons présenté une description des expériences de conception par rapport aux dimensions du processus de conception : *produit, problème, processus, acteurs*. Ces dimensions nous permettent de catégoriser tous les aspects du processus de conception. Ensuite nous avons illustré les dimensions avec des exemples tirés des données de l'expérience distribuée en essayant de décrire les catégories que nous avons identifiées au tableau 4.1. Nous avons proposé un modèle de conception collaborative à distance à partir du concept de situationnisme proposé par [Gero & Kannengiesser 04]. Nous

avons désigné ce modèle comme le modèle hybride cognitif collectif. Finalement nous avons discuté sur les apports et limites des contributions de ce chapitre en ce qui concerne la coopération entre acteurs.

Les deux plus importants apports réalisés dans ce chapitre sont : D'abord, La proposition des dimensions du processus de conception et ensuite la proposition du modèle hybride cognitif collectif. Ce dernier nous a permis de caractériser plus finement les interactions entre concepteurs à travers des objets intermédiaires. Ensuite, Les dimensions du processus de conception que nous avons proposé dans ce chapitre, nous les utiliserons dans le chapitre suivant comme les fondements pour spécifier un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception collective à distance.

Chapitre 5.

Instrumentation et support de l'activité de conception collaborative.

1. Introduction

Nos travaux de recherche ont pour but la caractérisation de l'activité de conception. Cependant cette caractérisation doit s'inscrire dans des objectifs plus amples. Par exemple, la finalité peut être l'amélioration de la performance des concepteurs, l'amélioration de l'efficacité de la coopération entre les acteurs, la proposition d'un outil d'aide à la conception ou à la conduite de l'activité, etc. Dans notre cas, il s'agit de proposer un environnement de travail pour assister l'activité de conception. Notamment dans les situations où les concepteurs sont délocalisés dans des lieux différents. En effet, tel que nous l'avons montré au chapitre 3 et 4, les concepteurs passent beaucoup de leur temps à réaliser des activités de synchronisation cognitive pour parvenir à une compréhension partagée. Cette compréhension partagée peut être sur le processus, le produit, les objectifs, les acteurs, etc.

Dans ce chapitre nous discuterons sur l'importance de la synchronisation cognitive en conception, quelle est sa fonction, nous continuerons la discussion du concept d'awareness et sa relation avec la compréhension partagée. Ensuite nous discuterons sur l'inadéquation des environnements virtuels de travail actuels à propos de la dimension graphique du processus de conception. Après, nous présenterons des propositions pour diminuer l'effet séquentiel que nous avons mis en évidence dans l'expérience de conception à distance. Nous allons reprendre les dimensions de la conception que nous avons introduites au chapitre précédent lors de la proposition de l'environnement de travail virtuel. Par conséquent, nous proposerons des vues fonctionnelles des dimensions du processus, du produit, du problème et des acteurs avec l'objectif faciliter la création et le partage de connaissances communes. Nous proposerons ensuite une formalisation avec le langage UML pour rendre plus lisible la relation entre les dimensions de conception proposées.

La proposition de l'environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception est le fruit d'une réflexion et des observations que nous avons réalisées lors des expériences de conception. Notons que cet environnement n'a pas encore été testé en conditions réelles. Pour

l'instant, il demeure à l'état de maquette qui devra s'enrichir et évoluer pour s'ajuster aux pratiques réelles des concepteurs ainsi que ce déroulement du processus. Cependant cette maquette permet néanmoins de proposer les grandes lignes de ce que doit être un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception.

2. Réflexions pour l'instrumentation et support de l'activité de conception collaborative à distance

Nous avons mené une réflexion sur les environnements informatiques dans lesquelles il pourrait être conduite l'activité de conception, comme résultat de nos analyses des expériences de conception, en particulier l'expérience de conception distribuée. Nos principaux constats concernant l'expérience distribuée, sont que les concepteurs ont besoin d'assistance notamment en deux aspects. D'une part, les activités prépondérantes de synchronisation cognitive au processus de conception signalent le besoin d'assistance par rapport aux activités de création d'une compréhension partagée. D'autre part, les environnements de conception à distance actuels ne sont pas adéquats pour la conception mécanique. Dans ce chapitre nous proposerons des apports plutôt sur le premier aspect que sur le deuxième.

2.1. L'importance de la synchronisation cognitive en conception à distance

Les résultats présentés au chapitre trois ainsi que les exemples d'interactions entre concepteurs que nous avons montré au chapitre quatre, nous permettent de témoigner de la primauté des activités de synchronisation cognitive dans les activités quotidiennes des concepteurs. Les activités de synchronisation cognitive visent à créer un « référentiel opératif commun » [Darses 97]. Ces activités permettent aux participants de s'assurer qu'ils partagent une représentation commune de l'état d'un objet donné. De plus, nos résultats sont en accord avec ceux montrés par [Darses 04], [D'Astous *et al* 04], [Détienne *et al* 04] et [Guibert 04] en ce qui concerne la prépondérance des activités de synchronisation cognitive. Ainsi nous pouvons suggérer que les concepteurs passent une grande partie de leur temps, dans des activités réalisés pour comprendre et à se faire comprendre par les autres.

Si nous reprenons nos résultats du chapitre trois, c'est à dire, plus de 40% des activités des concepteurs sont dédiées à la synchronisation cognitive, nous pouvons penser que les concepteurs passent beaucoup de leur temps à développer une compréhension partagée. Si

nous voulons améliorer la performance du processus de conception, il est nécessaire de réduire ce pourcentage de temps. C'est à dire que nous devons réduire ce type d'activités au profit d'une augmentation des activités dédiées à la conception proprement dite. Une des possibles actions que nous pouvons implémenter pour réduire les activités de synchronisation est de consacrer une réunion explicative avant la conception comme le proposent [D'Astous *et al* 04]. Cependant nous pensons qu'il y aura toujours des activités de synchronisation cognitive à cause des différences et des conflits entre concepteurs. En conséquence il faut assister les acteurs pour faciliter les interactions et pour améliorer la performance des concepteurs pendant le temps dédié à ce type d'activités.

Une autre manière d'assister les acteurs, est d'améliorer l'environnement de travail des concepteurs. Ici nous ne visons pas des environnements de travail présentiels, les améliorations possibles peuvent être faites par les concepteurs eux-mêmes au moment de la réunion. Nous nous intéressons aux environnements de travail collaboratifs à distance. Nous pouvons envisager d'alléger les interactions à distance par l'amélioration de l'aspect cognitif de l'espace virtuel de travail. Nous cherchons à rendre plus aisé le processus conduisant à une compréhension partagée. [Valkenburg 98] affirme que le manque de compréhension sur le contenu de la conception freine le progrès de l'équipe de concepteurs et influe négativement dans la conception. De plus, cet auteur a identifié des barrières qui empêchent d'arriver à une compréhension partagée. L'auteur les a classifiés dans trois niveaux : barrières de l'acteur, barrières du projet et barrières organisationnelles [Kleinsmann & Valkenburg 03].

Ainsi pour arriver à une compréhension partagée les concepteurs doivent « échanger » des connaissances sur plusieurs aspects de la conception. En reprenant les dimensions que nous avons proposé au chapitre quatre, nous proposons de catégoriser ces connaissances par rapport à celles-ci : *le processus, le problème, le produit et les acteurs*. Les concepteurs doivent échanger des informations en ce qui concerne le processus qu'ils sont en train de réaliser, leur but, leurs objectifs, les attentes du client par rapport à la qualité, le coût et le délais, sur les outils qu'ils utilisent, etc. Les acteurs doivent échanger aussi des connaissances sur le problème qu'ils sont en train de résoudre. Les concepteurs doivent faire une analyse fonctionnelle des besoins du client (ou partir d'une analyse déjà effectuée), prendre en compte certaines contraintes, jouer sur certains paramètres ou variables, etc. Les matériaux des pièces du produit, leur nom, leur procédé de fabrication, leurs schémas, leur modélisation CAO, etc. sont des aspects que doivent traiter les concepteurs. Finalement les concepteurs doivent avoir connaissance de ce qui fait l'autre dans ses activités quotidiennes, à quel service il appartient,

ses compétences, son expérience. Ceci a pour objectif d'apprécier les compétences de l'autre et estimer le degré de confiance qu'il doit avoir pour la performance de ce dernier.

Dans le domaine de la psychologie des organisations, [Cannon-Bowers & Salas 01] proposent quatre dimensions similaires pour catégoriser ce qui doit être partagées lors des interactions entre les acteurs :

- des connaissances spécifiques à la tâche, par exemple, l'utilisation d'un algorithme de calcul pour calculer un effort dans une pièce spécifique,
- des connaissances relatives à la tâche, par exemple, la connaissance pour sélectionner l'algorithme antérieur,
- des connaissances sur les membres de l'équipe (savoir qui sait faire le calcul),
- et des connaissances sur les attitudes et jugements des collègues, par exemple, savoir si l'autre va à accepter les résultats de notre calcul sans discuter.

Les deux derniers types de connaissances sont de connaissances que [Larsson 05] utilise pour développer le concept de « *Engineering know-who* » pour indiquer les relations entre concepteurs en situation à distance et leurs connaissances.

« Social connectedness in global design teams is, in large part, about *Engineering Know-Who* – enabling designers to 'know who knows', 'know who to ask', and 'know who to trust', regardless of where in the world their colleagues may be located » [Larsson 05, pp 36].

Ainsi, nous soutenons l'hypothèse que les concepteurs ont besoin d'assistance pour développer une compréhension partagée. Non seulement sur le contenu de la conception mais sur d'autres aspects, bien que ne soient pas indispensables pour concevoir mais ils sont nécessaires pour mener à bien le projet de conception. En conséquence, la conscience du groupe de concepteurs sur des aspects organisationnels, fonctionnels, du processus, du produit, des acteurs, etc. est importante pour réaliser leur travail. Nous discuterons plus loin sur *awareness* ou la conscience du groupe. Cependant nous pouvons constater une compréhension partagée dans l'équipe de concepteurs quand ils utilisent un lexique similaire. Ils utilisent le même mot pour identifier le même objet ou il y a eu une discussion entre les concepteurs pour spécifier la signification de certains mots. Les significations sont donc construites collaborativement dans les négociations, discussions et argumentations que les concepteurs font dans leurs activités quotidiennes.

La coopération entre concepteurs implique que ceux-ci doivent avoir un ensemble d'objectifs partagés et communs [Sardas *et al* 00]. En conséquence la coopération entre les acteurs se réalise au moment où ils ont la même idée des objectifs à poursuivre, la compréhension similaire du processus qu'ils sont en train de réaliser, etc. Ainsi, la synchronisation cognitive ou la compréhension partagée que nous avons décrite au-dessus, est indispensable pour mener à bien le projet de conception. Notamment sur les quatre dimensions que nous proposons : le produit, le processus, le problème et les acteurs.

2.2. L'inadéquation de la dimension graphique des environnements de conception actuels

Le deuxième constat que nous avons fait à travers l'analyse de l'expérience de conception distribuée, est l'inadéquation des environnements actuels pour la conception mécanique. Les environnements virtuels actuels ne fournissent pas d'interface graphique d'utilisation facile où le concepteur peut destiner aisément. Nous avons mis en avant cette inadéquation à travers l'illustration de « l'effet séquentiel ». Nous avons constaté qu'il y a un découpage de la production du discours des concepteurs et la production des dessins (voir Figure 5.1 ainsi que le chapitre 3). En effet, notre constat est que les dessins sont introduits à la discussion entre les concepteurs par l'auteur du dessin, et non comme un dessin qui se crée en même temps que la discussion évolue. Nous déduisons que l'effet séquentiel résulte de l'utilisation des outils de communication génériques pour créer des environnements de travail virtuels partagés à distance. Les outils génériques sont centrés sur la communication entre les acteurs, et non sur la conception. En ce sens, nous sommes d'accord avec [Cicognani *et al* 97] qui trouvent aussi cette situation dans leurs études. En effet, les outils de communications génériques utilisés ne sont pas conçus pour faciliter les échanges graphiques des concepteurs mais pour faciliter les échanges verbaux. Le support graphique est très présent dans la conception, comme nous l'avons signalé au chapitre trois.

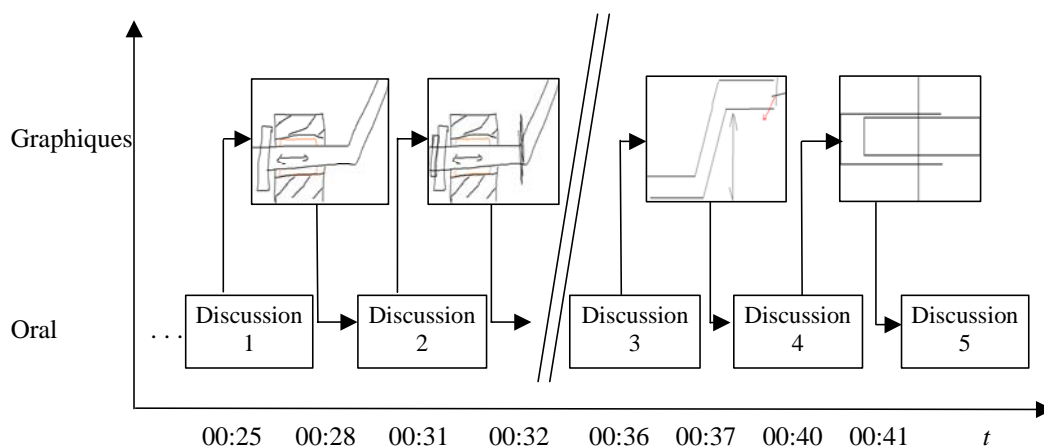


Figure 5.1. Diagramme que présente l'effet séquentiel.

[Boujut & Laureillard 02] et [Boujut & Blanco 03] ont mis en évidence dans leurs études la prépondérance des objets graphiques dans des processus coopératifs entre les concepteurs. Ces objets sont de véritables objets intermédiaires qui médiatisent la communication entre les acteurs et qui véhiculent les idées des concepteurs au moment de l'interaction. Les résultats que nous avons présentés au chapitre trois donnent la même évidence. Par conséquent, il est nécessaire de fournir aux concepteurs les outils qu'ils peuvent utiliser pour dessiner plus aisément et avec plus de fonctionnalités que le tableau blanc utilisé.

Cependant l'implémentation des améliorations aux fonctionnalités du tableau blanc doit prendre en compte les aspects de l'effet séquentiel dans des situations à distance que nous avons montré antérieurement. C'est à dire, implémenter des mesures pour diminuer l'effet séquentiel. Nous pouvons introduire, par exemple, des améliorations aux trois aspects. Le premier serait l'utilisation « obligatoire » d'une tablette graphique pour réaliser des dessins sur le tableau blanc. Un autre aspect serait l'utilisation d'un écran tactile du type agenda électronique pour faire des esquisses à l'aide d'un stylo dédié à cette tâche. Le dernier aspect serait l'amélioration des fonctionnalités déjà présentes sur le tableau blanc et l'introduction d'autres pour rendre plus aisé le processus de dessin à main levée au tableau blanc. Les deux premiers aspects impliquent des investissements au niveau matériel. Pour le premier aspect, nous devons disposer d'une tablette graphique pour chaque concepteur (délocalisé par rapport aux autres acteurs) et son logiciel, pour les utiliser couplés au tableau blanc. En conséquence, il faudrait des investissements à chaque endroit dans une tablette graphique. Pour le deuxième aspect, implique des investissements similaires au premier. C'est à dire, le concepteur doit disposer dans son ordinateur d'un écran tactile pour pouvoir dessiner. Cela se traduit par l'acquisition d'un écran tactile pour chaque concepteur. Le troisième aspect implique le

développement des lignes de programmation à introduire dans le logiciel du tableau blanc. Il faudrait programmer des améliorations telles que :

- le dessin des lignes à main levée plus faciles,
- le déplacement plus facile de un ou plusieurs objets déjà dessinés,
- le fait de supprimer un objet qui est superposé sur un autre,
- rendre plus facile l'écriture des lettres,
- rendre plus facile l'effacement des objets, etc.

Dans la suite nous discuterons sur le concept d'awareness proposé par les chercheurs des communautés de HCI (*Human-Computer Interaction*) et CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) et sa relation avec la compréhension partagée.

2.3. Importance d'Awareness

Les chercheurs en HCI et CSCW utilisent le concept d'awareness pour nommer la conscience du groupe sur certains aspects nécessaires pour mener à bien un projet. L'*awareness* est une compréhension des activités des autres qui fournit un contexte pour notre propre activité [Dourish & Bellotti 92]. Ce contexte est ensuite utilisé pour assurer que les contributions individuelles sont pertinentes à l'activité du groupe ainsi que pour évaluer les actions individuelles par rapport au progrès et objectifs du groupe. Ainsi les acteurs échangent des informations, certaines implicites et d'autres explicites, qui permettent une conscience du groupe pour : d'une part, comprendre et mesurer l'activité et la dynamique du groupe et d'autre part, situer leur propre action au sein du groupe, et ainsi de coordonner leurs propres activités avec celles des autres. Les acteurs vérifient donc les activités des autres pour prendre en compte des activités passées, actuelles, et prospectives pour organiser et conduire leur propre activité [Schmidt & Simone 96]. Pour sa part, [Gutwin & Greenberg 02] affirment que l'*awareness* peut réduire l'effort, augmenter efficacité et réduire les erreurs dans les activités de collaboration. Ensuite ils utilisent l'*awareness* en ce qui concerne l'espace de travail partagé dans un environnement virtuel pour proposer un cadre théorique à l'assistance des acteurs pour développer une conscience du groupe à trois niveaux. Les niveaux sont les suivantes : d'abord, quelles informations sont nécessaires pour l'*awareness*, ensuite, comment recueillir des informations pour l'*awareness* de l'espace de travail et finalement, comment l'*awareness* peut être utilisé pour la collaboration.

Dans une situation face-à-face, l'*awareness* ou conscience du groupe est obtenue facilement. Cependant, dans une équipe virtuelle la disparition de la co-présence entraîne la disparition de certaines informations, particulièrement les informations implicites, qui entraîne à leur tour la disparition de la conscience de groupe. Le but, dans les environnements de travail coopératif virtuel, est de reconstruire la conscience du groupe par moyen de la reproduction des situations face-à-face. [Benali *et al* 02] proposent trois types d'*awareness* : la *group awareness* a pour but de rendre tangible le travail en groupe et d'être conscient de l'état et des activités des partenaires; la *workspace awareness* se situe à un plus grand niveau de détail et permet aux utilisateurs travaillant sur les mêmes documents d'être au fait des modifications apportées par les partenaires situés dans le « même » espace de travail; enfin, la *process awareness* permet aux participants de situer leurs actions dans le contexte plus large d'un projet « global » et coordonné. Ces types d'*awareness* rejoignent le concept de *shared understanding* ou compréhension partagée que nous avons décrit précédemment ci-dessus en ce qui concerne les quatre dimensions que nous proposons. Ces aspects nous les développerons dans la section suivante. S'il existe une compréhension partagée entre les concepteurs elle peut entraîner un processus de coopération plus efficace entre les concepteurs, qui a son tour entraîne un meilleur processus de conception, voir Figure 5.2.

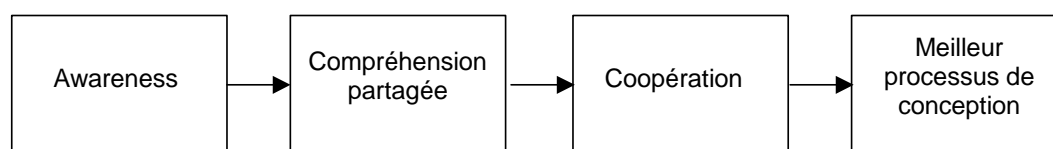


Figure 5.2. Schéma d'un processus performant de conception avec *awareness*.

Pour sa part, [MacGregor 02] dans son cadre D4D (*design for distribution*) propose de supporter l'*awareness* des concepteurs à distance sur plusieurs aspects. Par exemple, l'auteur propose de supporter les connaissances disponibles, les objectifs et performance du processus de conception, le produit, la communication réalisée par les concepteurs, les interfaces entre les concepteurs et la culture des acteurs. Cependant nous pouvons remarquer que si les concepteurs ont une *awareness* de la situation de conception, ainsi que d'autres aspects cela peut conduire à une compréhension partagée.

Dans notre cas, nous proposons l'assistance aux concepteurs pour développer une *awareness* sur les quatre dimension de la conception que nous avons introduit au , aux chapitres 3 et 4, à savoir, *le produit, le processus, le problème et l'acteur*. En effet, la conscience du groupe sur ces aspects peut permettre de faciliter la coopération et la collaboration entre les acteurs. Par

exemple, si les concepteurs ont conscience de que les pièces sont déjà conçues il n'y aura pas de gaspillage d'efforts de concevoir à nouveau les même pièces. Dans le cas des acteurs, une concepteur peut constater qui est en train de développer une activité et décider de l'aider s'il a les compétences. Une autre acteur peut démarrer une activité pour résoudre un problème spécifique si personne ne l'ai pas fait encore, etc.

3. Vers un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception

Dans les chapitres trois et quatre nous avons mobilisé les cadres de coopération pour l'analyse de l'activité collective. Dans ce chapitre nous voulons proposer une aide aux concepteurs dans la conduite de l'activité de conception. Notre but n'est pas de proposer un outil de modélisation CAO ou un outil de gestion de projet. Il existe déjà beaucoup de bons outils dédiés spécifiquement à ces tâches. Notre but est plutôt de proposer un environnement pour que les concepteurs préservent une compréhension partagée de ce qu'ils sont en train de concevoir. Nous envisageons que l'environnement conduira à une compréhension partagée du processus organisationnel de conception ainsi que des acteurs impliqués dans ce processus. Pour ce faire, nous allons reprendre les quatre dimensions de la conception que nous avons déclinées au chapitre quatre pour proposer notre environnement. Ces dimensions sont présentées au Tableau 5.1 avec des catégories définies au sein de chaque dimension.

De cette façon nous tentons de rendre plus facile l'interaction des concepteurs dans des processus coopératifs en focalisant nos contributions sur deux des quatre cadres de coopération que nous avons utilisés pour l'analyse des expériences de conception. A savoir, le cadre spatial et le cadre conceptuel. Le premier cadre analyse tout ce qui est dans l'espace que les acteurs utilisent pour coopérer. Cet espace peut être physique ou virtuel. Dans notre cas, par la proposition d'un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception, nous fournissons un espace virtuel où les concepteurs peuvent trouver des indices pour arriver à une compréhension partagée du processus de conception. Le deuxième cadre de coopération analyse des éléments qui fournissent des ponts pour que les concepteurs interagissent ensemble au niveau cognitif. Ces éléments peuvent être des concepts, des représentations, des objets et ainsi suite. Nous voulons provoquer sur les concepteurs une *awareness* sur le processus de conception, sur les acteurs qui y participent, sur le produit et sur la problématique à résoudre. Par rapport aux deux autres cadres, à savoir le cadre organisationnel et le cadre temporel, nous jouons beaucoup moins avec eux. Le premier est

défini par l'organisation formelle du processus de conception et il est en quelque sorte figé dès le départ. Les acteurs qui participeront au processus de conception, le planning, l'organisation entre les acteurs, etc. Le cadre temporel est défini par l'identification des « zones de coopération » où l'action collective se réalise dans le planning formel du projet de conception, il est donc dérivé du cadre organisationnel.

Tableau 5.1. Dimensions et catégories de la conception.

<p>Processus</p> <ul style="list-style-type: none"> But/Objectif <i>Délai</i> <i>Qualité</i> <i>Coût</i> Contexte <i>Social, économique, particulier, etc.</i> Organisation <i>Lieu</i> <i>Personnel</i> <i>Tâches</i> <i>Planning</i> <i>Coordination</i> <i>Moyens, outils</i> <i>Méthodologie/Procédures</i> <i>Structure de groupes</i> <i>Livrables</i> 	<p>Produit</p> <ul style="list-style-type: none"> Structure/Décomposition <i>Pièces/Nomenclature</i> <i>Matériaux</i> Fabrication <i>Série/Lots/Unique</i> <i>Moyens disponibles</i> <i>Procédés envisagés</i> Représentations/Niveau d'abstraction <i>Cahier des charges</i> <i>Esquisses/ Schémas</i> <i>Maquettes physiques</i> <i>Maquettes numériques</i> <i>Modèles de simulation</i> Critères d'évaluation (logique de conception)
<p>Problème</p> <ul style="list-style-type: none"> Formulation But/Objectif (locaux) Besoin Paramètres/Variables Contraintes Informations sur le problème <i>Benchmarking</i> <i>Etude de marché</i> <i>Analyse de moyens interne</i> 	<p>Acteur</p> <ul style="list-style-type: none"> Connaissances Compétence/Habilités Expérience/Expertise Rôle Statut Organisation Stratégie d'acteur (logique d'action)

Tel que nous l'avons indiqué au chapitre 4, nous faisons l'hypothèse que ces quatre dimensions traitent la plupart des aspects de la conception. Les divers éléments de la conception s'organisent dans un *processus* de conception autour des acteurs, des tâches à accomplir, des ressources, etc. Ainsi un *produit* structuré de plusieurs composants émergera des négociations et confrontations de points de vue de plusieurs acteurs. Ce produit doit répondre à un besoin, donc il y a un *problème* à satisfaire défini d'une certaine façon par des

contraintes exprimées dans le cahier des charges. Finalement, les *acteurs* jouent un rôle importante dans le processus de conception.

Néanmoins, nous considérons que les dimensions de la conception ne sont pas statiques ou figées. Par contre, elles évoluent au fur et à mesure que le processus de conception avance vers l'aboutissement d'une solution. Notamment les dimensions du problème et du produit. Les représentations du produit varient en fonction de l'avancement du projet, généralement elles vont d'un niveau conceptuel vers un niveau détaillé. Le problème peut évoluer lui aussi en fonction des compromis et de la confrontation des points de vue des concepteurs. Dans la suite nous décrivons l'utilisation des quatre dimensions pour proposer un environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception à distance.

3.1. La dimension Processus

Cette dimension propose de montrer une conscience du groupe en ce qui concerne le processus de conception. Nous pouvons remarquer dans le tableau 5.1 que nous groupons les catégories qui correspondent à cette dimension en trois niveaux : les objectifs, le contexte et l'organisation. Le premier niveau correspond à l'objectif à atteindre pour le processus de conception. Celui-ci peut s'exprimer comment « concevoir un produit qui a X coût » « dans un X délai » et « concevoir un produit de qualité ». Ces catégories peuvent être exprimées dans le cahier des charges. Cependant nous pouvons aussi introduire une nuance par rapport à ces trois catégories, elles peuvent aussi représenter le délai, le coût et la qualité du processus de conception lui-même. En ce qui concerne le deuxième niveau, il considère le contexte dans lequel le processus de conception sera réalisé. Par exemple, l'entreprise (ou l'équipe de concepteurs) qui réalise la conception se trouve dans une stratégie de concurrence, dans une stratégie de différenciation ou dans une stratégie d'innovation par rapport à d'autres entreprises. Ceci implique des démarches de conception du type routinière, variante ou innovatrice. L'entreprise a une bonne situation financière ou au contraire, elle est en train de perdre de l'argent ? Nous pouvons aussi trouver des situations dans lesquelles l'entreprise est bien établie ou par contre, elle est rachetée par un autre groupe. Le processus de conception impliquerait des fournisseurs et des sous-traitants ? Etc. Il existe une infinité de situations que nous pouvons envisager en ce qui concerne le contexte dans lequel le processus de conception se déroulera.

Le troisième niveau concerne l'organisation du processus de conception. Plusieurs facteurs peuvent être pris en compte pour le déroulement de la conception. Par exemple, à quel endroit le processus a lieu, dans quels bureaux, dans la même entreprise, sur le même site, sur des sites distants et ainsi de suite. Un autre aspect est le personnel, il serait le personnel d'un seul service ? De plusieurs ? Sur plusieurs sites ? De plusieurs entreprises ? De fournisseurs ? De plusieurs pays ? Il y a des besoins particuliers par rapport à l'organisation des gens ? En ce qui concerne les tâches à réaliser, Combien sont-elles ? Qui vont les faire ? Quelle est l'échéance ? Dans quelle séquence ? Avec quelles ressources ? Comment les gens vont-ils se coordonner ? Il y a des besoins particuliers pour développer une tâche ? Avec quels outils ? Qui est le responsable du projet ? A qui doit-il informer ? Il y a-t-il des jalons dans l'organisation ? Qui est le client ? En ce qui concerne la méthodologie ou procédure à utiliser, Est-ce que nous allons utiliser une procédure déjà établie dans l'entreprise ? Est un cas spécial qui a besoin d'une procédure spéciale ? Il n'y a pas de procédure ? Par rapport aux livrables nous pouvons nous demander : Quels sont-ils ? Pour quand ? Des plans 2D ou de modélisations CAO ? Quels types d'analyses doivent-ils inclure ? Quels points doivent-ils attaquer ? Avec quel formalisme ? Nous pouvons prolonger la liste jusqu'à l'énumération de plusieurs aspects qui définissent l'organisation du processus de conception.

L'ensemble des aspects évoqués ci-dessus nous permettent de traiter la plupart des aspects du processus. Cependant il faut répondre à plusieurs questions : Quelle est la représentation plus appropriée pour symboliser le processus de conception ? Comment doit-elle être pour fournir une *awareness* du processus entre les concepteurs d'une manière facile ? Il est évident que le concepteur gère un certain nombre de données et d'informations au cours du processus. Comment devons-nous fournir une *awareness* sans ajouter plus de charge cognitive au concepteur ? Nous pensons que la représentation la plus simple est celle qui a une charge cognitive minimale à ajouter aux processus cognitifs du concepteur. En conséquence, une représentation classique du processus avec une liste de tâches à développer semblerait la représentation la plus adéquate. Cependant pour que cette liste soit efficace elle doit répertorier des activités au niveau microscopique. A savoir des activités que l'équipe de travail s'est donnée pour mener à bien leur projet. Ainsi le groupe peut savoir où il est par rapport aux activités à réaliser.

La Figure 5.3 présente un exemple de vue fonctionnelle du processus de conception avec une checklist. Nous pouvons constater qu'il y a quatre colonnes. La première pour indiquer le planning de l'équipe. La deuxième pour montrer les activités déjà faites, symbolisées par des

carreaux bleus. La troisième pour présenter les activités en cours, symbolisées par des carreaux verts. Et la quatrième pour indiquer les activités à réaliser, symbolisées cette fois-ci pour des carreaux rouges. Nous pouvons envisager de localiser dans cette checklist un lien qui nous présentera par exemple, une autre fenêtre avec le planning global du projet de conception, les dates de début et de fin et ainsi que les jalons du projet.

Activité	Déjà faite	En cours	À faire
Design arceaux	■		
Conception liaison timon-châssis		■	
Design châssis		■	
Calcul de coefficient de sécurité	■		
Sélection de matériaux			■
Faire devis			■

Figure 5.3. Exemple de vue fonctionnelle de la dimension du processus.

Nous pouvons envisager des fonctionnalités plus complexes pour la représentation proposée. Par exemple nous pouvons faire l’affichage des délais des tâches à réaliser dans une couleur différente de celle pour les tâches planifiées, réaliser l’affichage dynamique des tâches en cours de réalisation, inclure des jalons dans le diagramme de barres, etc.. Cependant ce que nous cherchons est de maintenir la conscience de groupe sur le déroulement du processus sans ajouter plus de charges cognitives aux acteurs, tel que nous l’avons signalé au-dessus. Plusieurs de ces fonctionnalités ainsi que d’autres peuvent se présenter d’une autre façon. Nous pouvons montrer une liste de toutes les catégories que nous avons défini pour cette dimension, au travers d’une liste détaillée qui s’afficherait au moment de cliquer sur l’icône de la dimension du processus. Ainsi les concepteurs peuvent consulter, s’ils le souhaitent, les détails du processus de conception.

3.2. La dimension Acteurs

Cette dimension propose de maintenir une conscience du groupe en ce qui concerne les acteurs. Il est évident que dans le processus de conception, il y aura la participation de plusieurs acteurs. Avec l’introduction des concepts d’ingénierie concourante dans les entreprises, la conception se réalise de plus en plus en plateaux projets. Ainsi le chef de projet a la responsabilité de mener à bien le projet de conception. Autour de lui, une équipe d’acteurs se compose pour l’aider à résoudre la problématique de conception. Les acteurs seront de plusieurs services, et par conséquent, des compétences et habilités différentes. C’est à dire, un concepteur du bureau d’études a des compétences totalement différentes d’un

concepteur du bureau de méthodes. En plus, le vécu de chaque acteur le différencie aussi par les connaissances qu'il possède. Par exemple, une personne qui a fait du codage dans un langage de programmation sait que pour faire une application, il doit d'abord développer un algorithme. Ensuite faire la translation de cet algorithme vers un pseudo code, finalement, faire le codage dans le langage choisi. En fonction de l'évolution de la carrière professionnelle de chaque acteur, celui-ci aurait une certaine expérience ou expertise dans un domaine particulier. Cette expertise développée lui servira pour faire face à des situations auxquelles il doit trouver une solution. Ainsi il va résoudre la problématique plus facilement selon son niveau d'expertise. D'un autre côté, le concepteur fait partie d'une équipe de conception au sein de laquelle il jouera un rôle en fonction du service auquel il appartient.

Un des aspects importants dans l'affichage des informations dans la dimension d'acteur, est l'aspect de la confidentialité. Jusqu'où aller par rapport à l'affichage des informations relatives à une personne ? Des données d'adresse ou de numéro de téléphone particulier par exemple, peuvent être des informations que les gens ne sont prêtes à partager avec les autres membres de l'équipe. Ainsi, il faudrait que l'équipe se mette d'accord pour décider quel type d'informations peuvent s'introduire et afficher dans l'environnement de travail collaboratif.

La figure 5.4 présente un exemple d'une vue fonctionnelle du réseau des acteurs qui participent à la conception d'un produit. Nous pouvons constater dans la figure que le réseau d'acteurs est rassemblé autour du chef de projet. Nous avons choisi de le représenter dans une autre couleur que le reste des acteurs pour indiquer qu'il a la responsabilité du projet de conception. Nous avons représenté les autres acteurs autour de lui. Nous pouvons remarquer dans la figure que présente seulement le nom et le poste du concepteur pour le réseau d'acteurs. Ceci est dû à la charge cognitive que nous avons discutée au-dessus. Ainsi si nous cliquons sur un acteur il s'affichera une autre fenêtre avec toutes les catégories et informations que nous avons définies pour la dimension acteur. Cependant si le curseur de la souris est posé juste au-dessus de l'acteur sans cliquer, il s'afficherait l'entreprise et le service dans lequel le concepteur travaille (voir Figure 5.4).

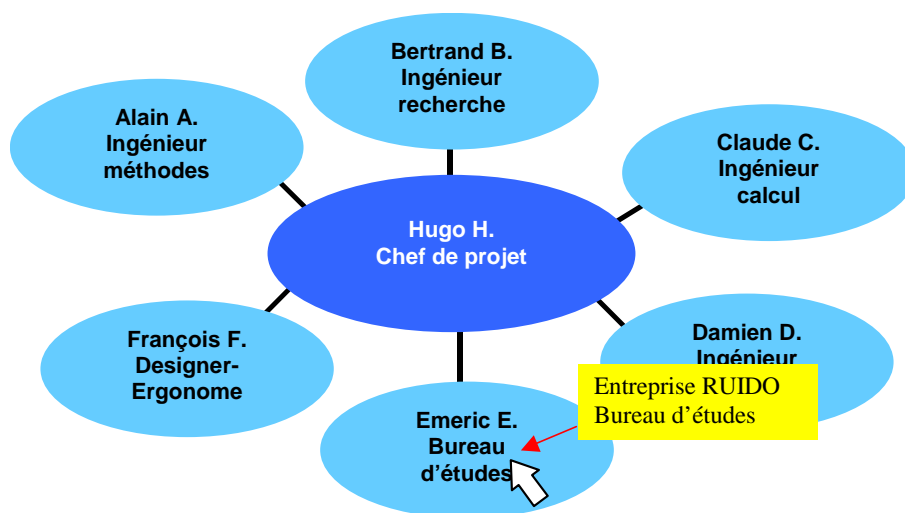


Figure 5.4. Exemple de la vue fonctionnelle de la dimension de l'acteur.

3.3. La dimension Produit

Il est évident que tout processus de conception vise à produire la description d'un produit. Cette description peut être réalisée de plusieurs manières : d'une façon structurale, organisationnelle, fonctionnelle et ainsi de suite. Pour ce faire, les concepteurs interagissent ensemble pour négocier des compromis dans la production d'une solution. La troisième dimension que nous proposons traite les aspects concernant le produit. Celui-ci va être détaillé au fur et à mesure que le processus de conception avance. Ainsi sa structure est composée de plusieurs pièces qui une fois assemblées, fourniront les prestations qui sont exprimées dans le cahier des charges. C'est à partir de celui-ci et des métiers impliqués dans le processus de conception que plusieurs critères de d'évaluation vont émerger pour évaluer le produit. C'est à dire, les contraintes exprimées dans le cahier des charges fournissent des critères d'évaluation établis par le client. Mais d'autres critères vont apparaître comme résultats des apports concepteurs ainsi que de la confrontation des points de vue des acteurs.

Les concepteurs peuvent aussi être amenés à discuter sur le procédé de fabrication du produit. Ainsi des aspects comme les types de procédés qui seront utilisés pour la fabrication du produit ainsi que les machines disponibles dans l'entreprise doivent être pris en compte par les acteurs. Si les procédés envisagés n'existent pas il faudrait concevoir aussi les machines qui seront capables de produire le produit. De plus, si l'entreprise n'a pas les machines nécessaires ou si elle envisage de sous-traiter la fabrication, il faudrait spécifier certains aspects pour que les fournisseurs livrent les prestations requises. D'un autre côté, plusieurs productions de représentations du produit peuvent être créées pendant le processus de conception. Ces représentations peuvent être sous un format physique, comme le papier ou un

tableau blanc ou sous un format numérique comme un fichier CAO. Il existe plusieurs types de représentations : graphiques, textuelles, schématiques, modèles de simulation, mathématiques, etc.

La Figure 5.5 montre un exemple de vue fonctionnelle du produit. Tel que nous l'avons développé auparavant, le produit peut être décrit de plusieurs manières. Ceci peut aller des représentations textuelles, des arbres, des graphiques, des modèles CAO, etc. Nous avons ici choisi de représenter le produit de façon graphique. Un dessin est plus « parlant » qu'un texte ou un document. C'est à dire, quelqu'un qui observe un graphique est capable de l'interpréter d'un simple regard. Par contre, si la représentation est textuelle, la personne doit investir du temps pour lire et saisir le propos du texte. Dans notre cas, nous avons mis un graphique presque complet du produit à concevoir (la remorque VTT des expériences de conception). Notre propos est de fournir des pistes aux concepteurs pour qu'ils repèrent facilement leur espace d'action et pour qu'ils se rendent compte de la complétude du produit.

Nous avons couplé la vue fonctionnelle de la dimension du produit à celle de la dimension de l'acteur. Nous avons fait ceci par deux raisons : d'abord, en fonction de l'espace disponible dans l'environnement virtuel de travail, et d'autre part, pour représenter que le produit est le résultat du travail de plusieurs personnes groupées dans une équipe projet. Il est envisageable de réaliser d'autres vues fonctionnelles du produit, néanmoins celles-ci nous ont semblé plus parlantes. De la même manière que dans les dimensions de l'acteur et du processus, nous pouvons considérer que nous pouvons cliquer sur la représentation du produit. Cette action nous conduira vers une autre fenêtre dans laquelle nous contemplerons une autre représentation du produit. Par exemple cette représentation peut être une arborescence du produit similaire à celle qui se présente dans un logiciel CAO ou un Système de Gestion de Données techniques, etc.

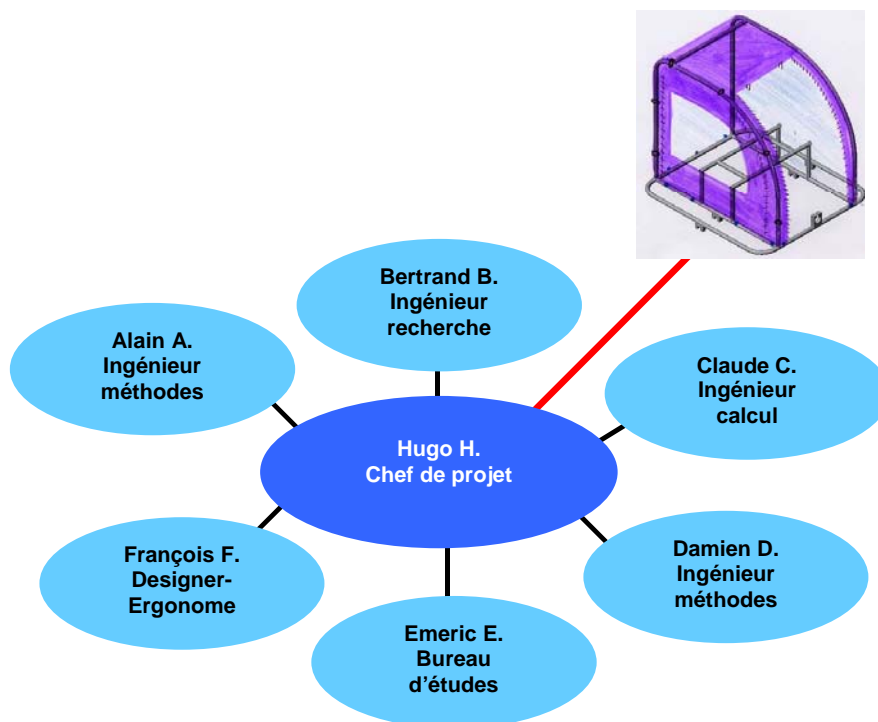


Figure 5.5. Exemple de la vue fonctionnelle de la dimension du produit.

3.4. La dimension Problème

Un produit conçu doit répondre à un besoin. La quatrième dimension de la conception que nous proposons est le problème. Ce problème est la traduction des besoins du client dans un cahier des charges. Ainsi il est nécessaire de faire une analyse de besoins ou une analyse fonctionnelle pour mieux spécifier les fonctions que le produit doit satisfaire. Ces fonctions sont raffinées dans un processus en trois étapes : l'identification, l'expression et la caractérisation. Cette dernière étape consiste à quantifier les fonctions à l'aide de critères et de valeurs. De plus, il peut y avoir des informations additionnelles disponibles pour les concepteurs et relatives à un problème posé. Par exemple une étude de *benchmarking* peut fournir des informations sur la performance d'un concurrent sur un certain aspect ou procédé. Une étude de marché offre des données sur la disposition du marché à accepter un produit avec certains fonctionnalités. Une analyse de moyens internes fournit des informations sur les ressources disponibles pour fabriquer un produit dans notre atelier de production.

La Figure 5.6 présente un exemple de vue fonctionnelle du problème. Nous avons choisi d'utiliser le diagramme de pieuvre pour cette dimension de la conception. Nous pouvons utiliser d'autres représentations comme le cahier des charges ou comme un ensemble des contraintes exprimées au cahier des charges. Néanmoins nous voulons rendre visible les relations entre les différents milieux extérieurs et le produit ainsi que les fonctions relatives au

produit. De même que dans le reste des dimensions nous pouvons envisager de renvoyer l'utilisateur sur d'autres représentations du problème. Celles-ci peuvent être le cahier des charges, la liste de contraintes, etc.

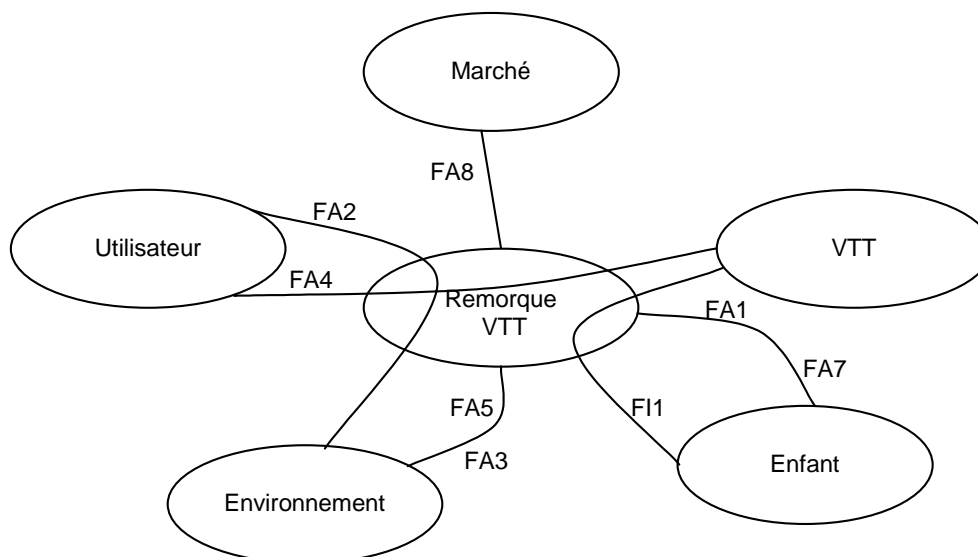


Figure 5.6. Exemple de vue fonctionnelle de la dimension du problème.

Nous décrivons par la suite la modélisation UML de l'environnement de travail virtuel et nous présenterons une illustration de l'environnement en utilisant le logiciel NetMeeting. Dans cette dernière description nous présenterons les différentes fenêtres des fonctionnalités de NetMeeting avec les représentations des vues fonctionnelles des dimensions de la conception proposées.

3.5. Modélisation de l'environnement de travail virtuel

Nous avons choisi de formaliser les 4 dimensions de la conception que nous proposons avec le langage UML [Booch *et al* 03]. Pour ce faire nous les présentons dans un diagramme de classes (Figure 5.7). Celui-ci montre la relation entre classes d'objets. Dans notre cas, les classes sont les dimensions de conception et un objet est une instance de la classe. A savoir, le processus, le produit, l'acteur et le problème. Un processus donné de conception est associé à un produit et vice versa. Un processus de conception est associé à (ou peut avoir) plusieurs problèmes. Un acteur peut être associé à plusieurs processus de conception et un processus de conception peut être associé à plusieurs acteurs. Un produit peut être associé à plusieurs acteurs. Un acteur peut être associé à plusieurs produits. Un acteur peut être associé à plusieurs problèmes et un problème peut être associé à plusieurs acteurs.

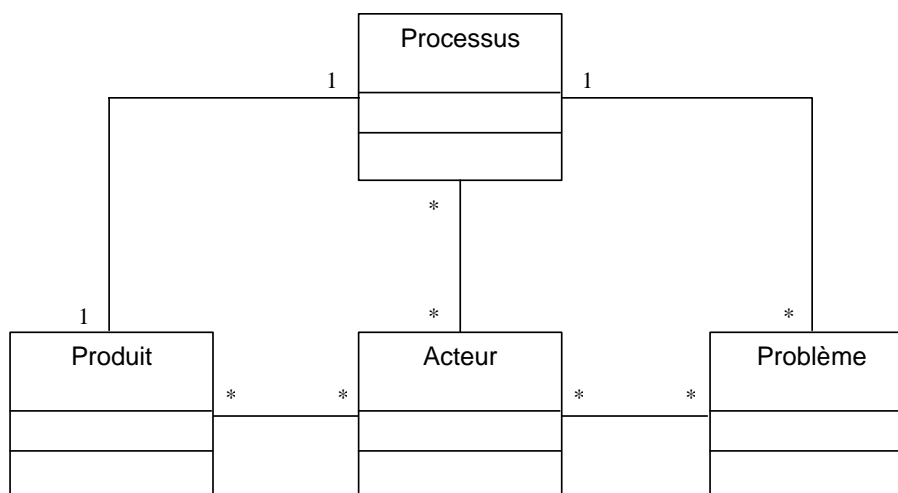


Figure 5.7. Modélisation UML de classes de l'environnement de travail virtuel.

Nous présentons dans la figure antérieure seulement les dimensions de conception. Nous pouvons ajouter à ce diagramme d'autres classes comme les outils, les connaissances, les contraintes, les représentations etc. Nous pouvons aussi montrer d'autres classes d'objets contenues dans l'environnement informatique. Cependant nous voulions montrer seulement les dimensions de conception pour rendre plus claire la formalisation.

La Figure 5.8 présente un exemple d'illustration de l'environnement de travail virtuel proposé. Nous avons choisi d'utiliser NetMeeting en fonction de que ce l'outil qui a été utilisé pendant les expériences de conception. Néanmoins d'autres environnements informatiques de travail virtuel pourraient être utilisés. Nous présentons dans la figure les différentes fonctionnalités de NetMeeting. A savoir le tableau blanc, le chat, le transfère de fichiers. En bas et à droit de la figure nous présentons les vues fonctionnelles des dimensions de conception. D'abord, nous montrons la vue fonctionnelle du produit couplée à la vue fonctionnelle du réseau des acteurs. Comme nous l'avons expliqué auparavant, nous faisons ceci avec l'objectif de minimiser l'espace requis pour l'affichage de l'ensemble des vues fonctionnelles. Ensuite nous présentons la vue fonctionnelle du problème et finalement la vue fonctionnelle du processus.

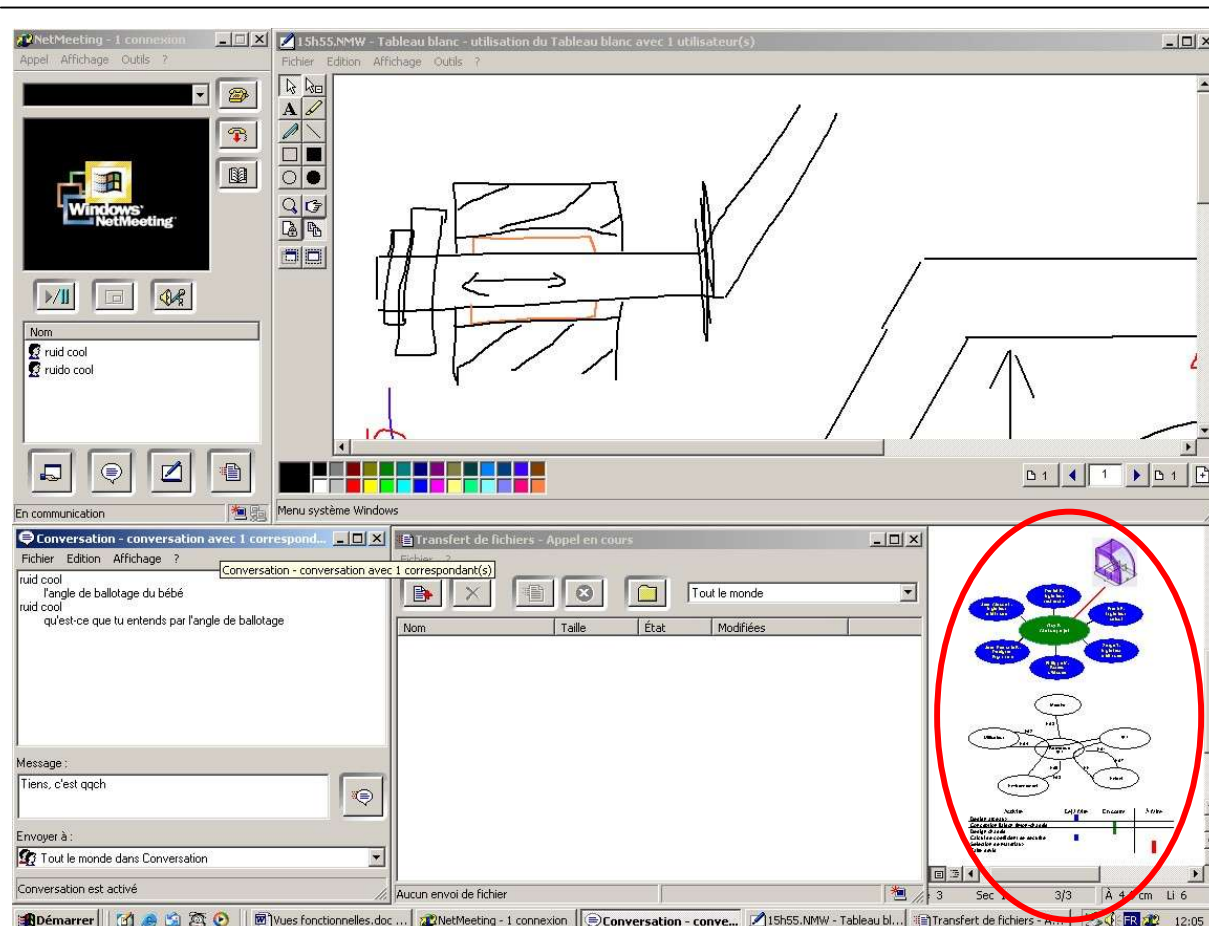


Figure 5.8. Exemple de l'environnement de travail virtuel avec les vues fonctionnelles des dimensions de la conception

Nous avons choisi d'utiliser des graphiques pour la représentation des dimensions de conception. Cependant si nous voulions utiliser un document texte pour la représentation des dimensions, Quelle est la représentation la plus appropriée ? [Gutwin & Greenberg 02] proposent une vue de radar pour les documents textes. Cette vue fonctionne comme un radar aéronautique. Il donne la position d'un objet dans un espace donné. Dans le cas d'un document texte, cette fonctionnalité fournit la vue globale du document. Ensuite la vue donne la position de chaque acteur par rapport à la totalité du document. De cette manière, les participants qui sont en train de regarder le document peuvent savoir à quel endroit sont les autres participants.

4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté sur l'importance de la synchronisation cognitive et le compréhension partagée que les concepteurs doivent avoir pour arriver à des compromis dans le processus de conception. Le manque de compréhension partagée ralentit le processus de conception et influe négativement dans la conception. Ensuite nous avons discuté sur la

dimension graphique des environnements virtuels de travail actuels. L'utilisation des outils de communication génériques ne permet pas une interaction aisée des concepteurs en ce qui concerne les échanges graphiques. Nous avons montré cette situation aux chapitres trois et quatre, et dans ce chapitre nous avons proposé des améliorations pour diminuer l'effet séquentiel. Après, nous avons discuté sur l'importance de l'*awareness* ou la conscience du groupe pour la compréhension partagée. Puis, nous avons proposé un environnement de travail virtuel autour des quatre dimensions de la conception : *le produit, le processus, le problème et les acteurs*.

Bien qu'elle soit une activité de contenu très technique, la conception peut être négociée socialement par relation directe ou indirecte des acteurs au processus de conception. Nos résultats sont liés aux interactions avec les autres, et notre activité à son tour, peut avoir des conséquences sur l'activité des autres. L'ambiguïté dans l'expression des besoins du client, la nature « problématique » des projets ainsi que la confrontation des points de vue des acteurs dans le processus de conception, rendent nécessaire le traçage des choses pour arriver à une compréhension partagée. Cette compréhension partagée est le résultat de l'interaction entre les concepteurs. A l'ère de l'entreprise globalisée, la compréhension partagée pose des problèmes par la distribution sociale, géographique et temporelle de connaissances. De plus, dans une situation distribuée les concepteurs semblent avoir plus de mal à engager des activités informelles quotidiennes avec les collègues distants. En conséquence, il s'avère qu'il y a une nécessité d'assister les interactions des concepteurs dans des situations distribuées.

Ainsi nous déduisons qu'il existe un réel besoin de re-penser la manière d'assister les concepteurs dans ce processus social, notamment lors de la création de visions partagées dans des situations distribuées. A partir de là, nous avons proposé un environnement d'assistance à la conduite de l'activité de conception basé sur quatre dimensions de la conception : *le produit, le processus, le problème et les acteurs*. Celui-ci permet à nos yeux, d'une part, de couvrir le processus de conception dans son ensemble et d'autre part d'agir sur le cadre conceptuel mobilisé par les concepteurs.

Conclusions et Perspectives

Dans ce travail de thèse nous nous sommes intéressés à la problématique de la coopération entre les concepteurs à distance. Pour étudier les mécanismes de coopération nous avons utilisé deux situations de conception : Une situation co-localisée et une situation à distance. Il existe peu d'études qui réalisent ce type d'analyse. De plus, nous avons utilisé une approche d'étude un peu particulière. Nous avons réalisé une analyse de protocole des situations de conception en la complétant avec une analyse qualitative. Ensuite nous présentons un bilan de notre contribution à la conception intégrée des systèmes mécaniques et quelques perspectives de nos travaux de recherche.

Une des contributions de notre travail est le fait de mettre en lumière l'effet séquentiel. Cet effet est provoqué par l'utilisation des outils de communication génériques dans la conception mécanique. Ceux-ci ne sont pas adaptés à la dimension graphique du processus de conception. Les outils génériques sont centrés sur la communication entre les acteurs, et non sur la dimension graphique de la communication. En effet, nous avons mis en évidence la primauté des activités graphiques sur d'autres types d'activités. Nous avons proposé quelques actions pour réduire cet effet séquentiel.

Un autre aspect de notre contribution est la modélisation des interactions des acteurs dans le processus de conception à travers des objets intermédiaires. Le modèle cognitif collectif est le résultat de cette modélisation. Nous avons étudié les interactions des concepteurs dans une situation distribuée. Ceci nous a permis de rendre compte des mécanismes de coopération entre les concepteurs, la coopération se faisant par moyen des objets intermédiaires. Ainsi nous avons repris les notions de situationnisme et d'objet intermédiaire pour la proposition de notre modèle. De ce fait, la conception est une série de processus d'interprétation, de focalisation et d'actions qui ont lieu entre les concepteurs. Le résultat de cette série continue de processus est la compréhension partagée entre les acteurs sur un certain aspect de la conception. Dans une situation face-à-face, le développement d'une compréhension partagée semble plus naturelle que dans une situation où les concepteurs sont éloignés géographiquement. Dans ce cas, les concepteurs doivent fournir plus d'explications pour arriver à cette compréhension, principalement dans les environnements pauvres en communication visuelle. La communication perdant les dimensions que ce moyen peut

véhiculer, tels que des gestes, l'environnement de travail, les personnes présentes, l'attitude des autres, etc.

Un autre point de notre contribution est la proposition des dimensions de conception. Ces dimensions sont le produit, le processus, le problème et les acteurs. Nous pensons qu'avec les catégories que nous avons définies au sein des dimensions, celles-ci comprennent la totalité des aspects de la conception. Il est évident que le processus de conception est réalisé pour obtenir à la fin des spécifications d'un produit et celui-ci doit répondre aux besoins du client. Les spécifications sont produites par les acteurs de plusieurs domaines impliqués dans la conception et chaque processus de conception est unique dans son déroulement, temporel, avec une organisation d'activités particulière, et avec un certain nombre d'acteurs. Finalement, le problème à traiter dans chaque processus de conception est différent. Le problème que pose la conception d'un ordinateur n'est pas le même que celui posé par la conception d'une navette spatiale.

Notre dernier apport à la contribution à la conception des systèmes mécaniques est l'environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception. Cet environnement est imaginé à partir des dimensions de conception mentionnées ci-dessus. Notre objectif pour proposer cet environnement est de fournir assistance aux concepteurs dans le processus de construction d'une compréhension partagée. De cette manière nous pensons répercuter sur le cadre conceptuel et le cadre spatial des cadres de l'action collective. Cependant le processus de construction de la compréhension partagée est un processus social que nous devons prendre en compte au moment de la réalisation de l'environnement informatique. Ainsi nous sommes obligés de reconsidérer la manière d'assister les concepteurs pour la création des visions partagées dans des situations distribuées.

Nos travaux de thèse constituent un objet intermédiaire qui, nous espérons, sera un support pour des actions de recherche ultérieures. Par la suite nous formaliserons quelques perspectives sur trois niveaux que nous pensons sont viables pour des futures recherches.

A court terme nous proposons trois perspectives. D'abord, la caractérisation de la totalité des réunions des expériences de conception. En effet, nous n'avons pas réalisé d'analyse microscopique de toutes les réunions faute de temps. Ensuite, à partir de la proposition que nous offrons, il faudrait programmer et réaliser une maquette de l'environnement d'aide à la conduite de l'activité de conception à distance. Nous avons établi des spécifications pour cet

environnement. La spécification est sur papier. Cependant nous ne sommes pas arrivés au stade du développement de la maquette informatique. Pour la validation du modèle cognitif collectif que nous proposons au chapitre quatre, nous avons dérivé notre modèle à partir des interactions des concepteurs dans des expériences de conception. Il convient de valider notre modèle dans d'autres situations. Ceci permettra de tester la généralité du modèle. La confrontation avec les pratiques industrielles permettra de valider ou non la pertinence du modèle.

A moyen terme nous envisageons deux perspectives :

D'abord, une fois la maquette informatique de l'environnement réalisée, il est nécessaire de la mettre en place. L'objectif est de tester sa fiabilité et son fonctionnement, son acceptation par les concepteurs et l'utilité de l'environnement. Si l'outil informatique est mal conçu, il ne servira pas à la finalité pour laquelle il a été créé. Pour faciliter le processus il convient de développer une compréhension partagée entre les concepteurs. Néanmoins, l'efficacité de l'environnement est étroitement liée à l'appropriation que les acteurs feront de l'outil. En effet si l'environnement informatique est bien fait mais qu'il n'est pas mis en usage par les concepteurs cet outil aura peu d'utilité. Il faut prendre soin de bien réaliser le cycle de conception, d'implantation et d'usage.

Ensuite, la deuxième perspective est pour affiner les dimensions de la conception, nous avons proposé des catégories au sein des dimensions afin de prendre en compte plusieurs aspects de la conception. Cependant nous pensons que cette liste n'est pas exhaustive, d'autres aspects méritent d'être intégrés dans ces dimensions. De plus, il se pourrait que certaines catégories puissent changer de dimension.

A long terme nous envisageons l'analyse de plus de situations à distance. Ceci nous permettra de mieux connaître l'activité de conception, notamment l'activité de conception à distance. Cette connaissance nous permettra d'une part, d'avoir une meilleure compréhension du processus de conception à distance et d'autre part, de proposer des outils mieux adaptés à l'usage réel des concepteurs.

A travers la réalisation de ces perspectives, nous pouvons dire qu'un cycle de recherche est réalisé. Au chapitre 2 nous avons passé en revue quelques méthodologies de recherche en conception. Nous avons situé nos travaux comme une partie d'un cycle de recherche selon

[Blessing 02] ou [Brissaud *et al* 03]. L'accomplissement des perspectives permettra de « boucler la boucle » par rapport à nos travaux de recherche.

Références bibliographiques

- [Ackerman 00] **Ackerman, M.S.**, « The intellectual Challenge of CSCW: The gap between social requirements and technical feasibility », *Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 15, No. 2-3, 2000, pp 179-204.
- [Ahmed *et al* 03] **Ahmed, S, Wallace, K.M., Blessing, L.T.M.**, « Understanding the differences between how novice and experienced approach design tasks », *Research in Engineering Design*, Vol. 14; No. 1, 2003, pp. 1-11.
- [Anghel *et al* 03] **Anghel, D., Boudouh, T., Garro, O., Ungureanu, I.**, « Etude expérimentale des iterations dans le processus de conception », *Actes du 8ème Colloque PRIMECA*, La Plagne, France, 2003.
- [Baird *et al* 00] **Baird, F. Moore, C.J., Jagodzinski, A.P.**, « An ethnographic study of engineering design teams at Rolls-Royce Aerospace », *Design Studies*, Vol 21, No. 4, 2000, pp 333-355.
- [Ball & Ormerod 00] **Ball, L.J., Ormerod, T.C.**, « Applying ethnography in the analysis and support of expertise in engineering design », *Design Studies*, Vol. 21, No. 4, 2000, pp. 403-421.
- [Benali *et al* 02] **Benali, K., Bourguin, G., David, B., Derycke, A., Ferraris, C.**, « Collaboration/Coopération », *Actes des 2èmes Assises Nationales GdR13*, Nancy, France, 2002.
- [Betbeder & Tchounikine 01] **Betbeder, M.L., Tchounikie, P.**, « Analyse d'une activité médiatisée collective visant à favoriser la création d'une communauté d'apprenants », *Actes des 12èmes journées francophones d'Ingénierie de Connaissances*, Grenoble, France, 2001, pp. 389-408.
- [Blanco 98] **Blanco, E.**, « *L'émergence du produit dans la conception distribuée: Vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques* », Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, France, 1998.
- [Blessing 94] **Blessing, L.T.M.**, « *A process-based approach to computer-supported engineering design* », Thèse de doctorat de l'Université de Twente, Pays-Bas, 1994.
- [Blessing 96] **Blessing, L.T.M.**, « Comparison of design models proposed in prescriptive literature », in *The role of design in the shaping of technology, Proceedings of the COST A4 workshop*, D. Vinck, J. Perrin (Eds), 1996, pp 187-212.

- [Blessing 02] **Blessing, L.**, « What is this thing called Design Research », *Annals of the International CIRP Design Seminar*, Hong-Kong, Chine, 2002.
- [Blessing & Chakrabarti 02] **Blessing, L., Chakrabarti, A.**, « DRM: A Design Research Methodology », *International Conference 'The Sciences of Design'*, Lyon, France, 2002.
- [Blessing et al 98] **Blessing, L.T.M., Chakrabarti, A., Wallace, K.**, « An overview of descriptive studies in relation to a general design research methodology », in *Designers – The key to succesful product developpement*, E. Frankenberger, P. Badke-Schaub, (Eds), Springer Verlag, 1998, pp 56-70.
- [Blomberg et al 93] **Blomberg, J., Giacomi, J., Moshcer, A. Swenton-Wall, P.**, « Ethnographic field methods and their relation to desing », in *Participatory design. Principles and practice*, Schuler, D. & Namioka, A (Eds), 1993, Laurence Erlbaum, Hillsdale, NJ, pp 123-155.
- [Booch et al 03] **Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I.**, « *Le guide de l'utilisateur UML* », Editions Eyrolles, Paris, France, 2003.
- [Boudouh et al 04] **Boudouh, T, Anghel, D-C, Garro, O.**, « An experimental study of iteration in the design process », *Proceedings of IDMME'04*, Bath, UK, 2004.
- [Boujut et al 00] **Boujut, J-F, Cavaillé, J-B, Jeantet, A.**, « Instrumentation de la coopération », *Actes des 2èmes Journées Prosper Gestion de Connaissances, Coopération, Méthodologies de recherché interdisciplinaire*, Toulouse, France, 2000.
- [Boujut 01] **Boujut, J-F**, « *Des outils aux interfaces. Pour le développement de processus de conception coopératifs* », Thèse d'Habilitation à Diriger de Recherches de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2001.
- [Boujut 02] **Boujut, J-F**, « Annotation and knowledge creation », *Proceedings of Design 2002*, Dubrovnik, Croatia, 2002, pp 301-306.
- [Boujut & Blanco 03] **Boujut J-F, Blanco, E.**, « Intermediary objects as a means to foster co-operation in engineering design », *Computer Supported Collaborative Work*, Vol. 12, No. 2, pp 205-219.
- [Boujut & Laureillard 02] **Boujut J-F, Laureillard P.**, « A co-operation framework for product-process integration in engineering design », *Design Studies*, Vol. 23, No. 5, 2002, pp 497-513.
- [Boujut & Tiger 02] **Boujut, J-F, Tiger, H.**, « A socio-technical research method for analysing and instrumenting the desing activity », *Journal of Design Research*, Vol. 2, No. 2, 2002, disponible en :

- <http://jdr.tudelft.nl/articles/issue2002.02/article5.html> (visité le 23 février 2005).
- [Brissaud & Garro 96] **Brissaud, D., Garro, O.**, « An approach to Concurrent Engineering using distributed design methodology », *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol. 4, No. 3, 1996, pp 303-311.
- [Brissaud *et al* 03] **Brissaud, D., Choulier, D., Garro, O., Prudhomme, G.**, « An applied methodology framework for engineering design research », Document Interne Laboratoire 3S et Laboratoire M3M, 2003.
- [Brossard *et al* 97] **Brossard, P., Chanchevrier, C., Leclair, P.**, « *Ingénierie Concourante : de la technique au social* », Economica, Paris, France, 1997.
- [Bucciarelli 88] **Bucciarelli, L.L.**, « An ethnographic perspective on engineering design », *Design Studies*, Vol. 9, No. 3, 1988, pp 159-168.
- [Cannon-Bowers & Salas 01] **Cannon-Bowers, J.A., Salas, E.**, « Reflections on shared cognition », *Journal of Organizational Behavior*, Vol. 22, No. 3, 2001, pp 195-202.
- [Chakrabarti *et al* 04] **Chakrabarti, A., Morgenstern, S., Knaab, H.**, « Identification and application of requirements and their impact on the design process: a protocol study », *Research in Engineering Design*, Vol. 15, No. 1, 2004, pp 22-39.
- [Chanal 00] **Chanal, V.**, « Communautés de pratique et management de projet : A propos de l'ouvrage de Wenger (1988) *Communities of practice : Learning, Meaning and Identity* », *M@n@gement*, Vol. 3, No. 1, 2000, pp 1-30, disponible en <http://www.dmsp.dauphine.fr/MANAGEMENT/PapersMgmt/31Chanal.pdf> (visité le 11 mai 2005).
- [Chartier *et al* 05] **Chartier, J., Boujut, J-F, Prudhomme, G.**, « Développement de pratiques collaboratives en ingénierie de produits », *Actes du 9ème Colloque AIP-PRIMECA 2005*, La Plagne, France, 2005.
- [Chiu 02] **Chiu, M-L.**, « An organizational view of design communication in design collaboration », *Design Studies*, Vol. 23, No. 2, 2002, pp. 187-210.
- [Cicognani & Maher 97] **Cicognani, A., Maher, M.L.**, « Models of collaboration for designers in a computer mediated environment », *Proceedings of Third International IFIP WG5.2 Workshop on formal aspects of collaborative CAD*, Jenalon Caves, Sydney, Australia, 1997, pp 99-108.

- [Coughlan & Coughlan 02] **Coughlan, P., Coughlan, D.**, « Action research for operations management », *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, No. 2, 2002, pp 220-240.
- [Cross et al 96] **Cross, N., Christiaans, H., Dorst, K.**, « *Analysing Design Activity* », John Wiley & Sons, LTD, Sussex, UK, 1996.
- [Darses 97] **Darses, F.**, « L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs en conception » in *Ingénierie Concourante : de la technique au social*, Brossard, P., Chanchevriev, C., Leclair, P., (Eds), Economica, Paris, France, 1997, pp 39-55.
- [Darses 04] **Darses, F.**, « *Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique* », Thèse d'Habilitation à Diriger de Recherches de l'Université Paris V - René Descartes, France, 2004.
- [Darses et al 01] **Darses, F., Détienne, F., Falzon, P. Visser, W.**, « A method for analysing collective design processes », Rapport de recherche No. 4258, INRIA, France.
- [D'Astous et al 04] **D'Astous, P., Détienne, F., Robillard, P.N.**, « Changing our view on design evaluation meetings methodology: a study of software technical review meetings », *Design Studies*, Vol. 25, No. 6, 2004, pp 625-655.
- [David 04] **David M.**, « *Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation des activités du travail coopératif* », Thèse de doctorat de Université Henri Poincaré, Nancy, France, 2002.
- [Deneux 02] **Deneux D.**, « *Méthodes et modèles pour la conception concourante* », Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 2002.
- [Détienne et al 04] **Détienne, F., Boujut, J-F, Hohmann, B.**, « Characterization of collaborative design and interaction management activities in a distant engineering design situation » in *Scenario-based design of collaborative systems*, F. Darses, R. Dieng, C. Simone, M. Zacklad, (Eds), IOS Press, Amsterdam 2004, pp 83-98.
- [Dourish & Belloti 92] **Dourish, P., Belloti, V.**, « Awareness and coordination in shared work spaces », *Proceedings of ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, Toronto, Canada, 1992, pp 107-114.
- [Duffy & O'Donnell 98] **Duffy, A.H.B., O'Donnell, F.J.**, « A Design Research Approach », *Workshop on Research Methods in AI in Design*, Lisbonne, Portugal, 1998.

- [Dwarakanath & Blessing 96] **Dwarakanath, S., Blessing, L.T.M.**, « Ingredients of the design process: a comparison between group and individual work » in *Analysing Design Activity*, Cross N, Christiaans H, Dorst K (Eds), Wiley & Sons, Sussex, 1996, 93-116.
- [Eckert *et al* 03] **Eckert, C.M., Clarkson, P.J. Stacey, M.K.**, « The spiral of applied research : A methodological view on integrated design research », *Proceedings of ICED'03*, Stockholm, Suede, 2003.
- [Ehrlespiel 99] **Ehrlespiel, K.**, « Practicians –How they are designing? ... and why? », *Proceeding of ICED'99*, Munich, Allemagne, 1999, pp 721-726.
- [Falzon *et al* 96] **Falzon, P., Darses de Montmolin, F., Béguin, P.**, « Collective design processes », *Proceedings of COOP'96*, Sophia-Antipolis, France, 1996 .
- [Garner 01] **Garner, S.**, « Comparing graphic action between remote and proximal design teams », *Design Studies*, Vol. 22, No. 4, 2001, pp 365-376.
- [Garro *et al* 01] **Garro, O., Choulier, D., Deniaud, S.**, « Les actes de conception : un modèle pour des outils d'aide à la conception distribuée », *Actes du 10ème Atelier « Le travail humain : modeliser les activités collectives de conception »*, Paris, France, 2001, pp 167-182.
- [Gero 90] **Gero, J.S.**, « Design prototypes: a knowledge representation schema for design », *AI Magazine*, Vol. 11, No 4, 1990, pp 26-36.
- [Gero & Kannengiesser 04] **Gero, J.S., Kannengiesser, U.**, « The situated function-behaviour-structure framework », *Design Studies*, Vol. 25, No. 4, 2004, pp 373-391.
- [Gero & McNeill 98] **Gero, J.S., McNeill, T.**, « An approach to the analysis of design protocols », *Design Studies*, Vol. 19, No. 1, 1998, pp 21-61.
- [Gierhardt *et al* 99] **Gierhardt, H., Gaul, H-D, Ott, T.**, « Distribution in product design and development processes », *Proceedings of ASME DETC'99*, Las Vegas, Nevada, USA, 1999.
- [Girod *et al* 00] **Girod, M., Elliot, A.C., Wright, I.C., Burns, N.D.**, « Activities in collaborative concept selection for engineering design », *Proceedings of ASME DETC'00*, Baltimore, Maryland, USA, 2000.
- [Goldschmidt 96] **Goldschmidt, G.**, « The designer as a team of one » in *Analysing Design Activity*, Cross N, Christiaans H, Dorst K (Eds), Wiley & Sons, Sussex, 1996, 93-116.

- [GRACC 01] **GRACC**, « Une expérience de conception collaborative à distance », *Actes du 7ème Colloque PRIMECA*, La Plagne, France, 2001, pp 145-153.
- [Guibert 04] **Guibert, S.**, « *Etude ergonomique du rôle des annotations en conception collaborative de produits* », Rapport de DEA d'Ergonomie du Centre National d'Arts et Métiers, Paris France, 2004.
- [Gutwin & Greenberg 02] **Gutwin, G., Greenberg, S.**, « A descriptive framework of workspace awareness for realtime groupware », *Computer Supported Collaborative Work*, Vol. 11, No. 3-4, 2002, pp 411-446.
- [Hatchuel 94] **Hatchuel, A.**, « Apprentissages collectives et activités de conception », *Revue Française de Gestion*, No. 99, 1994, pp 109-120.
- [Hatchuel & Weil 03] **Hatchuel, A., Weil, B.**, « A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory », *Proceedings of ICED'03*, Stockholm, Suède, 2003, pp 1794-2008.
- [Hatchuel et al 04] **Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B.**, « C-K theory in practice: lessons from industrial applications », *Proceedings of Design 2004*, Dubrovnik, Croatie, 2004, pp 45-257.
- [Hales 91] **Hales, C.**, « *Analysis of the Engineering Design Process in an Industrial Context* », Gants Hill Publicatiions, Second edition, 1991.
- [Heat & Luff 92] **Heat, C. Luff, P.**, « Collaboration and control: crisis management and multimedia technology in London underground line control rooms », *Computer Supported Collaborative Work*, Vol. 1, No. 1, 1992, pp 24-48.
- [Hohmann 02] **Hohmann, B.**, « *Etude empirique: Analyse d'une situation de conception coopérative médiatisée* », Rapport de DEA d'Ergonomie du Centre National d'Arts et Métiers, Paris, 2002.
- [Hollan et al 00] **Hollan, J., Hutchins, E., Kirsh, D.**, « Distributed cognition: Toward a new foundation for Human-Computer Interaction research », *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 7, No. 2, 2000, pp 174-196.
- [Hutchins 95] **Hutchins, E.**, « How a cockpit remembers its speed », *Cognitive Science*, Vol. 19, 1995, pp 265-288.
- [Jeantet 98] **Jeantet, A.**, « Les objets intermédiaires de la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception », *Sociologie du travail*, No. 3, 1998, 291-316.

- [Jordan & Henderson 95] **Jordan, B. Henderson, A.**, « Interaction analysis: Foundations and Practice », *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 4, No. 1, 1995, 39-103.
- [Kanjaâ *et al* 04] **Kanjaâ, F., Reymen, I.M.M.J., Veenliet, K.T.**, « Design-management instrument for evaluation of communication and cooperation in multidisciplinary teams », *Proceedings of Design 2004*, Dubrovnik, Croatie, 2004.
- [Karasavvidis 99] **Karassavvidis, I.**, « *Learning to solve correlation problems. A study of the social and the material distribution of cognition* », Thèse de doctorat de l'Université de Twente, Pays Bas, 1999.
- [Kleinsmann & Valkenburg 03] **Kleinsmann, M., Valkenburg, R.**, « Barriers to shared understanding in collaborative design projects », *Proceedings of ICED'03*, Stockholm, Suede, 2003.
- [Kristensen *et al* 04] **Kristensen, K., Hildre, H.P., Sivertsen, O.I., Røyrvik, J.**, « Evaluating the organisational ROI of different collaborative strategies », *Proceedings of Design 2004*, Dubrovnik, Croatie, 2004.
- [Kvan 00] **Kvan, T.**, « Collaborative design: what is it? », *Automation in construction*, Vol. 9, 2000, pp 409-415.
- [Lahti *et al* 04] **Lahti, H., Seitamma-Hakkarainen, P., Hakkarainen, K.**, « Collaboration patterns in computer supported collaborative designing », *Design Studies*, Vol. 25, No. 4, 2004, pp 351-371.
- [Larsson 03] **Larsson, A.**, « Making sense of collaboration: The challenge of thinking together in global design teams », *Proceedings of Group'03*, Sanibel Island, Florida, USA, 2003.
- [Larsson 05] **Larsson, A.**, « *Engineering Know-Who: Why social connectedness matters to global design teams* », Thèse de doctorat de l'Université Technologique de Luleå, Suède, 2005. Disponible en <http://epubl.ltu.se/1402-1544/2005/19/index.html> (visité le 18 juin 2005).
- [Larsson *et al* 03] **Larsson, A., Törlind, P., Karlsson, L., Mabogunje, A., Leifer, L., Larsson, T., Elström, B-O.**, « Distributed team innovation - A framework for distributed product development », *Proceedings of ICED'03*, Stockholm, Suède, 2003, pp 1483-1492.
- [Laureillard 00] **Laureillard, P.**, « *Conception intégrée dans l'usage. Mise en œuvre d'un dispositif d'intégration produit-process dans une filière de conception de pièces forgées* », Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, France, 2000.
- [Lonchamp 04] **Lonchamp, P.**, « *Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : Modèle et support de l'activité de*

- conception* », Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, France, 2004.
- [Love 02] **Love, T.**, « Constructing a coherent cross-disciplinary body of theory about designing and designs: some philosophical issues », *Design Studies*, Vol. 23, No. 3, 2002, pp 345-361.
- [MacGregor 02] **MacGregor, S.P.**, « *Describing and supporting the distributed workspace: Towards a prescriptive process for design teams* », Thèse de doctorat l'Université de Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK, 2002.
- [Maher & Tang 03] **Maher, M.L., Tang, H-H.**, « Co-evolution as a computational and cognitive model of design », *Research in Engineering Design*, Vol 14, 2003, pp. 47-63.
- [Martin 01] **Martin G.**, « *Intégration et confrontation des points de vue dans le cadre de la conception en ingénierie concurrente* », Thèse de doctorat du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France, 2001.
- [Martin 02] **Martin, F-O.**, « *Les technologies de l'information et de la communication en conception collaborative multi-site* », Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes, France, 2002.
- [Minneman 91] **Minneman, S.**, « *The social construction of a technical reality: Empirical studies of group engineering design practice* », Thèse de doctorat de l'Université de Stanford, USA, 1991. Disponible en <http://dart.stanford.edu:88/View/Collection-473> (visité le 12 janvier 2005).
- [Motte et al 04] **Motte, D. Andersson, P-E., Bjärnemo. R.**, « Study of the designer's cognitive processes during later phases of the mechanical engineering design process », *Proceedings of Design 2004*, Dubrovnik, Croatie, 2004, pp 421-428.
- [Ostergaard et al 04] **Ostergaard, K., Summers, J.D., Fadel, G.**, « Resistance based modelling of collaborative design », *Proceedings of ASME DETC/CIEC 2004*, Salt Lake City, USA, 2004.
- [Pahl &Beitz 96] **Pahl, G., Beitz, W.**, « *Engineering Design: a systematic approach* », Springer-Verlag London LTD, London, 1996.
- [Pena et al 03] **Pena, E., Choulier, D., Garro, O.**, « A proposition to capitalize and share the logic of design », *Proceedings of CIRP Design Seminar 2003*, Grenoble, France 2003.
- [Pena 05] **Pena, E.**, « *Analyse expérimentale de la phase conceptuelle de conception : Un cadre pour de nouveaux outils d'aide à la conception collaborative* », Thèse de doctorat de l'Université Technologique de Belfort-Montbéliard, Grenoble, France 2005.

- [Perry & Sanderson 98] **Perry, M., Sanderson, D.**, « Coordinating joint work: the role of communication and artefacts », *Design Studies*, Vol 19, No.3, 1998, pp. 273-288.
- [Pol *et al* 05] **Pol, G., Merlo, C., Legardeur, J., Jared G.**, « Vers le pilotage de la collaboration en conception de produits : cas d'étude d'une PME », Actes du 9ème colloque National AIP-PRIMECA, La Plagne, France, 2005.
- [Prudhomme 99] **Prudhomme G.**, « *Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement – La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique* », Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 1999.
- [Pugh 90] **Pugh S.**, « *Total design, integrated methods for successful product engineering* », Addison-Wesley Publishing Inc., Essex, UK, 1990.
- [Purcell *et al* 96] Purcell, A.T., Gero, J.S., Edwards, H., McNeill, T., « The data in design protocols: the issue of data coding, data analysis in the development of models of design process », in *Analysing Design Activity* ; édité par Cross N, Christiaans H, Dorst K, Wiley & Sons, Sussex, 1996, pp. 225-252.
- [Rasmussen *et al* 94] **Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., Goodstein, L.P.**, « *Cognitive Systems Engineering* », John Wiley & Sons, New York, USA, 1994.
- [Robillard *et al* 98] **Robillard, P., D'Astous, P., Détienne, F., Visser, W.**, « Measuring cognitive activities in software engineering », *Proceedings of the 20th International Conference on Software Engineering*, Kyoto, Japon, 1998.
- [Robin & Girard 05] **Robin, V., Girard, P.**, « Evaluation de la performance des processus collaboratifs en conception de produits », Actes du 9ème colloque National AIP-PRIMECA, La Plagne, France, 2005.
- [Rose & Lombard 05] Rose, B., Lombard, M., « Experimentation d'un outil collaboratif en conception de produits : CO²MED (Collaborative Conflict Management in Engineering Design) », Actes du 9ème colloque National AIP-PRIMECA, La Plagne, France, 2005.
- [Ruiz-Dominguez & Boujut 04] **Ruiz-Dominguez, G.A., Boujut, J-F**, « Modelling the process of creating a mutual understanding in distributed design teams », *Proceedings of Design 2004*, Dubrovnic, Croatie, 2004, pp 1161-1166.
- [Ruiz-Dominguez & Boujut 05] **Ruiz-Dominguez, G.A., Boujut, J-F**, « Analyse comparative entre deux expériences de conception collaboratives de point

- de vue macroscopique », Actes du 9ème colloque National AIP-PRIMECA, La Plagne, France, 2005.
- [Ruiz-Dominguez *et al* 04] **Ruiz-Dominguez, G.A., Boujut, J-F, Diallo, T.**, « On the sequential effect induced by the use of communication tools in distant collaboration », *Proceedings of TMCE 2004*, Lausanne, Suisse, 2004, pp 953-964.
- [Salas *et al* 95] **Salas, E., Prince, C., Baker, D.P.**, « Situation awareness in team performance: Implications for measurement and training », *Human Factors*, Vol. 37, No. 1, 1995, pp 123-136.
- [Salembier *et al* 01] **Salembier, P., Theureau, J., Zouinar, M., Vermersch, P.**, « Action/Cognition située et assistance à la coopération », *Actes des 12èmes Journées Francophones d'Ingénierie de Connaissances*, Grenoble, France, 2004, pp 369-388.
- [Sardas *et al* 00] **Sardas, JC., Erschler, J., de Terssac, G.**, « Coopération et organisation de l'action collective », *2èmes Journées Prosper 'Gestion de connaissances, coopération, méthodologies de recherche interdisciplinaire'*, Toulouse, France, 2000.
- [Schmidt 90] **Schmidt. K.**, « Analysis of cooperative work. A conceptual framework », Rapport de recherche RISØ-M-2890, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1990.
- [Schmidt & Simone 96] **Schmidt. K., Simone, C.**, « Coordination mechanisms: Towards a conceptual foundation of CSCW systems design », *Computer Supported Collaborative Work*, Vol. 5, No. 2-3, pp 155-200.
- [Simon 73] **Simon, H.**, « The structure of ill-structured problems », *Artificial intelligence*, 4, 1973, pp 181-20.
- [Simon 89] **Simon, H.A.**, « *The sciences of the artificial* », 2nd Edition, The MIT Press, Cambridge, MA, 1989.
- [Star 89] **Star, S.L.**, « The structure of ill-structured solutions: Boundary objects and heterogeneous distributed problem solving » in *Distributed Artificial Intelligence 2*, M. Huhns and L. Gasser (eds), 1989, pp 37-54.
- [Stempfle & Badke-Shaub 01] **Stempfle, J., Badke-Shaub, P.**, « Researching the thinking process in design teams – an analysis of team communication », *Proceedings of ICED'01*, Glasgow, Ecosse, 2001.
- [Stempfle & Badke-Shaub 02] **Stempfle, J., Badke-Shaub, P.**, « Thinking in design teams – an analysis of team communication », *Design Studies*, Vol. 23, No. 5, 2002, pp 473-496.
- [Suchman 00] **Suchman, L.**, « *Embodied practices of engineering work* », *Mind, Culture and Activity*, Vol. 7. No. 1-2, 2000, pp 4-18.

- [Suwa & Tversky 97] **Suwa, M., Tversky, B.**, « What do architects and students perceive in their designs sketches? A protocol analysis », *Design Studies*, Vol 18, No. 4, 1997, pp 385-403.
- [Suwa et al 00] **Suwa, M., Gero, J.S., Purcell, T.**, « Unexpected discoveries and s-inventions of design requirements: important vehicles for a design process », *Design Studies*, Vol 21, No. 6, 2000, pp. 539-567.
- [Suwa et al 98] **Suwa, M., Purcell, T., Gero, J.S.**, « Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions », *Design Studies*, Vol 19, No. 4, 1998, pp 455-483.
- [Tang 89] **Tang, J.C.**, « *Towards an understanding of the use of shared workspaces by design teams* », Thèse de doctorat de l'Université de Stanford, USA, 1989.
- [Ullman et al 88] **Ullman, D., Dietterich, T.G. Stauffer, L.A.**, « A model of mechanical design process based on empirical data », *Artificial Intelligence in Engineering Design Automation and Manufacturing*, Vol. 2, No. 1, 1988, pp 33-52.
- [Ulrich & Eppinger 00] **Ulrich, K.T., Eppinger, S.D.**, « *Product design and development* », McGraw-Hill International, Second edition, USA, 2000.
- [Vacherand-Revel 02] **Vacherand-Revel, J.**, « Les registres d'activités du travail coopératif médiatisé et distant de co-conception de documents scientifiques » In *Communication en situation de travail à distance*, E. Engrand, S. Lambolez, A. Trognon (Eds), Presses Universitaires de Nancy, Collection : Langage, cognition, interaction, 2002, pp 245-264.
- [Valkenburg 98] **Valkenburg, R.**, « Shared Understanding as a condition for team design », *Automation in Construction*, Vol. 7, Nos. 2-3, 1998, pp 111-121.
- [Vinck 99] **Vinck, D.**, « *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation* », Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble, France, 1999.
- [Visser 04] **Visser, W.**, « Dynamic aspects of design cognition: Elements for a cognitive model of design », Rapport de recherche No. 5144, INRIA, France.
- [Waldron & Waldron 96] **Waldron, M.B. Waldron, K.J.**, « Methods of studying mechanical design » in *Mechanical design, theory and methodology*, Waldron, M.B., Waldron, K.J. (Eds), Springer-Verlag New York, 1996, pp 21-34.

