



HAL
open science

Specification of a multisite collaborative environment: application to the european aeronautical industry

Sébastien Bernard

► **To cite this version:**

Sébastien Bernard. Specification of a multisite collaborative environment: application to the european aeronautical industry. Humanities and Social Sciences. Arts et Métiers ParisTech, 2004. English. NNT : 2004ENAM0029 . pastel-00001270

HAL Id: pastel-00001270

<https://pastel.hal.science/pastel-00001270>

Submitted on 17 Jun 2005

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.

École nationale supérieure d'arts et métiers
Centre d'Aix-en-Provence

THÈSE

présentée pour obtenir le titre de

DOCTEUR

de

**L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET
MÉTIERS**

Spécialité : Génie Industriel

par

Sébastien BERNARD

**SPÉCIFICATION D'UN ENVIRONNEMENT D'INGÉNIERIE COLLABORATIVE
MULTISITE**

~

APPLICATION À L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE EUROPÉENNE

Soutenue le 12 novembre 2004 devant le jury composé de :

MM.	Alain	BERNARD	Professeur à l'École Centrale de Nantes	Rapporteur
	Michel	TOLLENAERE	Professeur à l'INP Grenoble	Rapporteur
	Patrick	MARTIN	Professeur à l'ENSAM Metz	
	Aline	CAUVIN	Maître de conférences à l'université Aix-Marseille III	
	Michel	SELLIER	Chef du service support et méthodologie Eurocopter Marignane	
	Daniel	BRUN-PICARD	Professeur à l'ENSAM d'Aix-en-Provence	Directeur de thèse
	Philippe	VERON	Maître de conférences à l'ENSAM d'Aix-en-Provence	Co-directeur de thèse

À mon épouse Emmanuelle
et mes parents
à qui je dois tout

REMERCIEMENTS

Le travail de recherche présenté ici a été effectué au sein de l'équipe IMS (Ingénierie, Mécanique, Systèmes) du laboratoire LSIS (Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes) ainsi qu'au sein du service Méthodologie et Support xAO d'Eurocopter Marignane. Il n'aurait pas pu aboutir sans le soutien des personnes que je remercie ici.

Je remercie Monsieur Daniel BRUN-PICARD, Professeur des Universités à l'École Nationale des Arts et Métiers, et Directeur de l'équipe IMS, de m'avoir accueilli au sein de son équipe et m'avoir dirigé.

Je remercie Monsieur Michel SELIER, Directeur du service Méthodologie et Support xAO à Eurocopter Marignane, de m'avoir accueilli et de m'avoir fait confiance jusqu'au bout.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur Laurent NOBLET, pour m'avoir permis d'être l'un des membres actifs du projet Européen ENHANCE et de m'avoir aidé lors de mes premiers pas dans l'industrie.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Philippe VÉRON pour m'avoir soutenu et co-encadré durant toutes ces années.

Je n'oublierai évidemment pas Aline Cauvin avec laquelle j'ai eu des discussions très enrichissantes qui m'ont permis de mener à bien ce travail de recherche. Qu'elle en soit ici remerciée.

Je remercie tous mes camarades et collègues de l'équipe IMS pour leur soutien et leur amitié durant toutes ces années, et parmi eux, George, Rym, Martin, Francis, Michel, Norbert, Cyril et les autres...

Je remercie tous mes collègues d'Eurocopter pour leur patience et leur soutien, particulièrement Corinne, Yves, Antoine, sans oublier tous les autres.

S O M M A I R E G É N É R A L

CHAPITRE 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE **15**

CHAPITRE 2 INGÉNIERIE SIMULTANÉE ET INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE **19**

I - INTRODUCTION	23
II - INGÉNIERIE SÉQUENTIELLE VERSUS INGÉNIERIE SIMULTANÉE	24
II.1. INGÉNIERIE SÉQUENTIELLE	24
II.2. INGÉNIERIE SIMULTANÉE	27
II.2.1. Principes de structuration des activités	29
II.2.2. Principes culturels et comportementaux	29
II.2.3. Principes concernant le développement de produits	29
II.3. LES SPÉCIFICITÉS DE L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE	30
II.3.1. Une organisation distribuée	31
II.3.2. Des produits complexes	31
II.3.3. La sécurité industrielle	31
II.4. CONCLUSION	32
III - DE L'INGÉNIERIE SIMULTANÉE VERS L'INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE	33
III.1. ASPECTS TECHNIQUES DE LA COLLABORATION	35
III.1.1. Définition du Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur	35
III.1.2. Typologies des outils de Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur	36
III.1.2.1. Typologie espace-temps	36
III.1.2.2. Typologie fonctionnelle	37
III.2. ASPECTS SOCIAUX DE LA COLLABORATION	39
III.2.1. Cohésion du groupe (Trust)	40
III.2.2. Conscience de la situation (<i>Situational Awareness</i>)	41
IV - CONCLUSION	44

CHAPITRE 3 SPÉCIFICATION D'UN ENVIRONNEMENT D'INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE **45**

I - INTRODUCTION	49
II - COLLABORATIONS DANS L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE	51
II.1. LE CYCLE DE DÉVELOPPEMENT D'UN PROGRAMME AÉRONAUTIQUE	51
II.1.1. La phase de faisabilité	51
II.1.2. La phase de pré-développement	52
II.1.3. La phase de développement	53

II.1.4. La phase d'industrialisation et de production	53
II.2. LES DIFFÉRENTES PHASES DE COLLABORATION AU COURS DU CYCLE DE DÉVELOPPEMENT	53
III - IDENTIFICATION DES SITUATIONS TYPES DE COLLABORATION	56
III.1. RÉUNION IMPROMPTUE	57
III.2. RÉUNION PLANIFIÉE	57
III.3. BILAN	58
IV - INVENTAIRE DES RESSOURCES DE COLLABORATION	59
IV.1. LES RESSOURCES DE COMMUNICATION	59
IV.1.1. Communication synchrone	60
IV.1.1.1. Communication vidéo	60
IV.1.1.2. Communication audio	62
IV.1.1.3. Messagerie instantanée	62
IV.1.1.4. Tableau Blanc	63
IV.1.2. Communication asynchrone	64
IV.1.2.1. Messagerie électronique	65
IV.1.2.2. Forum de discussion	66
IV.1.2.3. Échanges d'informations	67
IV.1.3. Bilan des ressources de communication	68
IV.2. LES RESSOURCES DE COORDINATION	68
IV.2.1. Gestion électronique des processus (workflow)	69
IV.2.2. Agendas partagés	71
IV.2.3. Gestion du cycle de vie produit	72
IV.2.4. Gestion de la configuration et de modifications	73
IV.2.5. Équipes produit intégrées	73
IV.2.6. Bilan des ressources de coordination	75
IV.3. LES RESSOURCES DE COOPÉRATION	75
IV.3.1. Maquette numérique	75
IV.3.2. Partage d'application	76
IV.3.3. Tableau blanc partagé	77
IV.3.4. Bilan des ressources de coopération	79
IV.4. BILAN DES RESSOURCES DE COLLABORATION	79
V - CONCLUSION	80

CHAPITRE 4 AIDE AUX CHOIX DES OUTILS DE CONCEPTION COLLABORATIVE MULTISITE **81**

I- INTRODUCTION	85
II - AIDE À LA DÉCISION MULTICRITÈRE	86
II.1. DÉFINITION DE L'AIDE À LA DÉCISION	86

II.2. LES ÉTAPES D' AIDE À LA DÉCISION MULTICRITÈRE _____	86
II.2.1. Identification des alternatives potentielles _____	87
II.2.2. Modélisation des préférences du décideur _____	87
II.2.3. La procédure d'agrégation _____	88
II.3. CONCLUSION _____	88
III - SÉLECTION DES ALTERNATIVES POTENTIELLES _____	89
IV - DÉFINITION DES CRITÈRES D'ÉVALUATION _____	92
IV.1. FONCTIONNALITÉS DE COLLABORATION _____	92
IV.2. EFFICACITÉ DE L'OUTIL _____	94
IV.3. COMPATIBILITÉ AVEC L'ENVIRONNEMENT _____	95
IV.4. IMPLÉMENTATION _____	96
IV.5. RÉCAPITULATIF DES CRITÈRES D'ÉVALUATION _____	98
V - LA GRILLE DE NOTATION _____	99
VI - OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION _____	102
VI.1. LES BESOINS SPÉCIFIQUES _____	102
VI.2. MÉTHODE D'AIDE À LA DÉCISION _____	103
VII - CONCLUSION _____	105

CHAPITRE 5 DÉMONSTRATEURS COSITE & SALLE DE REVUE DE CONCEPTION **107**

I- INTRODUCTION _____	110
II - RÉUNION IMPROMPTUE _____	111
II.1. LE CONTEXTE _____	111
II.2. LES BESOINS _____	111
II.2.1. Coopération synchrone sur des données 3D _____	111
II.2.2. Communication visuelle ou verbale ? _____	112
II.2.3. Facteurs humains _____	112
II.2.4. Échanges des données 3D _____	113
II.3. SPÉCIFICATION DE L'ENVIRONNEMENT _____	114
II.3.1. L'espace de communication _____	116
II.3.2. L'espace de coordination _____	116
II.3.3. L'espace de coopération _____	119
III - RÉUNION PLANIFIÉE _____	120
III.1. LE CONTEXTE _____	120
III.2. LES BESOINS _____	120
III.3. SPÉCIFICATIONS DE L'ENVIRONNEMENT _____	121
III.3.1. L'espace de communication _____	121
III.3.2. L'espace de coordination _____	122

III.3.3. L'espace de coopération _____	123
III.4. APPLICATION À LA SALLE DE REVUE DE PROJET À EUROCOPTER _____	124
III.4.1. Stratégie de déploiement _____	125
III.4.2. Les fonctionnalités mises en place _____	126
III.4.2.1. Les fonctionnalités de communication _____	126
III.4.2.2. Les fonctionnalités de coordination _____	127
III.4.2.3. Les fonctionnalités de coopération _____	128
III.4.3. Premiers bilans et retours d'expérience _____	130
IV - CONCLUSION _____	133
<u>CHAPITRE 6 CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES</u>	135
I - BILAN DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE _____	139
II - PERSPECTIVES DE RECHERCHE _____	141
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	143
<u>CHAPITRE 7 ANNEXES</u>	149
I - ANNEXE 1 – LE PROJET EUROPÉEN ENHANCE _____	153
I.1. CONTEXTE, RISQUES ET OPPORTUNITÉS _____	153
I.2. LE PROGRAMME ENHANCE _____	154
I.2.1. Les objectifs _____	154
I.2.2. Contenu du projet _____	154
I.2.3. Les acteurs du projet _____	155
I.3. DÉROULEMENT DU PROJET _____	156
I.3.1. Structure interne _____	157
II - ANNEXE 2 – UNE MÉTHODE D'AGRÉGATION MULTICRITÈRE (LA MÉTHODE PROMETHEE) _____	159

T A B L E D E S F I G U R E S

TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Représentation schématique du processus d’ingénierie séquentielle [Fleming et <i>al.</i> 98]	25
Figure 2 – Influence des modifications sur les coûts [Decreuse et Feschotte 98]	26
Figure 3 – Matrice espace-temps	37
Figure 4 – Les trois espaces fonctionnels	37
Figure 5 – Icônes représentant des émotions	40
Figure 6 – Approche de spécification d’un environnement d’Ingénierie Collaborative Multisite	50
Figure 7 – Les différents types de collaboration en fonction des phases de développement d’un programme aéronautique	54
Figure 8 – Découpage de l’appareil en niveaux hiérarchiques	55
Figure 9 – Récapitulatif des caractéristiques des deux cas types de réunions	58
Figure 10 – Messagerie instantanée de NetMeeting	63
Figure 11 – Tableau Blanc partagé de NetMeeting	64
Figure 12 – Tableau récapitulatif des ressources de communication	68
Figure 13 – Tableau Récapitulatif des ressources de coordination	75
Figure 14 – Partage de systèmes CAO entre un PC et une station UNIX	76
Figure 15 – Pointeur distant	78
Figure 16 – Tableau récapitulatif des ressources de coopération	79
Figure 17 – Récapitulatif des ressources de collaboration	79
Figure 18 – Matrice d’évaluation Alternatives / Critères	88
Figure 19 – Liste des solutions de conception collaborative étudiées	91
Figure 20 – Tableau récapitulatif des critères d’évaluation	98
Figure 21 – Échelle de notation pour le critère de partage d’application	99
Figure 22 – Résultats de la notation basée sur les besoins génériques	100
Figure 23 – Classification des solutions par rapport aux besoins génériques	101
Figure 24 – Interface graphique de l’outil d’aide aux choix de collecticiel	103
Figure 25 – Configuration de la situation de collaboration	115
Figure 26 – Répartition géographique des acteurs	115
Figure 27 – Disponibilité des collaborateurs	117
Figure 28 – Exemple d’un agenda partagé	118
Figure 29 – Synthèse des fonctionnalités de communication	127
Figure 30 – Synthèse des fonctionnalités de coordination	128
Figure 31 – Synthèse des fonctionnalités de coopération	129
Figure 32 – Photo de la salle de revue de conception collaborative multisite d’Eurocopter Marignane	130
Figure 33 – Découpage du projet ENHANCE	157
Figure 34 – La fonction de préférence $P_j(a,b)$	159
Figure 35 – Préférence stricte	160
Figure 36 – Seuil d’indifférence q et de préférence p	160

Chapitre 1

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le secteur industriel aéronautique européen fait face, à l'heure actuelle, à une rude concurrence des industriels américains. Pour répondre à cette menace, les organisations ont pris le parti de créer des partenariats et des alliances entre les entreprises européennes. La mise en commun des capitaux et des ressources leur permet de partager les risques. C'est ainsi, par exemple, qu'Airbus est passé premier constructeur mondial devant son éternel concurrent Boeing ces dernières années. Mais ce changement de leadership ne s'est pas fait par hasard. Les industriels européens ont complètement modifié leurs méthodes de travail en appliquant le concept de l'Ingénierie Simultanée.

Pour rester dans cette dynamique, il a été décidé de créer un consortium, comprenant la quasi-totalité des entreprises aéronautiques européennes, pour établir des méthodes et développer les outils nécessaires à la mise en place efficace de l'Ingénierie Simultanée. Ce consortium s'est concrétisé par la création du projet européen ENHANCE¹.

Les travaux présentés dans cette thèse se sont déroulés dans le cadre de ce projet et plus particulièrement au sein de la tâche COSITE². Cette tâche avait pour rôle de déterminer les méthodes et les outils associés qui permettent d'améliorer les collaborations entre les différents partenaires impliqués dans le développement d'un programme aéronautique. En effet, l'Ingénierie Simultanée ne peut être mise en place efficacement sans des moyens de collaboration efficaces. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes intéressés au paradigme d'Ingénierie Collaborative Multisite.

Ce manuscrit propose une approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite et présente sa mise en œuvre dans le cadre du projet ENHANCE et au sein du bureau d'études d'Eurocopter. Ce manuscrit est organisé, en quatre chapitres dont une brève description est donnée ici :

¹ ENHANCE – **ENH**anced **AeroN**autical **C**oncurrent **E**ngineering

² COSITE – **CO**mmon multi**SITE** collaborative work methods

Le chapitre 2 situe, en s'appuyant sur la littérature, les domaines de l'Ingénierie Séquentielle, de l'Ingénierie Simultanée et de l'Ingénierie Collaborative Multisite, afin de positionner le paradigme de l'Ingénierie Collaborative Multisite face à l'Ingénierie Simultanée.

Le chapitre 3 décrit l'approche proposée pour spécifier un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite.

Le chapitre 4 présente dans une première partie une méthode d'aide à la décision multicritère, puis son application pour le développement d'un logiciel d'aide aux choix d'outils de conception collaborative distante.

Le chapitre 5 illustre la mise en œuvre de l'approche proposée pour la spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite ainsi que la mise en œuvre de l'outil d'aide à la décision développé, sur la base de deux types de cas collaboratifs que sont les réunions impromptues et les réunions planifiées. Dans ce chapitre la mise en place d'une salle de revue de conception collaborative distante à Eurocopter est également présentée avec les premiers retours d'expérience.

Chapitre 2

INGÉNIERIE SIMULTANÉE ET INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE

PLAN DU CHAPITRE

I - INTRODUCTION	23
II - INGÉNIERIE SÉQUENTIELLE VERSUS INGÉNIERIE SIMULTANÉE	24
II.1. INGÉNIERIE SÉQUENTIELLE	24
II.2. INGÉNIERIE SIMULTANÉE	27
II.2.1. Principes de structuration des activités	29
II.2.2. Principes culturels et comportementaux	29
II.2.3. Principes concernant le développement de produits	29
II.3. LES SPÉCIFICITÉS DE L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE	30
II.3.1. Une organisation distribuée	31
II.3.2. Des produits complexes	31
II.3.3. La sécurité industrielle	31
II.4. CONCLUSION	32
III - DE L'INGÉNIERIE SIMULTANÉE VERS L'INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE	33
III.1. ASPECTS TECHNIQUES DE LA COLLABORATION	35
III.1.1. Définition du Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur	35
III.1.2. Typologies des outils de Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur	36
III.1.2.1. Typologie espace-temps	36
III.1.2.2. Typologie fonctionnelle	37
III.2. ASPECTS SOCIAUX DE LA COLLABORATION	39
III.2.1. Cohésion du groupe (Trust)	40
III.2.2. Conscience de la situation (<i>Situational Awareness</i>)	41
IV - CONCLUSION	44

I - INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, les processus d'ingénierie ont radicalement évolué. Les industries sont passées d'une organisation très séquentielle et centralisée des processus d'ingénierie, à une organisation simultanée et distribuée au niveau mondial de ces même processus.

Tous ces bouleversements ont amené les entreprises à revoir leurs méthodes de travail et leur culture d'entreprise pour passer d'une culture conservatrice à une culture de partage.

Dans ce chapitre, nous allons présenter et confronter les approches d'ingénierie séquentielle et d'ingénierie simultanée, pour finalement positionner l'ingénierie collaborative multisite.

II - INGÉNIERIE SÉQUENTIELLE VERSUS INGÉNIERIE SIMULTANÉE

Durant ces vingt dernières années, et ce dans le monde entier, toutes les industries ont dû faire face à des exigences clients de plus en plus élevées, des changements technologiques rapides, des contraintes environnementales, des pressions de la concurrence en termes de qualité et de prix, la réduction des délais de mise sur le marché. De ce fait, de nouvelles méthodes de travail ont du être mises en place. Les industries sont passées de l'ingénierie séquentielle à l'ingénierie simultanée. Dans les paragraphes suivants, ces deux concepts sont présentés. Cette présentation permettra de les comparer et de bien appréhender les nouvelles problématiques découlant de l'Ingénierie Simultanée.

Les pressions du marché

II.1. Ingénierie séquentielle

L'Ingénierie Séquentielle est la méthode traditionnelle de développement de produits depuis la révolution industrielle survenue à la fin du XIX^{ème} siècle. Elle s'apparente au Taylorisme. Lors du développement de produits en ingénierie séquentielle, les activités sont distribuées dans des départements spécifiques, du marketing à la vente en passant par le bureau d'études. Chaque département se cantonne à ses objectifs sans intervenir directement dans les activités d'un autre département. Les activités sont coordonnées par les documents validés par le département amont.

Historique

Le processus de développement débute par la définition des besoins qui sont ensuite communiqués au bureau d'études. Le bureau d'études élabore les solutions techniques qui permettent de satisfaire les besoins définis précédemment. Ces solutions techniques sont décrites sous formes de documents qui peuvent être des dessins et des nomenclatures. Ces documents sont ensuite généralement transmis au bureau des méthodes qui a pour rôle de préparer l'industrialisation et la fabrication des solutions définies par le bureau d'études. Enfin, une phase de tests est réalisée pour vérifier si les besoins définis à l'origine ont bien été satisfaits. Si ce n'est pas le cas, des corrections doivent être apportées. Ainsi, les flux d'informations n'existent qu'entre deux départements consécutifs (voir figure 1).

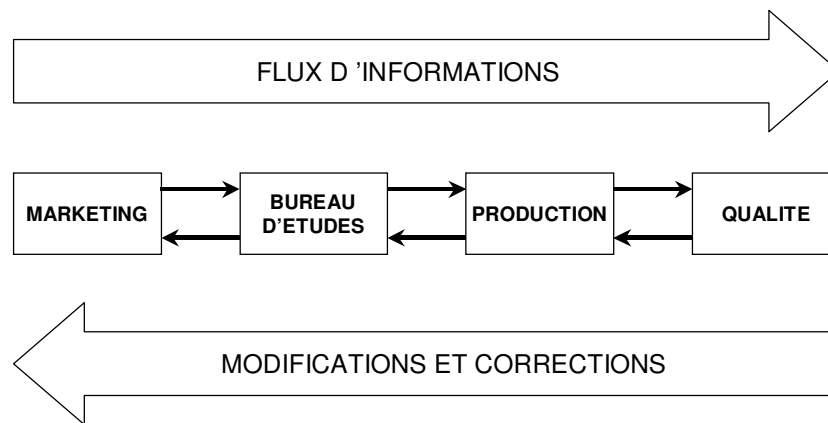


Figure 1 – Représentation schématique du processus d'ingénierie séquentielle [Fleming et al. 98]

Chaque phase est traitée de manière distincte, et la phase suivante ne démarre que lorsque la phase courante est terminée. Par exemple, le bureau d'études doit terminer complètement la conception pour enfin transmettre les plans au bureau des méthodes, qui peut ainsi définir les processus de production.

Le problème de fond, avec cette approche, est qu'il faut que chaque phase puisse fonctionner de manière totalement indépendante vis-à-vis des autres départements et par conséquent vis-à-vis des autres métiers. Il semble évident que ceci n'est pas le cas. Si l'on reprend l'exemple précédent, lors de la conception, des décisions qui découlent directement de la production doivent être prises au moment même de la conception. Or, les concepteurs n'ont pas forcément toutes les compétences pour répondre correctement à des problématiques de production. Ainsi, avec une telle approche, lorsque le résultat de la phase finale de conception arrive en phase de production, les acteurs impliqués dans cette phase doivent demander des modifications de conception pour résoudre des problèmes non identifiés auparavant et satisfaire les exigences liées à la production.

Ces allers-retours entre les départements ont pour conséquence d'allonger les délais de développement des produits. D'autre part, pendant le développement d'un produit, plus une erreur est détectée tardivement, plus les modifications à apporter sont complexes, étant donné la maturité du développement. Il est donc clair que pour réduire les coûts de développement, il faut éviter les modifications tardives dans le cycle de développement du produit. La figure 2 résume ce principe.

Des modifications coûteuses dans le temps

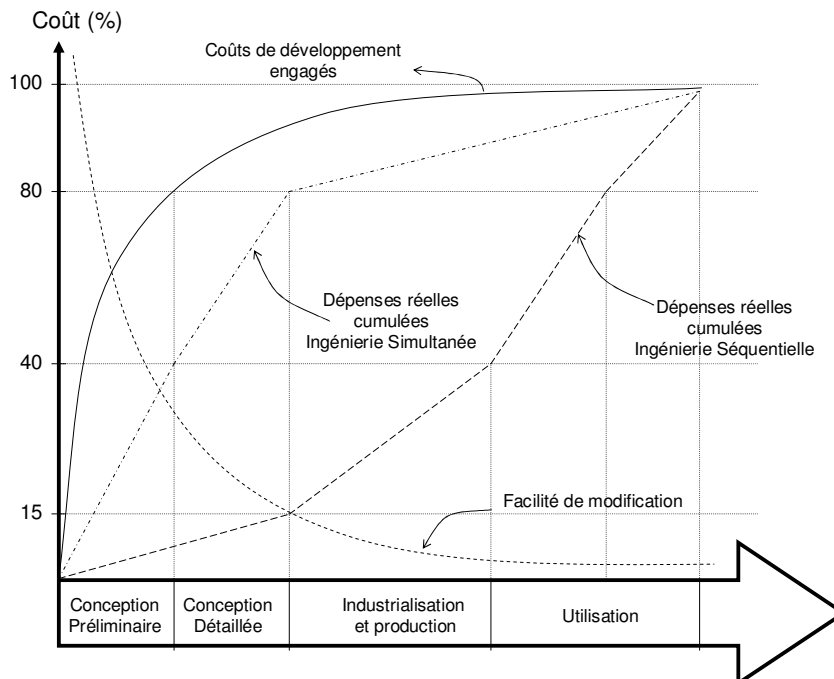


Figure 2 – Influence des modifications sur les coûts [Decreuse et Feschotte 98]

Une modification intervenant lors de la phase de conception préliminaire sera beaucoup plus facilement réalisable qu'une modification au cours de la phase de production. En effet, lors des phases de conceptualisation et de définition du produit, une modification de dimension, de forme ou de position d'une pièce dans un ensemble se traduit par une mise à jour du ou des modèles CAO concernés. Au contraire, si la modification nécessaire est détectée pendant l'industrialisation, la production ou bien même l'utilisation du produit, elle aura des conséquences beaucoup plus coûteuses compte tenu du fait que des ressources (outillages, matériaux...) auront été engagées et qu'elles devront pour certaines être remises en cause (modification d'outillage, rappel des produits d'une série donnée pour corriger un défaut identifié tardivement, etc.). En résumé, les coûts induits sont inversement proportionnels à la facilité de prise en charge de la modification.

**Modifications
coûteuses dans la
phase de
production**

Tous les inconvénients de l'Ingénierie Séquentielle présentés précédemment ont amené les industriels à réfléchir sur de nouvelles méthodes de travail avec pour objectif essentiel de réduire les délais de développement et les coûts induits par ces derniers. C'est ainsi qu'est né le concept de l'Ingénierie Simultanée présenté dans les paragraphes suivants.

**Nouvelles méthodes
de travail**

II.2. Ingénierie simultanée

Les origines de l'Ingénierie Simultanée sont le résultat d'une étude américaine de Clark et Fujimoto [Clark et Fujimoto 91] sur le secteur automobile japonais à la fin des années 1980. Durant cette étude, les auteurs ont constaté des temps de mise sur le marché de l'ordre de 25% moindre au Japon qu'en Europe ou aux États-Unis. Ils expliquent ces gains par des facteurs organisationnels :

Les origines de l'IS

- ↳ organisation des projets autour de leaders aux pouvoirs forts,
- ↳ constitution d'équipes de projet impliquant différents services de l'entreprise,
- ↳ confrontation des points de vue dès le début du projet,
- ↳ organisation simultanée du processus de développement produit.

Ainsi, le concept d'Ingénierie Simultanée naît de cette étude. Dans la littérature, on rencontre encore plusieurs appellations pour ce concept – Ingénierie Concourante, Ingénierie Intégrée – et de nombreuses définitions [Tichkiewitch 98] [Bocquet 98] [Jagou 93] [Chanchevrier 93] [Bourdichon 94]. Toutes ces définitions peuvent se résumer sous la définition suivante :

Définitions de l'IS

L'Ingénierie Simultanée est : « une approche systématique pour la définition d'un produit consistant à prendre en compte, dès la phase initiale de conception, tous les éléments du cycle de vie du produit, de l'analyse des besoins à la fabrication et au soutien en utilisation, simultanément par tous les secteurs de l'entreprise. »

Dans cette thèse, nous avons choisi d'utiliser le terme d'Ingénierie Simultanée. En effet, le terme d'Ingénierie Concourante peut être mal interprété. La confusion entre concourante et concurrente est très fréquente. Ces termes sont phonétiquement très proches mais ont des significations différentes.

Choix du terme

Les objectifs de l'Ingénierie Simultanée concernent la réduction des délais de développement ainsi que des coûts tout au long du cycle de vie, l'augmentation de la qualité des produits et services délivrés et enfin, une meilleure prise en compte des attentes des clients [Winner et al. 88]. L'approche Ingénierie Simultanée repose sur trois axes principaux :

Principes

- ↳ Nouvelle structuration des activités de développement,
- ↳ Prise en compte des aspects culturels, comportementaux et sociaux des futurs utilisateurs,
- ↳ Élargissement du cycle de vie des produits.

II.2.1. Principes de structuration des activités

Dans le but d'une intégration optimale des activités, le travail doit être mieux organisé. Pour cela, il faut mettre en parallèle les activités des différents métiers intervenant dans le processus de développement. De cette manière, la structure séquentielle du travail est rompue. La conception des produits est, par ce principe, réalisée en parallèle (d'une manière concourante ou simultanée) avec la conception des processus de fabrication et d'assemblage.

Structuration des activités

Cette nouvelle organisation du travail oblige les acteurs du projet à communiquer, à échanger des informations avec des collaborateurs qui peuvent être de métiers et de cultures différents.

Échanges d'information

II.2.2. Principes culturels et comportementaux

Étant donné les besoins en termes de communication et d'échanges d'informations entre des acteurs de différents services ou métiers, il est nécessaire d'inciter les acteurs à avoir un comportement collaboratif quel que soit leur niveau hiérarchique dans l'entreprise.

Cultures

Une dynamique de groupe est donc indispensable pour rendre efficace une parallélisation des activités. Les différents acteurs de l'entreprise doivent donc être conscients de cette dimension culturelle et sociale dans la mise en place d'une approche d'Ingénierie Simultanée. Elle doit favoriser le développement d'attitudes collaboratives, de respect mutuel et de prise en compte des exigences de chaque membre du projet.

Dimension culturelle et sociale

II.2.3. Principes concernant le développement de produits

Une meilleure prise en compte des besoins des utilisateurs est également un axe important de l'Ingénierie Simultanée. Pour cela, les besoins des utilisateurs doivent être intégrés dès le début du développement. L'implication des utilisateurs doit être forte tout au long du processus. Cette démarche a pour but d'augmenter la qualité du produit et son niveau d'adéquation aux services attendus par l'utilisateur.

Développement produit

II.3. Les spécificités de l'industrie aéronautique

Dans un contexte fortement concurrentiel, les industries se doivent d'adapter leurs méthodes pour réduire au maximum les temps de mise sur le marché et les coûts de développement. L'une des solutions adoptée par l'industrie aéronautique européenne est basée sur le concept d'Ingénierie Simultanée [Molina et al. 94] [Cleetus 92]. Cependant, le secteur de l'industrie aéronautique possède des spécificités rendant plus difficile la mise en place du concept d'Ingénierie Simultanée. Ces spécificités sont liées à l'organisation de ce secteur industriel, à la complexité des produits conçus et fabriqués et à la sécurité industrielle nécessaire autour des projets développés.

Alliances et
partenariats

La complexité des produits aéronautiques oblige les organisations à créer des partenariats. Ces alliances leur permettent de partager les risques industriels mais aussi les ressources (humaines et matérielles) et leurs compétences respectives. La conception d'un nouvel aéronef est désormais menée par plusieurs partenaires qui collaborent à un objectif commun. Dans le contexte actuel de mondialisation, ces différents partenaires sont la plupart du temps géographiquement éloignés. D'autre part, le fait que l'approche d'Ingénierie Simultanée soit basée sur la parallélisation des activités dans un but de réduction des délais de développement et d'augmentation de la qualité, nécessite une collaboration de tous les instants entre les membres de l'équipe de développement.

Spécificités de
l'industrie
aéronautique

Dans ce contexte, un projet européen intitulé ENHANCE pour **ENH**anced **AeroNautical Concurrent Engineering** [Enhance 98] a démarré en février 1999 pour une durée de trois ans. Il avait pour objectif de mettre en place des méthodes et des outils permettant l'application du concept de l'Ingénierie Simultanée dans l'industrie aéronautique européenne. La tâche COSITE de ce projet traitait plus particulièrement des problématiques d'ingénierie collaborative dans un contexte multisite [Bernard et al. 02-a] [Bernard et al. 02-b]. Une présentation des objectifs et du contenu de ce projet ENHANCE est fournie en annexe 1 de ce manuscrit.

ENHANCE et
COSITE

II.3.1. Une organisation distribuée

Les programmes aéronautiques sont des projets très coûteux, ce qui oblige les industriels du secteur à se regrouper pour partager les risques, mais aussi pour mettre en commun leurs compétences respectives. Ceci a comme conséquence un nombre important de partenaires géographiquement dispersés avec une dimension internationale. À titre d'exemple, le programme de l'hélicoptère de transport de troupes NH90 regroupe quatre sociétés réparties en Europe et impliquées dans le développement de l'appareil : Eurocopter en France, Eurocopter Deutschland en Allemagne, Agusta en Italie et Fokker aux Pays-Bas.

**Dimension
Internationale**

II.3.2. Des produits complexes

Les produits aéronautiques sont des produits de très haute technologie. Leur développement demande donc des compétences très spécifiques. Ceci est une autre raison qui conduit à des alliances d'entreprises. Néanmoins, ceci peut causer quelques problèmes au niveau du partage de leurs connaissances respectives liées aux produits. En effet, une entreprise possédant des savoirs et des savoir-faire très spécifiques, qui conditionnent en partie son existence, n'est *a priori* pas prête à les diffuser, y compris à des partenaires. Or, pour être efficace, l'Ingénierie Simultanée nécessite le partage des connaissances entre tous les membres d'une équipe projet. Cet aspect constitue une problématique importante à laquelle des solutions devront être apportées.

Savoirs Spécifiques

II.3.3. La sécurité industrielle

De nombreux programmes aéronautiques sont des projets gouvernementaux et militaires. Ceci implique évidemment une dimension de sécurité industrielle accrue. Cette sécurité doit être assurée au sein même des sites mais aussi entre les différents sites. Ces exigences sécuritaires ont des conséquences sur la mise en œuvre du travail collaboratif au sein de l'industrie aéronautique. En effet, les solutions, outils et technologies qui permettent d'améliorer le travail collaboratif utilisent des réseaux informatiques souvent perméables qui ajoutent des difficultés supplémentaires.

**Freins aux
changements**

II.4. Conclusion

À la vue de ce que nous venons d'évoquer sur les spécificités du secteur aéronautique, il apparaît que son enjeu majeur consiste à mettre en place une approche de l'ingénierie simultanée adaptée. Or, comme nous venons de le voir, l'ingénierie simultanée, dans le contexte mondial actuel, n'est envisageable qu'à la condition de mettre en place des méthodes et des outils favorisant le travail collaboratif multisite.

**IS et travail
collaboratif**

Après avoir présenté l'ingénierie simultanée face à l'ingénierie séquentielle en montrant les évolutions dans le temps des principes d'ingénierie, nous présentons dans le chapitre qui suit, l'ingénierie collaborative multisite.

III - DE L'INGÉNIERIE SIMULTANÉE VERS L'INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE

Le concept d'Ingénierie Simultanée requiert une forte collaboration, au sein et entre des processus concourants, qui repose sur une bonne compréhension des résultats de chacun de ces processus par toutes les personnes concernées, et sur l'intégration de leurs résultats. Cette collaboration peut être facilitée par des méthodes de travail communes dans chacun des processus. L'Ingénierie Simultanée demande donc une étroite collaboration entre les membres d'un projet. L'inconvénient majeur tient au fait que les équipes projets qui sont aujourd'hui de plus en plus souvent géographiquement dispersées doivent fréquemment se déplacer pour se rencontrer et travailler ensemble.

**Nécessité d'une
bonne collaboration**

Les progrès actuels des réseaux informatiques de communication permettent d'envisager une application plus efficace de l'Ingénierie Simultanée. Il est, en effet, désormais possible de collaborer ponctuellement avec un partenaire distant assez facilement. Mais, dans le cadre d'un projet aéronautique il est essentiel de disposer, non plus d'un certain nombre d'outils de travail collaboratif mis cote à cote, mais d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite (ensemble cohérent d'outils et de méthodes associées) qui prenne en compte les besoins de collaboration tout au long du cycle de développement du produit.

**Notion d'environ-
nements**

Les déplacements fréquents de la part des membres du projet pour se rencontrer engendrent des coûts élevés et des pertes de temps dans le développement du projet. C'est la raison pour laquelle une réflexion sur la mise en place d'un environnement de travail permettant à chaque membre du projet de travailler avec un collègue géographiquement éloigné, tout en restant dans son environnement familial, est un enjeu majeur.

**Collaboration à
distance**

Depuis 1984, un domaine de recherche, appelé *Computer Supported Cooperative Work* (CSCW), littéralement *Travail Coopératif Assisté par Ordinateur* (TCAO), traite de cette problématique. Ce domaine a la particularité d'être pluridisciplinaire. Il aborde, en effet, des aspects qui touchent à la fois aux sciences humaines, à la gestion et aux sciences de l'ingénieur.

Un domaine pluridisciplinaire

Le terme CSCW a été employé pour la première fois en 1984 par Irène Greif et Paul Cashman [Grudin 94] pour intituler une conférence dont l'objectif était de définir la manière d'aider les utilisateurs à exploiter au mieux les ordinateurs dans leur travail quotidien [Ellis et al. 91]. Une définition est maintenant donnée par l'AFCET³ :

CSCW – TCAO
Définition

Le TCAO ou CSCW : « regroupe l'ensemble des techniques et des méthodes qui contribuent à la réalisation d'un objectif commun à plusieurs acteurs, séparés ou réunis par le temps et par l'espace, à l'aide de tout dispositif interactif faisant appel à l'informatique, aux télécommunications et aux méthodes de conduite de groupe »

Tout ceci pose des problèmes techniques mais aussi et surtout organisationnels. En effet, il ne suffit pas de mettre à disposition des acteurs des outils de communication pour parler d'environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite. Une étude plus poussée doit être engagée au préalable, qui doit tenir compte de l'environnement de travail dans la globalité de ses aspects techniques et organisationnels.

Les différents aspects de la collaboration

³ AFCET : Association Française des Sciences et Technologies de l'information, des communications et des systèmes

III.1. Aspects techniques de la collaboration

Sous le terme « travail collaboratif », on peut regrouper toutes les activités humaines faisant intervenir plusieurs personnes, simultanément ou non. La collaboration peut aussi se voir sous sa dimension spatiale. Il est possible de collaborer à distance. Avant l'apparition des outils actuels de communication informatique, les collaborations distantes synchrones n'avaient pas une forte dimension interactive. Le seul outil vraiment utilisé était le téléphone qui ne permet que la communication audio. Cet outil ne permet pas de collaborer sur un document d'une manière interactive suffisante. Le changement apporté par l'informatique est que ce type de collaboration distante peut maintenant être synchrone et interactive. Il est désormais possible de collaborer sur un document partagé par toutes les personnes participant à la collaboration.

L'informatique et la
collaboration

III.1.1. Définition du Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur

Une confusion entre le terme collaboratif et coopératif est fréquemment constatée dans les publications. En effet, on rencontre aussi bien l'expression "Travail *Collaboratif* Assisté par Ordinateur" que "Travail *Coopératif* Assisté par Ordinateur". Cette confusion est aussi présente dans la bibliographie anglophone avec "Computer Supported *Collaborative* Work" et "Computer Supported *Cooperative* Work".

Coopération &
Collaboration

La raison de cette confusion tient au fait que les deux termes sont très proches. Dans les dictionnaires de langue française, on trouve les définitions suivantes :

Collaborer :
« Travailler avec d'autres à une œuvre commune »

Coopérer :
« Agir conjointement avec quelqu'un »

Notre point de vue est que la collaboration englobe la coopération. En effet, deux personnes peuvent collaborer, c'est-à-dire contribuer à une œuvre commune sans pour autant agir sur un même objet. Alors que lorsque deux personnes coopèrent, elles agissent conjointement sur un même objet. C'est la raison pour laquelle nous adopterons pour cette thèse le terme de travail collaboratif et non pas travail coopératif.

Collaboration >
Coopération

III.1.2. Typologies des outils de Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur

Dans le domaine du TCAO, on trouve deux types de typologie. La première est une typologie articulée sur l'espace et le temps, alors que la seconde est une typologie fonctionnelle.

Typologies

III.1.2.1. Typologie espace-temps

La typologie Espace-temps, proposée à l'origine par Ellis [Ellis et al. 91], est construite sur deux sous-typologies :

↳ une typologie basée sur le temps qui conduit à distinguer le travail synchrone – travail mené simultanément par les différents participants – du travail asynchrone permettant à chacun de travailler quand il en a la possibilité et/ou la nécessité;

Spatiale

↳ une typologie basée sur l'espace qui fait intervenir la distance. On peut travailler dans le même lieu ou à distance. Dans le premier cas, on parle de co-localisation, dans le second de présence virtuelle, de téléprésence ou de présence à distance.

Temporelle

Dans la figure 3 cette typologie est présentée sous forme d'une matrice à deux dimensions.

	<i>Même instant (Synchrone)</i>	<i>Instants différents (Asynchrone)</i>
<i>Même lieu (Présentiel)</i>	Interactions Synchrones Co-situées	Interactions Asynchrones Co-situées
<i>Lieux différents (À distance)</i>	Interactions Synchrones Distantes	Interactions Asynchrones Distantes

Figure 3 – Matrice espace-temps

III.1.2.2. Typologie fonctionnelle

Dans la littérature, nous rencontrons une autre forme de typologie basée sur l'aspect fonctionnel. Cette dernière a été initiée par Ellis en 1994 [Ellis et Wainer 94]. Salber a repris cette décomposition dans ses travaux [Salber et *al.* 95] et a ainsi pu définir trois espaces pour les outils de TCAO comme le montre la figure 4 :

Fonctionnelle

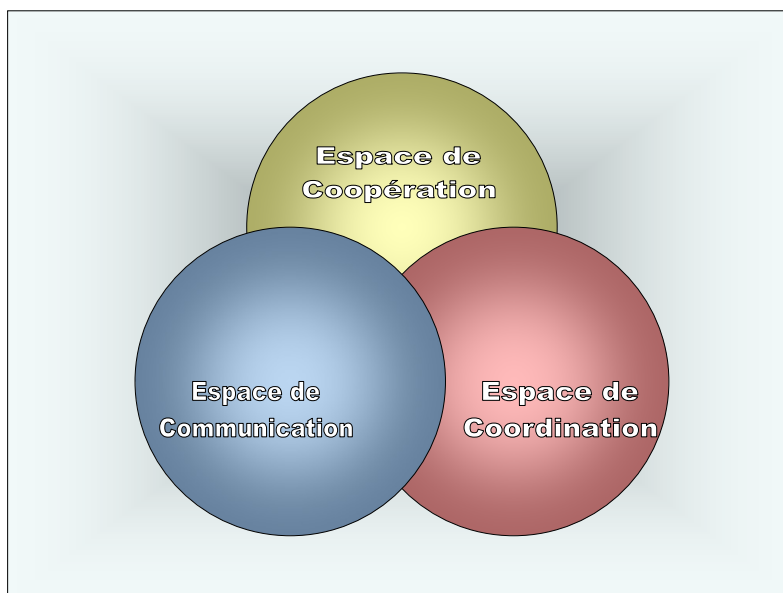


Figure 4 – Les trois espaces fonctionnels

↳ **L'espace de Coopération** désigne les objets qui résultent d'une activité de groupe. C'est dans cet espace que les documents communs à la collaboration sont situés et accessibles selon certaines règles de partage à tous les acteurs de la collaboration. Ces documents, qui peuvent être de tous types, servent de support à la collaboration.

↳ **L'espace de coordination** définit les acteurs (et notamment les individus, les groupes, les rôles), permet d'identifier les activités et les tâches (et notamment leurs relations temporelles). Cet espace permet de définir la collaboration dans le temps. Il exprime les relations entre les utilisateurs et leurs activités. La coordination assure l'efficacité, dans la réalisation de la tâche, du groupe. Elle permet la production collective d'un groupe en assurant la synchronisation relative au travail commun, en gérant, en particulier, les conflits qui apparaissent. À la différence de l'espace de coopération qui offre une vue assez statique du système, c'est dans cet espace que l'on définit la dynamique du système.

↳ **L'espace de communication** offre aux acteurs du logiciel de TCAO la possibilité d'échanger des informations, des savoirs et savoir-faire. Cet espace doit permettre des échanges aussi bien formels qu'informels. Plus cet espace sera riche, plus facile sera la création de l'esprit d'équipe primordial pour une collaboration réussie.

III.2. Aspects sociaux de la collaboration

Le succès du travail collaboratif peut se mesurer à la façon dont l'environnement collaboratif mis en place est capable de créer, et de soutenir une bonne dynamique de groupe qui se traduit par un nombre d'échanges d'information élevés. L'environnement collaboratif doit donc contribuer à faire disparaître la virtualité de présence des participants. Le travail doit pouvoir se dérouler au moins aussi naturellement qu'en situation co-localisée et sans support informatique. Il doit même pouvoir conduire à une organisation du travail plus efficace s'appuyant sur les nouvelles possibilités offertes par l'informatique qui constitue ainsi un nouveau support de *coopération*, de *communication* et de *coordination* entre les acteurs d'un projet. Le dispositif technologique mis en place ne doit pas perturber le travail ni la dynamique de groupe créée. Lors de la mise en place d'environnements collaboratifs, il faut donc avoir conscience que la dimension sociale est au moins aussi importante que la dimension technique.

Dimension Sociale

Nous allons présenter ci-dessous les notions essentielles à prendre en compte lors de la mise en place d'un environnement collaboratif. Ces notions sont relatives à la dimension sociale, notre ambition n'étant pas d'apporter une analyse de spécialistes de ce domaine mais de nous appuyer sur leurs travaux pour en tenir compte dans la spécification des environnements collaboratifs en appliquant des solutions techniques adaptées. En effet, il est clair que les solutions techniques ont des effets non négligeables sur la dimension sociale de l'environnement collaboratif.

Lien avec les solutions techniques

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à deux domaines en particulier : (i) la cohésion du groupe et (ii) la conscience de la situation.

Cohésion du groupe & Conscience de la situation

III.2.1. Cohésion du groupe (Trust)

Un travail collaboratif ne peut être efficace qu'à la condition que les acteurs partagent leurs informations et leurs connaissances. Ceci nécessite une confiance mutuelle. Dans le contexte d'une équipe projet traditionnelle, c'est-à-dire une équipe dont les membres sont co-localisés, une certaine confiance mutuelle se développe avec le temps. Ceci s'explique par la proximité des acteurs, qui au fil des jours apprennent à se connaître, apprennent à travailler ensemble. Or, cette confiance, qui se développe dans un contexte co-localisé presque « naturellement », a beaucoup plus de mal à s'imposer dans un contexte d'équipes projet distribuées. En effet, les acteurs mettent beaucoup plus de temps à se connaître et à développer des échanges.

Confiance mutuelle

Pour favoriser la cohésion du groupe, il faut que les membres d'une équipe se connaissent. Chacun doit pouvoir obtenir des informations sociales et organisationnelles (statut, rôles) sur les autres membres. De plus, le partage des informations globales relatives à la tâche et aux activités en cours du groupe renforce l'appartenance objective et subjective au groupe.

Connaissance de l'autre

Une des fonctionnalités intéressante pour créer un esprit d'équipe, est d'avoir le sentiment que les personnes sont « proches » de vous au quotidien. Un type d'outil qui peut aider à la cohésion sont les programmes de messagerie instantanée (*chat* en anglais). Ces programmes permettent aux utilisateurs de détecter si leurs collègues sont en ligne, et de leur envoyer instantanément un message. Dans le but de pallier au faible niveau social de ce type d'outil, les utilisateurs ont naturellement mis en place des codes qui représentent des sentiments (les *émoticônes*).

Codes sociaux



Figure 5 – Icônes représentant des émotions

Des systèmes permettent même de créer un monde virtuel dans lequel des acteurs virtuels – appelés avatars - représentent les participants [Tower 03]. Ces environnements virtuels ont pour but de reproduire au maximum les environnements physiques habituels. Des métaphores y sont ainsi présentes, comme des tableaux, des documents sur une table etc. De plus, la représentation des individus permet d'avoir une plus grande conscience de ce que les autres perçoivent ou sont en train de faire. En effet, les avatars indiquent la position de chacun ainsi que son angle de vue. Ce concept est très prometteur d'un point de vue des interactions sociales, ce qui est très important pour une collaboration distante efficace, mais il n'en est qu'à ses balbutiements et demande d'être étudié pour une application industrielle. De plus les avatars requièrent une bande passante assez conséquente, donc coûteuse.

**Métaphore de la
réalité**

L'un des risques liés à ces nouvelles méthodes de travail est le rejet par les utilisateurs du fait de la « communication totale ». En effet, les pertes d'informations sont parfois utiles sur le plan de la communication humaine. L'environnement mis en place pour le travail collaboratif doit par conséquent respecter la vie privée des utilisateurs mais aussi la liberté d'organisation du travail individuel. Un exemple parlant est le téléphone, il est possible de contacter n'importe qui sur toute la surface du globe grâce à cet outil, mais des dispositifs permettent de filtrer les appels, comme par exemple l'affichage du nom de la personne qui appelle.

**Communication
totale ou respect de
la vie privée**

III.2.2. Conscience de la situation (*Situational Awareness*)

Le terme anglais *awareness* peut être traduit de deux façons : connaissance ou conscience. *Awareness* comme connaissance signifie que des éléments d'informations résident au sein de la mémoire des personnes, mais que ces éléments peuvent être enfouis, alors que l'*awareness* vu comme la conscience signifie que la personne est consciente de cette information.

Définition

Lorsqu'une équipe travaille sur le même lieu et en même temps, des échanges de connaissances implicites ou explicites se produisent. Ces échanges de connaissances permettent la création d'une conscience de groupe. De la sorte, chaque individu connaît les activités de tous les autres membres du groupe et ainsi, il peut coordonner ses activités. Dourish et Bellotti dans [Dourish et Belotti 92] définissent cette conscience de groupe comme "la compréhension des activités des autres, qui permet de donner un contexte à sa propre activité".

**Awareness, support
à la coordination**

Dans le cas d'une équipe géographiquement dispersée, les échanges informels sont plus difficilement réalisables. Ceci implique la disparition de la conscience de groupe. Dans la mise en place de l'environnement de travail collaboratif, il faut donc prévoir des mécanismes d'échanges informels qui permettent de pallier ces lacunes.

Échanges informels

La conception de produits aéronautiques implique un grand nombre d'acteurs de métiers différents. Les activités de ces acteurs interagissent entre elles. En effet, une modification de conception sur une zone de l'appareil va influencer les zones voisines placées sous la responsabilité de partenaires qui peuvent être éloignés. On se rend bien compte ici de la nécessité de travailler en contexte, c'est-à-dire de travailler en tenant compte de son environnement au sens large. En effet, la conception en contexte telle que comprise par les spécialistes (i.e. contexte géométrique de la pièce à concevoir) ne suffit pas, il faut aussi tenir compte de l'environnement du concepteur.

Travail en contexte

L'utilisation de la maquette numérique en est un exemple explicite. Il est possible de concevoir une pièce dans son environnement géométrique numérique constamment mis à jour. De la sorte, les problèmes d'interférences par exemple sont résolus en temps réel. Mais, le travail en contexte ne s'arrête pas à la maquette numérique, les acteurs doivent aussi travailler en fonction de leur environnement social. Par exemple, ils doivent connaître les responsabilités de chacun dans leur équipe projet, ils doivent aussi avoir accès à des informations sur l'état d'avancement du projet.

**Pas seulement la
maquette
numérique**

Ce travail en contexte ne peut être réalisable que si des moyens de communication, efficaces et pertinents, entre sites distants sont mis en place. De plus, des artefacts doivent permettre aux acteurs de percevoir correctement leur environnement virtuel. Or, dans une équipe dispersée géographiquement, les informations renseignant les activités des autres ne sont pas toujours accessibles [Bernard et *al.* 02-c] [Gutwin et Greenberg 01]. En particulier les informations implicites, qui sont le vecteur de liens sociaux essentiels à la création d'un esprit d'équipe.

**Informations
implicites,
essentielles pour
les liens sociaux**

Les défauts des collecticiels actuels sont essentiellement dus au manque d'artefacts permettant d'avoir une bonne conscience de l'environnement. En effet, de nombreuses études portent sur la conscience de la situation en temps réel. Or, de notre point de vue, ce n'est pas la seule perception que les acteurs doivent avoir de leur environnement.

**Conscience de la
situation « temps
réel » mais pas
seulement...**

Comme nous venons de le voir, une collaboration efficace ne peut se faire qu'entre des individus qui ont une confiance mutuelle et des liens sociaux bien établis. Mais pour cela, il faut que les outils mis en place permettent la création d'un environnement d'Ingénierie Collaborative qui donne la possibilité aux utilisateurs de collaborer – c'est-à-dire de communiquer, de coordonner leurs activités et de coopérer sur des documents, et ceci que ce soit d'une manière synchrone ou asynchrone. En outre, les utilisateurs doivent avoir une perception claire de cet environnement sans quoi des erreurs dues à des incompréhensions risquent de se produire.

**La conscience de la
situation comme
porteur de liens
sociaux**

IV - CONCLUSION

Nous avons positionné dans ce chapitre, le concept d'Ingénierie Collaborative Multisite vis-à-vis des concepts d'Ingénierie Séquentielle et d'Ingénierie Simultanée.

Après une description des principes de l'Ingénierie Séquentielle, ses limitations ont été mises en évidence : manque de collaboration entre les métiers, les départements de l'entreprise, qui induit des allongements de durée de développement et des erreurs décelées trop tardivement dans le cycle de développement.

Face aux lacunes induites par l'Ingénierie Séquentielle, les apports de l'Ingénierie Simultanée ont été mis en évidence comme la parallélisation des activités, l'implication dès le début du projet de toutes les compétences, etc.

Enfin, nous mettons en avant que la notion de collaboration est au centre du concept d'Ingénierie Simultanée, et nous introduisons, en conséquence, les principes de l'Ingénierie Collaborative Multisite en présentant les avantages de ce nouveau paradigme. Les principaux aspects techniques, ainsi que les principaux aspects sociaux de l'Ingénierie Collaborative Multisite sont dégagés.

Chapitre 3

SPÉCIFICATION D'UN ENVIRONNEMENT D'INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE

PLAN DU CHAPITRE

I - INTRODUCTION	49
II - COLLABORATIONS DANS L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE	51
II.1. LE CYCLE DE DÉVELOPPEMENT D'UN PROGRAMME AÉRONAUTIQUE	51
II.1.1. La phase de faisabilité	51
II.1.2. La phase de pré-développement	52
II.1.3. La phase de développement	53
II.1.4. La phase d'industrialisation et de production	53
II.2. LES DIFFÉRENTES PHASES DE COLLABORATION AU COURS DU CYCLE DE DÉVELOPPEMENT	53
III - IDENTIFICATION DES SITUATIONS TYPES DE COLLABORATION	56
III.1. RÉUNION IMPROMPTUE	57
III.2. RÉUNION PLANIFIÉE	57
III.3. BILAN	58
IV - INVENTAIRE DES RESSOURCES DE COLLABORATION	59
IV.1. LES RESSOURCES DE COMMUNICATION	59
IV.1.1. Communication synchrone	60
IV.1.1.1. Communication vidéo	60
IV.1.1.2. Communication audio	62
IV.1.1.3. Messagerie instantanée	62
IV.1.1.4. Tableau Blanc	63
IV.1.2. Communication asynchrone	64
IV.1.2.1. Messagerie électronique	65
IV.1.2.2. Forum de discussion	66
IV.1.2.3. Échanges d'informations	67
IV.1.3. Bilan des ressources de communication	68
IV.2. LES RESSOURCES DE COORDINATION	68
IV.2.1. Gestion électronique des processus (workflow)	69
IV.2.2. Agendas partagés	71
IV.2.3. Gestion du cycle de vie produit	72
IV.2.4. Gestion de la configuration et de modifications	73
IV.2.5. Équipes produit intégrées	73
IV.2.6. Bilan des ressources de coordination	75
IV.3. LES RESSOURCES DE COOPÉRATION	75
IV.3.1. Maquette numérique	75
IV.3.2. Partage d'application	76
IV.3.3. Tableau blanc partagé	77
IV.3.4. Bilan des ressources de coopération	79

IV.4. BILAN DES RESSOURCES DE COLLABORATION	79
V - CONCLUSION	80

I - INTRODUCTION

Étant donné qu'il n'existe pas sur le marché, à l'heure actuelle, une solution globale d'outil d'Ingénierie Collaborative Multisite qui satisfasse toutes les situations de collaboration, il est nécessaire d'étudier en détail ces dernières. Cette étude a pour but d'identifier les situations pertinentes de collaboration et de proposer des solutions pour en améliorer l'efficacité [Bernard et *al.* 03].

Le travail mené en tant que leader de la tâche COSITE au sein du projet ENHANCE, nous a permis d'acquérir une compétence certaine en termes de besoins de collaboration des industriels du secteur aéronautique. Ceci nous a permis de définir une approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite en cinq étapes décrites ci-après :

La première consiste à ***étudier les situations de collaboration*** afin de bien définir les besoins. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes limités à l'industrie aéronautique européenne. Le paragraphe II de ce chapitre présente les différentes phases de collaboration au cours du cycle de développement d'un produit aéronautique. Nous présentons ensuite dans le paragraphe III des cas concrets de collaboration issus d'une analyse des situations actuelles de collaboration dans l'industrie aéronautique européenne.

La seconde étape consiste à ***étudier les ressources*** de collaboration disponibles. Cette étude doit être actualisée régulièrement, en vue de spécifier les plus pertinentes, car dans ce domaine, les fonctionnalités offertes par les outils évoluent constamment. Dans le paragraphe IV de ce chapitre nous décrivons les ressources de collaboration disponibles classées à l'aide de la typologie fonctionnelle de Salber (voir figure 4).

La troisième étape de l'approche proposée a pour but de **définir l'environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite** le mieux adapté à une situation de collaboration donnée. Pour cela, un processus de décision argumenté doit être mené. Nous proposons dans le chapitre 4 (Aide aux choix des outils de conception collaborative multisite) un outil d'aide aux choix d'un environnement de conception collaborative multisite.

La quatrième étape consiste à **réaliser un déploiement** de l'environnement choisi. Le cas de la mise en place de la salle de revue de conception collaborative distante est traité dans le paragraphe III.4.1 du chapitre 5.

Enfin, une cinquième et dernière étape consiste à **analyser les retours d'expérience** des utilisateurs de l'environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite dans le but d'améliorer les spécifications futures (voir paragraphe III.4.3 du chapitre 5).

La figure 6 ci-après résume l'approche proposée. Les chapitres traitant des différentes étapes y sont indiqués.

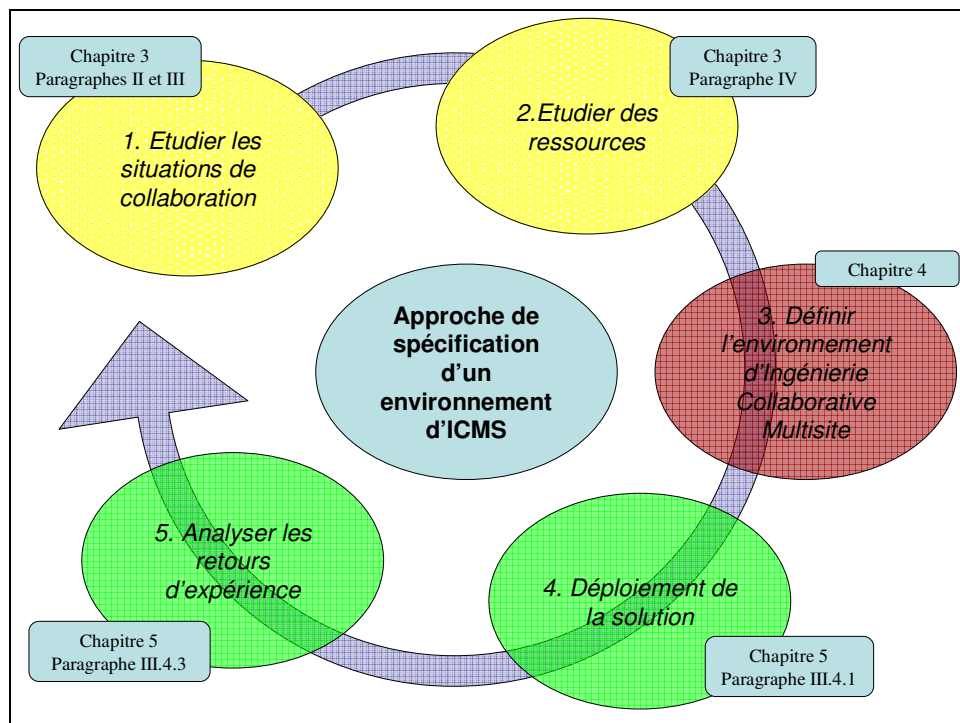


Figure 6 – Approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite

II - COLLABORATIONS DANS L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE

Nous présentons ici les résultats de l'étude des situations de collaboration que nous avons effectuée dans le cadre du projet ENHANCE. Le nombre important de partenaires qui ont pris part aux activités de la tâche COSITE appartenait tous au secteur aéronautique. Ceci nous a permis de réaliser une étude relativement étendue des besoins de ce secteur concernant le travail collaboratif. Une synthèse de cette étude est présentée ci-après.

État de l'art du
secteur
aéronautique

II.1. Le cycle de développement d'un programme aéronautique

Le cycle de développement d'un aéronef est composé de quatre phases principales que sont : la phase de faisabilité, la phase de pré-développement, la phase de développement, la phase d'industrialisation et de production en série.

Les phases de
développement

II.1.1. La phase de faisabilité

L'objectif de la phase de faisabilité est d'analyser les différentes solutions et d'évaluer la plus attrayante pour décider de la capacité de l'organisation à remplir les exigences du produit. Dès le début de cette phase, un responsable projet est désigné. Cette phase débute par la rédaction d'un document sur les spécifications des besoins. Une fois ce document terminé, les informations sont distribuées aux différents responsables de l'équipe projet pour leur permettre de démarrer l'étude de faisabilité dans leur domaine respectif. Cette phase se termine par l'édition d'un document de faisabilité technique et d'un planning initial du projet qui donne des détails sur la phase de pré-développement mais aussi sur la phase de développement.

Analyses des
solutions
techniques

II.1.2. La phase de pré-développement

L'objectif de la phase de pré-développement est de proposer et d'optimiser les choix en termes de performances, de coûts et de planning avec comme objectif de satisfaire les exigences. Ceci doit être réalisé à un niveau assez détaillé pour limiter les risques et pour permettre un engagement des différents acteurs sur les performances, les coûts et le planning. Des représentants de la production, de la qualité, des essais en vol, des achats et du support à la clientèle sont impliqués dans cette phase, dans le but de réaliser une optimisation complète et efficace, et d'intégrer au bon moment les contraintes des différents domaines. Cette phase se termine par l'édition des documents suivants :

**Optimisation des
choix vis-à-vis des
exigences clients**

- ↳ un document de *Spécification Technique* qui est un engagement sur les performances, mais sans solutions techniques,
- ↳ un document de *Description Générale* qui décrit le découpage en systèmes et sous-systèmes,
- ↳ un document qui positionne les solutions techniques vis-à-vis des exigences,
- ↳ un document préliminaire sur les limitations fonctionnelles de l'appareil,
- ↳ un document sur le planning du projet avec la liste des activités, l'organisation, les jalons, les coûts et les risques.

II.1.3. La phase de développement

L'objectif de la phase de développement est de valider les solutions et d'obtenir les qualifications et certifications nécessaires qui pourront être reproduites en production de série en respectant les performances, les coûts et les délais. La conception est validée en trois étapes avec les revues clés suivantes :

Validation des solutions

- ↳ Revues de conception préliminaire,
- ↳ Revues de conception critique,
- ↳ Revues de qualification/certification.

II.1.4. La phase d'industrialisation et de production

L'objectif de la phase d'industrialisation et de production en série est de fournir un support technique lors de l'industrialisation et de la production en série. Lors de cette phase, typiquement six mois après la certification/qualification une *revue rétrospective* est réalisée pour faire un point sur les possibles améliorations des processus pour les projets futurs.

Support technique

II.2. Les différentes phases de collaboration au cours du cycle de développement

Selon les phases de développement, les besoins en termes de collaboration sont différents. En effet, lors des phases de faisabilité et de pré-développement, le nombre d'acteurs prenant part au projet est relativement faible. À l'inverse les phases qui suivent (développement et industrialisation) requièrent un nombre d'acteurs conséquent du fait de la complexité des produits aéronautiques.

Variation du nombre d'acteurs au cours du développement

De plus, du fait du nombre peu important d'intervenants dans les premières phases de développement, la co-localisation des acteurs est possible, alors que dans les dernières phases du projet, le nombre important d'acteurs rend impossible cette co-localisation.

Co-localisation / Dispersion des ressources

Ces différences impliquent des problématiques particulières pour chaque type de phase de développement. En effet, lorsque les acteurs sont réunis sur un lieu unique, la collaboration devient plus facile, alors que lorsque les participants sont répartis sur des sites différents, souvent dans des pays avec des langues et des cultures propres, la mise en place d'une collaboration efficace est plus difficile.

La figure 7 résume les différences entre les phases en termes de nombre d'acteurs et de localisation de ceux-ci.

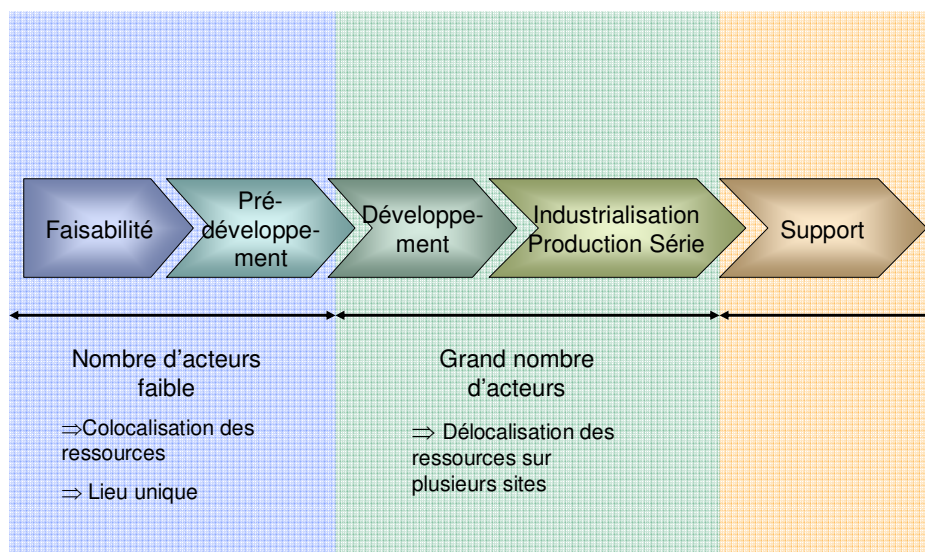


Figure 7 – Les différents types de collaboration en fonction des phases de développement d'un programme aéronautique

La répartition et la hiérarchisation des activités pour le développement d'un aéronef peuvent être synthétisées de la manière suivante :

- ↳ Niveau Appareil
- ↳ Niveau Tronçons
- ↳ Niveau Lot de Travail
- ↳ Niveau Sous-Ensembles

La collaboration se place donc à différents niveaux. Soit au sein d'un niveau hiérarchique identique, soit entre des niveaux hiérarchiques différents, mais se limitant à une différence de un niveau comme l'illustre la figure 8 :

Besoins différents

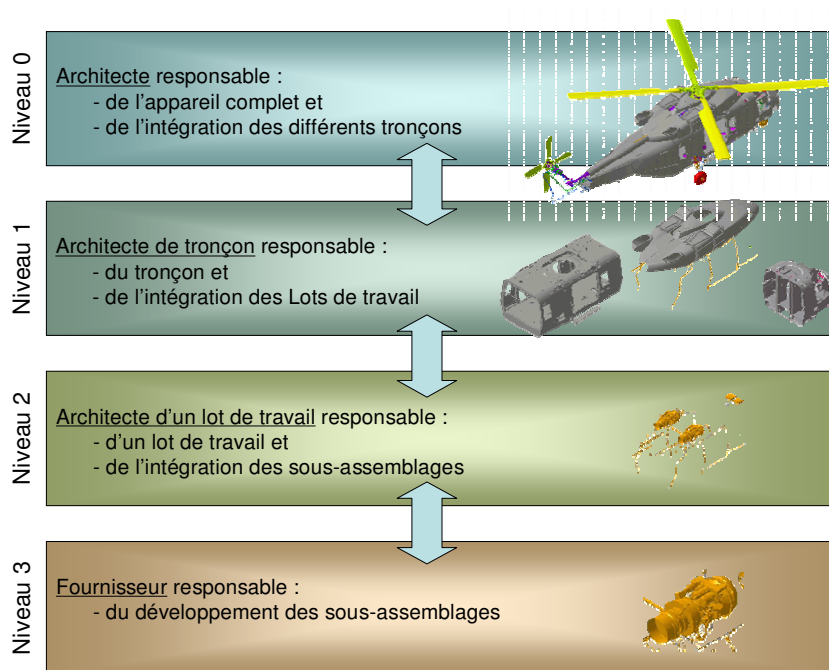


Figure 8 – Découpage de l'appareil en niveaux hiérarchiques

Les premières étapes de la collaboration se déroulent lors de la phase de pré-développement. Lors de cette phase, les partenaires se réunissent en un lieu unique pour former des équipes projet intégrées (Integrated Project Teams). Une seconde période de collaboration se déroule lors de la phase de développement, mais lors de celle-ci, les acteurs sont géographiquement dispersés dans leur entreprise respective.

Les différentes phases collaboratives

Cette répartition des processus a des inconvénients majeurs. En effet, lors des phases en équipes projet intégrées, les coûts liés à la délocalisation des ressources humaines sont très élevés. À l'inverse, les phases durant lesquelles les acteurs se trouvent sur leur site respectif, ne permettent pas actuellement d'obtenir une collaboration vraiment efficace. De plus, ce découpage en phases co-localisées et distantes ne permet pas un suivi facile et efficace du projet au sens de la capitalisation des connaissances.

Problématiques liées à la dispersion géographique

III - IDENTIFICATION DES SITUATIONS TYPES DE COLLABORATION

La dimension européenne du projet ENHANCE, nous a permis d'avoir un champ d'étude très large. Ainsi, une enquête a été menée auprès de toutes les sociétés aéronautiques impliquées dans ce projet. Ceci nous a permis d'identifier un certain nombre de besoins actuels du secteur aéronautique européen en termes de collaboration.

**Champ
d'investigation**

Nous avons identifié deux types représentatifs de collaboration : les réunions impromptues et les réunions préparées. Dans les paragraphes suivants, nous présentons une brève description des ces deux types de réunions. Pour une description plus détaillée, se reporter au livrable COSITE [Bernard et *al.* 02-a].

**Deux types de
réunion**

III.1. Réunion impromptue

Ce type de réunion correspond aux réunions techniques quasi quotidiennes entre deux partenaires. Les concepteurs ont besoin d'informations techniques pour prendre des décisions, or, ces informations peuvent être détenues par un partenaire éloigné. Dans le but d'augmenter la réactivité et la rapidité des prises de décisions, un acteur doit pouvoir collaborer avec le détenteur de l'information qui lui est nécessaire, et ce dès que possible.

**Prise de décision
rapide**

Lors de ces réunions, des décisions sur la conception sont prises. Pour diminuer le temps de prise de décision, les concepteurs ont l'habitude, dans une situation co-localisée de discuter en visualisant les modèles et de réaliser des croquis sur les plans CAO. Il faut donc fournir des fonctionnalités équivalentes dans un contexte distant.

**Visualisation
commune**

Étant donné que ces réunions sont impromptues, les données nécessaires à la prise de décision doivent être disponibles. C'est la raison pour laquelle le système de collaboration doit être intégré à l'environnement de travail personnel des acteurs. En d'autres termes, les participants doivent pouvoir collaborer à partir de leur station de travail, en restant dans leur bureau.

**Environnement
habituel**

III.2. Réunion planifiée

Lors du lancement d'un programme aéronautique, les partenaires définissent un planning dans lequel des revues de projet sont planifiées à des jalons bien précis. Tous les partenaires sont présents lors de ces revues. Le nombre de participants peut atteindre une vingtaine de personnes. Jusqu'à présent ces revues étaient organisées sur le site d'un des partenaires pour une durée de plusieurs jours.

Reuves de projet

Au cours de ces réunions, les partenaires réalisent un état d'avancement du projet. Tout type de documents sont présentés. Aussi bien des documents écrits que des modèles géométriques en trois dimensions. Tous les participants doivent pouvoir visualiser et exploiter ces documents d'une manière interactive. Dans le cas d'une situation co-localisée, les documents sont projetés. Des fonctionnalités équivalentes doivent donc aussi être disponibles dans un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite.

Visualisation
commune

III.3. Bilan

Avec les deux cas types précédents, on constate que les besoins de collaboration sont totalement différents comme le résume la figure 9 ci-après. Ceci montre qu'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite doit être spécifié en fonction des besoins spécifiques. Il n'est pas envisageable de créer un environnement unique qui réponde à tous les besoins.

Besoins spécifiques

Type de réunion	Objet de la réunion	Nombre de sites	Nombre de participants sur chaque site	Durée de la réunion (heure)
Réunion impromptue	Résolution d'un problème technique	2	1	1
Réunion planifiée	Revue de conception	>2	>10	>16

Figure 9 – Récapitulatif des caractéristiques des deux cas types de réunions

Cette hétérogénéité dans les besoins fonctionnels nécessite d'examiner l'ensemble des ressources de collaboration actuellement disponibles sur le marché. Cette étude qui fait l'objet de la deuxième étape de notre approche est présentée dans le paragraphe suivant.

Inventaire des
ressources

IV - INVENTAIRE DES RESSOURCES DE COLLABORATION

IV.1. Les ressources de communication

La communication est fondamentale dans toute forme d'organisation mais elle est prédominante pour les organisations en entreprise étendue [DeSanctis et Monge 98]. Sans la communication les liens entre les différentes entités constituantes de l'entreprise étendue ne pourraient pas exister. La communication électronique permet la création de liens à travers les distances, le temps, les cultures, les départements et les organisations, créant ainsi des alternatives aux formes actuelles des organisations (même lieu, même instant).

... à travers les distances

La communication facilite l'accès au capital de connaissances de l'équipe projet. La communication entre les individus est essentielle à la mise en commun d'un minimum de corpus de savoirs nécessaires aux activités de chacun pour atteindre un but commun.

Accès aux connaissances des acteurs

Le verbe *communiquer* peut se mettre à la forme transitive ou intransitive. Dans le premier cas, il a le sens de transmettre des informations, des renseignements, des connaissances. Par exemple, « j'ai communiqué les dernières informations à Pierre ». Dans le deuxième cas, il aura le sens d'échanger, de converser « nous avons bien communiqué ».

Échanges d'informations ou conversation

Ces deux notions sont importantes pour comprendre la transmission du savoir. Dans le premier cas, *communiquer* s'apparente à la transmission de savoirs formels, alors que dans le deuxième cas, les savoirs sont, la plupart du temps, informels. Or, lors d'une collaboration, il faut pouvoir transmettre les deux formes de savoirs. Il est évident que selon le degré d'informel du savoir, les techniques de transmission seront différentes.

Savoirs formels /
Savoirs informels

La communication entre deux ou plusieurs personnes (forme intransitive) ne peut se faire que d'une manière synchrone. En effet, cette forme de communication est basée sur des échanges interactifs d'informations ou de connaissances. Alors que dans le cas d'une communication de données, d'informations ou de connaissances formelles (forme transitive), ces échanges peuvent être asynchrones.

**Synchrone /
asynchrone**

Dans les sections suivantes, nous allons dresser un panorama des différents types de communication. Selon le besoin et la situation, il faudra mettre en place des systèmes permettant tel ou tel type de communication.

**Types de
communication /
besoins**

IV.1.1. Communication synchrone

Pour qu'une communication informelle puisse avoir lieu, il faut que les individus puissent interagir d'une manière synchrone. Il faut donc mettre en place des moyens de communication synchrone distante. Dans les paragraphes qui suivent nous allons dresser un panorama des possibilités offertes à l'heure actuelle concernant les fonctionnalités de communication. La communication peut prendre différents aspects, et selon le contexte, les besoins seront différents. En effet, il n'est pas nécessaire, par exemple, pour deux personnes d'une même équipe situées sur des sites distants, qui ont l'habitude de travailler ensemble, de se voir pour communiquer. Dans ce cas là, une simple communication audio suffit.

Audio / Vidéo

IV.1.1.1. Communication vidéo

L'utilisation de la communication visuelle se justifie dans le cas où les individus ne se connaissent pas, ou dans le cas où ils font face à des problèmes de langues. *A contrario*, si les interlocuteurs se connaissent bien, s'ils ont l'habitude de travailler ensemble, ce mode de communication n'est pas indispensable. Il peut par contre s'avérer très utile pour montrer des objets physiques.

**Connaissance
mutuelle des
participants**

La vidéo peut donner une sensation de présence plus forte que l'audio seule. Voir le comportement de son interlocuteur, ses gestes, les formes de communication non verbales, permet dans certains cas d'améliorer les interactions. A l'inverse des études ont montré que l'utilisation de la vidéo n'avait que peu d'effet sur la rapidité de prises de décisions [Ochsman et Chapanis 74] [Gale 90].

**Communication
gestuelle**

La vidéo ayant un impact social important doit être utilisée dans le cas où les gens se connaissent peu ou pas ou dans le cas où des difficultés de langue apparaissent. Dans le premier cas, la vidéo permet de mettre un visage sur un nom et ainsi de favoriser la création de liens sociaux. Lors de collaborations internationales, il n'est pas rare de faire face à des problèmes de communication liés à la langue. Les difficultés de compréhension peuvent avoir une influence non négligeable sur les délais de développement. Dans ce cas, la vidéo permet de visualiser les réactions des interlocuteurs lors d'une conversation et ainsi de comprendre plus facilement, en regardant les gestes de la personne, le sens que celle-ci veut donner à son message.

**Favorise la création
des liens sociaux**

Il existe différents moyens de transmettre cette communication visuelle. Ces moyens peuvent être classés sous deux catégories. La première de ces catégories, ce sont les systèmes de visioconférence. La seconde catégorie regroupe les systèmes de vidéoconférence. La différence entre ces deux systèmes réside dans leur mise en place. Les systèmes de visioconférence sont dédiés à des salles de réunion, où plusieurs personnes peuvent communiquer, alors que les systèmes de vidéoconférence sont installés sur des PC avec des webcams, ces derniers sont donc utilisés pour des réunions ne faisant intervenir qu'une seule personne sur chaque site.

**Visioconférence
≠
Vidéoconférence**

IV.1.1.2. Communication audio

Il est évident que le son est une donnée essentielle lors d'une communication. Mais la question est de savoir s'il est indispensable qu'un outil informatique fournisse cette fonctionnalité. En effet, des outils plus traditionnels et très courants dans le monde de l'industrie, comme le téléphone, peuvent très bien être utilisés en remplacement. L'un des critères d'évaluation est la qualité de transmission. Or les débits réseaux actuellement disponibles ne permettent pas une qualité assez élevée. De plus, l'utilisation du son via les réseaux informatiques est, pour des raisons de sécurité, non conseillé. Cette fonctionnalité nécessite, en effet, l'ouverture de ports de communication très sensibles pour la sécurité.

Qualité de transmission

La communication audio est, contrairement à la communication vidéo, indispensable dans le cadre d'un travail collaboratif synchrone. C'est le moyen de communication le plus riche au niveau signifiant. En effet, cette forme de communication permet de se coordonner pour accomplir une activité. La qualité de la communication audio doit être la plus élevée possible. Tang et Isaacs dans [Tang et Isaacs 92], montrent que l'audio a un rôle plus important que la vidéo pour supporter la collaboration. Ils suggèrent d'ailleurs, pour les systèmes de visioconférence, de dégrader en priorité la vidéo à l'avantage de l'audio. Ainsi la collaboration, en cas de perte de débit, reste acceptable.

Richesse de la communication audio

IV.1.1.3. Messagerie instantanée

La communication écrite possède plusieurs avantages. Dans le cas d'une session de travail collaboratif où les participants n'ont pas la même langue maternelle, la communication écrite (messagerie instantanée, voir figure 10) permet parfois de mieux se faire comprendre. Il est en effet, plus facile de comprendre un texte dans une langue étrangère qu'une conversation orale. En effet, il n'y a pas de problèmes d'accent lors d'une telle communication.

Langues différentes

De plus, ce moyen de communication est rémanent, cela signifie que l'on peut à tout moment revenir sur la discussion d'une manière autonome pour rattraper le fil de la conversation. Cette rémanence a l'autre avantage de donner la possibilité à l'utilisateur de sauvegarder la conversation. Cette dernière utilisation peut être utile à la rédaction du compte-rendu de la réunion.

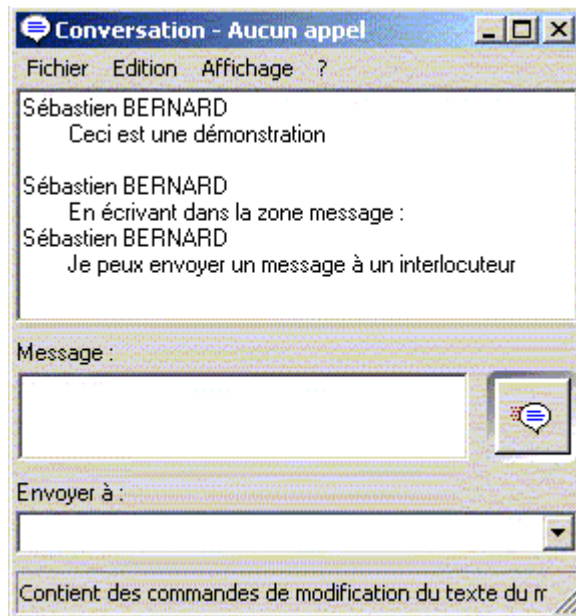


Figure 10 – Messagerie instantanée de NetMeeting

IV.1.1.4. Tableau Blanc

Un espace de travail partagé est très utile lors d'une session de travail collaboratif. Un tableau blanc partagé peut, par exemple, être utilisé pour visualiser des croquis que tous les participants à la session peuvent voir et manipuler (voir figure 11). Tang et Isaacs dans [Tang et Isaacs 92] montrent que cette fonctionnalité est la plus appréciée dans les systèmes de vidéoconférence. Ceci s'est trouvé confirmé lors de l'utilisation de la salle de revue de conception déployée à Eurocopter (voir le paragraphe III.4 du Chapitre 5)

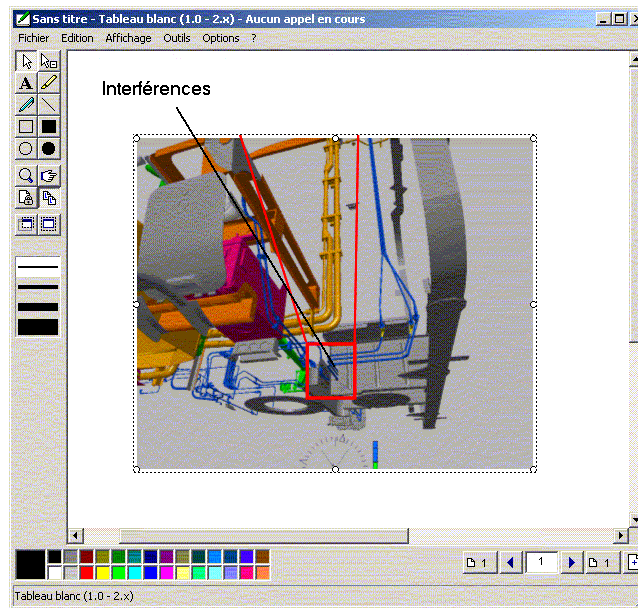


Figure 11 – Tableau Blanc partagé de NetMeeting

De même que la messagerie instantanée, le tableau blanc partagé a la particularité d'être rémanent. Ainsi, il est possible de le visualiser à n'importe quel instant. De plus, il est tout aussi utile pour réaliser le compte-rendu en intégrant tous les croquis.

Compte-rendu

IV.1.2. Communication asynchrone

Il existe différents moyens de communication asynchrone. Cela va des systèmes de messagerie, très répandus de nos jours, aux systèmes d'échanges d'informations structurées, en passant par des forums de discussion et des systèmes d'échanges de données. Selon le type de système, le niveau de formalisme est plus ou moins élevé. Les systèmes d'échanges d'informations structurées ont un niveau de formalisme élevé, alors que les forums de discussion ont un niveau de formalisme moindre. Il est clair que dans le cadre d'un projet industriel, il faut au maximum limiter la part d'informel. Mais il est bien évident que tout n'est pas formalisable, en tout cas pas sans efforts conséquents en termes de temps et d'investissement. C'est la raison pour laquelle il ne faut pas éliminer totalement les moyens de communication informelle mais plutôt, dès que cela est possible, rendre les connaissances les plus formelles possibles.

**Besoin de
communication
informelle**

IV.1.2.1. Messagerie électronique

La messagerie électronique est de loin le moyen de communication asynchrone le plus utilisé de nos jours. Il remplace, de plus en plus, les moyens de communication comme le fax ou les notes écrites.

**Apogée du courrier
électronique**

Les principaux avantages de l'utilisation de la messagerie électronique sont les suivants :

- ↳ Permet un archivage et donc une capitalisation des échanges.
- ↳ Réduit les échanges papiers qui sont moins faciles à gérer.
- ↳ Permet une richesse de la communication à l'aide des documents attachés.

Cependant la messagerie électronique comporte aussi des risques comme :

- ↳ Des interprétations erronées du message de l'expéditeur.
- ↳ Étant donnée la facilité de distribution des messages électroniques, le risque est de transmettre l'information à des personnes qui ne sont pas forcément concernées, encombrant ainsi leur système de messagerie et rendant leur travail de « dépouillement » plus compliqué.

À la suite de ces problèmes constatés, nous proposons une méthode d'utilisation de la messagerie électronique :

La principale idée que l'utilisateur de la messagerie doit avoir en tête est que les messages électroniques ne doivent pas être utilisés pour faire passer des messages informels. En effet, le manque de rigueur lors de la rédaction des messages est source de confusions de sens et de perte de temps pour les destinataires. Quelques règles de base doivent être respectées pour rendre l'utilisation de la messagerie la plus efficace possible.

**Des règles
indispensables**

Ces règles peuvent être formalisées et incluses dans le système de messagerie. Ainsi, les utilisateurs pourront appliquer ces règles d'une manière transparente.

Automatisation des règles

Au début du projet, les partenaires doivent se mettre d'accord sur des règles concernant les titres des messages. En effet, si les règles sont claires, il est alors facile de retrouver un message ne serait-ce qu'en regardant le titre de celui-ci. On pourra par exemple reprendre le découpage en lot d'un projet, suivi de l'objet du projet.

Règles projets

Dans le cas d'envoi de documents attachés successifs, il faudra envoyer un message par fichier, en mettant, explicitement, dans le titre du message le contenu du fichier joint.

Objet du message clair

Si une action est attendue, un résumé devra apparaître dans le haut du message qui indique ce qui est attendu, qui doit accomplir l'action et pour quelle date.

Résumé du principal objectif du message

Lors de la rédaction du message, il faut être attentif à la mise en forme en ayant toujours à l'esprit que selon les systèmes de messagerie la mise en forme d'un même message peut varier fortement. Or, la mise en forme est parfois porteuse de sens (caractères gras pour appuyer un mot par exemple).

Mise en forme porteuse de sens

Lors de la diffusion, faire attention à l'objectif du message : (i) pour information, (ii) pour réponse, (iii) pour discussion. Ne pas mélanger, dans un même message, divers objectifs.

Un seul objectif par message

Mettre en place une stratégie pour les messages électroniques du projet. Les formats, en-têtes, fichiers attachés... doivent respecter un modèle mis en place par tous les partenaires du projet. Des formulaires pourront par exemple être développés pour faciliter l'utilisation et pour formaliser les échanges.

Formulaires

IV.1.2.2. Forum de discussion

Les forums de discussion sont des lieux où les individus peuvent partager leurs connaissances ou plutôt leur expérience d'une manière semi-formelle. Ces systèmes permettent une communication libre. Mais à l'inverse, ils sont structurés pour pouvoir retrouver le plus facilement possible l'objet de la discussion.

Communication libre

IV.1.2.3. Échanges d'informations

La principale différence entre des environnements monosites et multisites réside dans les débits réseaux. En effet, les réseaux locaux internes aux entreprises dits réseaux LAN (pour *Local Area Network*) fournissent des débits allant de 10 Mo/s à 1 Go/s alors que les réseaux externes (WAN pour *Wide Area Network*) sont de l'ordre de 1 Mo/s. Cependant, il est possible d'installer des réseaux WAN à plus haut débit, mais les coûts sont très élevés. Ceci rend difficile les échanges de données en temps réel, il faudra préférer des banques de données sur chaque site synchronisées régulièrement.

Coûts des réseaux informatiques

Pour limiter la quantité des données échangées entre les différents sites, il faut une définition claire de la structure des données dès le début du projet. Cette structure définit quelles sont les données fournies par un partenaire et lesquels lui sont nécessaires. De plus, les formats des données doivent aussi être clairement définis contractuellement.

Formalisation des échanges

À toutes les données échangées, il faut aussi associer des méta-données⁴ qui seront nécessaires pour leur gestion. Ces données contextuelles sont très utiles pour une réutilisation efficace par des tierces personnes. Lors de la création des systèmes d'échanges de données, il faudra donc mettre en place des mécanismes qui gèrent ces méta-données.

Données contextuelles

⁴ Les méta-données constituent des structures et descriptions émises à un niveau d'abstraction supérieur (méta) et relatives à un niveau inférieur (ou référence)

IV.1.3. Bilan des ressources de communication

La figure 12 résume toutes les ressources de communication actuellement disponibles sur le marché.

RESSOURCES DE COMMUNICATION	
Communication Synchrones	Communication Asynchrone
Audio	Messagerie électronique
Vidéo	Forum de discussion
Messagerie instantanée	Échanges d'information
Tableau blanc	

Figure 12 – Tableau récapitulatif des ressources de communication

IV.2. Les ressources de coordination

Avec l'ingénierie simultanée, le besoin de se coordonner devient essentiel. En effet, contrairement à l'ingénierie séquentielle qui définit des spécifications claires et stables directement exploitables par l'activité suivante, en Ingénierie Simultanée, les activités sont parallèles, ce qui nécessite des méthodes de coordination plus strictes.

**Ingénierie
Simultanée implique
une coordination
plus stricte**

La coordination sert à gérer les dépendances entre les activités [Malone et Crowston 93]. Des mécanismes de coordination sont nécessaires chaque fois qu'il existe une dépendance entre les activités de plusieurs utilisateurs. Malone définit 3 types de dépendances :

**Mécanismes de
coordination**

↳ Les *dépendances de simultanéité* surviennent lorsque plusieurs tâches doivent être effectuées en même temps ou lorsqu'il faut réunir simultanément des ressources pour accomplir une tâche donnée. Avec l'utilisation des collecticiels, la possibilité d'entrer en communication à distance pour dialoguer et pour échanger des données multiplie les occasions de se réunir.

↳ Les *dépendances de partage de ressources* surviennent si une ressource est accessible en quantité limitée. Dans ce cas, la coordination consiste à répartir l'accès à cette ressource entre les demandeurs. Dans un contexte d'ingénierie collaborative multisite, la quantité de données partagées est multipliée, par conséquent les risques de conflit d'accès le sont aussi.

↳ Les *dépendances de producteur à consommateur* surviennent lorsqu'une activité produit quelque chose de nécessaire à une autre activité, comme un lien matériel ou une information. Avec les collecticiels, l'accroissement des documents échangés multiplie les dépendances de producteur à consommateur.

La coordination est une notion relativement récente dans les outils de TCAO. De plus, elle n'est considérée que d'un point de vue synchrone dans tous ces outils. Or, la coordination asynchrone est au moins aussi importante. En effet lors d'un travail collaboratif, il est impératif de coordonner les activités des différents acteurs. À défaut, la finalité même du travail collaboratif, qui est l'agrégation d'efforts dans un but commun, ne sera pas atteinte.

**Coordination pour
les activités
synchrones et
asynchrones**

IV.2.1. Gestion électronique des processus (workflow)

La traduction française de *workflow* est la GEP pour Gestion Electronique des Processus. Les systèmes de GEP ont pour rôle d'optimiser les tâches en répartissant au mieux le travail entre les hommes et les machines. C'est un moyen de coordination des activités, de gestion et d'automatisation des processus des entreprises.

Définition

Le GEP constitue une évolution de la bureautique et des applications informatiques liées au processus de gestion. Il est souvent défini comme un outil de gestion des processus et des flux d'information, qui prend en charge les documents en cours d'élaboration liés à des procédures et au routage des données. Il peut s'appliquer à des documents complexes de type officiel qui nécessitent une validation successive de plusieurs personnes.

**Gestion des flux
d'informations**

La Workflow Management Coalition (WfMC)⁵ définit le workflow comme étant « l'automatisation de tout ou partie d'un processus d'entreprise au cours duquel l'information circule d'une activité à l'autre, c'est-à-dire d'un participant (ou d'un groupe de participants) à l'autre, pour action en fonction d'un ensemble de règles de gestion ».

**Automatisation du
processus**

Les processus de coordination sont de deux types. Il existe les processus formels et les processus informels. Les workflows permettent de représenter et d'automatiser les processus formels. C'est le cas, par exemple des processus de signatures des modèles de conception. À l'inverse, il en est qui ne sont pas ou difficilement formalisables. Dans ce cas, il faut mettre en place des mécanismes de communication riche qui permettent aux acteurs de se coordonner. De plus, dans ce cas, il est important que les acteurs aient conscience de leur environnement. Il faut en effet connaître l'influence de ses propres activités sur le projet. La notion de conscience de l'environnement participe donc à cet effort de coordination informelle.

**Processus de
coordination
formels et informels**

⁵ WfCM – Regroupement de chercheurs, d'utilisateurs et d'industriels de l'informatique, ayant pour but de définir des standards pour le développement d'applications workflows. Ceux-ci servent notamment à résoudre les problèmes d'interopérabilité entre systèmes workflows mais également à définir les caractéristiques fondamentales de ces systèmes. Voir <http://www.wfmc.org>

IV.2.2. Agendas partagés

L'une des difficultés rencontrées lors d'un projet consiste à réunir les acteurs à un instant donné. En effet, chaque acteur a sa propre autonomie dans la gestion de ses activités. Or, dans certaines phases du projet, la réunion de certaines personnes ayant des connaissances et des compétences particulières est indispensable à la bonne marche du projet. Dans le cas où les dates de réunion peuvent être planifiées très tôt, il est assez facile de réunir tout le monde. Mais lorsque ces réunions ne sont pas planifiées suffisamment en avance, des difficultés apparaissent.

**Vision de la
disponibilité des
acteurs**

Des outils, comme les agendas partagés, permettent de résoudre une grande partie de ces problèmes d'organisation des réunions, en permettant à l'organisateur de la réunion d'avoir une vision claire de la disponibilité des acteurs du projet. Ainsi, il peut trouver facilement une date qui convienne à tous les acteurs requis pour une réunion. Mais, dans la pratique, étant donné que ce système est basé sur le partage d'agenda personnel, dont la gestion est laissée à l'intéressé, il est fréquent de rencontrer le cas où les personnes, soit n'utilisent pas du tout l'outil, soit ne le mettent pas à jour régulièrement. De plus, aucun système ne permet de gérer les priorités.

**Sensibilisation des
acteurs**

Tout ceci a pour conséquence de fausser la réalité des disponibilités des individus. Il faut donc, pour que ce système soit efficace, sensibiliser les personnes à son utilisation, par des formations s'il le faut. On se rend compte que dans le cas de conditions idéales d'utilisation de ce système, un gain de temps est observé. En effet, le fait de pouvoir réunir les personnes compétentes facilement est un gain de temps dans l'organisation des réunions, mais aussi une augmentation de la réactivité par la mobilisation de toutes les compétences importantes.

IV.2.3. Gestion du cycle de vie produit

Les outils de gestion du cycle de vie permettent une meilleure collaboration entre les différents acteurs du projet, mais aussi entre les différents métiers intervenant au cours du développement. Ces outils sont aussi un bon support à la mise en place de l'ingénierie simultanée. En effet, lors du développement d'un produit, différentes activités entrent en jeu. Le bureau d'études conçoit le produit en utilisant des modeleurs CAO, la production se base ensuite sur ces données géométriques pour définir les phases de fabrication, à l'aide des outils de CFAO⁶, enfin le produit est mis sur le marché.

Automatisation des processus projet

Il y a encore quelques années, ces interventions des différents métiers étaient successives et séparées. À l'aide des outils de gestion du cycle de vie des produits, ces phases peuvent se faire en parallèle du fait de la disponibilité de l'information. Une base de données unique pour tous les métiers permet des échanges plus aisés et une réactivité plus importante. Ces outils fédèrent l'ensemble des données, des informations, des processus liés au produit, en y intégrant la dimension temporelle.

Fédération des données, des informations et des processus

La tendance actuelle des éditeurs de CAO est d'intégrer les outils de gestion du cycle de vie au modeleur. De cette manière le concept de conception en contexte est facilité. Le concepteur peut en effet tenir compte de l'environnement de la pièce qu'il est en train de concevoir en intégrant toutes les données géométriques nécessaires à sa conception (notion de conception en contexte). Le système de gestion du cycle de vie garantit que ces données sont les dernières versions disponibles. Cette méthode de travail améliore la qualité de conception, notamment en améliorant l'intégration des différents éléments d'un ensemble. Les erreurs d'interférences sont, de par la même, réduites.

Conception en contexte configuré

⁶ Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur

IV.2.4. Gestion de la configuration et de modifications

La gestion de la configuration doit être placée au centre du système d'information. En effet, pour assurer une bonne traçabilité des produits et des informations associées, il faut savoir les identifier de manière unique et compréhensible pour tous les partenaires du projet. La configuration peut être prise comme une photographie instantanée de l'état du projet. Elle peut être utilisée afin de présenter la preuve de la correspondance entre la réalisation et le besoin initial, mais également pour connaître l'état des éléments de production pour mettre en fabrication un produit conforme à la demande. La gestion de la configuration s'intéresse aux évolutions des documents. Ceci permet de garder une trace de tout changement, de toute modification et ainsi d'avoir une vision de l'historique du projet. Ceci permet de capitaliser les connaissances et de garder une trace des décisions prises lors du développement du produit. Ainsi lors de la phase de faisabilité d'un nouveau projet, des choix technologiques peuvent être pris sur la base des études déjà réalisées dans le passé.

Traçabilité des évolutions

IV.2.5. Équipes produit intégrées

La création d'une Équipe Produit Intégrée (*EPI*) a pour objectif d'améliorer non seulement les interfaces entre les divers métiers mais aussi d'enrichir les connaissances par la combinaison de connaissances spécifiques métiers.

Agrégation des connaissances spécifiques

Ces équipes intégrées peuvent être créées à différents niveaux du programme aéronautique et ceci au sein d'un même partenaire ou entre différents partenaires.

EPI multi-entreprise

Dans le cas d'un produit développé par un unique partenaire et si la taille de l'équipe n'est pas très importante, il sera plus approprié de co-localiser les membres de cette équipe sur un lieu unique. Dans ce cas, le Leader de l'Équipe Intégrée (*LEI*) doit posséder des compétences pointues sur au moins un métier de l'équipe et des expériences dans la majorité des autres métiers. De plus, il devra avoir des compétences de management et de communication. Le leader doit assurer la libre circulation des informations entre les corps de métier et résoudre les conflits pouvant parfois intervenir du fait de la non convergence d'intérêt des différents corps de métier. La petite taille de l'équipe et sa co-localisation permettent la création d'un esprit d'équipe au sein de l'environnement de travail. Le rôle du leader est aussi de maintenir cet esprit d'équipe pour une meilleure efficacité dans le développement du produit. Le relatif niveau d'informel dans ce type d'équipes permet un échange inter-métiers des connaissances. Ceci permet la création de nouvelles connaissances par ce que Von Krogh et Nonaka appellent la *socialisation* [Von Krogh et *al.* 01]. Le leader doit aussi avoir un rôle de disséminateur de ces nouvelles connaissances vers les autres équipes de l'entreprise pour les capitaliser au maximum.

Cas d'équipes
réduites

Dans le cas d'un produit développé par une seule entreprise sur un site unique mais, à la différence du cas précédent, dont la taille est importante, il sera préférable de créer des équipes distinctes en fonction des métiers. Il faudra donc réunir dans des mêmes lieux les différents spécialistes par corps de métier. Les leaders de chaque équipe doivent assurer la libre circulation des informations au sein de leur équipe respective.

Cas d'équipes
importantes

IV.2.6. Bilan des ressources de coordination

La figure 13 résume toutes les ressources de coordination disponibles.

RESSOURCES DE COORDINATION
Gestion électronique des processus
Agendas partagés
Gestion du cycle de vie produit
Gestion de la configuration
Équipes produit intégrées

Figure 13 – Tableau Récapitulatif des ressources de coordination

IV.3. Les ressources de coopération

IV.3.1. Maquette numérique

La maquette numérique devient depuis quelque temps le support principal à la coopération (Ingénierie Simultanée) entre les acteurs de l'organisation. Et ce, depuis le bureau d'études jusqu'aux services responsables de l'industrialisation et de la production.

Support à la collaboration

Cependant pour que la coopération soit la plus efficace possible, il est indispensable que les acteurs responsables de la conception mettent à disposition des autres acteurs, les modèles de maquette numérique le plus tôt possible et de préférence dès le début du processus de développement. En effet, des erreurs de conception, entraînant des interférences entre les modèles, peuvent ainsi être détectées très tôt. De cette manière, des gains très importants peuvent être envisagés. Ces gains sont aussi bien en termes de délais de conception, qu'en termes de coûts de développement que de qualité d'intégration de ces pièces lors de la phase d'industrialisation.

Dès le début du projet...

La maquette numérique est aussi un support indispensable à la mise en place du concept de *conception en contexte*. En effet, les concepteurs font des choix technologiques tous les jours qui ont des conséquences sur l'environnement de pièces ou systèmes dont ils sont responsables.

La conception en contexte

IV.3.2. Partage d'application

Le partage d'application permet de travailler sur les mêmes données d'une manière synchrone. Ceci permet à deux concepteurs, ou plus, de coopérer efficacement. Cette fonctionnalité permet de déporter une fenêtre partagée vers la machine du partenaire.

Coopération sur des
objets communs

La figure 14 présente le cas de deux concepteurs collaborant sur une même zone de l'appareil. Ce qu'illustre la figure est l'hétérogénéité des outils de conception et des systèmes d'exploitation. Cette hétérogénéité ajoute à la complexité de la collaboration.

Hétérogénéité des
environnements de
travail

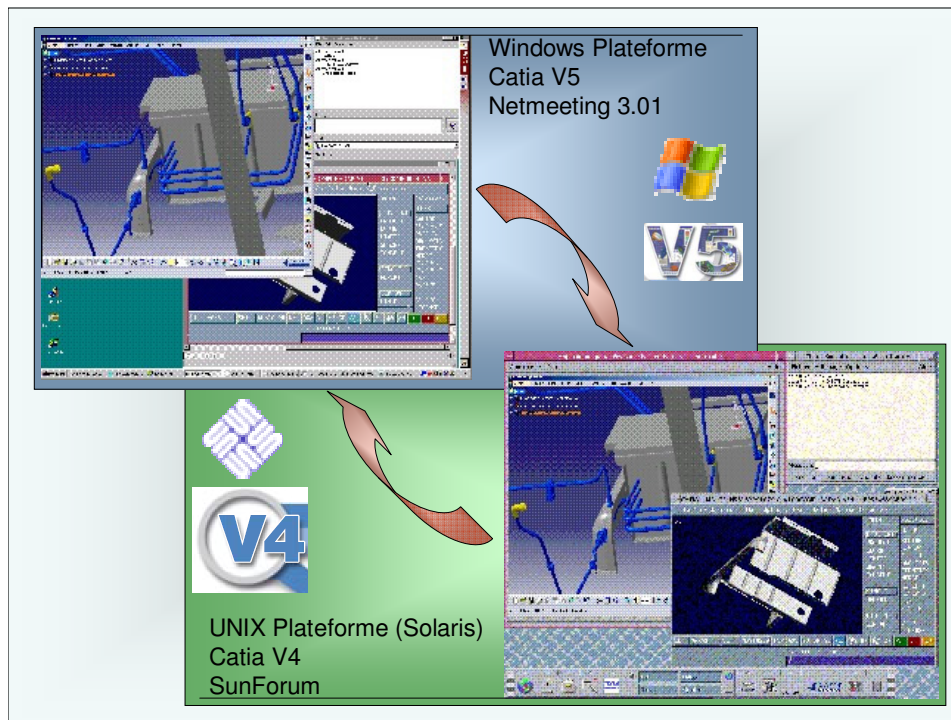


Figure 14 – Partage de systèmes CAO entre un PC et une station UNIX

À l'aide de la fonctionnalité de partage d'applications l'utilisateur sur PC a la possibilité d'utiliser, dans cet exemple, Catia V4 sur la station de travail distante de son interlocuteur. Ceci fonctionne aussi dans l'autre sens.

De plus, cette fonctionnalité permet à l'interlocuteur de prendre la main à distance sur l'application partagée. De ce fait, la coopération est réellement interactive. La communication est enrichie par la manipulation des données. Des propositions de modifications peuvent très rapidement être mises en œuvre et ainsi discutées pour validation en temps réel.

Interactivité

Selon les applications à partager, les besoins sont différents. En effet, le partage de données 2D requiert moins de bande passante que le partage des données 3D.

2D / 3D

IV.3.3. Tableau blanc partagé

Le tableau blanc partagé permet à des acteurs situés sur des sites différents de travailler d'une manière synchrone sur des documents 2D. Il est ainsi possible de réaliser des captures d'écran pour les annoter dans le but d'expliquer une idée ou un concept, de réaliser des croquis.

Apport des annotations ou schémas

Les utilisateurs peuvent ainsi coopérer sur un document 2D de la même manière qu'ils le feraient dans une situation co-localisée sur une feuille de papier.

Identique à une situation co-localisée

Des outils de pointage permettent de suivre le mouvement des utilisateurs distants pour permettre d'appuyer le discours de la personne distante. En effet, lors d'une situation en co-localisation, les explications passent essentiellement par le discours qui s'appuie sur des annotations qui permettent de renforcer les idées que l'énonciateur veut faire passer. Ceci n'est possible, à distance, que si le destinataire du discours voit en temps réel les liens entre les mouvements et le discours. Or, dans une situation de collaboration distante, il est évident que ces liens sont rompus. Les outils de pointage permettent de pallier cette lacune en recréant d'une manière artificielle les mouvements du porteur du discours sur le support graphique.

Pointeurs distants

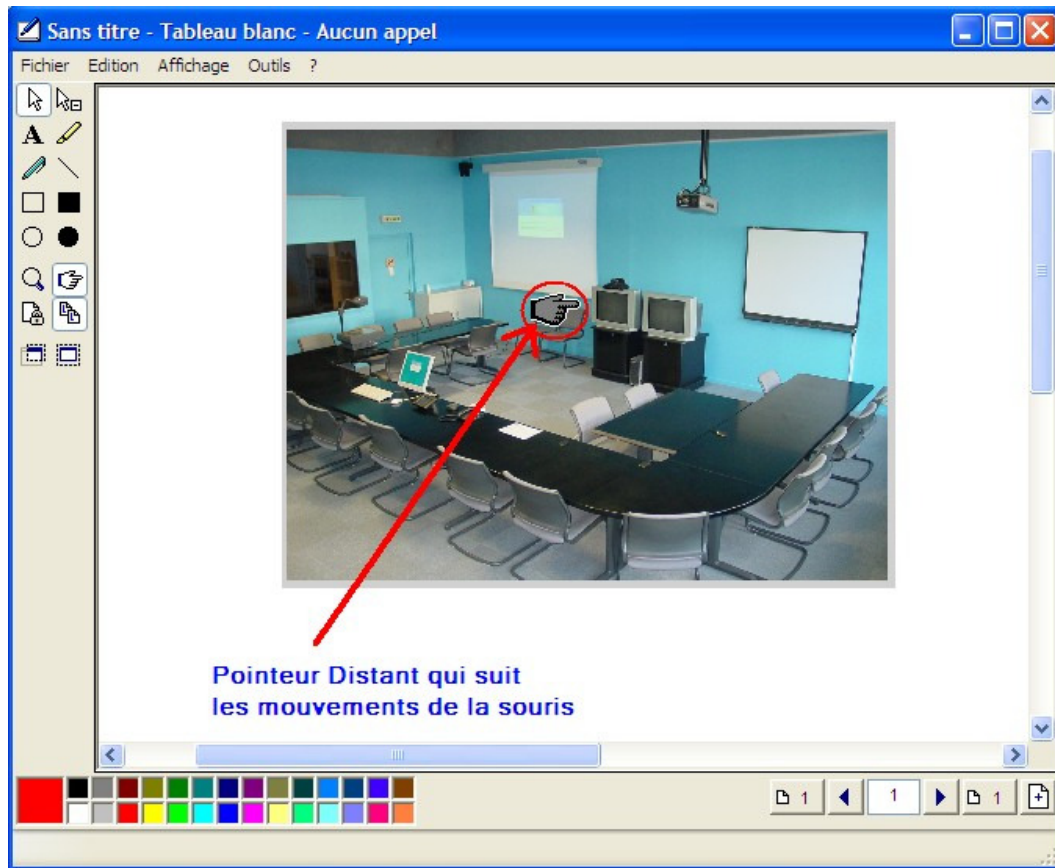


Figure 15 – Pointeur distant

La figure 15 ci-dessus, illustre le pointeur de l'acteur distant représenté ici par une main pointant son index. Cette main suit les mouvements de la personne qui manipule la souris sur le site distant. Ainsi tous les participants à la session de travail collaboratif peuvent suivre le discours et les mouvements qui l'accompagnent. Ceci améliore nettement la compréhension et limite ainsi des interprétations erronées préjudiciables pour la qualité de la réunion.

**Limiter les erreurs
d'interprétation**

IV.3.4. Bilan des ressources de coopération

La figure 16 résume toutes les ressources de coopération actuellement disponibles sur le marché.

RESSOURCES DE COOPÉRATION
Maquette Numérique
Partage d'applications
Tableau blanc partagé

Figure 16 – Tableau récapitulatif des ressources de coopération

IV.4. Bilan des ressources de collaboration

La figure 17 résume toutes les ressources de collaboration disponibles actuellement sur le marché. Pour chaque ressource, de nombreuses solutions sont envisageables. La liste n'est pas exhaustive et doit être mise à jour continuellement étant donné les évolutions constantes du marché.

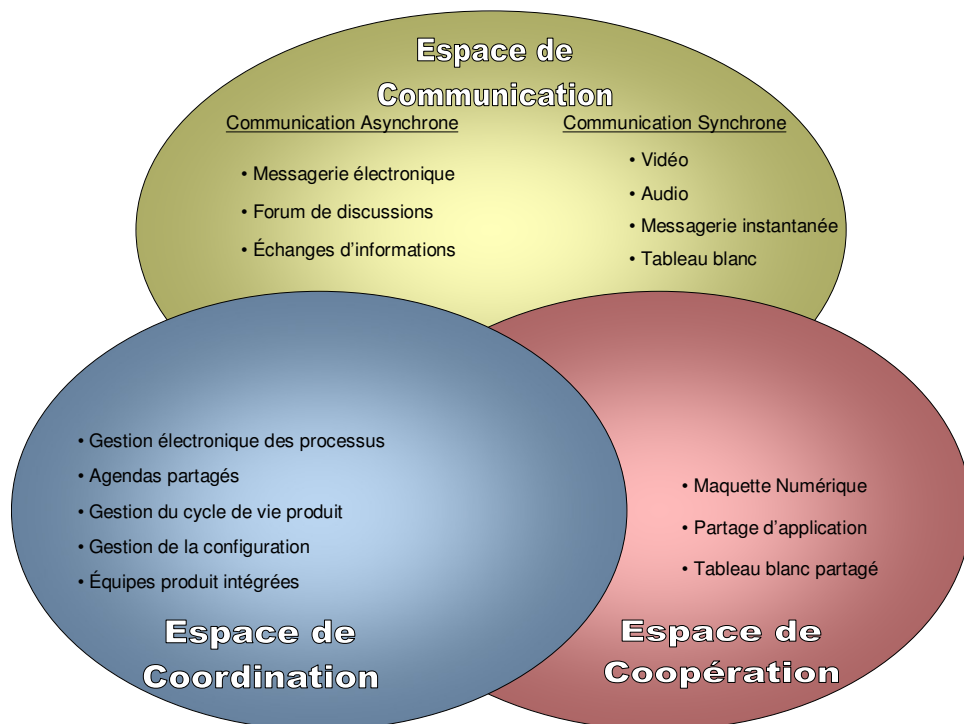


Figure 17 – Récapitulatif des ressources de collaboration

V - CONCLUSION

Ce chapitre décrit l'approche proposée pour la spécification d'un environnement d'Ingénierie collaborative multisite adaptée au secteur de l'industrie aéronautique européenne.

Pour cela les différents cas de collaboration sont présentés en fonction du cycle de développement type d'un programme aéronautique. Ainsi, nous avons constaté que lors des premières phases de développement (phase de faisabilité et phase de pré-développement), le nombre d'acteurs impliqués est faible et par conséquent la co-localisation de l'ensemble des compétences en un lieu unique est possible. À l'inverse, pour les dernières phases de développement, le nombre d'acteurs étant très important, la co-localisation est rendue impossible. C'est donc lors des phases de développement et d'industrialisation que les besoins en Ingénierie Collaborative Multisite sont les plus importants. Deux cas types de collaboration sont identifiés.

Une étude des ressources de collaboration disponibles est présentée sur la base de la typologie proposée par Ellis dans [Ellis et Wainer 94] et enrichie par Salber dans [Salber et *al.* 95]. L'ensemble des ressources de collaboration est structuré en trois catégories : communication, coordination et coopération.

Chapitre 4

AIDE AUX CHOIX DES OUTILS DE CONCEPTION COLLABORATIVE MULTISITE

PLAN DU CHAPITRE

I - INTRODUCTION	85
II - AIDE À LA DÉCISION MULTICRITÈRE	86
II.1. DÉFINITION DE L'AIDE À LA DÉCISION	86
II.2. LES ÉTAPES D'AIDE À LA DÉCISION MULTICRITÈRE	86
II.2.1. Identification des alternatives potentielles	87
II.2.2. Modélisation des préférences du décideur	87
II.2.3. La procédure d'agrégation	88
II.3. CONCLUSION	88
III - SÉLECTION DES ALTERNATIVES POTENTIELLES	89
IV - DÉFINITION DES CRITÈRES D'ÉVALUATION	92
IV.1. FONCTIONNALITÉS DE COLLABORATION	92
IV.2. EFFICACITÉ DE L'OUTIL	94
IV.3. COMPATIBILITÉ AVEC L'ENVIRONNEMENT	95
IV.4. IMPLÉMENTATION	96
IV.5. RÉCAPITULATIF DES CRITÈRES D'ÉVALUATION	98
V - LA GRILLE DE NOTATION	99
VI - OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION	102
VI.1. LES BESOINS SPÉCIFIQUES	102
VI.2. MÉTHODE D'AIDE À LA DÉCISION	103
VII - CONCLUSION	105

I - INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous nous intéressons seulement aux systèmes de conception collaborative. Par conception collaborative, nous entendons un travail collaboratif à distance dans le domaine de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO). C'est en effet un des points les plus critiques de l'Ingénierie Collaborative Multisite, car il fait intervenir des modèles CAO parfois volumineux et donc difficilement partageables. De plus, lors de la conception d'un produit aéronautique, le nombre important d'acteurs nécessaire pour le projet constitue un frein à la conception collaborative. Or, une pièce ne se conçoit plus de manière isolée mais intégrée à un environnement. Le terme d'environnement doit se comprendre, ici, au sens le plus large, c'est-à-dire une équipe, un environnement géométrique, etc. Une collaboration de qualité doit donc passer par un environnement global de collaboration distante.

Il est donc important lors de la spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite de choisir un système de conception collaborative qui réponde aux besoins de collaboration dans ce domaine. Or, ces besoins étant fonction d'un nombre important de paramètres, il est impossible de sélectionner un outil qui réponde à tous les cas de figures. Dans le cadre de ce travail, un logiciel a été développé pour faciliter le choix d'outils de conception collaborative distante en fonction des besoins spécifiques.

Pour cela, les outils actuels répondant aux besoins génériques de la conception collaborative ont été sélectionnés, puis évalués sur la base de critères objectifs. La méthode d'aide à la décision multicritère PROMETHEE⁷ a ensuite été appliquée pour proposer un outil d'aide aux choix.

⁷ PROMETHEE pour : **P**reference **R**anking **O**rganization **M**ETHod for **E**nrichment **E**valuation

II - AIDE À LA DÉCISION MULTICRITÈRE

II.1. Définition de l'aide à la décision

Bernard Roy [Roy 85] définit, l'aide à la décision comme « l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. »

Définition

La définition présentée ci-dessus concorde totalement avec nos besoins. En effet, le spectre des solutions, ainsi que le spectre des besoins spécifiques étant importants, dans le cas qui nous intéresse, une méthode stricte d'aide à la décision va permettre d'assister la personne désireuse de faire un choix sur son environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite.

Concordance avec nos besoins

Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons la synthèse d'une étude bibliographique. Cette étude nous a permis de dégager une méthodologie d'aide à la décision multicritère.

Choix d'une méthodologie

II.2. Les étapes d'aide à la décision multicritère

Brans [Brans 93] propose une démarche en trois étapes. Dans un premier temps, les **alternatives potentielles** sont identifiées. Dans un deuxième temps, les **préférences du décideur** sont modélisées, ce qui permettra de différencier les actions potentielles. Pour finir, un processus, d'**investigation mathématique**, c'est-à-dire une procédure d'agrégation, est défini ou choisi afin de fournir des éléments de réponse au problème de décision.

Les étapes de la méthodologie

II.2.1. Identification des alternatives potentielles

L'identification des alternatives potentielles consiste à définir l'ensemble des alternatives qui doivent être examinées. « Une alternative potentielle est une alternative provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins ou présumée telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision... » [Roy 85]. Cet ensemble d'alternatives n'est pas toujours définitivement délimité. Il peut être soumis à des révisions. Des alternatives peuvent apparaître ou disparaître.

Alternatives jugées
réalistes

Dans le cas qui nous intéresse, les alternatives sont les différentes solutions d'Ingénierie Collaborative Multisite actuellement disponibles sur le marché et donc susceptibles d'évoluer.

II.2.2. Modélisation des préférences du décideur

La comparaison des alternatives à partir de leurs conséquences est souvent rendue difficile à cause de l'imprécision, de l'incertitude et de la mauvaise détermination de ces conséquences. C'est pourquoi la notion de critère est introduite.

Incertitudes sur les
conséquences du
choix

Les critères permettent de comparer les alternatives entre elles. Un critère est une fonction c à valeurs réelles définie sur l'ensemble des alternatives potentielles. Cette fonction est définie de telle sorte que deux alternatives a_1 et a_2 puissent être comparées en se basant sur les nombres $c(a_1)$ et $c(a_2)$. Les préférences du décideur peuvent ainsi être représentées par un ensemble de critères. Un poids peut aussi être associé à chaque critère, selon l'importance du critère par rapport aux autres.

Comparaison à
l'aide de critères

Pour garantir une bonne représentation de ces préférences, l'ensemble des critères doit répondre à des exigences d'exhaustivité, de cohésion et de non redondance. Lorsque ces exigences sont vérifiées, la famille de critères est dite cohérente.

Exhaustivité,
cohésion et non
redondance

L'évaluation des alternatives se fait sur la famille des critères. Un tableau de performances qui présente les résultats de cette évaluation sur chaque critère donne une vue de l'ensemble des alternatives. Les critères sont sur les colonnes et les alternatives sont sur les lignes. La case $c_j(a_i)$ donne la performance de l'alternative a_i selon le critère c_j .

Performance de
l'alternative

		Critères					
		$c_1()$	$c_2()$...	$c_j()$...	$c_k()$
Alternatives	a_1						
	a_2						
	...						
	a_i				$c_j(a_i)$		
	...						
	a_n						
		w_1	w_2	...	w_j	...	w_k

Figure 18 – Matrice d'évaluation Alternatives / Critères

II.2.3. La procédure d'agrégation

Une procédure d'agrégation multicritère doit être définie afin de répondre à la problématique de décision posée en s'appuyant sur le tableau des performances qui caractérise les alternatives potentielles à évaluer (voir figure 18).

Tableau des performances

Différentes méthodes d'agrégation multicritère existent. Après une étude bibliographique, nous avons choisi la méthode PROMETHEE qui est présentée plus en détail dans l'annexe II - de ce document.

PROMETHEE

II.3. Conclusion

Dans les paragraphes précédents, une méthode d'aide à la décision multicritère a été choisie et présentée. Par la suite, nous présentons l'application pratique de cette méthode à la sélection des outils d'Ingénierie Collaborative Multisite les mieux adaptés en fonction des cas de collaboration rencontrés par les industriels.

III - SÉLECTION DES ALTERNATIVES POTENTIELLES

La première étape a consisté en l'établissement d'une liste exhaustive d'alternatives qui répondent potentiellement aux besoins en termes d'outil de conception collaborative. Pour cela nous avons préalablement réalisé une étude sur les outils d'Ingénierie Collaborative Multisite disponibles sur le marché.

Les outils du marché

Le travail quotidien d'un dessinateur consiste à prendre des décisions. Ces décisions sont notamment prises sur la base de données géométriques pouvant venir de partenaires du projet situés sur des sites distants. Or, ces données évoluent tout le temps et à l'heure actuelle les systèmes de gestion et d'échanges de données techniques ne permettent pas de les rendre disponibles et à jour en temps réel sur plusieurs sites distants. La synchronisation des données s'opère habituellement la nuit pour laisser le réseau libre la journée.

Décisions basées sur des données vivantes

Regardons comment un dessinateur travaille avec ses collègues dans une situation co-localisée. Lorsqu'il a besoin d'avoir des renseignements, il lui suffit d'aller voir la personne concernée et de lui poser le problème. En général, les deux acteurs se mettent alors face à une station de travail et discutent du problème en visualisant les modèles géométriques en question et en expliquant les raisons de leurs choix respectifs de conception. Ainsi, une décision peut, en général, être prise très rapidement.

La situation co-localisée

Cette réactivité est possible grâce à une disponibilité des données géométriques, mais aussi parce que la personne qui a construit ces données est présente. Il y a bien, ici, un échange de savoirs informels indispensables à une prise de décision rapide. Il faut donc donner la possibilité aux personnes éloignées de travailler dans des conditions proches de celles que nous venons de présenter.

Échanges de savoirs informels

Comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent, pour augmenter la réactivité de conception dans une équipe dispersée géographiquement, il faut donner la possibilité aux acteurs du projet de pouvoir échanger librement des informations et des connaissances, notamment sur les données géométriques. Ces échanges doivent pouvoir se faire d'une manière impromptue et informelle.

Nécessité
d'échanges
informels

Dans le cas d'une conception collaborative, l'objet qui est au cœur de la collaboration doit pouvoir être visualisé et manipulé par les deux acteurs et ce d'une manière synchrone. Le synchronisme doit ici être interprété comme une cohérence entre les points de vue de visualisation 3D de chaque utilisateur et bien entendu en termes de temps.

Cohérence des
points de vue

Nous avons sélectionné un ensemble de solutions qui répondent aujourd'hui potentiellement aux besoins. Cette liste peut être découpée en quatre groupes de solutions :

Les 4 catégories
d'outils

↳ **Solutions pour plateformes spécifiques** – Ces solutions sont spécifiques pour chaque système d'exploitation. Mais elles utilisent toutes le même protocole standard de communication, elles sont donc potentiellement compatibles entre elles.

↳ **Solutions multiplateformes** – À l'inverse ce type de solutions peut être installé sur la majorité des systèmes d'exploitation. Cependant elles ne peuvent communiquer qu'entre elles. Elles n'utilisent pas de protocoles standard de communication.

↳ **Solutions Web** – Ces solutions sont basées sur une technologie Internet. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'installer un client sur la machine, il suffit d'utiliser un explorateur Web de type Internet Explorer.

↳ **Solutions synchronisés** – Ces sont des outils spécifiques pour la visualisation et la manipulation de modèles géométriques en trois dimensions. Avant toute session collaborative, les données nécessaires sont envoyées sur toutes les machines devant participer à la session. Lors de la session, toutes les commandes effectuées sur une des machines sont envoyées aux autres machines. Ainsi, le synchronisme de points de vue est assuré.

Ci-dessous nous présentons la liste exhaustive des solutions que nous avons sélectionnées pour réaliser les tests.

Nom de la solution	Liens Internet
Solutions pour plateforme spécifique	
NetMeeting	www.microsoft.com
Cu-SeeMe Pro	www.cuseeme.com
Internet Phone	www.vocaltec.com
HP Visualise	www.hp.com
SunForum	www.sun.com
DC-Share	www.dataconnection.com
SGI-Meeting	www.sgi.com
Solutions multiplateformes	
Communique	www.mdlcorp.com
Rooms	www.nuventure.com
Solutions Web	
DC-Meeting Server	www.dataconnection.com
Conference Room Server	www.conferenceroom.com
Webex	www.webex.com
Solutions synchronisés	
OneSpace	www.cocreate.com
Pivotal	www.centricsoftware.com
E-Vis	www.evis.com

Figure 19 – Liste des solutions de conception collaborative étudiées

IV - DÉFINITION DES CRITÈRES D'ÉVALUATION

Dans le but de rendre le processus d'évaluation le plus objectif possible, il est nécessaire d'identifier des critères d'évaluation pertinents. Nous avons identifié quatre catégories de critères :

Les 4 catégories de critères d'évaluation

↳ **Fonctionnalités de collaboration.** Cette catégorie est relative aux fonctionnalités de collaboration. Elle comprend donc les fonctions de communication, de coordination et de coopération.

↳ **Efficacité de l'outil.** Cette catégorie concerne l'efficacité de la solution en termes d'utilisation et de paramétrage. Plus la solution sera facilement utilisable, plus ce critère sera élevé.

↳ **Compatibilité avec l'environnement.** Cette catégorie est relative aux aspects informatiques de la solution qui doit s'intégrer à l'architecture informatique des entreprises aéronautiques.

↳ **Implémentation.** Avec cette catégorie nous évaluerons la viabilité de la solution en termes économiques et de support technique dans le temps.

IV.1. Fonctionnalités de collaboration

Les critères présentés ci-dessous correspondent aux fonctionnalités actuellement disponibles sur le marché des collecticiels.

- ✓ *Audio* – C'est le mode de communication le plus important. La qualité audio doit donc être très bonne. Mais il faut noter que cette fonctionnalité peut être remplie par des outils plus traditionnels comme le téléphone.

- ✓ *Vidéo* – Cette fonctionnalité n’est pas essentielle à une bonne collaboration, mais elle peut apporter, dans certaines situations un plus.
- ✓ *Messagerie instantanée* (chat) – Cette fonctionnalité est utile pour réaliser, simultanément à la réunion, un compte-rendu en y notant les points essentiels. De plus, dans le cas d’une réunion qui met en présence des personnes de langues maternelles différentes, il est souvent plus facile de comprendre un texte écrit qu’une conversation orale.
- ✓ *Tableau blanc* – Cette fonctionnalité permet d’enrichir la discussion en réalisant des annotations ou des croquis. Toutes ces annotations peuvent être utiles pour la rédaction du compte-rendu de réunion. On évaluera les possibilités de capture d’écran, d’annotation et de croquis, ainsi que l’identification de l’utilisateur.
- ✓ *Partage d’application* – C’est la fonctionnalité la plus importante dans notre cas. Elle permet aux deux participants de voir et de manipuler d’une manière synchrone un document informatique partagé (document 2D ou 3D).
- ✓ *Transfert de fichiers* – Cette fonctionnalité permet un échange de fichiers en point à point d’une manière très simple. Ainsi, dès la fin de la réunion, le compte-rendu peut être transmis aux participants de la réunion. Nous évaluerons ici la facilité d’utilisation de cette fonctionnalité, en d’autres termes, combien de manipulations sont nécessaires à l’envoi et à la réception d’un fichier.
- ✓ *Partage du bureau* – L’utilité de cette fonction est de pouvoir montrer des zones du bureau à un interlocuteur distant pour illustrer un problème. Ceci est surtout utile pour une fonction de support informatique. Il est ainsi possible de prendre la main sur la totalité de la machine. Ceci pose des problèmes évidents de sécurité. Mais, cette fonctionnalité peut être utile dans des cas très spécifiques.

IV.2. Efficacité de l'outil

Cette liste de critères permet d'évaluer l'efficacité de l'outil au cours de son utilisation.

- ✓ *Facilité d'installation* – La rapidité et la facilité d'installation sont des critères importants. Le cas idéal correspond au cas où aucune installation n'est nécessaire. C'est le cas des services Internet (ou Intranet) qui ne demande que des clients légers.

- ✓ *Facilité d'utilisation* – Nous évaluons ici le degré d'intuitif lors d'une première utilisation. Il faut que l'outil puisse être utilisé par des personnes non spécialistes en informatique.

- ✓ *Qualité de l'interface* – Ici, il est question d'évaluer la gestion des différentes fenêtres lors d'une utilisation maximale de l'outil. En effet, il ne faut pas perdre son temps à gérer les fenêtres, et de plus, il est difficile de parler d'un document, si la gestion des fenêtres n'est pas identique sur chaque site. En effet, lors d'une discussion, les intervenants font souvent appel à la position des fenêtres pour indiquer l'objet de la conversation.

- ✓ *Paramétrage* – L'outil doit être assez souple pour pouvoir travailler avec toute sorte de systèmes. On doit pouvoir, facilement, paramétrer l'outil pour le rendre compatible avec d'autres systèmes. Idéalement, les paramètres principaux (norme de communication par exemple) doivent être gérés, une fois pour toute, par un administrateur, et les paramètres secondaires (volume sonore, partage des applications...) doivent être gérés par l'utilisateur.

IV.3. Compatibilité avec l'environnement

Ce groupe de critères a pour but d'évaluer l'intégration de l'outil au sein de l'infrastructure de l'industrie aéronautique.

- ✓ *Facilité de connexion* – Ici, nous évaluerons le nombre d'actions à faire pour initier une session collaborative.
- ✓ *Dépendance au débit réseau* – L'outil doit pouvoir être utilisé quelque soit le type de connexion réseau. En effet, les petites entreprises ne peuvent souvent pas investir dans des réseaux haut débit très coûteux. Nous évaluerons donc jusqu'à quel débit l'outil est utilisable. Idéalement, il doit être possible de travailler avec un débit de 56 kb/s. La meilleure manière d'évaluer ce critère est de procéder à des tests avec une configuration réseau idéale, et les mêmes tests avec une configuration minimale. Ainsi, il sera possible de comparer les différents résultats. La configuration minimale que nous avons adoptée est une configuration avec un modem en passant par un fournisseur d'accès Internet externe.
- ✓ *Interopérabilité* – Pour que la solution mise en place soit utilisable dans son plein potentiel, il faut qu'elle puisse opérer avec des systèmes d'exploitation différents. En effet, dans le domaine de l'industrie aéronautique, on trouve différents systèmes d'exploitation, Solaris pour les stations de travail SUN, AIX pour les IBM, HP-UX pour HP et bien sûr Windows pour les PCs. Il faut donc que la solution choisie puisse communiquer avec une autre solution, qui potentiellement, est sur un autre type de système d'exploitation.

- ✓ *Fonctionnalité ILS* – Un ILS (pour *Internet Locator Server*) permet une gestion des connexions entre les machines via un serveur central dans lequel sont stockées toutes les informations sur les adresses des machines (adresse IP notamment). Ainsi, l'utilisateur n'a plus qu'à entrer l'adresse mail de la personne pour établir la session, il n'est pas nécessaire de connaître son adresse IP. De plus, cette fonctionnalité sécurise le réseau de chaque organisation en ne divulguant pas les adresses IP des machines.

- ✓ *Fonctionnalité de multiconférence* – C'est la capacité de pouvoir connecter plus de deux machines lors de la même session collaborative. Ceci peut être utile pour permettre à trois personnes de collaborer simultanément sur un même problème, ce qui est déjà possible avec les réseaux téléphoniques actuels.

IV.4. Implémentation

Les critères suivants concernent l'aspect implémentation de la solution. Il faut en effet considérer sa viabilité d'un point de vue commercial.

- ✓ *Dépendance par rapport aux versions des systèmes d'exploitation* – Du fait du nombre d'organisations impliquées dans un programme aéronautique, il est important que la solution puisse fonctionner sur une majorité d'environnements. La solution idéale est que la solution fonctionne sur toutes les versions d'un système d'exploitation particulier. Mais il est plus raisonnable de considérer toutes les versions de moins de 5 ans.

- ✓ *Prix* – Du point de vue de la viabilité de la solution, ce critère est très important. La solution idéale est évidemment la solution totalement gratuite aussi bien en termes de licence d'utilisation qu'en termes de matériel. Cependant, s'il fallait dépenser quelque chose, il faudrait que ce ne soit qu'une seule fois et si possible à la charge des donneurs d'ordres. Ainsi, les petites organisations pourraient utiliser ce service à distance gratuitement. La pire des solutions consisterait en une solution cliente qui coûterait à chaque installation.

- ✓ *Support du fournisseur* – Le fournisseur doit garantir un support de développement pour suivre les évolutions des systèmes d'exploitation.

- ✓ *Capacité de déploiement* – Ce critère mesure la quantité de travail pour implémenter la solution. Ce critère est important du fait du grand nombre potentiel de machines existantes sur les différents sites partenaires d'un programme.

IV.5. Récapitulatif des critères d'évaluation

Dans le tableau (voir figure 20) qui suit est synthétisé l'ensemble des critères d'évaluation que nous avons adoptés pour l'outil d'aide aux choix des collecticiels.

Fonctionnalités de collaboration	Efficacité de l'outil	Compatibilité avec l'environnement	Implémentation
Audio	Facilité d'installation	Facilité de connexion	Dépendance par rapport aux versions
Vidéo	Facilité d'utilisation	Dépendance au débit réseau	Prix
Messagerie Instantanée	Qualité de l'interface	Interopérabilité	Support du fournisseur
Tableau Blanc	Paramétrages	Fonctionnalité ILS	Capacité de déploiement
Partage d'application		Fonctionnalité de multiconférence	
Transfert de fichiers			
Partage de bureau			

Figure 20 – Tableau récapitulatif des critères d'évaluation

V - LA GRILLE DE NOTATION

Une fois les critères d'évaluation, présentés ci-dessus, définis, il est alors possible de réaliser des tests qui permettront de noter les solutions sélectionnées.

Notation des outils

Dans le but de rendre le processus de test le plus objectif possible, nous avons créé une grille de notation. Cette grille se présente sous la forme d'un tableau dont les lignes sont les différents outils testés et les colonnes les critères d'évaluation. Pour chaque critère nous avons mis en place une échelle de notation qui nous permet, lors des tests, d'évaluer objectivement les différents critères.

Grille de notation

Typiquement les échelles vont de 0 à 5, 0 étant la note la plus faible et 5 la plus élevée. Par exemple, pour le critère de partage d'application, nous avons défini que la note minimale correspondait à l'absence de la fonctionnalité et la note maximale à la possibilité de partager tout type d'applications, aussi bien des modeleurs CAO avec des données 3D que des applications de bureautique. Ci-dessous est présentée, pour exemple, l'échelle de notation du critère de partage d'application.

Échelles de notation

<i>Note</i>	<i>Partage du 2D</i>	<i>Partage du 3D</i>	<i>Fluidité de partage</i>
0	Fonctionnalité Inexistante		
1	Oui	Non	Non
2	Non	Oui	Non
3	Oui	Oui	Non
4	Non	Oui	Oui
5	Oui	Oui	Oui

Figure 21 – Échelle de notation pour le critère de partage d'application

Une fois que nous avons défini toutes les échelles de notation de tous les critères, il nous a alors été possible de réaliser des tests sur tous les outils que nous avons sélectionnés. Il en résulte le tableau suivant (voir figure 22).

		<i>Évaluation suivant les critères</i>				
		<i>Fonctionnalités de collaboration</i>	<i>Efficacité de l'outil</i>	<i>Compatibilité avec l'environnement</i>	<i>Implémentation</i>	<i>Note globale</i>
Outils	Conference Room Server	5	14	17	14	50
	E-vis	12	9	16	16	53
	internet Phone	20	15	10	10	55
	Rooms	7	16	18	14	55
	DC-MeetingServer	9	17	13	17	56
	Communique	24	14	9	9	56
	OneSpace	12	15	18	11	56
	CU-SeeMe Pro	21	16	13	13	63
	DC-Share	21	16	15	12	64
	SGI Meeting	21	16	15	12	64
	HP Visualise	21	16	15	17	69
	Netmeeting / Unix Clients	21	16	20	16	73
	Pivotal	30	15	14	14	73
	Webex	28	19	17	13	77
	Sun Forum	31	17	17	17	82
Netmeeting	31	18	15	19	83	

Figure 22 – Résultats de la notation basée sur les besoins génériques

Après une analyse de ces résultats, nous constatons que le meilleur outil de conception collaborative, selon les besoins génériques que nous avons définis plus haut, est NetMeeting de Microsoft suivi de près par SunForum (voir figure 23). Ceci s'explique par le fait que ces outils sont très complets, sont gratuits et développés par des sociétés importantes. Un outil comme OneSpace n'est pas très bien placé malgré ses qualités techniques en raison de sa spécialisation dans le domaine de la conception et de son coût élevé en comparaison des autres outils. Il est à noter que Franck-Olivier Martin a conclu, lui aussi que l'outil le mieux adapté était NetMeeting [Martin 02]. Ceci nous conforte donc dans nos résultats.

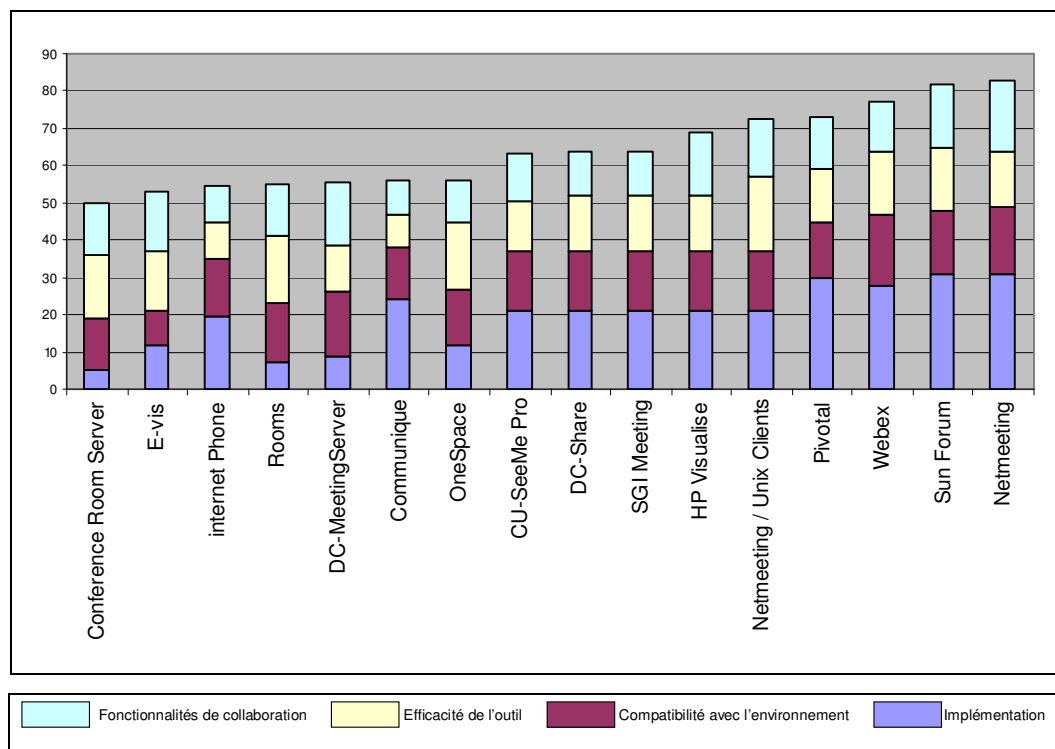


Figure 23 – Classification des solutions par rapport aux besoins génériques

Il est clair que cette classification ne reflète pas la réalité de tous les besoins. Il est nécessaire de mettre en place un outil permettant de faire un choix adapté aux besoins spécifiques. Pour cela, des poids doivent être mis en place vis-à-vis de chaque critère.

Besoins spécifiques

Il est maintenant nécessaire de mettre en place un mécanisme qui permette de sélectionner un outil en fonction des besoins spécifiques des futurs utilisateurs. Ce mécanisme d'aide aux choix est expliqué dans les paragraphes suivants.

Mécanisme d'aide aux choix

VI - OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

Comme nous venons de le voir dans les paragraphes précédents, il n'existe pas à l'heure actuelle sur le marché une solution de conception collaborative qui satisfasse toutes les exigences des industriels. Il est donc inévitable de réaliser des choix selon les besoins d'une organisation ou d'une équipe projet. Les choix doivent être basés sur les besoins spécifiques des futurs utilisateurs. Sur la base de la formalisation présentée plus haut nous allons bâtir un système d'aide au choix.

**Choix de l'outil en
cohérence avec les
besoins spécifiques**

Une fois la grille créée, il est alors possible pour un utilisateur, désirant choisir l'outil le mieux adapté, de remplir la grille en tenant compte de l'environnement dans lequel la solution sera implémentée.

**Grille d'aide aux
choix**

VI.1. Les besoins spécifiques

Il est indispensable de fournir aux futurs utilisateurs un système facile d'utilisation et qui n'exige aucune compétence particulière. Les seuls renseignements que le futur utilisateur doit connaître concernent ses propres besoins. Il faut donc créer un système qui traduise les besoins en langage compréhensible par le décideur.

**Traduction des
besoins**

Nous avons donc réalisé une traduction des critères sous forme intelligible par les futurs utilisateurs. C'est ce que montre la figure suivante (voir figure 24) :

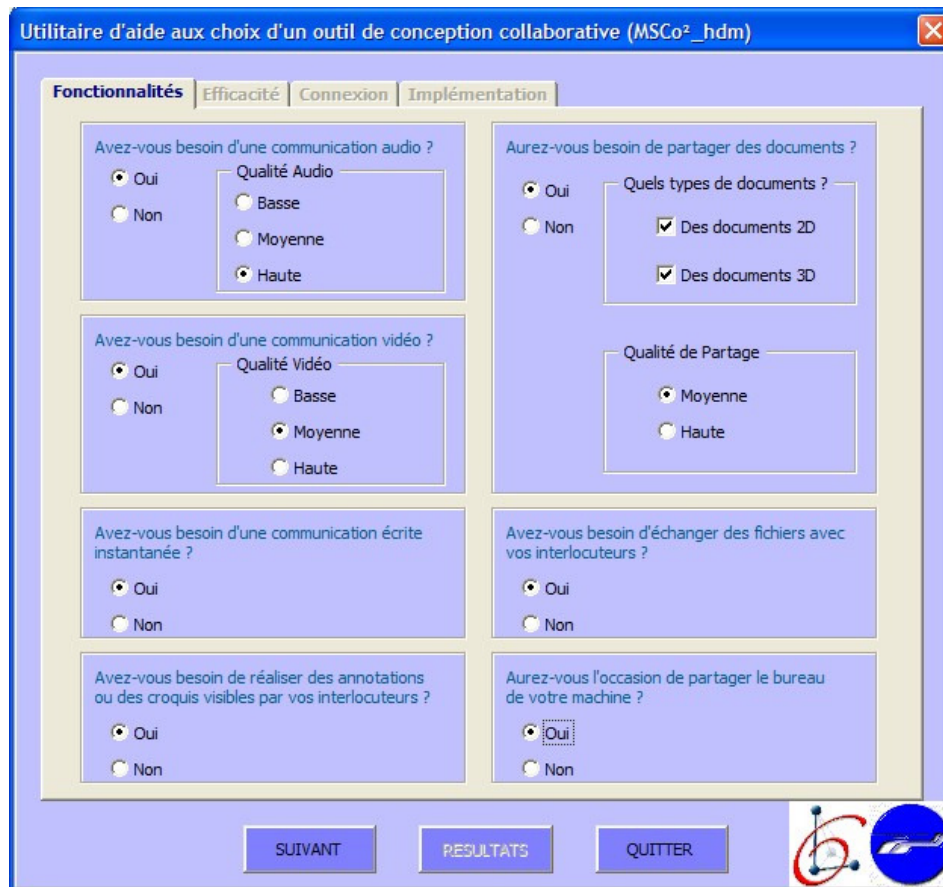


Figure 24 – Interface graphique de l'outil d'aide aux choix de collectifiel

VI.2. Méthode d'aide à la décision

Sur la base de l'ensemble des tests effectués et présentés dans le chapitre précédent, il faut mettre en place une méthodologie d'aide à la décision. Les tests ayant été effectués sur des besoins dits génériques, il faut maintenant adapté les résultats aux besoins spécifiques que l'on peut rencontrer. Or, les besoins en terme de conception collaborative sont très variés, pour la simple raison qu'ils dépendent de l'environnement. Ici, le terme environnement comprend aussi bien l'environnement physique des futurs utilisateurs, que l'environnement informatique et les processus de conception. Il est donc aisé de comprendre que ces besoins ne sont pas généralisables.

Prise en compte des besoins spécifiques

Il est donc indispensable de mettre en place un système qui adapte les résultats des tests aux besoins spécifiques des futurs utilisateurs. Pour cela, nous avons opté pour l'application de poids qui feront varier l'influence de tel ou tel critère sur les résultats. Nous avons donc établi une liste de poids pour chaque critère d'évaluation.

Pondération

Reste à faire varier ces poids en fonction des besoins spécifiques et ce d'une façon totalement transparente pour l'utilisateur. La solution qui nous a parue la plus adaptée consiste en la création d'un formulaire de questions très pragmatiques et compréhensibles par des personnes n'ayant pas forcément des compétences techniques ni organisationnelles dans le domaine des outils de conception collaborative. Un fois le questionnaire rempli par l'intéressé, il ne reste plus qu'à traduire les réponses sous forme de poids. De cette manière, le résultat sera adapté aux besoins spécifiques de l'utilisateur.

**Corrélation entre
poids et besoins
spécifiques**

VII - CONCLUSION

Dans ce chapitre, est présenté le résultat d'une étude bibliographique dans le domaine de l'aide à la décision multicritère. Les étapes indispensables à sa bonne application sont exposées : identification des alternatives potentielles, modélisation des préférences des décideurs et enfin une procédure d'agrégation.

Cette étude nous a permis d'utiliser la méthode d'aide à la décision multicritère afin d'obtenir un outil permettant de choisir parmi un panel d'outils de conception collaborative multisite selon des critères spécifiques. Ceci permet de choisir l'outil le mieux adapté quelle que soit la situation de conception collaborative.

Pour atteindre cet objectif, nous avons, comme la méthode d'aide à la décision le préconise, sélectionné un ensemble d'outils qui nous semblaient répondre potentiellement aux besoins génériques d'une conception collaborative. Des critères d'évaluation ont ensuite été définis sur la base de l'approche de spécification présentée dans le chapitre 3. Un effort de traduction de ces critères en termes intelligibles par tout utilisateur a ensuite été réalisé.

Un outil d'aide à la décision a enfin été développé à l'aide de la méthode d'agrégation PROMETHEE. Cet outil permet à tout utilisateur non spécialiste de l'Ingénierie Collaborative Multisite de décider du meilleur moyen de mettre en place un environnement collaboratif adapté à ses besoins qui lui sont spécifiques.

Chapitre 5

DÉMONSTRATEURS COSITE & SALLE DE REVUE DE CONCEPTION

PLAN DU CHAPITRE

I - INTRODUCTION	110
II - RÉUNION IMPROMPTUE	111
II.1. LE CONTEXTE	111
II.2. LES BESOINS	111
II.2.1. Coopération synchrone sur des données 3D	111
II.2.2. Communication visuelle ou verbale ?	112
II.2.3. Facteurs humains	112
II.2.4. Échanges des données 3D	113
II.3. SPÉCIFICATION DE L'ENVIRONNEMENT	114
II.3.1. L'espace de communication	116
II.3.2. L'espace de coordination	116
II.3.3. L'espace de coopération	119
III - RÉUNION PLANIFIÉE	120
III.1. LE CONTEXTE	120
III.2. LES BESOINS	120
III.3. SPÉCIFICATIONS DE L'ENVIRONNEMENT	121
III.3.1. L'espace de communication	121
III.3.2. L'espace de coordination	122
III.3.3. L'espace de coopération	123
III.4. APPLICATION À LA SALLE DE REVUE DE PROJET À EUROCOPTER	124
III.4.1. Stratégie de déploiement	125
III.4.2. Les fonctionnalités mises en place	126
III.4.2.1. Les fonctionnalités de communication	126
III.4.2.2. Les fonctionnalités de coordination	127
III.4.2.3. Les fonctionnalités de coopération	128
III.4.3. Premiers bilans et retours d'expérience	130
IV - CONCLUSION	133

I - INTRODUCTION

Lors du projet ENHANCE, et dans le cadre de la tâche COSITE, nous avons développé deux démonstrateurs. Ces démonstrateurs avaient pour objectif, sur la base de cas réels de collaboration, de montrer l'apport des nouvelles technologies de collaboration et des gains que nous pouvions en attendre, et ceci en terme de coûts, de délais et de qualité. Ces démonstrateurs ont été exploités lors de forums ENHANCE auxquels ont participé des décideurs du secteur de l'industrie aéronautique européenne. Ces démonstrateurs entraînent dans une dynamique de dissémination des résultats de nos travaux vers les industriels. Il fallait donc répondre à des besoins industriels très concrets. Du fait des freins aux changements par rapport à ces nouvelles technologies de collaboration, il nous a semblé important d'apporter un effort substantiel à ce type de démonstration.

Dans ce chapitre sont présentés les deux démonstrateurs développés lors du projet. Ces démonstrateurs répondent à deux types de collaboration. Le premier est un cas de collaboration entre deux individus traitant d'un problème particulier de conception. Le deuxième, quant à lui, concerne les revues de conception, qui font intervenir régulièrement un assez grand nombre de participants de différents métiers présents sur différents sites. Il est bien clair, que ces cas demandent des outils et des méthodes différentes.

De plus, un résultat concret du travail réalisé lors du projet ENHANCE a été la mise en place à Eurocopter Marignane d'une salle de revue collaborative et multisite de projet. Cette salle est présentée à la fin de ce chapitre comme résultat concret et industriel de notre travail.

II - RÉUNION IMPROMPTUE

II.1. Le contexte

Lors du développement d'un programme aéronautique, il est nécessaire de mettre en place des outils de collaboration en ligne dans l'environnement habituel des concepteurs. En effet, les concepteurs doivent se baser, pour concevoir leur pièce, sur le contexte de la pièce. Or, ce contexte dépend souvent d'une conception réalisée par des partenaires géographiquement éloignés. De plus, cet environnement évolue constamment.

Conception
collaborative

II.2. Les besoins

Dans ce paragraphe, nous allons exposer les besoins en terme de fonctionnalité que doit fournir un environnement de conception collaborative multisite dans le cas spécifique défini au paragraphe précédent.

Les fonctionnalités
nécessaires

II.2.1. Coopération synchrone sur des données 3D

Pour que deux ingénieurs puissent travailler sur des données géométriques 3D, il y a essentiellement deux exigences. Tout d'abord, les deux partenaires doivent pouvoir visualiser les données en question, et plus spécialement la zone qui est en train d'être traitée, et de plus ils doivent pouvoir réaliser des modifications sur ces données. En plus de pouvoir travailler sur des modèles 3D, il faut aussi que ce soit d'une manière synchrone, c'est-à-dire par une communication temps réel, il est aussi indispensable que les deux participants voient le modèle comme l'autre le voit (WYSIWIS⁸). De la sorte les deux ingénieurs sont « synchrones ».

Collaboration
synchrone sur des
données 3D

⁸ WYSIWIS – What You See Is What I See – Ce que tu vois c'est ce que je vois

Ces deux besoins font appel à la notion d'espace de travail commun (Shared Workspace en anglais). Cet espace de travail permet aux deux participants de voir le même objet et d'avoir la même vue de cet objet sur leur propre ordinateur de bureau. Cela permet à chaque ingénieur de manipuler le modèle 3D, et de communiquer, via cette manipulation, des idées à l'autre participant. Des modifications peuvent aussi être faites, dans cet espace de travail, par l'un des deux acteurs.

Espace de travail commun

II.2.2. Communication visuelle ou verbale ?

La question que l'on doit se poser ici est : est-il nécessaire de voir son interlocuteur pour pouvoir réaliser une session de conception collaborative efficace ? Comme nous l'avons vu précédemment, le moyen de communication primordial est la communication orale, il est donc exclu d'ôter ce moyen de communication dans notre cas. À l'inverse, la vidéo n'est intéressante que si les personnes ne se connaissent pas ou peu. Or, dans le cas qui nous intéresse nous avons fait l'hypothèse que les deux participants ont l'habitude de travailler ensemble.

Nécessité de la vidéo ?

L'espace de travail décrit précédemment offre aussi la possibilité aux deux participants de communiquer. En effet, la manipulation des données synchronisées et la possibilité d'annotation de cet espace visuel permettent de faire passer des messages assez simplement. Cette forme de communication viendra enrichir et appuyer la communication orale.

Annotation, support à la communication

II.2.3. Facteurs humains

Le domaine des *Human Factors*, terme anglais que l'on pourrait traduire par facteurs humains, traite de l'emploi des outils d'un point de vue utilisation par l'homme. En effet, le but premier de tout système de travail collaboratif est que plusieurs individus puissent collaborer entre eux, même s'ils sont géographiquement séparés. Le but n'est pas de faire communiquer des machines entre elles, mais bel et bien de faire collaborer les individus qui utilisent ces dernières.

Communication entre acteurs

Les environnements de travail collaboratif ont une dimension sociale très importante, il est donc très important lors de leur mise en place de tenir compte des aspects humains de la collaboration. La non prise en compte des critères humains ne peut mener qu'à un échec de la mise en place des environnements de travail collaboratif.

Prise en compte des aspects humains

II.2.4. Échanges des données 3D

L'une des problématiques de conception collaborative multisite concerne les échanges des modèles de conception indispensables entre les différents partenaires du programme. En effet, lors du travail de conception, le dessinateur doit tenir compte de l'environnement de la pièce qu'il conçoit. Il a donc ponctuellement besoin d'avoir des informations concernant cet environnement, et ces informations doivent être à jour.

Environnement de l'objet de travail

Il existe différents types de modeleurs CAO sur le marché. Pour des raisons de stratégies commerciales les fournisseurs ne souhaitent pas une compatibilité entre ces modeleurs. Ceci pose des problèmes en terme d'échanges de données entre des partenaires qui ne possèdent pas le même système de CAO.

Systèmes CAO non compatibles entre eux

Les donneurs d'ordres aéronautiques ont pour habitude d'obliger les partenaires à adopter les mêmes systèmes de CAO pour éluder cette problématique. Or, pour les petites et moyennes entreprises fournisseurs de ces grands groupes, l'investissement dans un tel système est une charge non négligeable. La solution est donc d'utiliser des formats standard d'échange comme STEP ou IGES. Ceci permet d'intégrer dans un navigateur de maquette numérique toutes les données de tous les partenaires et de réaliser des calculs d'interférences pour valider la conception. Ceci est évidemment à nuancer par la qualité pas toujours au rendez-vous de ces formats d'échanges.

Harmonisation des systèmes CAO

II.3. Spécification de l'environnement

Dans le cadre du démonstrateur, nous avons choisi de traiter d'un travail de conception collaborative entre deux dessinateurs et un intégrateur, tous trois étant géographiquement éloignés les uns des autres. De plus, pour prouver l'efficacité des nouveaux outils de collaboration, nous avons décidé de complexifier le scénario en introduisant une dimension hétérogène dans les systèmes d'exploitation et dans les outils de conception entre les deux partenaires. Cela représente la situation la plus défavorable dans un contexte de conception collaborative multisite. Néanmoins, cette situation est très proche de la réalité quotidienne des concepteurs.

Hétérogénéité des systèmes d'exploitation

Le développement d'un aéronef fait intervenir un certain nombre de partenaires qui sont distribués, pour la majorité des cas, à un niveau international. Les responsabilités de conception sont donc naturellement réparties entre ces différents partenaires. Ceci pose des problèmes d'intégration des modèles de conception, du fait des difficultés liées aux échanges de données techniques, mais aussi du fait de l'hétérogénéité très fréquente des systèmes de conception. La maquette numérique est une solution qui permet d'intégrer les différents modèles de conception issus des différents partenaires. Les outils actuels de maquette numérique permettent de créer des ensembles volumineux et d'analyser, notamment, les interférences.

La maquette numérique comme outil d'intégration

Prenons le cas du développement d'un hélicoptère qui fait intervenir deux entreprises partenaires. Le développement est découpé en différentes responsabilités comme la *structure* et les *systèmes hydrauliques*. Dans notre cas, l'entreprise A, située en France, est responsable de la conception de la structure de l'appareil et l'entreprise B, située en Allemagne, est responsable de la conception des systèmes hydrauliques. Pour garantir une cohérence de conception, l'entreprise A a aussi pour rôle de préserver une bonne intégration de l'ensemble des modèles de conception issus des deux entreprises partenaires. Les deux figures suivantes (voir figure 25 et figure 26) résument cette situation.

Les différents partenaires

	<i>Intégrateur (entreprise A)</i>	<i>Sous-traitant (entreprise B)</i>
Lieu	France	Allemagne
Responsabilités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conception de la structure ▪ Intégration de l'ensemble des modèles 3D 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conception des modèles du système hydraulique
Droits d'accès aux données	Totalité des données	Ses propres données
Format des données	Catia V5	Catia V4
Type de station	PC	Station Sun
Système d'exploitation	Windows XP	Solaris 7

Figure 25 – Configuration de la situation de collaboration



Figure 26 – Répartition géographique des acteurs

Dans le cadre du démonstrateur nous prenons comme hypothèse que l'intégrateur a déjà réalisé l'analyse d'interférences et à déceler une interférence entre la structure, qui est de la responsabilité de l'entreprise A, et du système hydraulique, qui est de la responsabilité de l'entreprise B.

Nous prendrons aussi comme hypothèse que les acteurs ont l'habitude de travailler ensemble, et se connaissent donc très bien. Ceci aura, bien évidemment une influence sur le choix des outils de communication, comme nous le verrons par la suite.

**Détection
d'interférences**

II.3.1. L'espace de communication

Étant donnée l'hypothèse que les deux partenaires ont l'habitude de travailler ensemble et se connaissent bien, il n'est pas nécessaire de mettre à leur disposition un système de communication vidéo. Dans ce cas, l'audio suffit pour une collaboration efficace. Néanmoins, le son doit avoir une bonne qualité, car c'est le seul moyen restant pour une coordination des actions effectuées lors de la session collaborative.

**Vidéo non
nécessaire**

La solution adoptée pour ce démonstrateur a donc été d'utiliser le téléphone. Ceci a pour avantage de laisser toute la bande passante pour les fonctions de coopération (voir paragraphe qui suit) et ainsi d'en améliorer la qualité, mais aussi d'avoir une bonne qualité d'écoute.

**Communication
Audio à l'aide du
téléphone**

Il est à noter qu'étant donné que les acteurs doivent avoir les mains libres pour travailler sur leur modèleur CAO, il est indispensable de leur fournir un casque équipé d'un micro. À défaut un téléphone muni d'un haut-parleur. La première solution est préférable dans le cas où des personnes qui ne participent pas à cette session collaborative sont présentes dans la même pièce.

Casque micro

II.3.2. L'espace de coordination

Dans le cas que nous traitons ici, des sessions de travail collaboratives peuvent avoir lieu à n'importe quel moment, d'une manière impromptue. En effet, le fruit du travail des concepteurs a pour but de s'intégrer dans un environnement. Il est donc clair que des mécanismes et des outils de coordination entre les différents concepteurs doivent être mis en place.

**Coordination des
activités de
conception**

Les réunions étant imprévisibles, il est nécessaire de mettre en place un outil qui permette à une personne de connaître facilement si un collaborateur est disponible pour répondre à ses questions. La première chose est de savoir si la personne à contacter est en ligne ou pas. Pour cela, des outils comme MSN Messenger de Microsoft peuvent être utilisés. Avec ce type d'outil, il est possible de créer une liste de contact. Une fois cette liste établie, d'un seul coup d'œil, il est possible de savoir si telle ou telle personne est en ligne et disponible pour collaborer (voir figure 27).



Figure 27 – Disponibilité des collaborateurs

Dans le cas où la personne n'est pas disponible directement, il faut pouvoir lui donner rendez-vous ultérieurement. Pour cela, il est nécessaire que l'organisateur puisse connaître les disponibilités de la personne. Cela est rendu possible grâce à la notion d'agenda partagé. Ainsi, toute personne du groupe peut visualiser les disponibilités de ses collaborateurs, sans pour autant, en connaître le contenu exact. Seule la disponibilité est visible. Il est ainsi plus facile de convenir d'un rendez-vous qui satisfasse toutes les parties.

Agenda partagé

La figure suivante (figure 28) illustre une planification d'une réunion. Il est à noter qu'un code couleur a été mis en place pour que l'utilisateur puisse rapidement connaître les disponibilités de ses collaborateurs. De plus, le système peut d'une manière automatique trouver une date qui réponde au critère de disponibilité des participants (sur la figure 28 : « *Sélection automatique suivante* »).

Planification d'une réunion

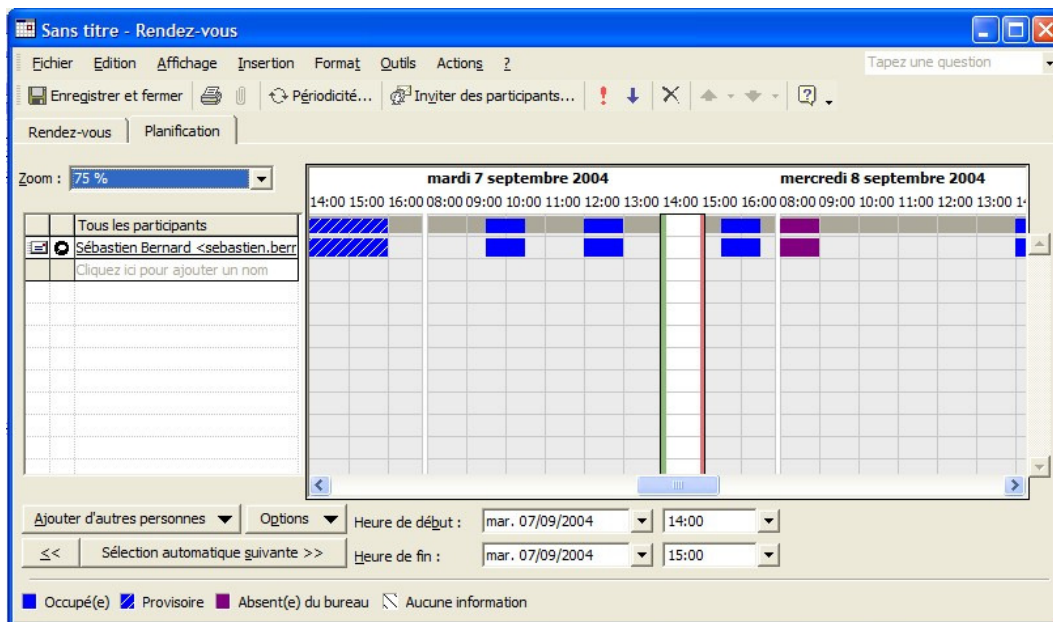


Figure 28 – Exemple d'un agenda partagé

II.3.3. L'espace de coopération

Les deux participants travaillant sur des systèmes CAO différents, nous avons été contraints d'avoir recours à un système de maquette numérique. Dans le cas présent, les deux systèmes bien que différents et sur deux plateformes différentes sont du même éditeur, Dassault Systèmes. Or, Dassault Systèmes a développé un outil de maquette numérique appelé DMU⁹ Navigator, qui permet d'intégrer sous une même session des modèles Catia V5 et des modèles Catia V4. Ceci, permet de créer un environnement de coopération dans lequel se trouve tous les modèles à intégrer.

La maquette numérique pour intégrer des objets géométriques de types différents

Cet outil a aussi l'avantage d'être disponible sur les deux types de plateformes. Ainsi, la session de coopération peut être indifféremment utilisée chez l'un ou chez l'autre des participants. L'autre avantage, conséquence de cette interopérabilité, est que les deux acteurs sont déjà formés à l'outil dans leur organisation respective.

Outil commun

Pour que la coopération soit possible, il faut maintenant mettre en place un outil qui permette aux deux participants de coopérer sur une session DMU créée par l'un ou par l'autre. Pour cela, nous avons donc choisi d'utiliser des outils basés sur le protocole standard de communication T120. L'outil PC est NetMeeting et l'outil Unix est SunForum.

Standard de communication – la norme T120

⁹ DMU pour Digital Mock-Up qui peut être traduit par maquette numérique

III - RÉUNION PLANIFIÉE

III.1. Le contexte

Lors du développement de produits faisant intervenir plusieurs partenaires et sous-traitants répartis sur différents sites, des réunions dites de revue de projet sont planifiées par contrat à des jalons bien précis. Ces revues permettent de faire un point régulier sur l'avancement du projet avec tous les acteurs ayant les connaissances sur le ou les sujets traités lors de ces revues.

Jalons contractuels

III.2. Les besoins

Ces réunions font intervenir un grand nombre de participants, parfois plus d'une vingtaine, réunis sur plusieurs sites. Or, déplacer ces participants sur un lieu unique à une date précise est souvent une gageure. En effet, outre les coûts induits, liés aux déplacements des personnes (trajet, repas, hébergement) et les pertes de temps liés à ces mêmes déplacements, il est très difficile de trouver une date satisfaisante pour tous les participants. Ceci est encore plus vrai quand on sait que de nombreux points sont traités lors de ces réunions et que chaque participant n'interviendra que sur quelques points, les autres ne le concernant pas.

Grand nombre de participants

À la vue de toutes ces difficultés, la demande de la part des industriels est grande pour disposer d'outils permettant à distance de réaliser ces revues de projet. Ceci permettrait de réaliser des économies substantielles sur les budgets déplacements des différentes organisations. De plus, les participants qui resteraient sur leur site pourraient ne participer qu'aux points les concernant. Un autre avantage résultant de la localisation des acteurs, est que la gestion des connaissances et des compétences en est facilitée.

Gains attendus

III.3. Spécifications de l'environnement

Comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent, il est nécessaire, ici, d'avoir à disposition un système de collaboration synchrone distant. Dans les paragraphes suivants, nous allons appliquer les méthodes énoncées dans le chapitre (Spécification d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite).

**Système
de collaboration
synchrone distant**

III.3.1. L'espace de communication

Étant donné le grand nombre d'acteurs pouvant participer à ces réunions de revue de projet, il faut mettre en place un système de communication vidéo de bonne qualité. En effet, il est important d'avoir un contact visuel dès lors qu'il y a un certain nombre de participants, ne serait-ce que pour avoir conscience de la personne qui est en train de parler. De plus, toutes les personnes ne se connaissent pas et la divergence des intérêts tend parfois à des négociations âpres. D'où la nécessité d'un média de communication à forte valeur sociale comme la vidéo.

**Communication
vidéo indispensable**

Or, deux types de systèmes vidéo sont disponibles. Le premier est un système basé sur une architecture PC avec des webcam que nous appellerons dans ce document des systèmes de *vidéoconférence*. Un second type de systèmes sont disponibles sur le marché, ce sont les systèmes de *visioconférence*.

**Visioconférence ou
Vidéoconférence ?**

La différence entre les deux types de systèmes est surtout relative à la qualité de la vidéo transmise. Dans les systèmes de vidéoconférence, ce sont des webcams d'une résolution assez basse qui sont utilisées alors que pour les systèmes de visioconférence, ce sont des caméras numériques de haute performance. Il est évident que l'investissement à réaliser suivant les types de systèmes est incomparable, mais dans le cas précis des revues de projet, comme nous l'avons vu précédemment, la qualité vidéo étant prépondérante, nous opterons donc pour un système de visioconférence.

**Choix :
visioconférence**

De plus ces systèmes offrent l'avantage d'une interface d'utilisation dédiée à la communication qui facilite grandement la gestion de la réunion. Il est par exemple possible d'asservir la position et le zoom de la caméra sur les voix. Ainsi, la caméra, sans action de quiconque, suivra une conversation en filmant la personne qui a pris la parole et changera de position dès qu'une autre personne prendra la parole. Ce genre de fonctionnalité n'est pas disponible sur les systèmes de vidéoconférence. Ceci s'explique par le fait que les systèmes de vidéoconférence ont été conçus pour des réunions avec un seul individu par site.

Plus de fonctionnalités

Il est aussi important de permettre à des sites qui ne possèdent pas de système de visioconférence de collaborer le mieux possible. Ainsi, le système choisi doit permettre de réaliser une audioconférence de qualité. Les systèmes de visioconférence actuels permettent d'utiliser la sonorisation dédiée à la visioconférence pour l'audioconférence. Il n'est donc pas nécessaire d'investir dans un système d'audioconférence spécifique. De plus, le fait d'utiliser la fonctionnalité déjà intégrée permet lors d'une visioconférence d'appeler par téléphone une tierce personne pour qu'il puisse converser avec tous les participants.

Sans oublier l'audioconférence...

- **Un système de visioconférence permet d'avoir une bonne qualité vidéo et audio.**

III.3.2. L'espace de coordination

Ce type de réunion demande une grande préparation concernant l'ordre du jour. Pour cela, les systèmes de Gestion Électronique des Processus (GEP) permettent d'aider les responsables de l'intégration à planifier et à suivre les actions en cours.

Planification des réunions

Le système de gestion de données techniques de l'organisation permet aussi aux acteurs de se coordonner. En effet, ces systèmes permettent maintenant de gérer en configuration les modèles géométriques. Ainsi, il est possible de travailler sur une zone de la maquette numérique qui soit le plus à jour possible.

Accès aux dernières données valides

La planification des revues dépend du planning du projet, mais aussi de la disponibilité des intervenants. Pour le premier point, il est important que tous les acteurs du projet aient accès à ce planning partagé. Pour cela, un serveur dédié peut être mis en place pour chaque projet. Pour ce qui est de la disponibilité des participants, il est indispensable de mettre en place un outil qui permette de partager tous les agendas personnels. Ainsi, il sera aisé de déterminer une date qui satisfasse les participants de la réunion.

Mécanismes de planification

- **Système de Gestion Électronique des Processus**
- **Gestion de la maquette numérique en configuration**

III.3.3. L'espace de coopération

Il faut tirer parti du fait que les participants restent sur leur site d'origine, donc proches de leurs documents de travail. Il faut donc mettre à disposition des participants un moyen pour qu'ils accèdent aussi bien à leurs données personnelles qu'aux données du projet. Ceci implique d'avoir à demeure, pour des raisons de commodité, un PC par lequel chaque participant pourra accéder à ces données (présentations, rapports...). Étant donné que ces revues de projet sont souvent réalisées pendant la phase de conception, il est évident qu'il faut aussi pouvoir accéder aux données géométriques 3D au moins en visualisation. Pour cela, les outils de maquettes numériques (e.g. DMU-Navigator module de Catia V5 de Dassault Systèmes) peuvent être utilisés. Ainsi, il sera possible de visualiser des ensembles mécaniques afin de prendre des décisions collégiales sur des résolutions de problèmes.

Accès à toutes les données

Il faut en outre, que les participants distants puissent aussi visualiser ces données et ce d'une manière simultanée. Pour cela il faut pouvoir partager soit les données et les points de vue (cas de CoCreate) soit la visualisation (cas de Microsoft NetMeeting).

Les types de partage

- **Outil de revue de Maquette numérique (DMU-Navigator)**
- **Tableau Blanc interactif**
- **Partage l'application via NetMeeting**

III.4. Application à la salle de revue de projet à Eurocopter

Eurocopter est une entreprise internationale. Ses bureaux d'études sont distribués sur deux sites en France et deux sites en Allemagne. Ceci implique des contraintes d'organisation importantes. Une meilleure collaboration entre les différents bureaux d'études a été exigée par la direction dans un but d'améliorer les processus de développement et les échanges entre les acteurs de compétences particulières.

**Différents bureaux
des études**

En effet, la seule solution adoptée pour collaborer était jusqu'à présent de se réunir et de discuter de solutions autour d'un document. Mais, ces déplacements impliquaient des conséquences économiques (frais de déplacement) et en terme de délai (temps perdu lors des déplacements), qui dans les conditions du marché actuelle (concurrence accrue, délais de développement réduits), ne permettaient plus une bonne compétitivité par rapport aux concurrents.

**Améliorer la
compétitivité**

Le but est donc à la fois d'améliorer les processus de collaboration, et de réduire les déplacements. Ceci implique donc de mettre en place des moyens qui améliorent la collaboration, au sens où nous l'avons introduit précédemment dans cette thèse. C'est-à-dire une meilleure communication entre les acteurs, une meilleure coordination des activités et enfin une meilleure coopération sur un objet commun. Les objets manipulés au secteur bureau d'études sont des documents électroniques de type bureautique, mais aussi des documents de conception de type CAO. Les modèles CAO ont la particularité d'être des données en trois dimensions. Ceci implique des contraintes en terme de performance des machines et des débits réseaux non négligeables.

**Méthodes de
collaboration**

Lors du développement d'un produit, des revues de conception sont planifiées à des jalons bien précis. Ces revues réunissent un nombre de participants important en un lieu unique. La mise en place de salles de revue distante de conception permettrait des gains non négligeables pour chaque entreprise partenaire du projet. Les différentes organisations partenaires du projet n'appartiennent pas toujours à une même entreprise. C'est d'ailleurs le cas le plus fréquent dans le secteur de l'aéronautique. De ce fait, il est très difficile, voir inenvisageable, de forcer les partenaires à adopter les mêmes outils de collaboration. Cet état de fait nous a obligé à mettre en place des outils qui se basaient sur des normes standard de communication et qui soient compatibles avec la plupart des systèmes du marché.

Normes standard de communication

Le but de cette salle est de donner les moyens à des concepteurs de réaliser des revues de conception à distance avec leurs partenaires. Pour cela, il a fallu mettre en place tout un dispositif permettant une collaboration efficace. Pour spécifier les fonctionnalités, nous nous sommes basé sur l'étude présentée dans les chapitres précédentes et sur la classification fonctionnelle.

Revue de conception distante

III.4.1. Stratégie de déploiement

Les industries font face à des difficultés lors du déploiement des nouveaux outils et des nouvelles méthodes nécessaires à une bonne collaboration. Ces difficultés sont dues aux freins aux changements des acteurs. Ces nouvelles méthodes de travail à introduire, au sein de l'organisation, impliquent, comme nous l'avons vu plus haut, des changements de mentalité de la part des acteurs. Or, ces derniers peuvent avoir des réactions de rejet face à ces changements. La solution proposée consiste donc en l'introduction progressive de ces nouvelles méthodes et de ces nouveaux outils. De la sorte, les acteurs s'habituent progressivement aux changements qu'ils soient techniques ou sociaux. Cette introduction ne doit pas commencer par la mise en place d'outils qui entrent dans les activités quotidiennes des utilisateurs, mais au contraire, par l'introduction d'outils qu'ils peuvent utiliser de manière ponctuelle.

Les freins aux changements, introduction progressive

Nous avons donc appliqué cette approche chez Eurocopter en mettant en place une salle de revue de conception collaborative multisite. Cette salle va permettre de familiariser les utilisateurs aux nouveaux outils et de modifier d'une manière 'naturelle' leur état d'esprit vis-à-vis de la collaboration à distance. En effet, cette salle peut aussi être utilisée comme une simple salle de visioconférence. Les outils de collaboration proprement dit, c'est-à-dire les outils de partage d'applications CAO ne sont pas indispensables. Ainsi, les nouvelles méthodes de collaboration ne sont pas imposées aux utilisateurs potentiels. Un rôle de support a été mis en place pour promouvoir les nouveaux outils et les nouvelles méthodes. Lors de chaque réservation de la salle de revue, la personne en charge du support est avertie et dirige les utilisateurs en leur expliquant toutes les fonctionnalités offertes par cette salle de revue. Les besoins spécifiques de chaque utilisateur peuvent ainsi être appréhendés et des solutions peuvent être proposées. Les utilisateurs sont ensuite libres d'accepter ou de refuser ces propositions.

III.4.2. Les fonctionnalités mises en place

III.4.2.1. Les fonctionnalités de communication

Lors d'une revue de projet, de nombreuses personnes participent à la réunion, il est donc nécessaire d'avoir conscience de la personne qui a pris la parole. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi de mettre en place les fonctionnalités audio et vidéo. Mais il nous restait à définir par quel moyen nous allions les transmettre. Deux possibilités s'offraient à nous. La première des possibilités était d'utiliser la fonctionnalité de communication des outils du type de NetMeeting, mais cette solution a rapidement été écartée en raison de la faible bande passante disponible via le réseau Internet que nous avons à notre disposition. De plus, nous avons pris le parti de séparer la vidéo plus l'audio, qui nécessitent une bande passante élevée, de la fonctionnalité 'coopération' qui est pour cette salle une fonctionnalité essentielle. La solution d'un système de visioconférence a donc été adoptée. Cette solution a aussi l'avantage de mettre en place une communication haut débit et donc d'avoir une qualité de communication très satisfaisante.

Il a fallu aussi penser à la communication en local. En effet, une audience peut être présente lors d'une session collaborative. Nous avons donc adopté un outil permettant d'améliorer la communication en permettant une vision commune de l'objet de la discussion. Pour cela, nous avons mis en place des vidéo-projecteurs qui permettent aux personnes de l'assistance de visualiser correctement les documents qui sont l'objet de la communication.

Vision de l'objet de travail pour tous

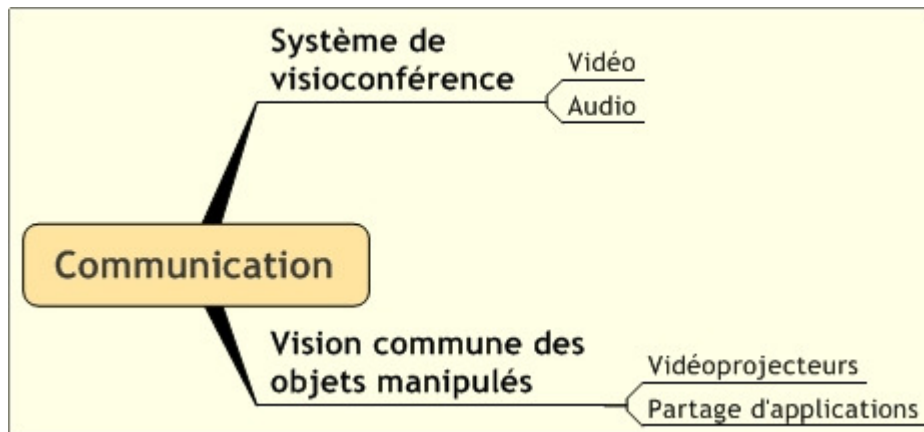


Figure 29 – Synthèse des fonctionnalités de communication

III.4.2.2. Les fonctionnalités de coordination

L'organisation d'une revue collaborative de conception est assez complexe du fait de la dispersion géographique des personnes. De plus, la salle devient une ressource obligatoire à la réunion. Alors que lors d'une réunion localisée, si la salle initialement prévue n'est plus disponible, on peut toujours se rendre dans une autre salle. C'est la raison pour laquelle nous avons mis en place un système de réservation basé sur les fonctionnalités d'Outlook. Ainsi, il est possible, pour l'organisateur de la réunion, de connaître les disponibilités des participants et de la salle. Un formulaire à remplir obligatoirement avant chaque réunion a aussi été développé. En effet, lors de l'organisation d'une visioconférence, certaines informations doivent être récoltées, comme les numéros de téléphones, les numéros des systèmes de visioconférence, etc. Ainsi, l'organisateur de la réunion ne risque pas d'oublier un paramètre qui entraînerait des retards dans la réunion, ou pire, l'annulation de celle-ci. Ce formulaire permet aussi de garder un historique des réunions et ainsi de participer à la capitalisation des connaissances.

Organisation des revues

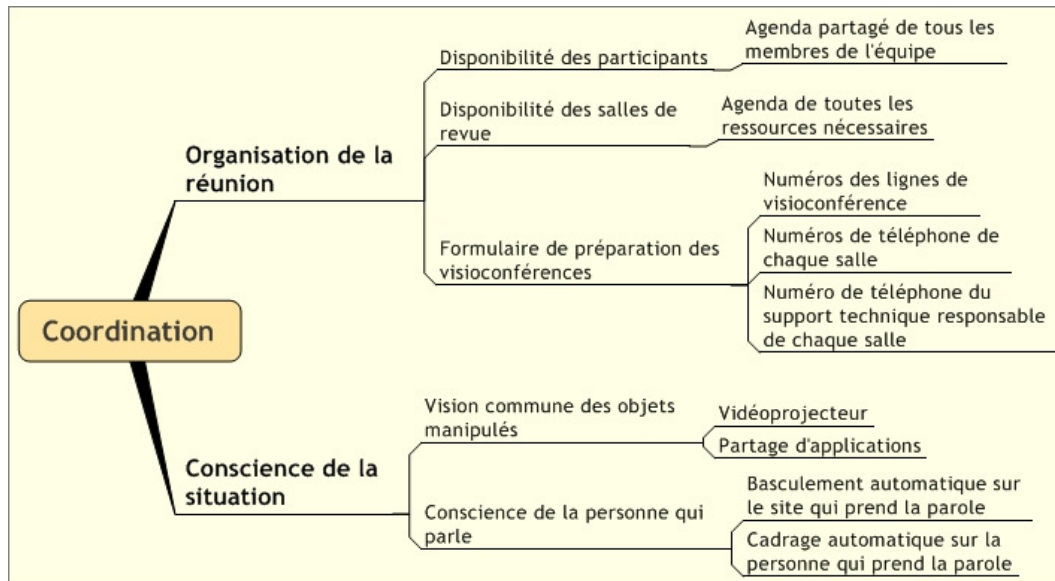


Figure 30 – Synthèse des fonctionnalités de coordination

III.4.2.3. Les fonctionnalités de coopération

La fonction de coopération est peut-être la plus importante. En effet, lors d'une revue de conception les participants doivent pouvoir travailler sur des modèles géométriques pour prendre des décisions. De plus, pour prendre ces décisions qui doivent être collectives, il est nécessaire que les participants puissent avoir accès au même objet, non seulement en terme de visualisation mais aussi en terme de manipulation et de modification. Sur la base de notre travail présenté dans les parties précédentes du manuscrit, nous avons sélectionné NetMeeting, pour sa capacité de partage d'applications. L'avantage principale de cet outil est que l'on peut partager tout type d'application, sans exception aucune, puisque le principe du partage est basé sur la capture de l'écran. De plus, il existe des équivalents pour toutes les plateformes UNIX, très présents encore dans le domaine de la conception. Tous ces outils ont les mêmes protocoles de communication et sont donc totalement inter-opérables.

Partage de l'application maquette numérique

Ce que nous venons d'évoquer permet à des personnes distantes de visualiser et manipuler des objets partagés. Or, les outils de type NetMeeting ont été conçus pour une utilisation avec une personne sur chaque site. Dans le cas de la revue de conception, des dizaines de personnes peuvent être présentes sur chaque site. Pour contourner cette difficulté nous avons optés pour la mise en place de tableau blanc interactif. Cette technologie permet à un ensemble de personnes de manipuler un objet numérique commun dont la visualisation est partagée à l'aide d'un vidéo-projecteur. Les mouvements du doigt de la personne qui manipule sont transcrits au système comme les mouvements de la souris. De plus, des stylets de différentes couleurs permettent de créer des annotations à main levée. Un utilitaire de capture d'écran facilite la rédaction du compte-rendu au cours de la réunion.

Tableau blanc interactif

Grâce à la fonctionnalité de partage d'applications de NetMeeting, il est possible de partager le tableau blanc avec des sites distants. De cette manière, tous les participants, qu'ils se trouvent sur le site ou sur un site distant, voient le même objet, au même moment. Ceci permet d'augmenter la conscience de groupe, primordiale dans ce type de réunion.

Augmentation de la conscience de groupe

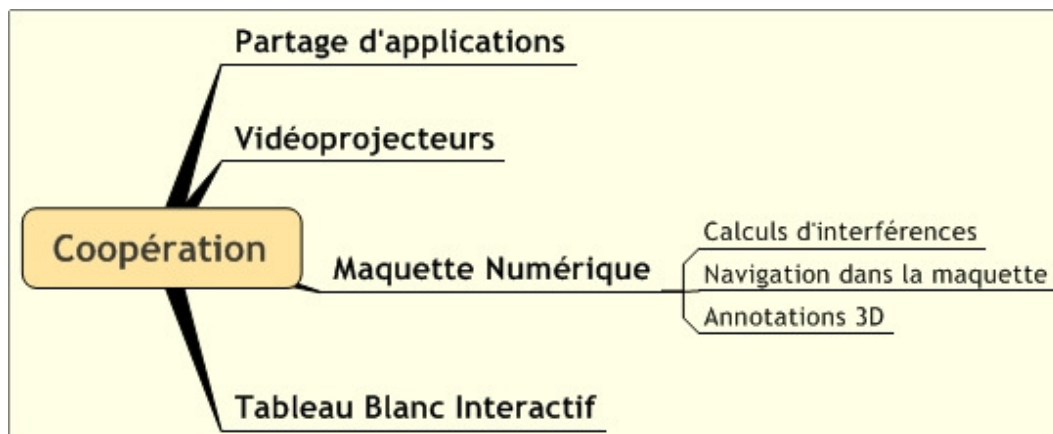


Figure 31 – Synthèse des fonctionnalités de coopération

III.4.3. Premiers bilans et retours d'expérience

La salle de revue de conception collaborative multisite est maintenant opérationnelle depuis 2002. Il est donc possible d'avoir un premier bilan sur les retours d'expérience des utilisateurs. La figure 32, montre les fonctionnalités classées par type, mises en place dans la salle de revue de conception à Eurocopter Marignane.

Fonctionnalités classées par type

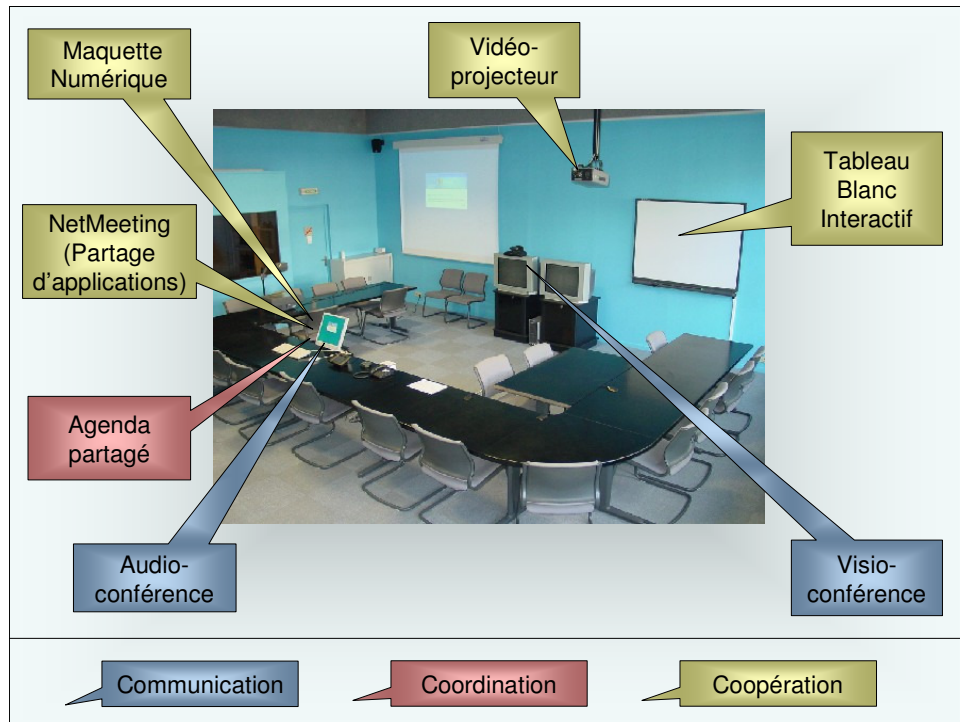


Figure 32 – Photo de la salle de revue de conception collaborative multisite d'Eurocopter Marignane

La première constatation est relative aux fonctionnalités de *communication*. Tous les utilisateurs considèrent ces fonctionnalités comme suffisante et d'assez bonne qualité pour leurs besoins. De plus, la flexibilité du système de visioconférence, c'est-à-dire le choix offert aux utilisateurs entre le mode visioconférence et le mode audioconférence est très apprécié. Ainsi, selon les besoins ou les limites des sites distants, cas où le site n'est pas équipé de système de visioconférence, il est toujours possible de communiquer. Cette salle couvre donc tout le spectre des possibilités de communication. En effet, quelque soit la situation, il est possible de rentrer en communication avec un ou des interlocuteurs distants.

Bilan sur la communication

Pour ce qui est des fonctionnalités de *coordination*, les utilisateurs sont aussi très satisfaits de pouvoir organiser des réunions assez facilement à l'aide des fonctionnalités offertes par Outlook (notamment l'agenda partagé). Ainsi, il leur est très facile d'inviter toutes les personnes dont les compétences sont nécessaires ainsi que les ressources physiques (salle de revue de conception collaborative distante). Le seul bémol retenu est qu'à l'heure actuelle, il n'est pas possible de partager l'agenda avec des partenaires extérieurs à l'entreprise. La préconisation que nous pouvons donner est que lors de la signature du contrat de partenariat entre différentes organisations, soient spécifiés les systèmes de coordination. Dans le cas qui nous intéresse si pour chaque partenariat cette politique avait été mise en place, l'organisation des réunions en aurait été simplifiée. Ainsi, l'organisateur pourrait avoir conscience de la disponibilité de la totalité des ressources nécessaires à la réunion. Le terme de ressources comprend aussi bien les ressources humaines, c'est-à-dire les compétences, que les ressources physiques, le matériel nécessaire.

Les fonctionnalités de *coopération* remportent un grand succès auprès des utilisateurs. Ils considèrent, en effet, que la possibilité de partager la visualisation des documents améliore grandement la collaboration. Aussi bien en termes de qualité, puisqu'ils considèrent qu'il y a moins d'incompréhensions et de malentendus, qu'en termes de délai, les idées passent plus rapidement. Le tableau blanc interactif leur permet de réaliser des annotations directement sur le document pour appuyer leur discours. De cette manière, les propositions sont plus rapidement comprises et intégrées par les participants distants. Le regret des utilisateurs est que ces fonctionnalités de coopération ne soient possibles qu'entre les sites d'Eurocopter. En effet, il n'est, à l'heure actuelle, pas encore possible pour des raisons de sécurité industrielle de permettre le partage sur un réseau extérieur à celui de l'entreprise.

Nous avons d'ailleurs noté que les remarques des utilisateurs confortaient notre approche. En effet, certains utilisateurs ont demandé s'ils pouvaient utiliser de tels outils sur leur poste de travail habituel. Cela prouve qu'il y a un réel besoin en termes d'outils de collaboration. Il faut donc créer une véritable culture de collaboration dans la globalité de l'organisation. Ceci passe, chez Eurocopter, par une promotion des fonctionnalités de collaboration de la salle de revue de conception.

IV - CONCLUSION

Ce chapitre a présenté la mise en œuvre de l'approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite (chapitre 3) ainsi que de l'utilisation de l'outil d'aide à la décision présenté dans le chapitre 4 sur deux types de collaboration, les réunions impromptues et les réunions planifiées.

Pour chaque type de réunion, nous avons dans un premier temps présenté les besoins spécifiques respectifs. Ceci nous a permis de mettre en application l'approche de spécification que nous proposons, de même que l'outil d'aide à la décision. De la sorte, nous avons pu spécifier un environnement adapté pour chaque type de réunions.

Enfin, une mise en œuvre concrète et industrielle est présentée dans la dernière partie de ce chapitre. Elle nous a permis de démontrer que l'approche que nous avons élaborée au cours de cette thèse était adaptée. En effet, la salle de revue de conception multisite mise en place à Eurocopter satisfait toutes les exigences de collaboration nécessaires pour des revues de conception efficaces.

Chapitre 6

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

PLAN DU CHAPITRE

I - BILAN DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE	139
II - PERSPECTIVES DE RECHERCHE	141

I - BILAN DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Les travaux de recherche de cette thèse s'inscrivent dans le cadre de la mise en place de l'Ingénierie Simultanée au sein du secteur de l'industrie aéronautique européenne. C'est la thématique du projet de recherche ENHANCE. Il est établi dans un premier temps que les problématiques d'Ingénierie Collaborative Multisite sont au cœur du concept d'Ingénierie Simultanée, le rôle de la tâche COSITE a donc été de mettre en place les outils et les méthodes associées les mieux adaptées aux besoins du secteur.

L'un des apports de ces travaux est de proposer une approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite en cinq étapes. Cette approche permet, et ce quelle que soit la situation de collaboration de déterminer l'environnement le plus adapté.

La première étape a consisté à définir les situations de collaboration du secteur aéronautique. Pour cela nous nous avons réalisé une enquête auprès de tous les partenaires du projet ENHANCE et nous en avons dégagé l'ensemble des besoins de collaboration.

Lors de la seconde étape, nous avons déterminé toutes les ressources nécessaires et disponibles qui potentiellement répondaient aux besoins de collaboration. Pour des raisons de clarté nous avons classé ces ressources à l'aide de la classification fonctionnelle, c'est-à-dire en ressources de communication, de coordination et enfin de coopération.

Aucun outil actuellement sur le marché ne remplit toutes les fonctionnalités nécessaires. C'est pourquoi lors de la troisième étape nous avons mis en adéquation les besoins spécifiques de collaboration et les ressources. Ce travail a débouché sur le développement d'un outil d'aide à la décision qui permet à l'utilisateur de déterminer un environnement qui réponde à ses besoins spécifiques.

Une fois l'environnement spécifié, il faut mettre en place une stratégie de déploiement pour permettre une acceptation des nouveaux outils et des méthodes associées par les futurs utilisateurs. Cette étape est essentielle à l'efficacité de la mise en place de l'environnement. La stratégie de déploiement d'Eurocopter est présentée dans le dernier chapitre.

Enfin, pour permettre d'améliorer constamment l'efficacité de l'environnement, une analyse des retours d'expérience est indispensable. Ceci permet de mieux cerner les besoins des utilisateurs et de proposer d'autres solutions en fonction des nouveautés présentes sur le marché.

Pour démontrer l'efficacité, à la fois de l'approche de spécification proposée et de l'outil d'aide à la décision, nous les avons mis en œuvre dans deux types de collaboration : les réunions impromptues et les réunions planifiées. La mise en place d'une salle de revue de conception collaborative multisite à Eurocopter a été réalisée. Un retour d'expérience de la part des utilisateurs a permis de valider les propositions présentées dans cette thèse.

II - PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Notre position dans ces travaux a été d'avoir une approche globale afin de spécifier au mieux l'environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite. Ceci nous a permis de concevoir une approche de spécification et un outil d'aide à la décision qui ont fait leurs preuves dans la mise en place à Eurocopter d'une salle de revue de conception collaborative multisite.

Étant donné l'inscription de nos travaux dans le projet ENHANCE, nous nous sommes restreint au secteur de l'aéronautique. Il serait donc intéressant de poursuivre cette démarche dans les autres secteurs industriels comme l'automobile par exemple. Les problématiques d'Ingénierie Collaborative Multisite de ces deux secteurs semblent très voisines. On peut citer comme point commun le fonctionnement de plus en plus fréquent en partenariat dans le secteur de l'automobile, comme par exemple Renault et Nissan, les équipes de conception sont aussi constituées d'un grand nombre d'acteurs géographiquement répartis à un niveau international. L'application des propositions de cette thèse dans cet autre secteur permettrait de généraliser les propositions et probablement, d'ailleurs, de les enrichir en s'appuyant sur les complémentarités et les différences des deux secteurs.

Une autre perspective de recherche peut être envisagée dans le domaine des échanges de connaissances et de la gestion des compétences dans un contexte de partenariat en entreprise étendue. En effet, une collaboration efficace nécessite que les acteurs partagent leurs connaissances et leurs compétences avec les autres membres du projet. Or, des problèmes de confidentialité et de préservation de la mémoire des entreprises rendent difficile ce partage. Une réflexion sur le niveau d'échange des connaissances et des compétences nécessaires à une collaboration efficace peut être menée. On peut citer les travaux de Xavier Boucher [Boucher 99] qui traitent des aspects cognitifs et coopératifs de la mise en œuvre de l'Ingénierie Simultanée. Il propose un référentiel des connaissances collectives qui peut être utilisé pour l'analyse des besoins de l'entreprise en matière de gestion des savoirs collectifs. Or la dimension spatiale n'a pas été prise en compte dans ces travaux.

Toujours, dans le domaine de la gestion des connaissances, il serait intéressant de déterminer des mécanismes de capitalisation qui permettent à toutes les entreprises partenaires de pouvoir conserver les connaissances créées au cours d'une collaboration. En effet, lors de la délocalisation de personnel sur des plateaux projets, les liens informels entre les membres de l'entreprise sont rompus. Ceci a pour conséquence que les savoirs tacites ne peuvent plus être échangés vers l'entreprise. La création de plateaux projet virtuels pourrait résoudre cette problématique. Les environnements d'Ingénierie Collaborative Multisite peuvent être utilisés pour permettre la mise en place efficace de ces plateaux projet virtuels.

B I B L I O G R A P H I E

- [Bernard et al. 02-a] **Bernard S., Noblet L., Nin C. et al.** — *D3.1/3: Concurrent and Collaborative Extended Enterprise Model for Aeronautics* — ENHANCE Deliverable for the European Commission, 2002
- [Bernard et al. 02-b] **Bernard S., Noblet L., Nin C. et al.** — *D3.1/4: Demonstrator of the common multi-site collaborative environment* — ENHANCE Deliverable for the European Commission, 2002
- [Bernard et al. 02-c] **Bernard S., Cauvin A., Carver E., Noblet L.** — *The Importance of Situation Awareness in Efficiency of Distributed Collaborative Working* — The Seventh International Conference on CSCW in Design, Rio de Janeiro, Brésil, 25-27 septembre 2002
- [Bernard et al. 03] **Bernard S., Cauvin A., Veron P., Noblet L.** — *Spécification d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite – nécessité d'une démarche globale* — Revue Française de Gestion Industrielle, vol. 23, n°2, pp.21-32, juin 2004.
- [Bocquet 98] **Bocquet J.C.** — *Ingénierie Simultanée, conception intégrée* — Conception de produits mécaniques (méthodes, modèles et outils) (pp.29-52), Edition Hermès, Paris, 1998.
- [Boucher 99] **Boucher X.** — *Propositions méthodologiques pour la gestion de filières-métiers dans un contexte d'ingénierie concourante* — thèse de doctorat soutenue à l'université d'Aix-Marseille III, septembre 1999.
- [Bourdichon 94] **Bourdichon P.** — *L'Ingénierie Simultanée et la gestion d'informations* — Collection Systèmes d'Informations, Edition Hermès, Paris, 1994.
- [Brans 93] **Brans, J.P.** — *Aide multicritère, méthodes PROMETHEE-GAIA* — Support de cours, mars 1993
- [Cerezuela 96] **Cerezuela Ch.** — *Contribution à l'élaboration de méthodes et d'outils d'aide à la conception et à la fabrication dans une perspective d'ingénierie concourante* — Thèse de doctorat en sciences soutenue le 11 octobre 1996

- [Chanchevrier 93] **Chanchevrier M.** — *L'Ingénierie Simultanée – Un nouveau mode de management des projets* — 9^{ème} Convention Nationale du Management des Projets de l'AFITEP, novembre 1993, pp. 155-174.
- [Clark et Fujimoto 91] **Clark K.B., Fujimoto T.** — *Product development performance. Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry* — Harvard Business Scholl Press, Boston, Massachusetts, 1991.
- [Cleetus 92] **Cleetus, K.J.** — *Definition of Concurrent Engineering.* — CERC Technical Report Series, CERC Technical Report, 1992
- [David 01] **David B.** — *IHM pour les collecticiels* — Réseaux et systèmes répartis. Hermès. Paris. Volume 13 pp 169-206. Novembre 2001
- [Decreuse et Feschotte 98] **Decreuse Ch., Feschotte D.** — *Ingénierie Simultanée* — Techniques de l'ingénieur, référence A5310, janvier 1998.
- [DeSanctis et Monge 98] **DeSanctis G., Monge P.** — *Communication processes for virtual organizations* — Journal of computer-mediated communication, Volume 3, numéro 4, juin 1998
- [Dourish et Belotti 92] **Dourish P., Bellotti V.** — *Awareness and coordination in shared workspaces* — Proceedings of the ACM Conference on Computer-Supported Collaborative Work (CSCW-92), Toronto, Ontario, 1992, ACM Press, pp. 107-114.
- [Ellis et al. 91] **Ellis C.A., Gibbs S.J., Rein G.L.** — *Groupware: some issues and experiences* — Communications of ACM, 34(1), janvier 1991, pp. 39-58.
- [Ellis et Wainer 94] **Ellis C.A., Wainer J.** — *A conceptual Model of Groupware* — in ACM CSCW 94 Conference on Computer Supported Collaborative work, Chapel Hill, North Carolina, USA, 1994. Pp. 79-88.
- [Enhance 98] **ENHANCE Project** — EC 4th Framework Programme, Contract Number BRPR-CT98-7001, 1998. — Lien internet pour le projet ENHANCE : <http://www.enhanceproject.com>. Lien Internet pour la tâche

- [Fleming et al. 98] **Fleming Q.W., Koppelman J.M.** — *Project Teams: The Role of the Project Office* — Cost Engineering, volume 8, numéro 8, Août 1998.
- [Gale 90] **Gale S** — *Human aspects of interactive multimedia communication* — Interacting with Computers, 2, 175-189. 1990.
- [Grudin 94] **Grudin, J.** — *CSCW: History and Focus* — IEEE Computer, 27(5), pp. 19-26, mai 1994.
- [Gutwin et Greenberg 01] **Gutwin C., Greenberg S.** — *The Importance of Awareness for Team Cognition in Distributed Collaboration* — Report 2001-696-19, Dept Computer Science, University of Calgary. 2001.
- [Jagou 93] **Jagou P.** — *Concurrent Engineering, la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité* — Edition Hermès, Digital Equipment France, 1993.
- [Malone et Crowston 93] **Malone T. et Crowston K** — *The interdisciplinary study of coordination* — ACM Computing Surveys, Vol 26 (1), 1993.
- [Molina et al. 94] **Molina, A., Al-Ashaab, A. H., Ellis, T., Young, R., Bell, R.** — *Modelling Manufacturing Resources, Processes and Strategies to Support Concurrent Engineering* — *Concurrent Engineering: Research and Applications* — A Global Perspective, Conference Proceedings, Pittsburgh, Pennsylvania, 1994
- [Martin 02] **Martin F.O.** — *Les technologies de l'information et de la communication en conception collaborative multi-site* — Université de Nantes et Ecole Centrale de Nantes, Thèse de doctorat, Nantes, janvier 2002.
- [Ochsman et Chapanis 74] **Ochsman R.B., Chapanis A.** — *The effects of 10 communication modes on the behaviour of teams during co-operative problem-solving* — International Journal of Man-Machine Studies, 6, 579-619. 1974

- [Roy 85] **Roy, Bernard** – *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* — Economica, Paris, 1985
- [Salber et al. 95] **Salber D., Coutaz J., Decouchant D. et Riveille M.** — *De l'observabilité et de l'honnêteté : le cas du contrôle d'accès dans la communication homme-machine-homme médiatisée* — Actes d'IHM95, Cépaduès éditions, Toulouse, pp. 27-33. (1995)
- [Tang et Isaacs 92] **Tang J.C., Isaacs E.A** — *Why do users like video? Studies of multimedia-supported collaboration* — Computer Supported Cooperative Work (CSCW), 1, 163-193. 1992.
- [Tichkiewitch 98] **Tichkiewitch S.** — *Ingénierie Simultanée, Ingénierie Concourante : le point de vue du chercheur* — Colloque sur l'Ingénierie Simultanée — Belfort, France, 11-12 mars 1998.
- [Tower 03] <http://tower.gmd.de>
- [Von Krogh et al. 01] **Von Krogh G., Nonaka I., Aben M.** — *Making the Most of your Company's Knowledge: A Strategic Framework* — Long Range Planning Journal, n°34, pp. 421-439, éd. Pergamon, 2001.
- [Winner et al. 88] **Winner R.I., Pennell J.P., Bertrand H.G., Slusarczuck M.M.G.** — *The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition* — IDA Report R-338, Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses, 1988.

Chapitre 7

ANNEXES

PLAN DU CHAPITRE

I - ANNEXE 1 – LE PROJET EUROPÉEN ENHANCE	153
I.1. CONTEXTE, RISQUES ET OPPORTUNITÉS	153
I.2. LE PROGRAMME ENHANCE	154
I.2.1. Les objectifs	154
I.2.2. Contenu du projet	154
I.2.3. Les acteurs du projet	155
I.3. DÉROULEMENT DU PROJET	156
I.3.1. Structure interne	157
II - ANNEXE 2 – UNE MÉTHODE D’AGRÉGATION MULTICRITÈRE (LA MÉTHODE PROMETHEE)	159

I - ANNEXE 1 – LE PROJET EUROPÉEN ENHANCE

I.1. Contexte, risques et opportunités

Dans le contexte actuel d'une compétition commerciale forte, l'industrie aéronautique européenne doit se doter des moyens nécessaires pour combattre ses rivaux américains et gagner des parts de marchés.

Pour le secteur aéronautique, l'ingénierie simultanée est vue comme le meilleur moyen pour réévaluer les méthodes et les outils nécessaires à une plus grande compétitivité. Ceci fait parti d'une approche industrielle globale, connue sous le nom de l'entreprise étendue. Cette approche gagne en crédibilité au travers du niveau de maturité et des progrès constants des outils de technologie de l'information.

Pour pouvoir lancer le développement d'un avion de transport gros porteur et d'en réaliser un succès industriel, il est vital de tester les processus, les méthodes et les outils de l'ingénierie simultanée. En dépit de la taille sans précédent des investissements financiers consentis par les partenaires d'Airbus (Aérospatiale-Matra Airbus, British Aerospace, CASA et DaimlerChrysler Aerospace Airbus) dans le domaine des processus, méthodes et outils, ils ne peuvent pas seuls supporter la totalité du secteur aéronautique européen. Il est donc indispensable pour le secteur aéronautique européen, et en particulier les petites et moyennes entreprises, ainsi que les centres de recherche d'avoir les moyens adaptés, pour être capables de faire face à ce nouveau challenge. La raison d'être du projet ENHANCE est là.

I.2. Le programme ENHANCE

I.2.1. Les objectifs

ENHANCE a pour but de :

- ↳ Établir les termes d'une nouvelle collaboration majeure entre les représentants de tous les acteurs du secteur aéronautique en Europe, en prenant en compte les méthodes, les organisations et les moyens.
- ↳ Établir des méthodes de travail communes valables pour tout le secteur aéronautique européen en se basant sur les technologies de l'information et de la communication.
- ↳ Définir des standards appropriés, cohérents et efficaces au sein du secteur pour faciliter les échanges.

I.2.2. Contenu du projet

Le projet ENHANCE s'articule autour des axes suivants pour atteindre ses objectifs :

- ↳ La définition de méthodes et standards communs, applicables depuis les phases initiales d'un programme aéronautique.
- ↳ Le développement de projets pilotes pour démontrer la crédibilité des méthodes et moyens adoptés.

I.2.3. Les acteurs du projet

Le projet ENHANCE est un consortium industriel qui regroupe :

- ↳ les principales entreprises aéronautiques européennes,
- ↳ des motoristes,
- ↳ des petites et moyennes entreprises,
- ↳ ainsi que des centres de recherches européens.

Le projet est constitué de 14 partenaires que sont ...

↳ Aérospatiale Matra, DaimlerChrysler Aerospace
Airbus, Messier-Dowty, SNECMA, Alenia Aerospazio,
Dassault Aviation, Motoren und Turbinen Union (MTU),
Sextant Avionique, British Aerospace, Eurocopter,
National Aerospace Laboratory (NLR), Construcciones
Aeronauticas (CASA), Liebherr, Rolls-Royce

... et de 38 sous-traitants :

↳ Air France, Agusta, Bodenseewerk Gerätetechnik, BMW-Rolls Royce, CIRA, CYBEL, Dowty Aerospace Hydraulics, Dassault Systèmes, DERA, DaimlerChrysler Aerospace, Eurocopter Deutschland, Ecole Centrale Nantes, FIAT Avio, Fisher Advanced Composite Components, Fokker Aerostructures, EUTELIS, GEC Marconi Aerospace, GEC Marconi Avionics, Hewlett Packard, IAO Fraunhofer, IBM Ireland Information Service, IRIT, Industria de Turbo Propulsores, Lucas Aerospace Division, Liebherr Aerospace Toulouse, Messier-Dowty, ONERA, Olympic Tools Hellas, Parametric Technology, SAAB, Smiths Industries Aerospace, Synelec, Techspace Aero, Turboméca, Volvo Aero Corporation, VDO Luftfahrtgeräte Werk GmbH, Vinci Consulting, Warwick University

Toutes ces entreprises font parties de l'union européenne : France, Grande Bretagne, Allemagne, Espagne, Italie, Pays-Bas, Autriche, Suède, Grèce, Irlande.

I.3. Déroulement du projet

ENHANCE est un projet original car il s'applique à lui-même les principes qu'il préconise. Ceci s'explique par le fait que les objectifs ne sont pas seulement techniques mais managériaux. Il vise en effet à mettre en place des méthodes d'Ingénierie Simultanée dans un contexte d'entreprise étendue, ce qui implique un grand changement dans les habitudes, de la culture, de l'utilisation des outils de communication...

I.3.1. Structure interne

Le projet est divisé en huit sous-projets (workpackages) ayant chacun un objectif lié au produit, aux méthodes de travail, à l'organisation ou à l'infrastructure technique. Le découpage suivi par ces sous-projets s'apparente à celui des différents services d'une entreprise (voir la figure 33).

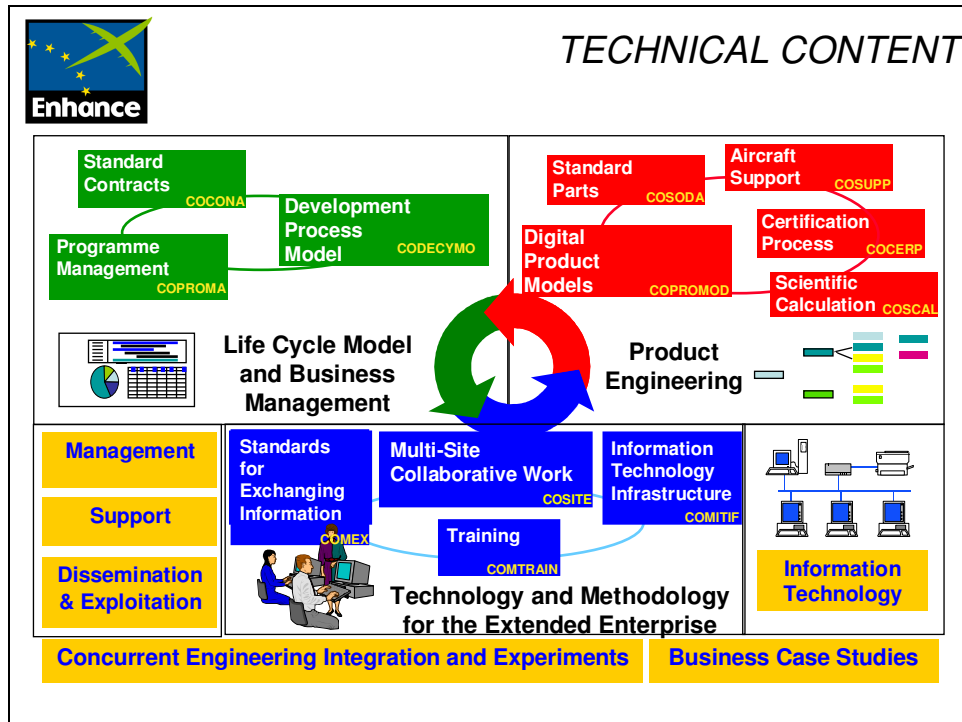


Figure 33 – Découpage du projet ENHANCE

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse se sont déroulés dans le cadre de la tâche COSITE. Eurocopter était le leader de cette tâche.

II - ANNEXE 2 – UNE MÉTHODE D'AGRÉGATION MULTICRITÈRE (LA MÉTHODE PROMETHEE)

Cette annexe est extraite de la thèse de Catherine Cerezuela [Cerezuela 96]

La méthode PROMETHEE (**P**reference **R**anking **O**rganization **M**ETHOD for **E**nrichment **E**valuations) est une procédure d'agrégation multicritère répondant à une problématique de rangement. Elle se propose d'évaluer et de ranger n alternatives selon k critères auxquels le décideur associe des poids (coefficients d'importance) qui nuancent l'importance des critères les uns par rapport aux autres.

À chaque critère j sont associés un poids w_j et une fonction f_j qui donne l'évaluation de chaque alternative suivant le critère j . Une fonction de préférence $P_j(a,b)$ est définie, elle donne le degré de préférence de a sur b selon le critère j . $P_j(a,b)$ est fonction de la différence $d = f_j(a) - f_j(b)$ et prend ses valeurs sur $[0,1]$ comme le montre la figure 34.

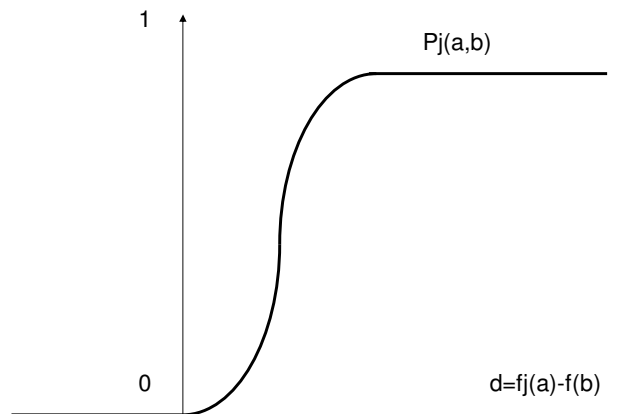


Figure 34 – La fonction de préférence $P_j(a,b)$

$P_j(a,b) = 0$ si $d \leq 0$	pas de préférence ou indifférence
$P_j(a,b) \approx 0$ si $d > 0$	a faiblement préféré à b pour le critère j
$P_j(a,b) \approx 1$ si $d \gg 0$	a fortement préféré à b pour le critère j
$P_j(a,b) = 1$ si $d \gg \gg 0$	a strictement préféré à b pour le critère j

Cette fonction de préférence, associée à f_j , définit le critère généralisé. Six critères généralisés typiques sont habituellement utilisés, chacun d'eux exprime une évolution de préférence différente dépendant de la différence entre les évaluations des alternatives **a** et **b** suivant le critère. On peut ainsi choisir un critère généralisé décrivant une préférence stricte (figure 35), un critère comportant un seuil d'indifférence **q** et un seuil de préférence faible **p** (figure 36) etc.

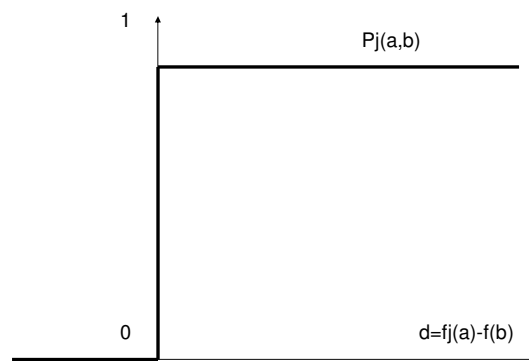
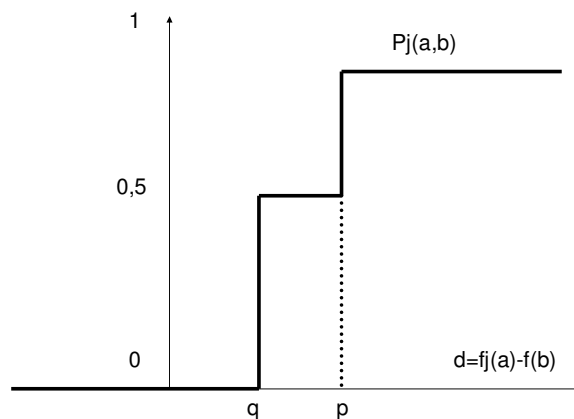


Figure 35 – Préférence stricte

Figure 36 – Seuil d'indifférence **q** et de préférence **p**

L'indice de préférence (ou indice de crédibilité) $\pi(a,b)$ indique de quel degré **a** est préféré à l'alternative **b** sur l'ensemble des critères. Il se calcule de la façon suivante :

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k w_j \cdot P_j(a,b) \text{ avec } \begin{cases} \sum_{j=1}^k w_j = 1 \\ \pi(a,a) = 0 \end{cases}$$

Pour chaque paire d'alternatives **a,b** de l'ensemble **A** des alternatives potentielles, les indices de crédibilité $\pi(a,b)$ et $\pi(b,a)$ sont calculés. Ces valeurs sont exploitées pour comparer chaque alternative aux **n-1** autres alternatives : trois flux sont ainsi calculés pour chaque alternative.

$$\text{Le flux positif : } \Phi^+(a) = \frac{1}{1-n} \sum_{x \in A} \pi(a,x)$$

$$\text{Le flux négatif : } \Phi^-(a) = \frac{1}{1-n} \sum_{x \in A} \pi(x,a)$$

$$\text{Le flux net : } \Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$$

Le *flux positif* exprime le degré de dominance de **a** sur les autres alternatives. Il représente le nombre d'alternatives auxquelles **a** est strictement préférée. En rangeant les alternatives par ordre croissant des flux positifs, on obtient un premier classement **Z₁** des alternatives. L'alternative **b** est avant **a** si et seulement si le nombre d'alternatives auxquelles **b** est préférée est supérieur au nombre d'alternatives auxquelles **a** est préférée. Les alternatives **a** et **b** sont de même rang si et seulement si ces deux nombres ont la même valeur.

Le *flux négatif* exprime le degré de dominance des autres alternatives sur **a**. Il représente le nombre d'alternatives qui sont strictement préférées à **a**. En rangeant les alternatives par ordre décroissant des flux négatifs, on obtient un second classement **Z₂** des alternatives. L'alternative **b** est d'autant mieux placée que le nombre d'alternatives qui lui sont préférées est plus faible.

La méthode PROMETHEE I combine les deux classements Z_1 et Z_2 pour obtenir un troisième classement Z . Lorsque Z_1 et Z_2 font apparaître des différences, \mathbf{a} et \mathbf{b} sont incomparables : \mathbf{a} est avant \mathbf{b} dans un classement et \mathbf{b} avant \mathbf{a} dans l'autre. \mathbf{a} et \mathbf{b} sont *ex aequo* dans Z si elles le sont dans Z_1 et Z_2 . Dans les autres cas, Z_1 et Z_2 déterminent l'ordre sans ambiguïté.

La méthode PROMETHEE II fournit un classement complet Z' de toutes les alternatives en rangeant les alternatives selon l'ordre croissant des *flux nets*.

SPÉCIFICATION D'UN ENVIRONNEMENT D'INGÉNIERIE COLLABORATIVE MULTISITE

~ APPLICATION À L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE EUROPÉENNE

RÉSUMÉ : Les travaux de recherche de cette thèse s'inscrivent dans le cadre de la mise en place de l'Ingénierie Simultanée au sein du secteur de l'industrie aéronautique européenne. C'est la thématique du projet de recherche ENHANCE. Il est établi dans un premier temps que les problématiques d'Ingénierie Collaborative Multisite sont au cœur du concept d'Ingénierie Simultanée, le rôle de la tâche COSITE a donc été de mettre en place les outils et les méthodes associés les mieux adaptées aux besoins du secteur. Sur la base d'une étude de cas types de collaboration rencontrés par les partenaires du projet ENHANCE, et sur la base d'une classification fonctionnelle, nous avons élaboré une approche de spécification d'environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite. Ces cas étant si multiples, aucun outil unique du marché ne peut encore prétendre satisfaire l'ensemble des besoins. C'est pourquoi, nous avons développé un outil d'aide à la décision qui fournit à l'utilisateur un moyen de déterminer un environnement couvrant ses besoins spécifiques. La conception de cet outil a été possible grâce à la définition d'une liste exhaustive de critères d'évaluation qui traduisent les besoins de collaboration. Ainsi, grâce à cet outil, il est possible de déterminer, quelque soit le cas de collaboration, l'environnement le mieux adapté. Pour démontrer l'efficacité, à la fois de l'approche de spécification proposée et de l'outil d'aide à la décision, nous avons mis en œuvre de les appliquer à deux types de collaboration : les réunions imprévues et les réunions planifiées. La mise en place d'une salle de revue de conception collaborative multisite à Eurocopter a été réalisée. Un retour d'expériences de la part des utilisateurs a permis de valider les propositions présentées dans cette thèse.

Mots-clés : *Ingénierie simultanée, Ingénierie collaborative multisite, Aide à la décision multicritère, Approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative Multisite, Industrie aéronautique européenne.*

SPECIFICATION OF A MULTISITE COLLABORATIVE ENVIRONMENT

~ APPLICATION TO THE EUROPEAN AERONAUTICAL INDUSTRY

ABSTRACT: The research findings of this thesis lie within the scope of the implementation of Concurrent Engineering within the sector of the European Aeronautical Industry. These are the main theme of the European research project ENHANCE. First we establish that the Multisite Collaborative Engineering issue is the main aspect of the Concurrent Engineering concept. The COSITE objective was to implement the best adapted tools and associated methods to the aeronautical industry needs. Based on the study of best practices on collaboration situations, encountered by ENHANCE project partners, and based on a functional classification, we worked out a Multisite Collaborative Engineering environment specification approach. Because of the multiplicity of collaborative situations, there are no tools, available on the market, that cover all the required needs. That is why we developed a decision making tool which help the user determining the best environment which covers his proper needs. The development of this tool is based on an exhaustive evaluation criteria list that corresponds to the collaboration needs. Thus, thanks to this tool, it is possible to determine, whatever the collaborative case situation, the most adapted environment. In order to demonstrate the efficiency of the specification approach and of the decision making tool, we applied them on two different collaborative cases: unplanned meeting and planned meeting. The implementation of a remote review meeting room at Eurocopter was done. A feedback analysis, coming from users' experience, has permitted us to validate the approach proposed in this thesis.

Keywords: *Concurrent Engineering, Multisite collaborative engineering, Multicriteria decision making, Multisite Collaborative Engineering environment specification approach, European aeronautical industry.*